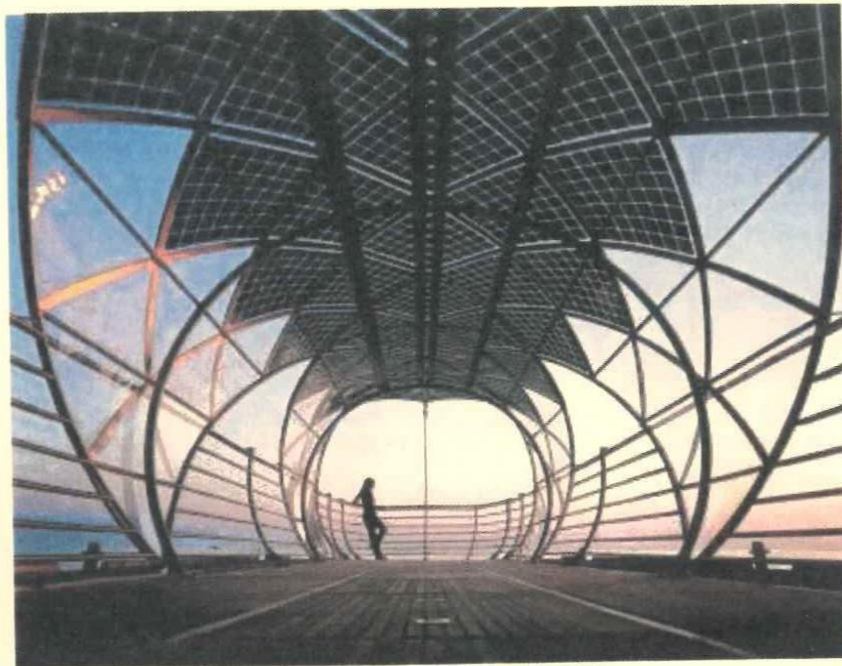


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Τομέας Περιβάλλοντος και Χρήσης Ενέργειας

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:
ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ**

Μάριος Α. Παπαλεξάνδρου



Επιβλέποντες:
Επ. Καθ. Δημήτρης Μπούρης
(Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας)
Καθ. Δημήτρης Μπίκας
(Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης)

Κοζάνη, Οκτώβριος 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την σημαντική συμβολή τους στην ανάπτυξη και περάτωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Ελευθερία Παπαχρήστου του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., που μεσολάβησε στην ανάπτυξη αυτής της διατμηματικής εργασίας, καθώς και τον καθηγητή Θεόδωρο Θεοδοσίου για την πολύτιμη βοήθειά του στην ανάπτυξη του προγράμματος. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ.κ. Δημήτρη Παπακώστα και Κωνσταντίνο Φαϊτατζόγλου της εταιρείας Ηλιοδομή, καθώς και τον κ. Γεώργιο Σεργιάδη, αναπληρωτή καθηγητή στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Α.Π.Θ. για τα πολύτιμα στοιχεία και πληροφορίες που μου έδωσαν σχετικά με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ηλεκτρολόγο συντήρησης του Κτιρίου Εδρών του Α.Π.Θ. κ. Δημήτρη Ματθαΐλη για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την κατανάλωση του κτιρίου και τα άτομα του Περιφερειακού Μετεωρολογικού Κέντρου Μακεδονίας για την παροχή στοιχείων ηλιακής ακτινοβολίας για την Θεσσαλονίκη. Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς τους υπεύθυνους καθηγητές κ. Δημήτρη Μπίκα και κ. Δημήτρη Μπούρη, για την αμέριστη συμπαράστασή τους, τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν και τις χρήσιμες συμβουλές τους, προκειμένου να περατωθεί η εργασία αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, αναπτύσσεται ένα πρόγραμμα υπολογισμού για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια. Η εργασία μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα: Τα κεφάλαια 1 έως 3 αποτελούν το θεωρητικό μέρος της εργασίας, ενώ τα κεφάλαια 4 έως 6 το υπολογιστικό. Αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο ενεργειακό πρόβλημα, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αναλυτικά, παρουσιάζεται η βασική αρχή λειτουργίας τους, οι τύποι και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, η διάκρισή τους, η ενσωμάτωσή τους σε κτίρια και η κατάσταση της παγκόσμιας αγοράς. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η ηλιακή ακτινοβολία και οι μέθοδοι υπολογισμού της. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το μοντέλο υπολογισμού και επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, που θα χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος. Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στα αποτελέσματα υπολογισμού του προγράμματος. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η επίδραση συγκεκριμένων παραμέτρων στα αποτελέσματα υπολογισμού του προγράμματος και γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του προγράμματος και τιμών από εγκατεστημένες φωτοβολταϊκές διατάξεις. Στο έκτο κεφάλαιο, μετά την πιστοποίηση της χρησιμοποιούμενης μεθοδολογίας, γίνεται εφαρμογή του μοντέλου σε υπάρχον κτίριο. Ειδικότερα, γίνεται εφαρμογή ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε κάθε όψη του κτιρίου και στο δώμα του, και αναλύεται η βέλτιστη επιλογή για την κάλυψη τμήματος των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου. Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία μαζί με προοπτικές και προτάσεις εξέλιξης του προγράμματος υπολογισμού.

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ... 1355...
Ημερομηνία... 4/11/04

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 6 |
| 1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ | 6 |
| 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ) | 11 |
| 1.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 14 |
| 1.3.1 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ..... | 14 |
| 1.3.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ..... | 15 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ | 18 |
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 18 |
| 2.2 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ | 18 |
| 2.3 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ | 20 |
| 2.4 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 21 |
| 2.4.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ | 21 |
| 2.4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΠΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ | 23 |
| 2.4.3 ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ | 26 |
| 2.5 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ | 28 |
| 2.6 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 32 |
| 2.7 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ -ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ | 33 |
| 2.8 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ | 36 |
| 2.8.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ..... | 36 |
| 2.8.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ..... | 37 |
| 2.8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ BIPV..... | 38 |
| 2.9 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ | 42 |
| 2.10 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ | 44 |
| 2.11 Η ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ | 46 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ | 48 |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 48 |
| 3.2 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ | 50 |
| 3.3 ΛΟΓΟΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ | 53 |
| 3.4 ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ | 54 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3.5 | ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ | 55 |
| 3.6 | ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ | 56 |
| 3.7 | ΑΜΕΣΗ, ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ | 57 |
| 3.8 | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ | 59 |
| 3.9 | ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ | 60 |
| 3.10 | ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - | 61 |
| | ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ | 61 |
| 3.11 | ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - | 62 |
| | ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ | 62 |
| 3.12 | ΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ -..... | 64 |
| | ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ | 64 |
| 3.13 | ΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ -..... | 65 |
| | Η ΜΕΘΟΔΟΣ Κ-Τ | 65 |
| 3.14 | ΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ -..... | 68 |
| | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΒΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ r_t , r_d ΓΙΑ ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟ ΟΥΡΑΝΟ | 68 |
| | ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ..... | 69 |
| 4.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 69 |
| 4.2 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΣΤΟΠΟΙΗΣΗ | 70 |
| 4.3 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 92 |
| 4.4 | ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ)..... | 96 |
| | ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ..... | 98 |
| 5.1 | ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ | 98 |
| 5.2 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ | 102 |
| 5.2.1 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ..... | 102 |
| 5.2.2 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΥΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ | 105 |
| 5.2.3 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΣΗΣ..... | 106 |
| 5.2.4 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ | 107 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ..... | 109 |
| 5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ..... | 110 |
| 5.3.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ..... | 110 |
| 5.3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ..... | 113 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ | 125 |
| 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 125 |
| 6.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ..... | 126 |
| 6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 136 |
| 6.3.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗ ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 136 |
| 6.3.2 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 141 |
| 6.3.3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ... | 144 |
| 6.3.4 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 147 |
| 6.3.5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟ ΔΩΜΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 151 |
| 6.3.6 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΟΨΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 154 |
| 6.3.7 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ..... | 156 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ..... | 159 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... | 160 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 164 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

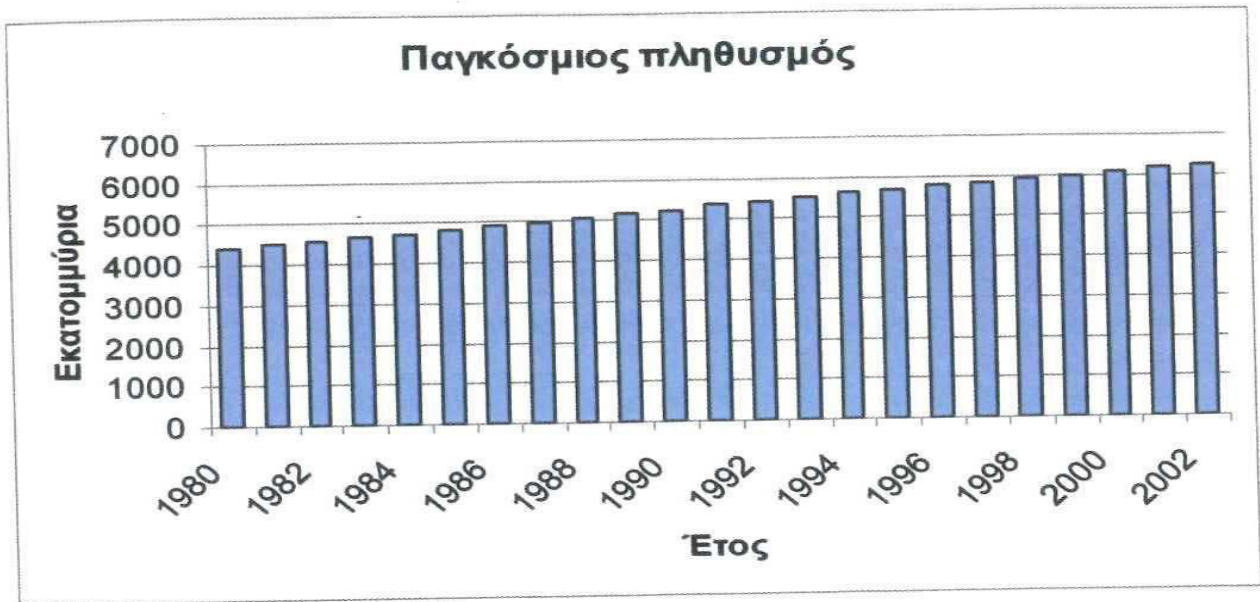
1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ

Η ενέργεια καλύπτει τρεις βασικούς τομείς της ανθρώπινης καθημερινότητας: τη θέρμανση, την κίνηση και την παραγωγή ηλεκτρισμού. Είναι αυτονόητο λοιπόν, πως η εξασφάλιση ενεργειακών πηγών συνιστά κύρια προτεραιότητα για την ομαλή εξέλιξη της ανθρωπότητας. Οι ενεργειακοί πόροι, είτε με την μορφή του γαιάνθρακα στην βιομηχανική επανάσταση είτε με την μορφή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου στον εικοστό αιώνα, συνέβαλαν καθοριστικά στην δραματική ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας. Όμως, η αλματώδης εξόρυξη και χρήση των ενεργειακών πηγών, σε συνάρτηση με τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 που είχαν ως αποτέλεσμα την αδυναμία απρόσκοπτης ενεργειακής τροφοδοσίας των δυτικών κρατών, ανέδυσαν ένα σημαντικό πρόβλημα: το ενεργειακό.

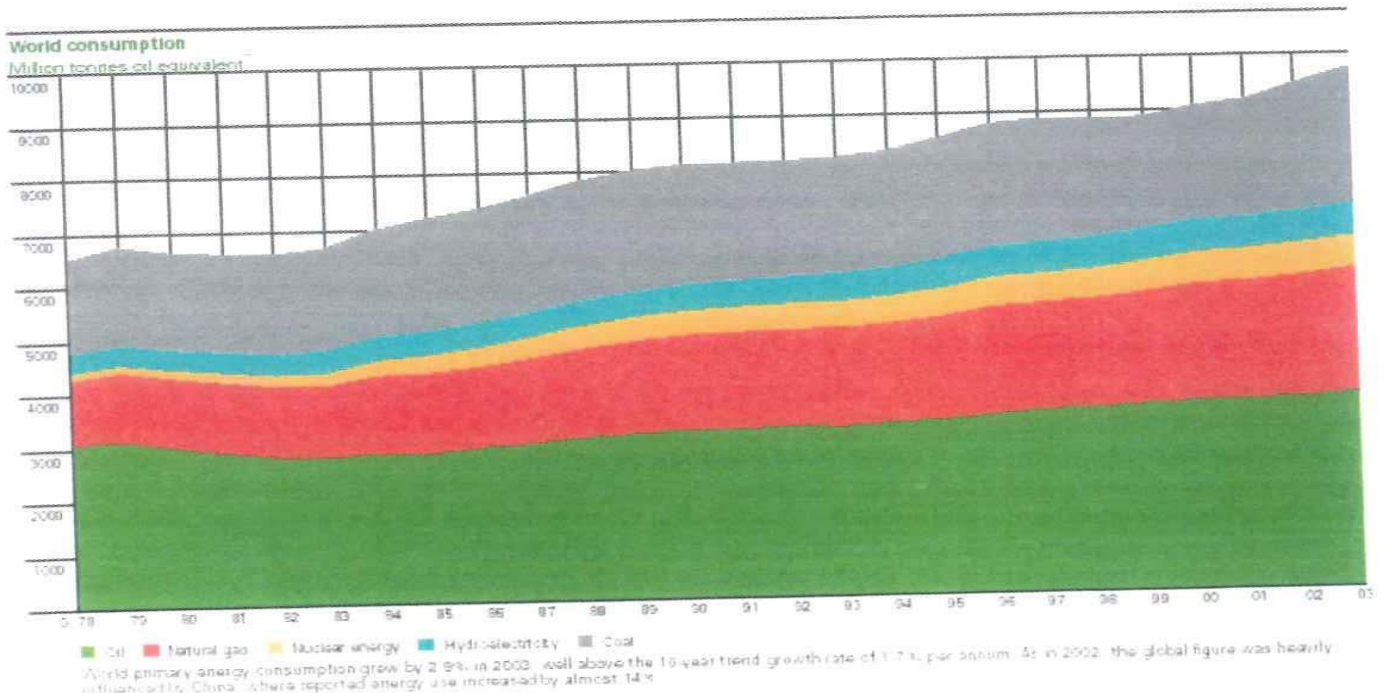
Το ενεργειακό πρόβλημα είναι πολυδιάστατο, περιλαμβάνοντας κοινωνικά οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα, και μπορεί να αναλυθεί συνοπτικά με τις παρακάτω αλληλοσυσχετιζόμενες παραμέτρους:

1. Ο πληθυσμός της γης σήμερα ξεπερνά τα 6 δισεκατομμύρια (Διάγραμμα 1.1). Η συντριπτική πλειονότητα των ανθρώπων ζουν σε συνθήκες διαβίωσης από μη ικανοποιητικές έως άθλιες. Η μέχρι σήμερα λογική για την ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου βασίστηκε στην αλόγιστη χρήση μεγάλων ποσοτήτων σχετικά φθηνών, ενεργειακών πόρων.
2. Σχεδόν το 85% των αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια καλύπτεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, δηλαδή γαιανθράκων, φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου, με την μερίδα του λέοντος να ανήκει στο τελευταίο (σχήμα 1.1). Αποτέλεσμα αυτής της υπέρμετρης χρήσης είναι η εκπομπή τεράστιων ποσοτήτων CO₂ (καθώς και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών), οι οποίες συνεισφέρουν στο λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και γενικότερα στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Διάγραμμα 1.2).
3. Μια άλλη διάσταση του προβλήματος είναι η εξαντλησιμότητα των ορυκτών πόρων και η μη δημοκρατική κατανομή τους (σχήμα 1.2). Με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης, σύμφωνα με τα αποδεδειγμένα αποθέματα, το πετρέλαιο αναμένεται να διαρκέσει για 41 έτη, το φυσικό αέριο για 67 και οι γαιάνθρακες για 192 χρόνια. (πηγή: «Statistical Review of World Energy 2004», BP report)
4. Η εξάρτηση των οικονομιών των ανεπτυγμένων κρατών από την εισαγωγή πετρελαίου σε συνδυασμό με την αστάθεια της τιμής του (σχήμα 1.3), μπορεί να οδηγήσει τα κράτη αυτά σε αδυναμία ενεργειακής τροφοδοσίας και σε οικονομική κρίση.
5. Η αύξηση του πληθυσμού της γης και η θεμιτή προσπάθεια των αναπτυσσόμενων χωρών για αύξηση του βιοτικού τους επιπέδου θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και μεγαλύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση.
6. Ένα παράδοξο γεγονός είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων του μαύρου χρυσού βρίσκεται στις φτωχές χώρες (ο Αραβοπερσικός κόλπος κατέχει το 65% των

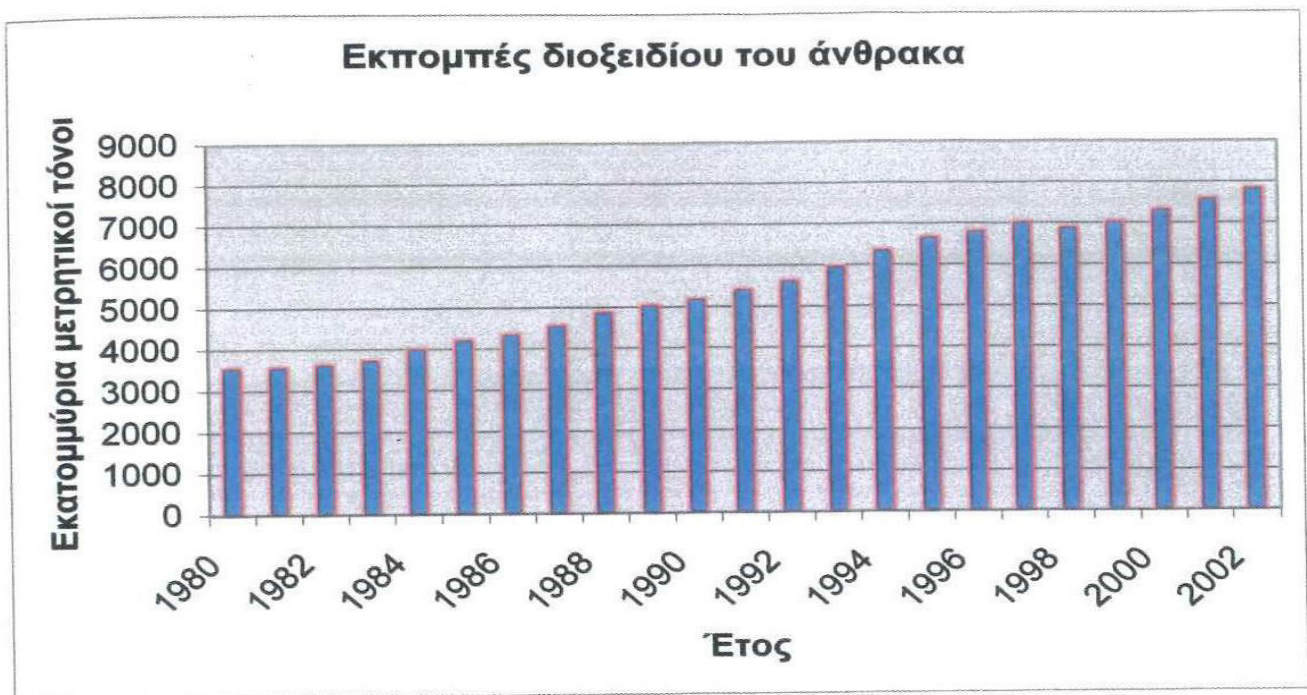
παγκόσμιων αποθεμάτων αργού πετρελαίου) αλλά το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων καταναλώνεται από τις πλούσιες χώρες (σχήματα 1.4 και 1.5). Ειδικότερα, το 2002, το 5% του παγκόσμιου πληθυσμού κατανάλωσε το μισό της παγκόσμιας κατανάλωσης.



Διάγραμμα 1.1: Παγκόσμιος πληθυσμός (πηγή: International Energy Annual 2002, Energy Information Administration)

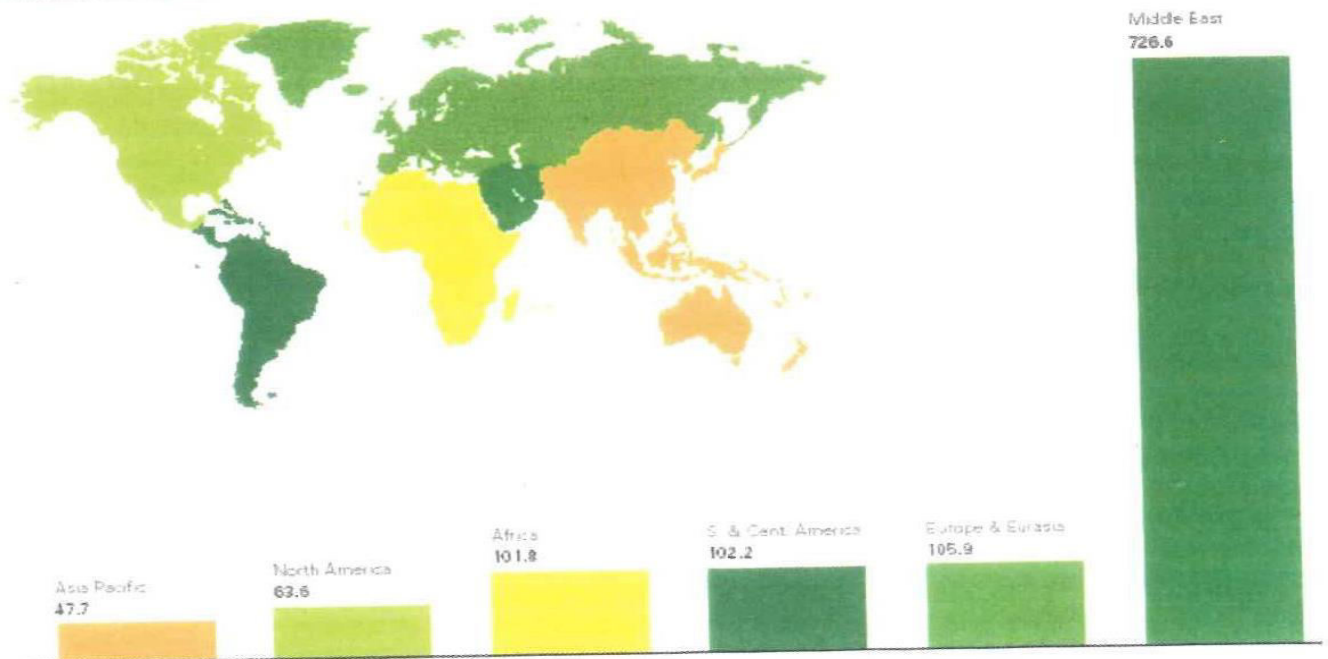


Σχήμα 1.1: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο (πηγή: BP Statistical review of world energy, June 2004)

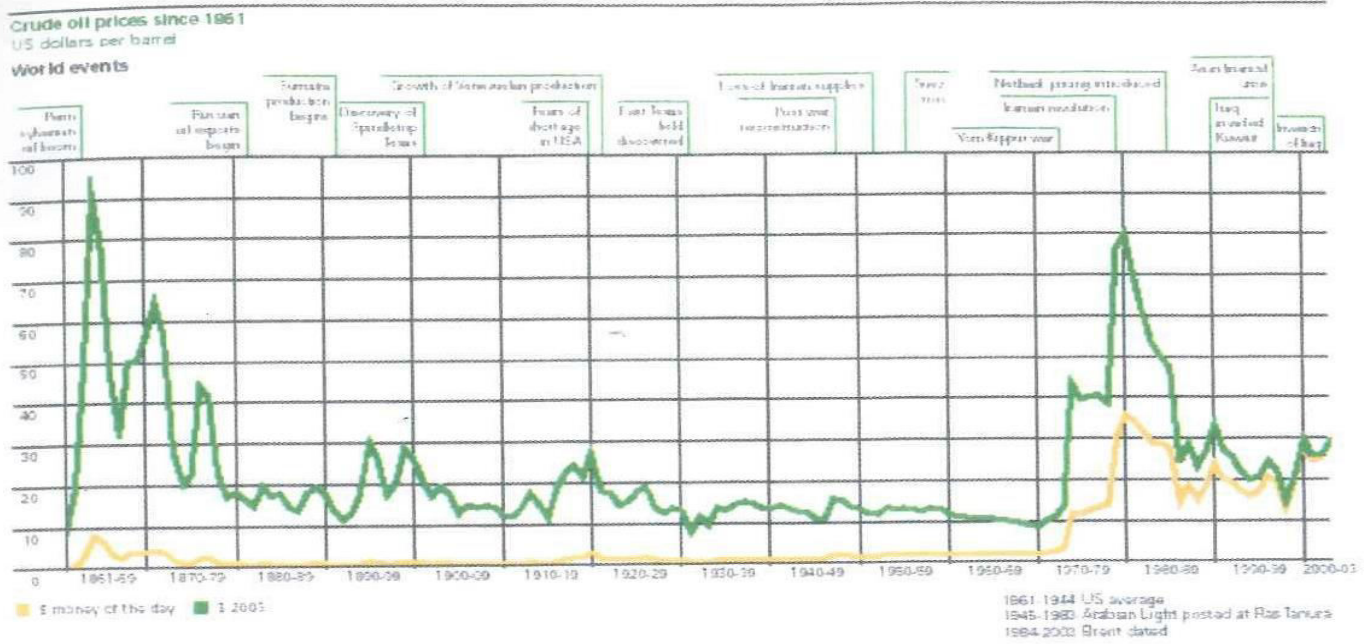


Διάγραμμα 1.2: Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ (πηγή: International Energy Annual 2002, Energy Information Administration)

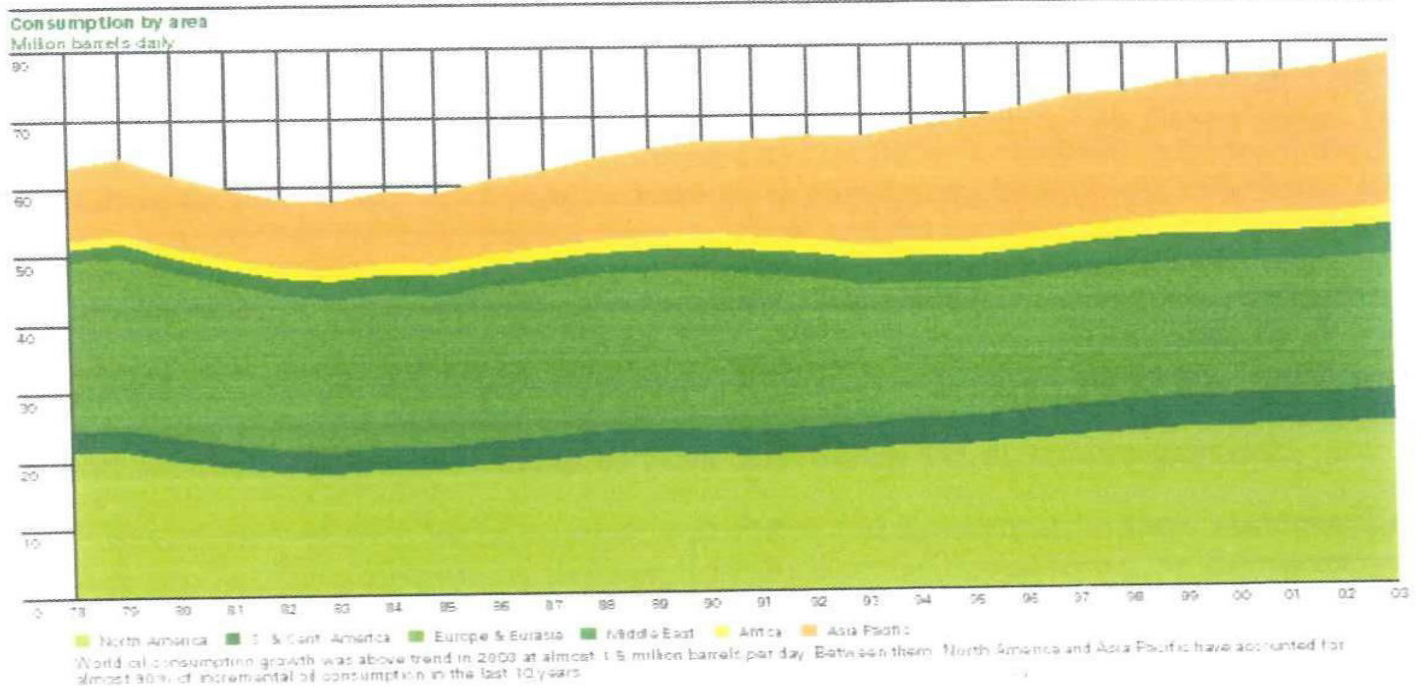
Proved reserves at end 2003
Thousand million barrels



Σχήμα 1.2: Παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου (πηγή: BP Statistical review of world energy, June 2004)

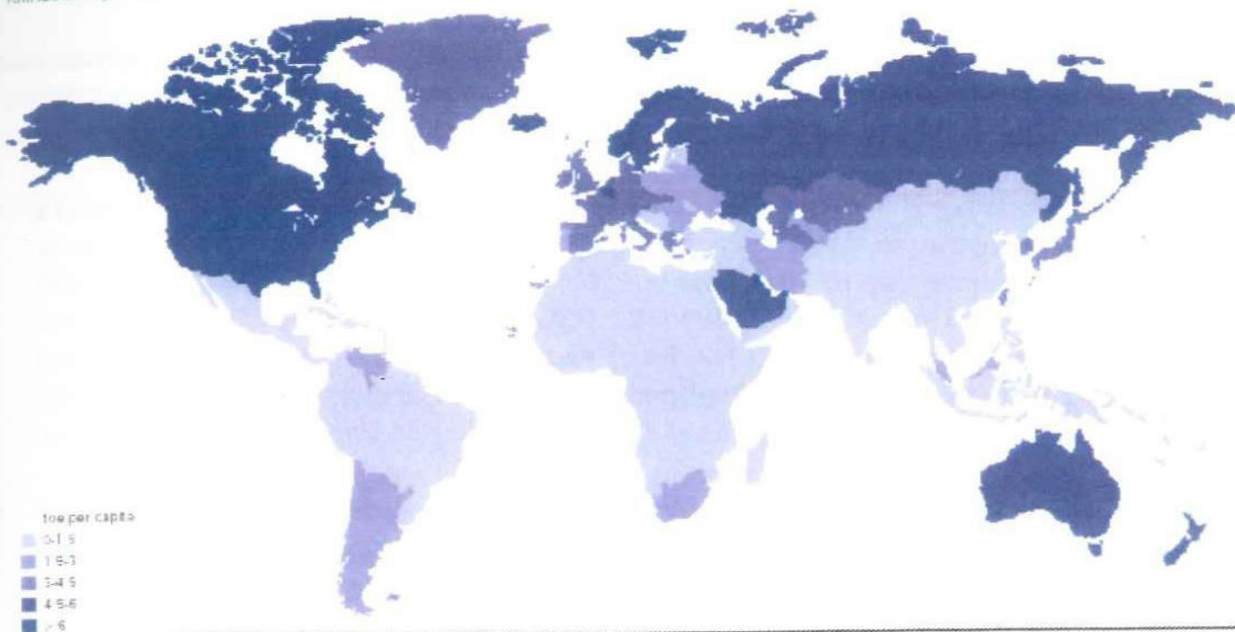


Σχήμα 1.3: Τιμή αργού πετρελαίου (\$/βαρέλι) σε τιμές ημέρας και τιμές 2003.
(πηγή: BP Statistical review of world energy, June 2004)



Σχήμα 1.4: Κατανάλωση πετρελαίου σε εκατομμύρια βαρέλια ανά περιοχή.
(πηγή: BP Statistical review of world energy, June 2004)

Consumption per capita
Tonnes of equivalent



Σχήμα 1.5: Γεωγραφική κατανομή κατανάλωσης ενέργειας σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (πηγή: BP Statistical review of world energy, June 2004)

Ως συνέπεια των παραπάνω προβλημάτων τίθεται επιτακτικά το ερώτημα: Ποιες μπορεί να είναι οι πιθανές και βιώσιμες λύσεις στο τεράστιο αυτό πρόβλημα, του οποίου οι επιπτώσεις άρχισαν ήδη να γίνονται απειλητικές για τον πλανήτη μας;

Ως προσωρινή μόνο και μερική αντιμετώπιση του προβλήματος μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ώστε να γίνει δυνατή η ανακάλυψη και αξιοποίηση νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου σε μεγάλα βάθη και κάτω από την θάλασσα. Μια άλλη λύση θα μπορούσε να είναι η περαιτέρω ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας, αλλά προς το παρόν οι τάσεις της παγκόσμιας αγοράς είναι αντίθετες προς αυτή την κατεύθυνση (από ότι φαίνεται η τραγωδία του Τσερνομπίλ δεν θα ξεχαστεί εύκολα) και όσον αφορά την πυρηνική σύντηξη, αυτή βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο.

Αναμφισβήτητα όμως, δύο είναι οι γενικές κατευθύνσεις που μπορούν να δώσουν τουλάχιστον μερική λύση προκειμένου να τεθεί υπό έλεγχο το περιβαλλοντικό πρόβλημα και να διατηρήσουν περισσότερα αποθέματα ορυκτών καυσίμων για τις επόμενες γενιές:

1. Η ορθολογική χρήση της ενέργειας, δηλαδή η βελτίωση του βαθμού απόδοσης των ενεργειακών μετατροπών, η μείωση των απωλειών θερμότητας, η αντικατάσταση ενεργοβόρων διεργασιών και συσκευών με αντίστοιχες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και γενικότερα η εξοικονόμηση ενέργειας.
2. Η υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ονομάζεται εκείνη η μορφή ενέργειας η οποία δεν εξαντλείται στο απώτερο μέλλον της ανθρωπότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σταθερό και αξιόπιστο τρόπο. Τέτοιες μορφές ενέργειας είναι οι εξής:

- **Ηλιακή ενέργεια:** αποτελεί κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία φτάνοντας στη γη μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας στην ατμόσφαιρα, στη γη και στην θάλασσα. Όλες οι ανανεώσιμες πηγές με εξαίρεση τη γεωθερμία και την παλιρροϊκή ενέργεια αποτελούν έμμεση ηλιακή ενέργεια, δεδομένου ότι ο κύκλος του νερού (υδροηλεκτρική ενέργεια), οι άνεμοι (αιολική ενέργεια), και η ανάπτυξη των φυτών (βιομάζα) οφείλονται στην ηλιακή ακτινοβολία πάνω στη γη. Η αξιοποίησή της θα αναλυθεί εκτενώς στην συνέχεια.
- **Η υδροηλεκτρική ενέργεια** αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πτώση του νερού ποταμών ή λιμνών (φυσικών και τεχνητών) με την βοήθεια υδροστροβίλων. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί κατασκευάζονται σε σημεία με την μεγαλύτερη δυνατή υψομετρική διαφορά από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέχρι τον υδροστρόβιλο. Ακόμη, το αποθηκευμένο νερό χρησιμοποιείται για ύδρευση, άρδευση και πυροπροστασία.
- **Η αιολική ενέργεια** αξιοποιείται με την χρήση ανεμογεννητριών, οι οποίες εκμεταλλεύονται την ταχύτητα του ανέμου για παραγωγή ηλεκτρισμού. Βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξή της είναι η ύπαρξη ισχυρής έντασης και σταθερής διάρκειας ανέμων.
- **Η βιομάζα** περιλαμβάνει όλα τα υλικά που περιέχουν άνθρακα και τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια (βιοενέργεια). Στην βιομάζα περιλαμβάνονται η ξυλεία, τα υπολείμματα ξυλείας και της επεξεργασίας φυτικών καρπών, τα λύματα των πόλεων, τα απορρίμματα και τα στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση με καύση της, ή για παραγωγή αερίων και υγρών καυσίμων με κατάλληλη επεξεργασία.
- **Η γεωθερμική ενέργεια** είναι το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με την μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, περιορίζεται στα πρώτα χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης και μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε. Ανάλογα με την θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού, η γεωθερμία χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, καθώς και σε αγροτικές και άλλες χρήσεις.
- **Η ενέργεια από τα κύματα** αξιοποιείται με ποικίλους μηχανισμούς, επιφανειακούς ή κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σταθερούς ή επιπλέοντες. Τα σταθερά συστήματα χρησιμοποιούν διατάξεις όπου οδηγούν τα κύματα σε κλειστές διατάξεις στις οποίες υπάρχουν αεροστρόβιλοι ή υδροστρόβιλοι και έτσι παράγεται ηλεκτρική ισχύς. Στην περίπτωση των επιπλέοντων συστημάτων, παράγεται ηλεκτρισμός μέσω της αρμονικής κίνησης ενός επιπλέοντος τμήματος του συστήματος.

- Η **παλιρροϊκή ενέργεια** αξιοποιεί την μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας που συμβαίνει δύο φορές ημερησίως και οφείλεται στη βαρυτική επίδραση κυρίως της σελήνης και δευτερευόντως του ήλιου με την γη. Η παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται με την χρήση παλιρροϊκών φραγμάτων, παλιρροϊκών φρακτών και παλιρροϊκών στροβίλων με την βοήθεια υδροστροβίλων.
- Η **θερμική ενέργεια των ωκεανών** αξιοποιεί την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού επιφανειακού νερού κοντά στον ισημερινό ($T \cong 25^{\circ}\text{C}$) και του ψυχρού νερού σε βάθος περίπου 1000 μέτρων ($T = 5^{\circ}\text{C}$), που αγγίζει τους 20°C . Τα συστήματα αξιοποίησης χρησιμοποιούν δευτερεύον υγρό, σε ανοικτό ή κλειστό κύκλο, το οποίο εκμεταλλευόμενο την διαφορά θερμοκρασίας εξατμίζεται, και στην συνέχεια περνάει από αεριοστρόβιλο ή ατμοστρόβιλο για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Η βασική έννοια των ΑΠΕ συνδέεται με τρεις σημαντικούς όρους:

- Της αειφόρου ανάπτυξης
- Της ανανεωσιμότητας
- Της μείωσης της ρύπανσης

Ο όρος της αειφόρου ανάπτυξης περιλαμβάνει σειρά πρακτικών, πολιτικών και τεχνολογιών, με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε βασικές μας ανάγκες με το λιγότερο περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Με άλλα λόγια, η αειφόρος ανάπτυξη προσπαθεί να συνταιριάσει τα οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά δεδομένα και πραγματοποιείται στο βέλτιστο σημείο των παραπάνω δεδομένων.

Ο όρος της ανανεωσιμότητας σχετίζεται με τον όρο της μη εξαντλησιμότητας. Όλες οι ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται ανεξάντλητες, σε αντίθεση με όλα τα ορυκτά καύσιμα (γαιάνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) που είναι εξαντλήσιμα.

Η μείωση της ρύπανσης οφείλεται στο γεγονός ότι οι ΑΠΕ έχουν σχετικά μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον ή πολύ μικρότερες σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, δηλαδή τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Για τον λόγο αυτό ονομάζονται και ήπιες μορφές ενέργειας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

| ΑΠΕ | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|------------------------------|--|---|
| Ηλιακή ενέργεια | Πάντοτε παρούσα Δεν ρυπαίνει | Μικρή απόδοση Υψηλό αρχικό κόστος Πρόβλημα αποθήκευσης Υψηλό κόστος στον καταναλωτή Διαφέρει με την ώρα και την τοποθεσία |
| Υδροηλεκτρική ενέργεια | Υψηλή απόδοση (80%) Ελάχιστη απορριπτόμενη θερμοκρασία Μικρό κόστος ανά KWh Ρυθμίζεται εύκολα | Είδη ψαριών σε κίνδυνο Αποθέσεις/Ιζήματα Αποτυχία φραγμάτων Μεταβολή τοπικού κλίματος |
| Αιολική ενέργεια | Ευέλικτη ακόμα και σε μεμονωμένα σπίτια Έχει σημαντική συνεισφορά σε 'ανεμοδαρμένες' περιοχές | Μεταβλητή λειτουργία Μικρή απόδοση (30%) Οπτική ρύπανση |
| Γεωθερμική | Υψηλή απόδοση Όχι τόσο μεγάλο πάγιο κόστος | Μερικώς ανανεώσιμη Τοπικός πόρος Κάποιες μορφές ρύπανσης |
| Θερμική ενέργεια των ωκεανών | Μεγάλο δυναμικό Μεγάλης κλίμακας | Τεχνολογικά προβλήματα Τεράστιο κόστος Περιβαλλοντικό κόστος; |
| Παλιρροϊκή ενέργεια | Σταθερή πηγή Μπορούν να αξιοποιηθούν ποτάμια συστήματα | Κύκλο μικρού καθήκοντος Αλλαγή της ακτογραμμής Υψηλό κόστος |
| Καύση βιομάζας | Φυσικό προϊόν Και για συμπαραγωγή και για μειωμένη χρήση | Σωματιδιακή ρύπανση Περιορισμός στην μεταφορά Μεγάλη κλίμακα; |

Πίνακας 1.1 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

1.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να καλύψει βασικές ανάγκες του ανθρώπου όπως φωτισμό, θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυριότερες τεχνολογίες για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι οι εξής:

- Παθητικά συστήματα θέρμανσης δροσισμού.
- Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα
- Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι
- Φωτοκαταλυτικές μέθοδοι

1.3.1 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα αναφορικά με την θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Χρησιμοποιούν το ίδιο το κτίριο (υλικά, σχεδιασμός) σε συνδυασμό με την ηλιακή ενέργεια ως ένα σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας. Ορισμένες αρχές των ηλιακών συστημάτων ήταν ήδη γνωστές από την αρχαιότητα σε πολλούς λαούς και χρησιμοποιούνταν για αιώνες, η αστικοποίηση όμως και η έλλειψη γης ανέκοψαν την εφαρμογή τους.

Οι βασικές κατηγορίες των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι εξής:

- Άμεσου ηλιακού κέρδους, όπως τα νότια ανοίγματα, θερμοκήπια (σχήμα 1.1).
- Έμμεσου ηλιακού κέρδους, όπως ηλιακό αίθριο, τοίχοι Trombe
- Συστήματα δροσισμού, όπως τα σκίαστρα, η ηλιακή καμινάδα, η υδάτινη οροφή και συστήματα αερισμού.



Σχήμα 1.1: Παθητικό ηλιακό σύστημα

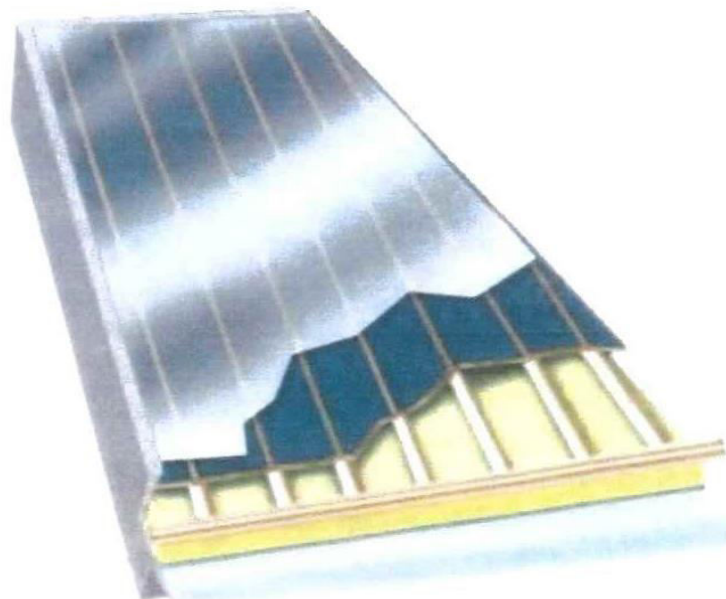
1.3.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε θερμότητα (και ακολούθως σε χρήσιμο έργο) με τη βοήθεια διαφόρων τύπων συλλεκτών. Η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές:

- Παραγωγή θερμού νερού
- Θέρμανση χώρων-τηλεθέρμανση, θέρμανση κολυμβητηρίων
- Χρήση στη χημική βιομηχανία
- Χρήση σε αγροτικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση δημητριακών)
- Αφαλάτωση νερού
- Μαγείρεμα
- Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

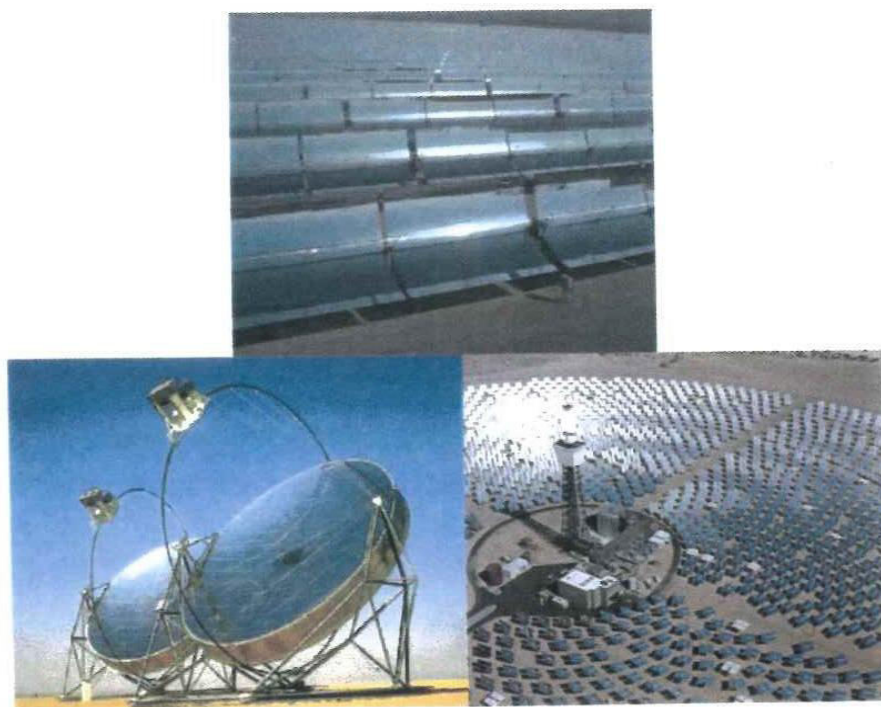
Η παραγωγή θερμότητας γίνεται με χρήση ηλιακών συλλεκτών. Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από απορροφητικές πλάκες, οι οποίες περιέχουν αγωγούς από τους οποίους διέρχεται το προς θέρμανση ρευστό. Ειδικότερα, στην περίπτωση του ηλιακού θερμοσίφωνα (σχήμα 1.2), το σύστημα αποτελείται από μία επίπεδη μεταλλική πλάκα, σύστημα αγωγών νερού και δοχείο αποθήκευσης θερμού νερού.

Η απορροφητική πλάκα περιέχεται σε ένα αεροστεγές και αδιάβροχο πλαίσιο, καλυμμένο από την μεριά του ήλιου με γυαλί ή διάφανο ανθεκτικό πλαστικό και από την άλλη με θερμομονωτικό υλικό. Προκειμένου να απορροφά το μέγιστο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι μαύρη και ματ. Το σύστημα αγωγών νερού βρίσκεται μεταξύ του εξωτερικού πλαισίου και της απορροφητικής επιφάνειας σε ποικίλα σχήματα. Το νερό θερμαίνεται σύμφωνα με τους μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας, δηλαδή αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Τέλος, το δοχείο αποθήκευσης νερού μπορεί να βρίσκεται ψηλότερα από τον συλλέκτη, οπότε το νερό κυκλοφορεί με φυσική συναγωγή ή χαμηλότερα από τον συλλέκτη, οπότε το νερό κυκλοφορεί με την βοήθεια αντλίας.



Σχήμα 1.2: Συλλέκτης ηλιακού θερμοσίφωνα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από θερμότητα γίνεται με την χρήση ειδικών συστημάτων γνωστών ως ηλιακών θερμικών ηλεκτρικών συστημάτων. Τα συστήματα αυτά, γνωστά και ως συστήματα υψηλών θερμοκρασιών, εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία με την βοήθεια κατόπτρων και φακών σε έναν δέκτη, από τον οποίο διέρχεται ρευστό, το οποίο θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία. Το ρευστό αυτό, είτε περνάει από εναλλάκτη θερμότητας όπου παράγει υπέρθερμο ατμό, ο οποίος παράγει ηλεκτρισμό περνώντας από σύστημα ατμοστροβίλου-γεννήτριας, είτε παράγει ηλεκτρισμό με την βοήθεια κατάλληλης θερμικής μηχανής Stirling ή Brayton. Τα κυριότερα θερμικά ηλιακά συστήματα είναι οι συλλέκτες παραβολικής σκάφης, οι συλλέκτες παραβολικού πιάτου και οι κεντρικοί πύργοι (Σχήμα 1.3). Για την διασφάλιση της αξιοπιστίας των συστημάτων αυτών απαιτείται βοηθητική πηγή ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και κυρίως αποθήκευση της ενέργειας.



Σχήμα 1.3: Συλλέκτες παραβολικής σκάφης, παραβολικού πιάτου και κεντρικός πύργος

Όταν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες θερμού νερού υπάρχουν και άλλα συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως είναι οι λεγόμενες ηλιακές λίμνες (όπου δεν υπάρχει σύστημα εστίασης), οι οποίες διακρίνονται στις λίμνες με άλατα και στις λίμνες με μεμβράνες. Στις ηλιακές λίμνες με άλατα υπάρχει έντονη στρωμάτωση του νερού, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης του άλατος (NaCl , MgCl_2 κ.α.) και η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία παγιδεύεται στα κατώτερα και πυκνότερα στρώματα της λίμνης. Συνήθως ο πυθμένας της λίμνης καλύπτεται από μέλαν απορροφητικό υλικό για μεγιστοποίηση της απορρόφησης της ακτινοβολίας και μείωση της πιθανότητας ρύπανσης του εδάφους. Η θερμότητα των κατώτερων στρωμάτων απομακρύνεται με εναλλάκτη για παραγωγή θερμού νερού ή ατμού, ο οποίος μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό περνώντας από σύστημα ατμοστροβίλου-γεννήτριας.

Τέλος, υπάρχει μια νέα διάταξη στα ηλιακά θερμικά ηλεκτρικά συστήματα, που ονομάζεται ηλιακός πύργος ή ηλιακή καμινάδα (σχήμα 1.4). Ο ηλιακός πύργος αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: το θερμοκήπιο, την καμινάδα και τις ανεμογεννήτριες. Η βασική αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην άνοση θερμού αέρα σε ένα χαμηλού ύψους και μεγάλων διαστάσεων κυκλικό και επικλινές θερμοκήπιο που είναι ανοιχτό στην περιφέρειά του και αποτελεί τον συλλέκτη θερμού αέρα. Ο θερμός αέρας ανεβαίνει προς το κέντρο του θερμοκηπίου, όπου υπάρχει μια υψηλή κατακόρυφη καμινάδα με άφθονα σημεία εισαγωγής αέρα στην βάση της. Η ενέργεια που εσωκλείει ο θερμός αέρας μετατρέπεται σε μηχανική με χρήση ανεμοστρόβιλων διαβάθμισης πίεσης στη βάση της καμινάδας, και στη συνέχεια σε ηλεκτρική με χρήση συμβατικών γεννητριών. Η διάταξη αυτή, όπως και η ηλιακή λίμνη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εικοσιτετράωρη βάση με την τοποθέτηση στεγανών σωλήνων νερού μέσα στο θερμοκήπιο, όπου το νερό θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και ακτινοβολεί την θερμότητά του μέσα στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 1.4: Ηλιακός πύργος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, όπως προκύπτει και από την ετυμολογία της λέξης φωτο (φως, ηλιακή ενέργεια) και βολταϊκό (τάση-ρεύμα, ηλεκτρική ενέργεια), μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν φώτιζε ορισμένα χημικά διαλύματα.

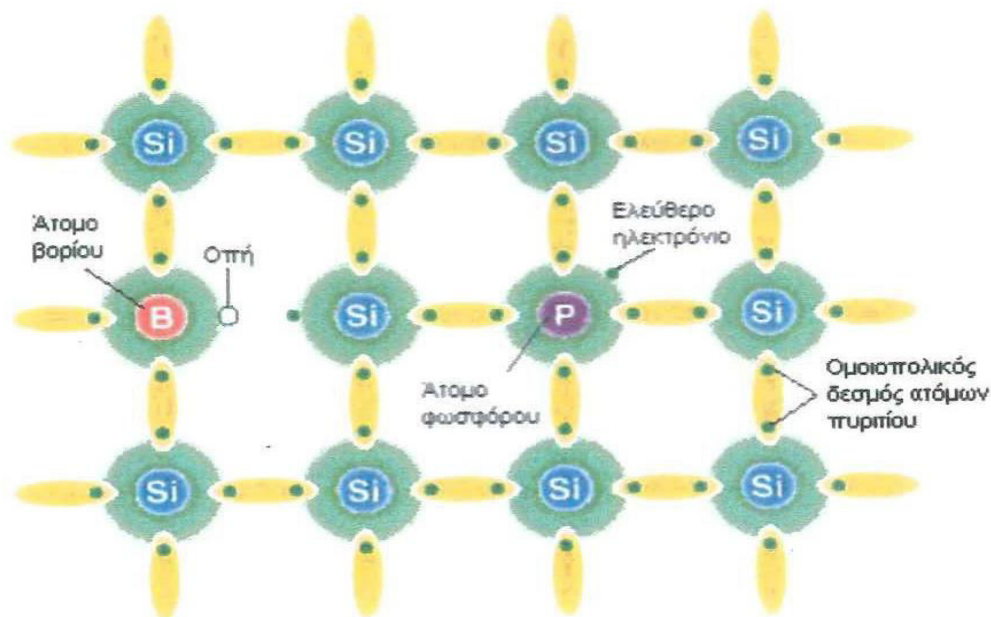
Από τότε, χρειάστηκε να περάσει ένας αιώνας για την κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού στοιχείου, ενώ στα τέλη της δεκαετίας του 1950 άρχισε η πρακτική εφαρμογή τους στους δορυφόρους. Στην συνέχεια η ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας υπήρξε ραγδαία, με χρήση διαφόρων υλικών σε ποικίλες εφαρμογές.

2.2 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο ή περισσότερες στοιβάδες ημιαγώγιμων υλικών, συνήθως πυριτίου, στις οποίες προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να θεωρηθεί ως σύνολο διακριτών ενεργειακών μονάδων, γνωστών ως φωτόνια. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν σε ένα στοιχείο, μπορούν να ανακλαστούν, να απορροφηθούν ή να διαπεράσουν το στοιχείο. Από τα παραπάνω, μόνο τα απορροφημένα φωτόνια δημιουργούν ιοντικά ζεύγη παράγοντας ηλεκτρισμό.

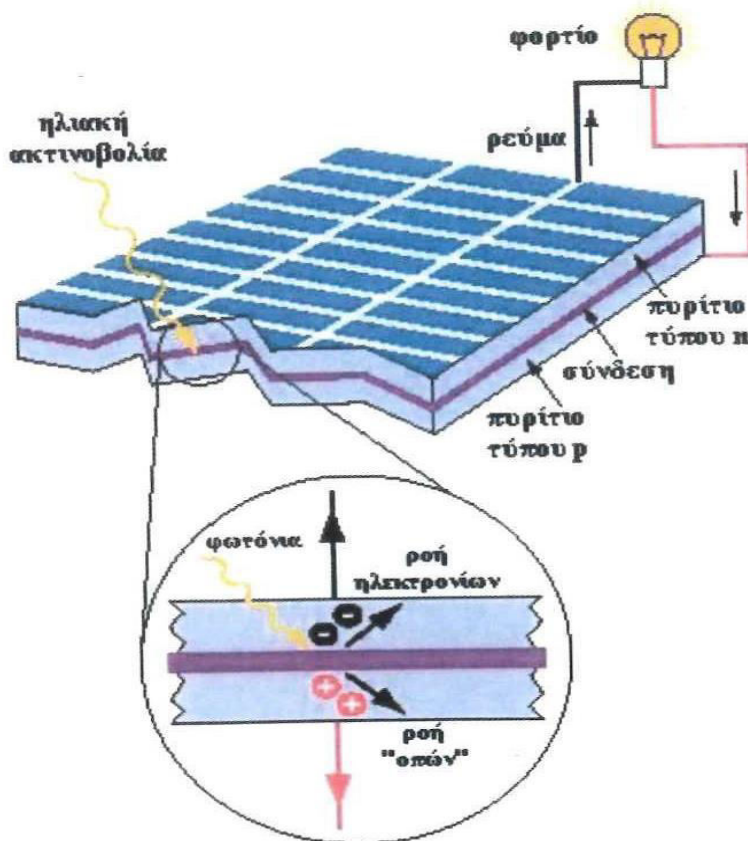
Ειδικότερα, στην περίπτωση ενός ατόμου μονοκρυσταλλικού πυριτίου, κατά την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, το άτομο πυριτίου απορροφά ένα φωτόνιο και αν η ενέργειά του είναι αρκετά ισχυρή, απελευθερώνεται ένα ηλεκτρόνιο από την εξωτερική στοιβάδα του ατόμου του πυριτίου, δημιουργώντας στην θέση του μία οπή. Έτσι, με την διαδικασία αυτή δημιουργούνται τα ιοντικά ζεύγη οπών-ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Αυτά τα ζεύγη συνήθως εξαφανίζονται κατά τρόπο αυθόρμητο, καθώς τα ελεύθερα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται με τις οπές. Η διαδικασία επανασύνδεσης μπορεί να μειωθεί κατασκευάζοντας μέσα στην κρυσταλλική δομή ένα φράγμα, μια λεπτή στοιβάδα, κατά μήκος της οποίας υπάρχει στατικό φορτίο. Αυτή η στοιβάδα κατασκευάζεται με πρόσμιξη του πυριτίου από την μία πλευρά της στοιβάδας με άτομα βορίου (της τάξης του ενός τμήματος στο εκατομμύριο) για την δημιουργία πυριτίου τύπου p (p-silicon), το οποίο έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων στην εξωτερική του στοιβάδα. Από την άλλη πλευρά της στοιβάδας, γίνεται πρόσμιξη του πυριτίου με φώσφορο, δημιουργώντας πυρίτιο τύπου n (n-silicon), το οποίο έχει πληθώρα ηλεκτρονίων στην εξωτερική του στοιβάδα.



Σχήμα 2.1: Στοιβάδα δημιουργίας πυριτίου τύπου p και τύπου n

Η στοιβάδα αποτρέπει την ελεύθερη μετακίνηση των ηλεκτρονίων, οδηγώντας σε μια συσσώρευση ηλεκτρονίων στην n-silicon στοιβάδα και ένα έλλειμμα ηλεκτρονίων στην p-silicon. Αν αυτές οι στοιβάδες συνδεθούν με εξωτερικό κύκλωμα, τότε δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού και τα ηλεκτρόνια θα αρχίσουν να ρέουν διαμέσου του κυκλώματος παράγοντας συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



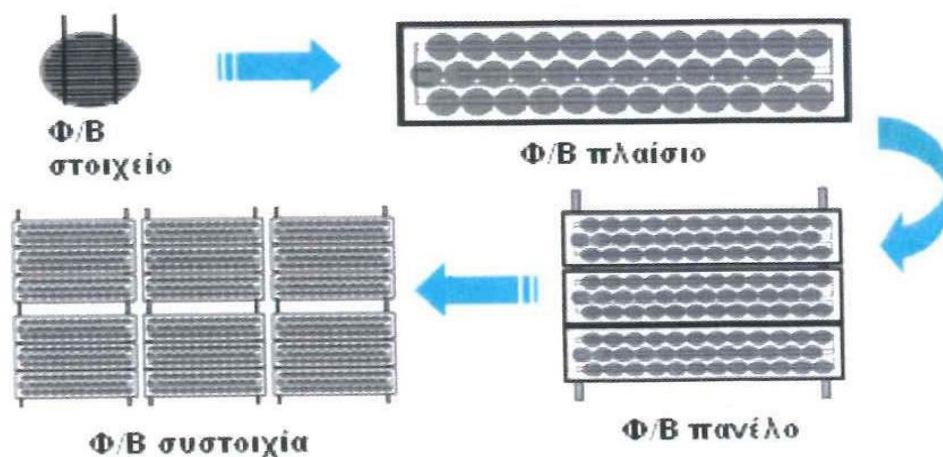
Σχήμα 2.2: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε ένα ηλιακό στοιχείο

2.3 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια αποτελεί μια ολοκληρωμένη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, που παράγει συνεχές ρεύμα και αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή φωτοβολταϊκές κυψέλες, είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, οι οποίες παράγουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα κατά την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας και αποτελούν την μικρότερη δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Συνδέονται παράλληλα ή και σε σειρά, προκειμένου να δημιουργήσουν ηλεκτρικά κυκλώματα που παράγουν υψηλότερες τιμές τάσης, ρεύματος και ηλεκτρικής ισχύος. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται με λεπτές συνδέσεις στην μπροστινή τους όψη του, που φαίνεται σαν μεταλλικό δίκτυο. Η μεταλλική σύνδεση πρέπει να είναι όσο λεπτότερη γίνεται προκειμένου να εξασφαλιστεί ανεμπόδιστη ροή φωτονίων στα στοιχεία.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία σφραγίζονται σε μορφή σάντουιτς από την πίσω όψη με ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο ή ενισχυμένο πλαστικό (τέντλαρ) και από την μπροστινή όψη με προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα συγκρατεί τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μεταξύ τους και τα στεγανοποιεί. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν το βασικό δομικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών συστημάτων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά και πωλούνται στο εμπόριο.



Σχήμα 2.3: Τμήματα φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Το φωτοβολταϊκό πανέλο αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Τέλος, οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες αποτελούν την ολοκληρωμένη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία αποτελείται από σειρά πλαισίων και πανέλων, διασυνδεδεμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει η επιθυμητή τάση εξόδου.

2.4 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η τεχνολογία παραγωγής φωτοβολταϊκών βασίζεται σε τρεις παραμέτρους:

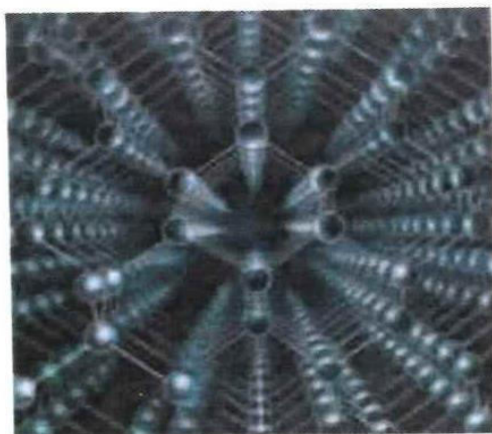
- Τον ημιαγωγό όπου απορροφά το φως και το μετατρέπει σε ιοντικά ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών.
- Την στοιβάδα που διαχωρίζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια με τις οπές
- Τις ηλεκτρικές συνδέσεις στο μπρος και πίσω μέρος του στοιχείου για την ροή ρεύματος σε εξωτερικό κύκλωμα.

Οι δύο κύριες κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων διαχωρίζονται ανάλογα με την επιλογή του ημιαγωγίμου υλικού σε **στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου**, με την μορφή δίσκων, και σε **στοιχεία λεπτής μεμβράνης** άλλων υλικών.

2.4.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου κατέχουν σήμερα το 88% της παγκόσμιας αγοράς. Το κρυσταλλικό πυρίτιο, παρά το γεγονός ότι οι ιδιότητες του σε σχέση με άλλους ημιαγωγούς δεν είναι ιδανικές, έχει κυριαρχήσει ως υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων για τους παρακάτω λόγους:

- Βρίσκεται εύκολα σε μεγάλες ποσότητες υπό μορφή διοξειδίου του πυριτίου (άμμος), που αποτελεί το 1/3 του φλοιού της γης.
- Δεν είναι δηλητηριώδες, είναι ανακυκλώσιμο και δεν παράγει επικίνδυνα απόβλητα κατά την παραγωγή του, αλλά απαιτεί σημαντικά ποσά ενέργειας κατά την παραγωγή του και έτσι θεωρείται εν μέρει φιλικό προς το περιβάλλον.
- Οι ιδιότητές του είναι καλά μελετημένες και με την εφαρμογή δοκιμασμένων επί χρόνια μεθόδων αποκτά ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής.
- Λειτουργεί με απόλυτα ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες, τόσο σε επίγειες όσο και σε διαστημικές εφαρμογές.



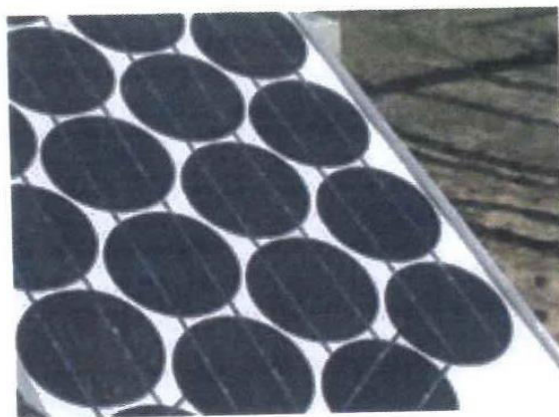
Σχήμα 2.4: Ατομική δομή πυριτίου

Το καθαρό πυρίτιο παράγεται με αναγωγή διοξειδίου του πυριτίου σε κατάλληλους φούρνους, στους 1800°C. Το παραγόμενο υλικό είναι καθαρότητας 98-99%. Ως αναγωγικό μέσο χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια άνθρακα σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου, με την μορφή δίσκων διακρίνονται σε δίσκους μονοκρυσταλλικού πυριτίου και δίσκους πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Οι δίσκοι από ενιαίο κρύσταλλο πυριτίου (single crystal wafers) παρασκευάζονται με τεμαχισμό κυλίνδρου πυριτίου, που δημιουργείται με κρυστάλλωση στους 1400°C και έχουν πάχος περίπου 1/2 με 1/3 mm. Η μέθοδος παρασκευής θεωρείται σχετικά δαπανηρή και το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και με πολύ καλή κρυσταλλική δομή. Η θεωρητική απόδοσή τους φτάνει το 24%, ενώ τα στοιχεία που κυκλοφορούν στο εμπόριο έχουν απόδοση έως 17%.



Σχήμα 2.5: Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Οι δίσκοι από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (polycrystalline wafers) παράγονται από τεμαχισμό κυλίνδρου πυριτίου, που δημιουργείται με χύτευση. Αυτή η μέθοδος είναι φθηνότερη από την προηγούμενη, αλλά η θεωρητική απόδοσή των στοιχείων είναι μικρότερη από 20%, λόγω της ατέλειας της κρυσταλλικής δομής ως αποτέλεσμα της χύτευσης. Τα στοιχεία που κυκλοφορούν στο εμπόριο έχουν απόδοση έως 15%. Και στις δύο παραπάνω μεθόδους, πάνω από το μισό σχεδόν πυρίτιο χάνεται κατά τον τεμαχισμό.

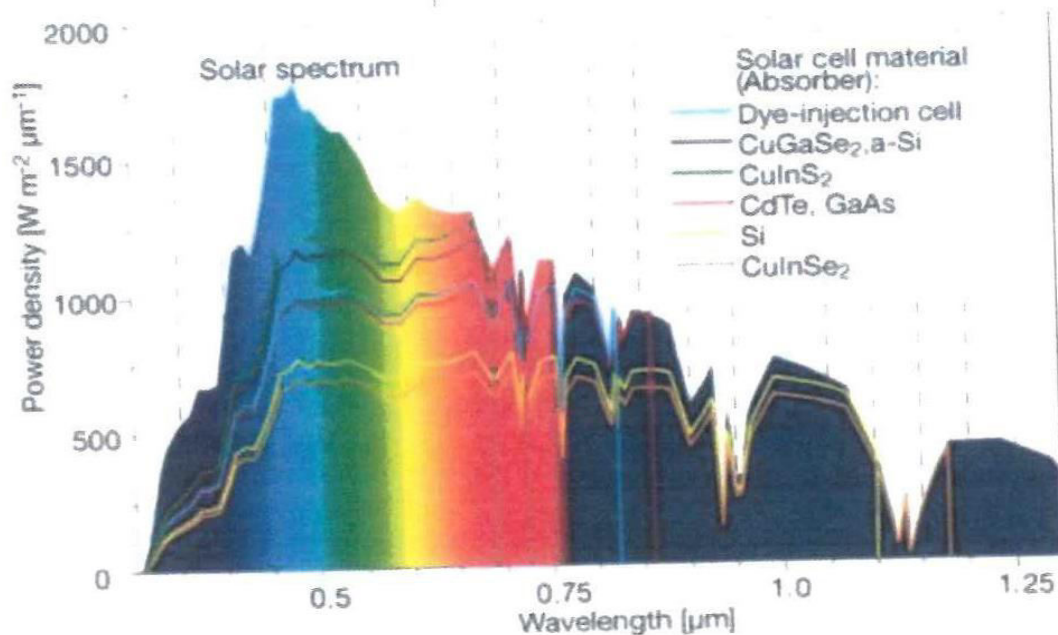


Σχήμα 2.6: Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Κάποιες εταιρείες κατασκευής φωτοβολταϊκών, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τα μειονεκτήματα της ατέλειας της κρυσταλλικής δομής και του τεμαχισμού κυλίνδρου πυριτίου, δημιούργησαν νέες μεθόδους παραγωγής στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου. Μια νέα μέθοδος είναι η παραγωγή λωρίδων πυριτίου με την μορφή οκταγωνικών κολώνων από την τήξη του πυριτίου και ο τεμαχισμός τους με χρήση λέιζερ προς σχηματισμό λεπτών επίπεδων οκταγωνικών στοιχείων.

2.4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΠΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

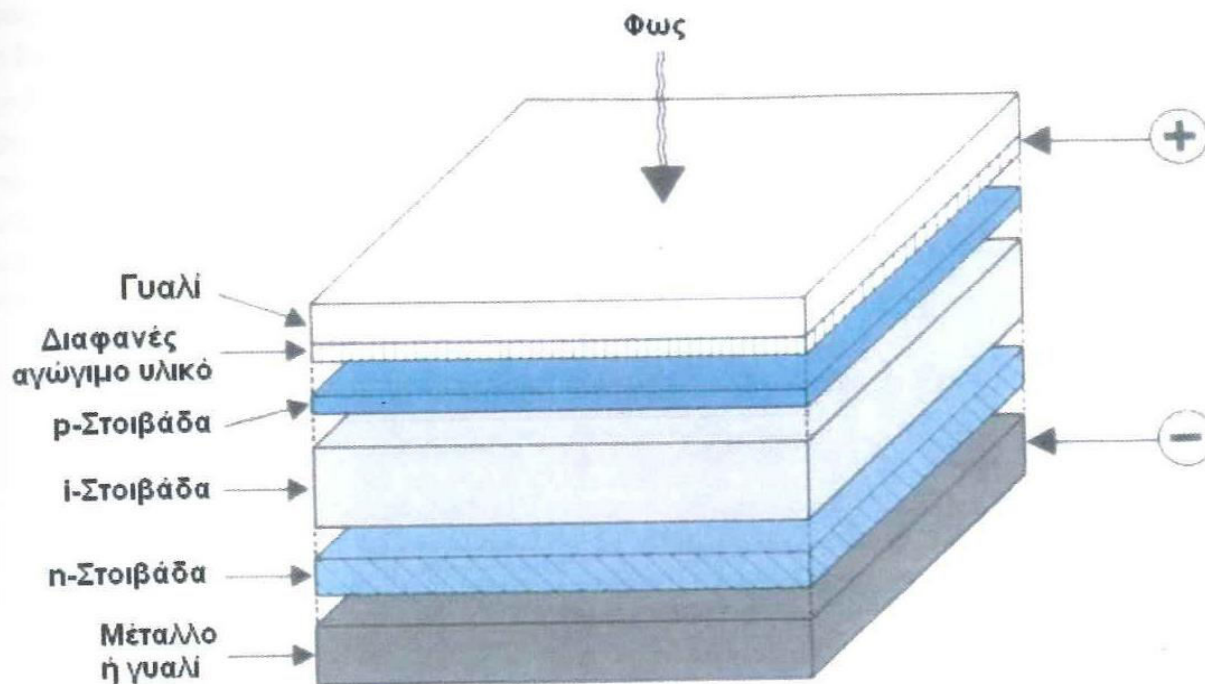
Το υψηλό κόστος παραγωγής δίσκων κρυσταλλικού πυριτίου (κατέχουν περίπου το 40%-50% του κόστους κατασκευής ενός ολοκληρωμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου), οδήγησε την βιομηχανία στην αναζήτηση φθηνότερων υλικών για την παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν υψηλή απορροφητικότητα (σχήμα 2.7) και είναι πάχους 1 μm , σε αντίθεση με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου με πάχος εκατοντάδες μικρά (μm) και έτσι το κόστος των υλικών μειώνεται σημαντικά.



Σχήμα 2.7: Απορρόφηση φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με τον τύπο του φωτοβολταϊκού στοιχείου

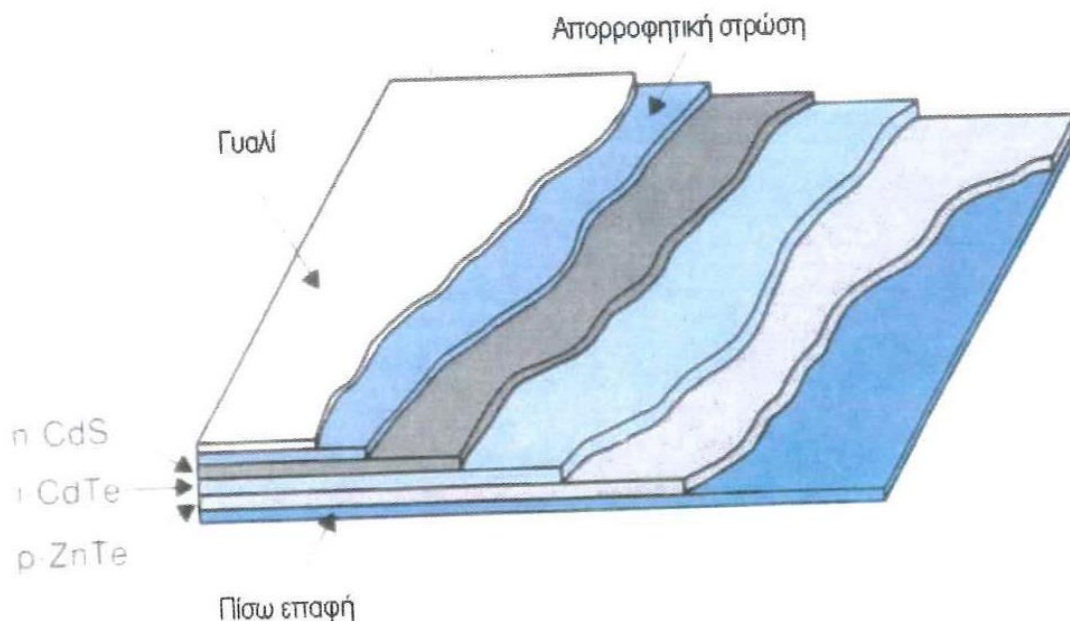
Τα στοιχεία λεπτής μεμβράνης, που κατέχουν το 12% της παγκόσμιας αγοράς, διακρίνονται σε στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si), καδμίου-τελλουρίου (CdTe), γαλλίου-αρσενικού (GaAs) και δισεληνίου χαλκού-ινδίου (CIS). Τα παραπάνω υλικά εναποτίθενται σε μεγάλες επιφάνειες με χρήση κατάλληλων αερίων σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι στρώσεις ημιαγωγικών υλικών προκύπτουν με εναπόθεση είτε σε επικαλυμμένο γυαλί είτε σε φύλλα ανοξείδωτου μετάλλου.

Οι συνδέσεις των ημιαγωγών στα στοιχεία λεπτής μεμβράνης αποτελούνται από τρεις στοιβάδες, τις p,i,n, σε αντίθεση με το κρυσταλλικό πυρίτιο που αποτελούνταν από δύο στοιβάδες (p,n), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8: Τυπική μορφή φωτοβολταϊκού στοιχείου λεπτής μεμβράνης.

Στην περίπτωση αυτή, η p-στοιβάδα είναι πολύ λεπτή και επιτρέπει σχεδόν σε όλο το φως να περάσει στην i-στοιβάδα. Στην στοιβάδα αυτή γίνεται η δημιουργία ιοντικών ζευγών οπών ηλεκτρονίων, ενώ οι στοιβάδες p και n συμβάλλουν στην δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου καθ' όλο το μήκος της μεσαίας στοιβάδας. Εκτός από το άμορφο πυρίτιο όπου υπάρχει ομογενής σύνδεση, αφού όλες οι στοιβάδες αποτελούνται από το ίδιο υλικό, οι υπόλοιπες τεχνολογίες είναι ετερογενούς σύνδεσης (σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9: Τυπική μορφή φωτοβολταϊκού στοιχείου ετερογενούς σύνδεσης (CdTe)

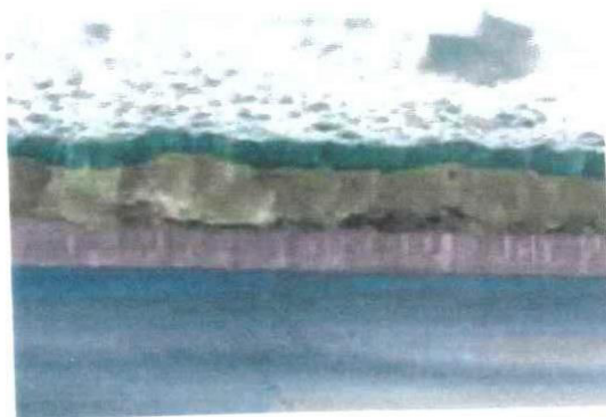
Το άμορφο πυρίτιο (amorphous silicon) δημιουργείται από την εναπόθεση πυριτίου σε υπόστρωμα γυαλιού ή ακόμη και πλαστικού από ένα αντιδρών αέριο, όπως είναι το σιλάνιο (SiH_4). Είναι η ευρύτερη εφαρμοζόμενη μέθοδος σήμερα, με θεωρητική απόδοση περίπου 13%, ενώ τα στοιχεία που κυκλοφορούν στο εμπόριο έχουν απόδοση έως 8%. Τα στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν σημαντική πτώση της ισχύος τους όταν εκτίθενται στον ήλιο (περίπου 30%), λόγω του φαινομένου Staebler-Wronski. Για βελτίωση της σταθερότητας απαιτείται η χρήση λεπτότερων στρώσεων, πράγμα όμως που μειώνει την απορρόφηση των στοιχείων και την απόδοσή τους. Έτσι, οι κατασκευαστές παράγουν μέχρι και τρία στοιχεία κολλημένα στην σειρά, προκειμένου να έχουν αυξημένη απόδοση.



Σχήμα 2.10: Άμορφο πυρίτιο

Το τελλουριούχο κάδμιο (Cadmium telluride ή $CdTe$) δημιουργείται με ηλεκτρική εναπόθεση ή βομβαρδισμό ατόμων καδμίου-τελλουρίου σε υψηλές θερμοκρασίες σε κατάλληλο υπόστρωμα. Το μειονέκτημα της διαδικασίας παραγωγής είναι η χρήση δηλητηριωδών ουσιών. Η απόδοση των στοιχείων στα εργαστήρια έχει φτάσει το 16%, ενώ τα στοιχεία που κυκλοφορούν στο εμπόριο έχουν απόδοση έως 8%.

Το δισεληνίο χαλκού-ινδίου (Copper-indium-diselenide ή $CuInSe_2$, ή CIS) δημιουργείται με ποικίλους τρόπους όπως εξάτμιση, ψεκασμό, ηλεκτρική εναπόθεση ή βομβαρδισμό ατόμων χαλκού, ινδίου και σεληνίου σε κατάλληλο υπόστρωμα. Η απόδοση των στοιχείων φτάνει το 17%.



Σχήμα 2.11: Φωτοβολταϊκό στοιχείο δισεληνίου χαλκού-ινδίου (CIS)

Το Αρσενικούχο γάλλιο (Gallium arsenide ή GaAs) χρησιμοποιείται για παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων υψηλής απόδοσης. Τα στοιχεία γαλλίου-αρσενικού δημιουργούνται από την εναπόθεση ατόμων γαλλίου και αρσενικού που βρίσκονται σε αέρια φάση, σε θερμαινόμενο υπόστρωμα. Χρησιμοποιείται συχνά σε συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά συστήματα και σε διαστημικές εφαρμογές. Η απόδοσή τους φτάνει το 25% και το 28% σε συγκεντρωτικά συστήματα. Ειδικοί τύποι έχουν απόδοση μεγαλύτερη από 30%.

Στην συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τα χαρακτηριστικά των κυριότερων υλικών. Τα υλικά EFG και APEX είναι μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά υλικά πυριτίου αντίστοιχα, τα οποία παράγονται χωρίς τεμαχισμό.

| Υλικό | μερίδιο αγοράς % | Απόδοση πλαισίου % | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα | Προοπτικές |
|--------------------------------|------------------|--------------------|---|--|--|
| Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο | 42 | έως 13% | Το καλύτερα μελετημένο υλικό ηλιακών στοιχείων | Μεγάλη διαδικασία παραγωγής, απαιτείται τεμαχισμός κυλίνδρου πυριτίου | Τα επόμενα χρόνια θα κυριαρχήσει στην αγορά και κυρίως εκεί που υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια |
| Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο | 42 | έως 13% | Ταχύτερη διαδικασία παραγωγής | Μεγαλύτερη διαδικασία παραγωγής σε σχέση με τις τεχνολογίες λεπτής στοιβάδας, απαιτείται τεμαχισμός κυλίνδρου πυριτίου | Η πιο σημαντική παραγωγική διαδικασία τουλάχιστον για τα επόμενα 10 χρόνια |
| Άμορφο πυρίτιο | 12 | έως 6% | Δεν απαιτείται τεμαχισμός, πιθανή παραγωγή με την μορφή ταινίας | Μικρότερη απόδοση, χαμηλότερη διάρκεια ζωής | Το πιο πολλά υποσχόμενο υλικό εάν αυξηθεί η μακροχρόνια αξιοπιστία του |
| EFG | 2,9 | έως 13% | Πολύ ταχεία ανάπτυξη κρυστάλλου, δεν απαιτείται τεμαχισμός | Περιορισμένη χρήση της παραγωγικής διαδικασίας | Σημαντική πτώση του κόστους παραγωγής πιθανή στο μέλλον |
| ApeX | <1 | έως 9% | Δεν απαιτείται τεμαχισμός, πιθανή παραγωγή με την μορφή ταινίας | Παράγεται προς το παρόν μόνο από έναν παραγωγό | Υποσχόμενο υλικό. Σημαντική πτώση του κόστους παραγωγής πιθανή στο μέλλον |
| Cadmium Telluride (CdTe) | <1 | έως 10% | | Δηλητηριώδεις πρώτες ύλες | Σημαντική πτώση του κόστους παραγωγής πιθανή στο μέλλον |
| Copper-Indium-Diselenide (CIS) | <1 | έως 10% | | Περιορισμένα αποθέματα Ινιδίου στην φύση | Σημαντική πτώση του κόστους παραγωγής πιθανή στο μέλλον |

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά κυριότερων φωτοβολταϊκών υλικών
(Πηγή: www.pvresources.com)

2.4.3 ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συνήθως λειτουργούν πιο αποδοτικά υπό συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου με την χρήση κατόπτρων και καθρεφτών η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε ειδικά σχεδιασμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στα συστήματα αυτά είναι η απαραίτητη η χρήση ενεργητικών συστημάτων ψύξης προκειμένου να απάγουν την συσσωρευμένη θερμότητα στα στοιχεία. Αντίθετα με τα κοινά φωτοβολταϊκά συστήματα, τα συγκεντρωτικά συστήματα απαιτούν άμεση ηλιακή ακτινοβολία και δεν λειτουργούν υπό νεφελώδη ουρανό. Τα συστήματα ακολουθούν την πορεία του ήλιου με χρήση παραβολικών συλλεκτών.

Χρωματισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να παραχθούν σε ποικιλία χρωμάτων προκειμένου να καλύψουν συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές απαιτήσεις (σχήμα 2.12). Η παραγωγή τους γίνεται κατόπιν ειδικής παραγγελίας. Δεδομένου ότι η παραγωγή τους έχει ειδικές απαιτήσεις, το κόστος τους είναι περίπου διπλάσιο έως τριπλάσιο του κόστους των απλών στοιχείων, ενώ η απόδοσή τους μειώνεται περίπου κατά 20%.



Σχήμα 2.12: Χρωματισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία

Ηλεκτροχημικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα ηλεκτροχημικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, σε αντίθεση με τα κρυσταλλικά στοιχεία και τα στοιχεία λεπτής μεμβράνης έχουν το ενεργό τους συστατικό σε υγρή μορφή. Χρησιμοποιούν έναν χρωματισμένο διάλυμα (dye sensitizer), το οποίο ευαισθητοποιείται με την απορρόφηση φωτός και δημιουργεί ιοντικά ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων σε μια ημιαγώγιμη στοιβάδα νανοκρυσταλλικού διοξειδίου του τιτανίου. Τα στοιχεία είναι κατασκευασμένα σε μορφή σάντουιτς μεταξύ γυάλινου φύλλου οξειδίου του κασσιτέρου, που αποτελεί την μπροστινή όψη, και μιας στρώσης άνθρακα επικαλυμμένης με γυαλί ή λεπτό μεταλλικό έλασμα, που αποτελεί την πίσω όψη του στοιχείου.

Πιστεύεται ότι τα ηλεκτροχημικά φωτοβολταϊκά στοιχεία θα έχουν χαμηλότερο κόστος παραγωγής στο μέλλον, εξαιτίας της απλότητάς τους και της χρήσης φθηνών υλικών. Η πρόκληση αυτής της τεχνολογίας είναι η κατασκευή αξιόπιστων στοιχείων ως προς τον χρόνο ζωής και την απόδοσή τους. Πρότυπα συστήματα έχουν αρχίσει να εμφανίζονται (στοιχεία 120 cm^2 με απόδοση 7%)

Στοιχεία από μικροκρυσταλλικό πυρίτιο



Η ανάπτυξη του άμορφου πυριτίου μπορεί να διευρυνθεί περαιτέρω με την χρήση μικροκρυσταλλικού πυριτίου. Το μικροκρυσταλλικό πυρίτιο επιχειρεί να συνδυάσει τις σταθερές υψηλές αποδόσεις του κρυσταλλικού πυριτίου με την απλή και φθηνή τεχνολογία εναπόθεσης σε μεγάλες επιφάνειες του άμορφου πυριτίου.

Ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία

Μια νέα σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων παράγεται από την γερμανική εταιρεία Sunways Inc. Τα στοιχεία, που έχουν απόδοση μέχρι 10% επιτρέπουν τμήμα του φωτός να τα διαπεράσει (σχήμα 2.12) Η παρασκευή των στοιχείων αυτών γίνεται με κοπή τριχοειδών αυλακιών κατά μήκος δίσκου κρυσταλλικού πυριτίου σε οριζόντια και κατακόρυφη κατεύθυνση. Στα σημεία όπου ενώνονται τα κατακόρυφα με τα οριζόντια αυλάκια δημιουργούνται μικροσκοπικές τρύπες όπου επιτρέπουν την διέλευση του φωτός.



Σχήμα 2.13: Ημιδιαφανές φωτοβολταϊκό πλαίσιο

2.5 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ανάλογα με τις απαιτήσεις λειτουργίας, την διαμόρφωση των επιμέρους συστατικών τους, τον βαθμό αυτοδυναμίας τους, και την συνεργασία τους με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και φορτία, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα:

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση ορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής. Ο απλούστερος τύπος αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το σύστημα άμεσου ζεύγους (σχήμα 2.13), όπου η συνεχής τάση εξόδου του συστήματος συνδέεται με φορτίο συνεχούς ρεύματος (DC). Δεδομένου ότι δεν υπάρχει αποθήκευση ενέργειας σε αυτά τα συστήματα, μπορούν να λειτουργούν μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας και έτσι βρίσκουν εφαρμογές σε ανεμιστήρες, αντλίες νερού και μικρές αντλίες για χρήση σε ηλιακούς θερμοσίφωνες.



Σχήμα 2.14: Σύστημα άμεσου ζεύγους

Το βασικό πρόβλημα των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, που εγκαθίστανται σε απομονωμένες περιοχές, είναι η ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και η χρησιμοποίησή της σε ώρες που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Η αποθήκευση ενέργειας γίνεται με την χρήση ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταριών) διαφόρων τύπων. Ο οικονομικότερος τύπος για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου. Η ζητούμενη ποσότητα αποθήκευσης διαφέρει από σύστημα σε σύστημα, καθώς εξαρτάται από τοπικές συνθήκες και τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας του συστήματος. Πάντως, ζητείται συνήθως η εξασφάλιση αυτοδυναμίας για διάστημα 3 έως 10 ημερών περίπου.

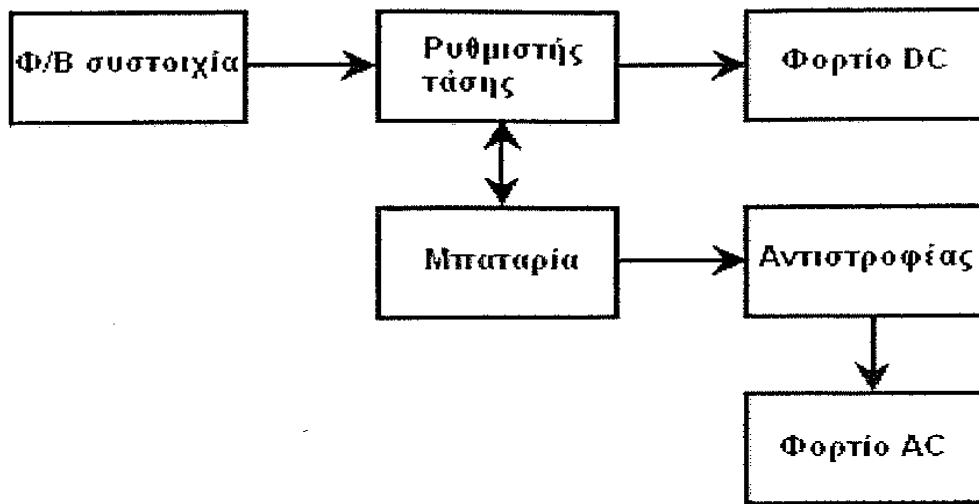
Η διάρκεια χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης και το «βάθος» της κάθε εκφόρτισης. Ανάλογα με τον τύπο τους, οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν από 500 έως 1500 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, που αντιστοιχούν σε 2 έως 5 χρόνια, αν υποθέσουμε ότι καθημερινά γίνεται ένας τουλάχιστον κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης.

Για την φόρτιση των συσσωρευτών με την κατάλληλη τάση φόρτισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα ή σε σειρά με την φωτοβολταϊκή συστοιχία, ένας ρυθμιστής τάσης (charge controller), ο οποίος διατηρεί την τάση εξόδου της συστοιχίας στην επιθυμητή τιμή και όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος διοχετεύεται προς τη γη, προστατεύοντας έτσι τους συσσωρευτές από υπερφόρτωση.

Η εναρμόνιση κατανάλωσης ενέργειας με την μέγιστη ισχύ εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι μια κρίσιμη παράμετρος για τον σχεδιασμό αξιόπιστων αυτόνομων συστημάτων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως οι ρυθμιστές ισχύος (MPPT maximum power point trackers). Οι διατάξεις αυτές, που βρίσκονται μεταξύ συστοιχίας και φορτίου παρακολουθούν την μέγιστη παραγόμενη ισχύ από τα φωτοβολταϊκά και επιδιώκουν την βέλτιστη χρησιμοποίηση της διαθέσιμης μέγιστης ισχύος εξόδου.

Τέλος, δεδομένου ότι οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές καταναλώνουν εναλλασσόμενο ρεύμα, στην έξοδο των φωτοβολταϊκών συστημάτων συχνά παρεμβάλλεται ένας αντιστροφέας (inverter), όπου μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της γεννήτριας και των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο.

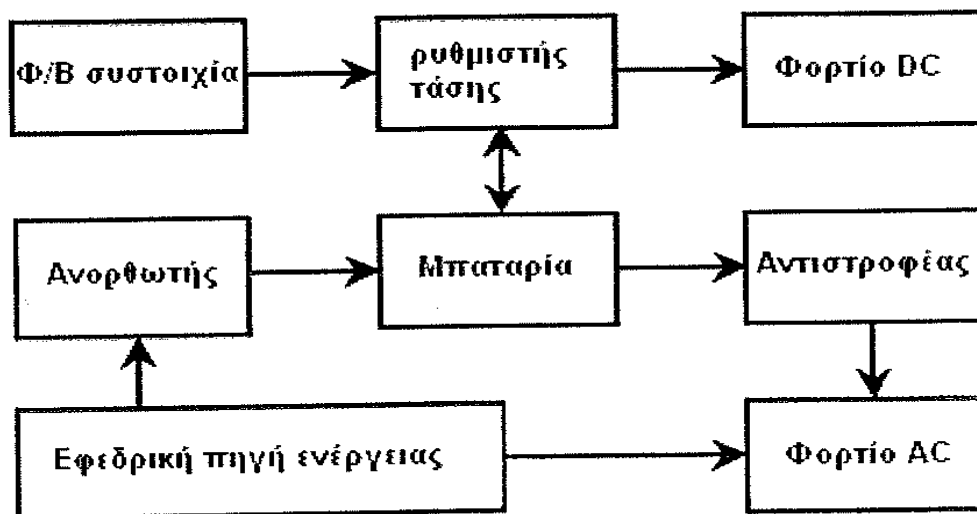
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μία τυπική διάταξη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για κάλυψη φορτίων AC και DC.



Σχήμα 2.15: Τυπική διάταξη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα:

Επειδή στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος και απαιτούν συχνή αντικατάσταση, είναι συχνά οικονομικότερη η χρήση εφεδρικής πηγής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούν εφεδρική πηγή ενέργειας ονομάζονται υβριδικά συστήματα (σχήμα 2.16). Με την χρήση βοηθητικής πηγής ενέργειας μειώνονται οι ανάγκες αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες όπου δεν λειτουργεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια και αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος δεδομένου ότι εξασφαλίζεται αυξημένη αυτοδυναμία. Η βοηθητική πηγή ενέργειας μπορεί να είναι ντιζελογεννήτρια ή ανεμογεννήτρια.

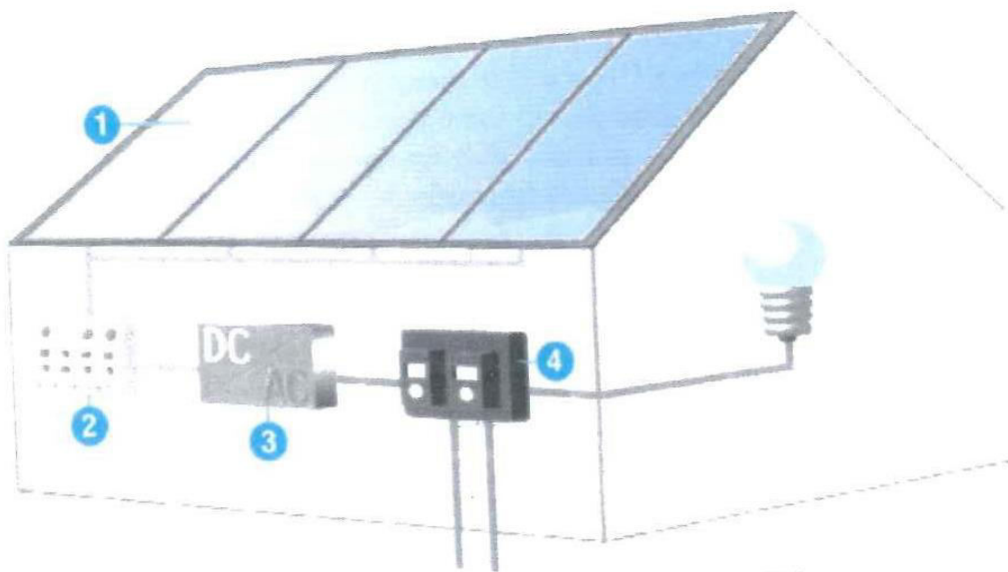


Σχήμα 2.16: Τυπική διάταξη υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα:

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδέονται με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται πλήρως η αξιοπιστία του συστήματος, αφού όποτε η φωτοβολταϊκή γεννήτρια δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες κατανάλωσης, αυτή καλύπτεται από το δίκτυο. Ακόμη, σε περίπτωση που υπάρχει περίσσεια παραγωγής ηλεκτρισμού από την γεννήτρια, αυτή μπορεί να διαβιβαστεί και να πωληθεί στο δίκτυο. Τα συστήματα αυτά, έχουν σημαντικά μειωμένο συνολικό κόστος σε σχέση με τα αυτόνομα και τα υβριδικά, διότι δεν περιλαμβάνονται συσσωρευτές, ρυθμιστές φόρτισης και βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται αντιστροφείς ειδικού τύπου, ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές συμβατότητας της παρεχόμενης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, υπάρχει πίνακας ελέγχου όπου καθορίζει την διανομή ενέργειας από την συστοιχία και το δίκτυο, προκειμένου να καλυφθούν τα φορτία κατανάλωσης. Μια τυπική διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



1 - Φωτοβολταϊκά πλαίσια, 2 - Πίνακας ελέγχου,
3 - Αντιστροφέας (inverter), 4 - Μετρητής ΔΕΗ

Σχήμα 2.17: Τυπική διάταξη διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος

2.6 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία καθορίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- Το εμβαδόν της επιφάνειας των στοιχείων
- Την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα στοιχεία
- Την απόδοση των στοιχείων

Η τελευταία παράμετρος εξαρτάται από τον τύπο του ημιαγώγιμου υλικού, την θερμοκρασία του στοιχείου και άλλους παράγοντες.

Ανάλογα με τον τύπο του φωτοβολταϊκού στοιχείου, υπάρχει ένα ελάχιστο επίπεδο ενέργειας (και ένα μέγιστο μήκος κύματος) όπου τα φωτόνια μπορούν να δημιουργήσουν ένα ζεύγος σπής-ελεύθερου ηλεκτρονίου. Για το πυρίτιο, το μέγιστο μήκος κύματος είναι 1,15 μm . Η ακτινοβολία σε μεγαλύτερα μήκη κύματος δεν παράγει ιοντικά ζεύγη, αλλά απλά θερμαίνει το στοιχείο. Ειδικότερα, από ενεργειακή σκοπιά, η ενέργεια που απαιτείται για την μεταπήδηση ενός ηλεκτρονίου σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο και την δημιουργία ιοντικού ζεύγους, γνωστό και ως ενεργειακό διάκενο (E_g), είναι χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε υλικού, και για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 1,12eV. Ακόμη, η πλεονάζουσα ενέργεια των φωτονίων σε περίπτωση που αυτά υπερβαίνουν την ενέργεια απορρόφησης μετατρέπεται σε θερμότητα.. Μόνο από αυτές τις θεωρήσεις, η μέγιστη θεωρητική απόδοση των στοιχείων πυριτίου είναι μικρότερη από 28%.

Από τις παραπάνω θεωρήσεις, εύλογα προκύπτει το ερώτημα γιατί δεν χρησιμοποιούνται υλικά με μικρότερο ενεργειακό διάκενο. Δυστυχώς, το ενεργειακό διάκενο δεν παίζει ρόλο μόνο στο ρεύμα του ηλεκτρικού πεδίου, αλλά και στην τάση του. Έτσι, μικραίνοντας το ενεργειακό διάκενο, παράγουμε περισσότερο ρεύμα, αφού απορροφούνται περισσότερα φωτόνια, αλλά μειώνουμε σημαντικά την τάση, με αποτέλεσμα το γινόμενο της τάσης επί το ρεύμα, δηλαδή η ισχύς να είναι περιορισμένη. Το βέλτιστο ενεργειακό διάκενο, το οποίο εξισορροπεί τις δύο παραπάνω επιδράσεις είναι περίπου 1,4eV για ένα στοιχείο που κατασκευάζεται από ένα απλό υλικό.

Η θερμοκρασία που αναπτύσσουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ιδίως κατά τους θερινούς μήνες διαφέρει σημαντικά από αυτή του περιβάλλοντος. Κατά μέσο όρο η θερμοκρασία των στοιχείων είναι περίπου 20°C μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων πάνω από την θερμοκρασία αναφοράς (25°C) έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσής τους (περίπου 0,004 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών άνω της θερμοκρασίας αναφοράς).

Άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των στοιχείων είναι ηλεκτρικές απώλειες λόγω αντιστάσεων, καθώς και η ρύπανση της επιφάνειάς τους από επικάλυψη σκόνης. Επιπρόσθετα, υπάρχουν απώλειες ανάκλασης στην κορυφή της επιφάνειας των στοιχείων, που μπορούν να μειωθούν με την χρήση επικαλύψεων υψηλής απορρόφησης.

2.7 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ -ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η παραγόμενη ενέργεια κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου, που κυκλοφορεί στο εμπόριο, καθορίζεται από την ισχύ αιχμής (Peak power - W_p), η οποία προκύπτει από τυποποιημένους ελέγχους του πλαισίου σε κατάλληλες συνθήκες (Standard Test Conditions). Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν θερμοκρασία στοιχείου 25°C , ένταση ακτινοβολίας $1000\text{W}/\text{m}^2$, και μάζα αέρα 1,5 (AM 1,5). Η μάζα αέρα εκφράζει την αναλογία της μάζας της ατμόσφαιρας μέσω της οποίας περνάει η άμεση ακτινοβολία προς τη μάζα που θα περνούσε εάν ο ήλιος ήταν στο ζενίθ. Με άλλα λόγια η μάζα αέρα με τιμή 1,5 εκφράζει το φιλτράρισμα που υπόκειται η ηλιακή ακτινοβολία όταν διέρχεται από ατμόσφαιρα πάχους 1,5 φορές την ατμόσφαιρα της γης.

Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά δίνεται από την σχέση:

$$E = n \cdot S \cdot I_T \quad (2.1)$$

όπου:

n ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού

S η επιφάνειά του (m^2)

I_T η προσπίπτουσα στο φωτοβολταϊκό ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)

Από την παραπάνω σχέση μπορεί να προκύψει ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης του πλαισίου, δεδομένου ότι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο παράγει ενέργεια ίση με την ισχύ αιχμής (W_p), όταν προσπίπτει σε αυτό ηλιακή ακτινοβολία έντασης $1000\text{W}/\text{m}^2$. Ειδικότερα, ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης του πλαισίου δίνεται από την σχέση:

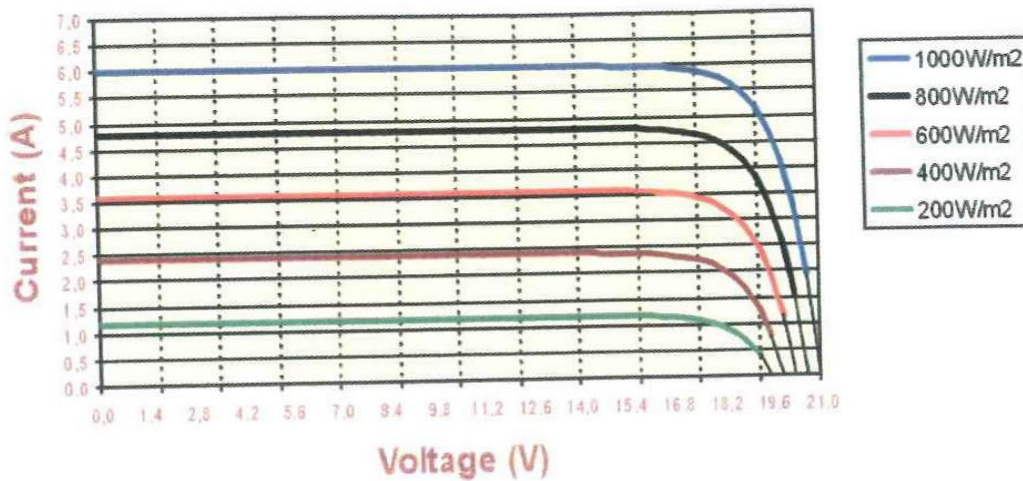
$$n = \frac{W_p}{1000 \cdot S} \quad (2.2)$$

Κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο συνοδεύεται από τεχνικές προδιαγραφές που περιλαμβάνουν συνήθως τις παρακάτω παραμέτρους:

- Ισχύς αιχμής: Peak power - W_p (W)
- Τάση ανοικτού κυκλώματος: Open circuit voltage - V_{oc}
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης: Short circuit current - I_{sc}
- Τάση μέγιστης ισχύος: Voltage at maximum power - V_{mp}
- Ρεύμα μέγιστης ισχύος: Current at maximum power - I_{mp}
- Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας φωτοβολταϊκών: Nominal operating cell temperature (NOCT) - $^{\circ}\text{C}$
- Συντελεστής διόρθωσης για την πραγματική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σε τάση ανοικτού κυκλώματος: (β_p) - $\%/^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασία λειτουργίας - $^{\circ}\text{C}$
- Τύπος φωτοβολταϊκού στοιχείου
- Βάρος και διαστάσεις πλαισίου
- Εγγυήσεις

Ακόμη, οι τεχνικές προδιαγραφές συνοδεύονται από καμπύλες τάσης-ρεύματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

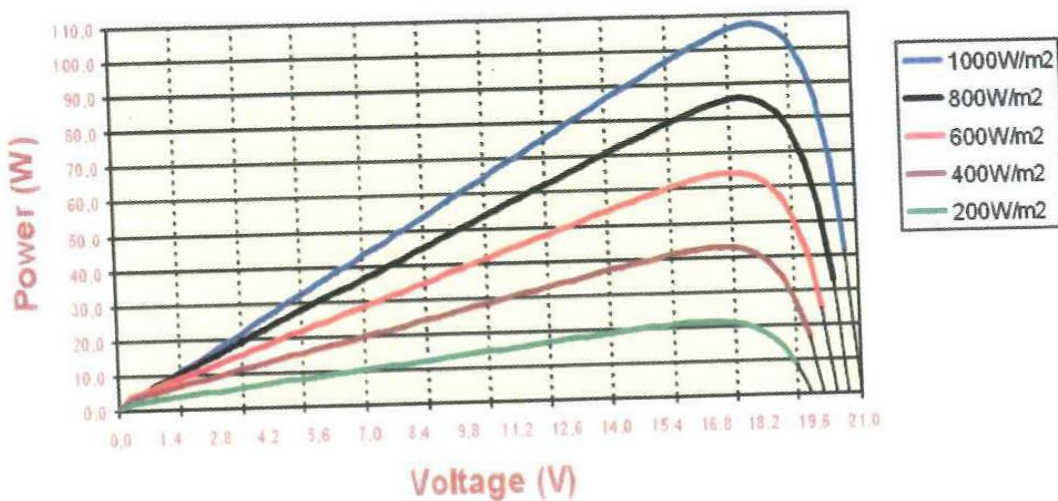
Module I-U characteristics



Σχήμα 2.18: Καμπύλες τάσης-ρεύματος

Δεδομένου ότι η παραγόμενη ισχύς προκύπτει από το γινόμενο της τάσης επί του ρεύματος ($P = I \cdot V$), η μέγιστη ισχύς βρίσκεται στον «λαιμό» των καμπύλων τάσης-ρεύματος, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:

Module power characteristics



Σχήμα 2.19: Καμπύλες ισχύος-τάσης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τυπική μορφή των τεχνικών χαρακτηριστικών συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Electrical data

The electrical data applies to standard test conditions (STC):

Irradiance at the module level of 1,000 W/m² with spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25° C.

| | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| Power (max.) | P _p (watts) | 285 W | 300 W | 265 W |
| Voltage at maximum-power point | V _p (volts) | 50.5 V | 51.0 V | 50.0 V |
| Current at maximum-power point | I _p (amps) | 5.6 A | 5.9 A | 5.3 A |
| Open-circuit voltage | V _{oc} (volts) | 60.0 V | 60.0 V | 60.0 V |
| Short-circuit current | I _{sc} (amps) | 6.2 A | 6.5 A | 5.8 A |

The quoted technical data refer to the usual series cell configuration.

The rated power may only vary by ± 4% and all other electrical parameters by ± 10%.

NOCT-value (800 W/m², 20° C, 1m/sec.): 45° C.

Dimensions and weights

| | |
|-----------------|------------------------------|
| Length mm (in) | 1,892.3 (74.5") |
| Width mm (in) | 1,282.7 (50.5") |
| Weight kg (lbs) | 46.6 ± 2 kg (107 ± 5lbs) |
| Area | 2.43 sq meters (26.13 ft sq) |

Characteristic data

| | |
|------------------------|--|
| Solar cells per module | 216 |
| Type of solar cell | Multi-crystalline solar cells (EFG process), 10x10 cm ² |
| Connections | 14 AWG w/Single Pole Quick Connectors - Optional Connections - 16AWG w/Double Pole Quick Connectors. Conventional Junction Box module comes with 6 built-in bypass diodes. |

Cell temperature coefficients

| | | |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------|
| Power | Γ _K (P _p) | - 0.47 % / °C |
| Open-circuit voltage | Γ _K (V _{oc}) | - 0.38 % / °C |
| Short-circuit current | Γ _K (I _{sc}) | + 0.10 % / °C |

Limits

| | |
|------------------------------|---|
| Max. system voltage | 600 V _{DC} U.S. 700 V _{DC} Europe |
| Operating module temperature | -40... +90° C |
| Test wind conditions | Wind speed of 130 km/h (120 mph) |

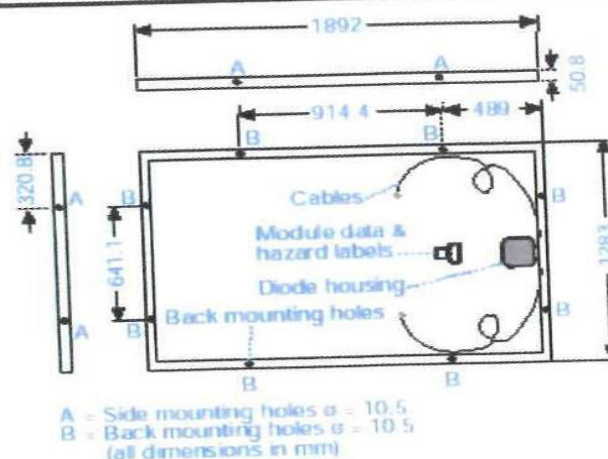
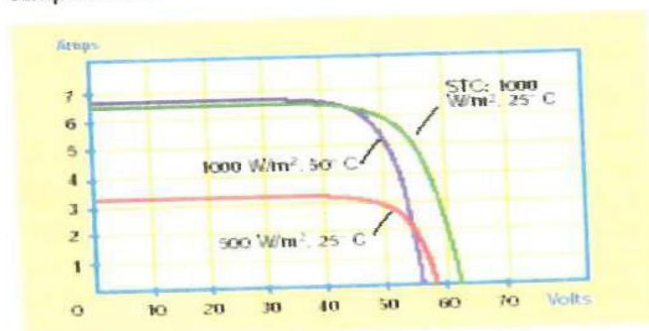
The right is reserved to make technical modifications.

For detailed product drawings and specifications please contact your distributor or our office.

Certifications and Warranty

The ASE-300-DGF/50 has been independently certified to IEC 1215 and IEEE 1262, UL 1703 (Class A Fire rating). It meets Electrical Protection Class II and EU guidelines, e.g. EMC according to DIN EN. The ASE-300-DGF/50 comes with a 20 year power warranty (see terms and conditions for details)

Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module-temperature.



Σχήμα 2.20: Τυπική μορφή τεχνικών προδιαγραφών πλαισίου φωτοβολταϊκών

2.8 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Ο κτιριακός τομέας παίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια ενεργειακή ισορροπία. Τα κτίρια στην Ευρώπη αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας καλύπτοντας περίπου το 40% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου της. Μέχρι πρόσφατα, δυνατή ήταν μόνο η εξοικονόμηση ενέργειας, με κατάλληλο σχεδιασμό των κτιρίων και ορθολογική χρήση της καταναλισκόμενης ενέργειας, και όχι η παραγωγή ενέργειας στα κτίρια.

Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών οδήγησε στην δημιουργία των κτιριακά ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων (Building Integrated PhotoVoltaics, γνωστών ως BIPV), όπου είναι εφικτή πλέον η δυνατότητα απευθείας ενσωμάτωσής τους σε κτίρια. Τα κτιριακά ολοκληρωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα διαφέρουν από τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, διότι δεν παράγουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια, αλλά αποτελούν και δομικά στοιχεία του κτιρίου τα οποία καλούνται να εκτελέσουν πολλές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας από τον αέρα και τη βροχή, τη θερμική μόνωση, και το φυσικό φωτισμό. Τα BIPV στοιχεία συνήθως χρησιμοποιούν τεχνολογία λεπτής μεμβράνης, διότι παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλό κόστος, καλαίσθητη εμφάνιση, χαμηλό βάρος και λεπτό πάχος, πράγμα που τα καθιστά ευέλικτα και ιδιαίτερα κατάλληλα για κτιριακές εφαρμογές.

2.8.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ

Κατά την φάση του σχεδιασμού της ενσωμάτωσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε ένα κτίριο είναι σημαντικό να διευρυνθούν ορισμένες σημαντικές παράμετροι που θα υποδείξουν και την καταλληλότητα του επιλέγοντος κτιρίου και το μέγεθος του συστήματος.

- **Ηλιακή ακτινοβολία:** Ο σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί μια ιδιαίτερα προσεκτική εκτίμηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, διότι έτσι υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Υπάρχουν βάσεις δεδομένων με στατιστικά στοιχεία της μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας ανά μήνα για διαφορετικές τοποθεσίες. Ακόμη, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το φως του ήλιου που αντανακλάται από εκτάσεις άμμου, χιονιού, πάγου, και γυάλινων επιφανειών, μπορεί να αυξήσει την παραγωγή του συστήματος με την ανάκλαση της πρόσθετης ηλιακής ενέργειας στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- **Προσανατολισμός-κλίση:** Για να μεγιστοποιηθεί η ηλιακή ακτινοβολία και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ο προσανατολισμός και η κλίση του φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να ληφθούν υπόψη σε σχέση με την γεωγραφική τοποθεσία του κτιρίου. Η βέλτιστη κλίση μπορεί να διαφέρει όταν ένα σύστημα σχεδιάζεται επιθυμώντας καλύτερη εποχική απόδοση. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί να αποδίδει καλύτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, διότι πρόκειται να τοποθετηθεί σε παραθεριστική κατοικία.
- **Σκίαση:** Η σκίαση που προκαλείται από το φυσικό ή δομημένο περιβάλλον μειώνει την ισχύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Έτσι, απαιτείται μελέτη σκίασης κάθε υποψήφιου κτιρίου σε σχέση με γειτονικά κτίρια και για κάθε εποχή του χρόνου ώστε να υπολογιστεί η δημιουργούμενη σκιά και να αποκλειστούν τα σημεία του κτιρίου που σκιάζονται πολλές ώρες ανά ημέρα και μήνα.

2.8.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η διαστασιολόγηση του συστήματος εκτός από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες: Το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο, την αρχιτεκτονική μελέτη και τα οικονομικά δεδομένα. Για να καθοριστούν τα ενεργειακά χαρακτηριστικά ενός συστήματος BIPV για ένα κτίριο, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου. Τα βέλτιστα ενεργειακά χαρακτηριστικά ενός συστήματος BIPV, μπορούν να υπολογιστούν και να διαστασιολογηθούν, βάση του ποσοστού συμμετοχής του BIPV στην ηλεκτρική παροχή του κτιρίου. Για παράδειγμα, ένα αυτόνομο κτίριο, που δεν είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτεί ένα μεγάλο σύστημα με συσσωρευτές για αποθήκευση ενέργειας για να καλύπτει στο 100% το κτίριο σε ενεργειακές απαιτήσεις, ενώ ένα κτίριο, στο οποίο ο ιδιοκτήτης θέλει να μειώσει την χρέωση φορτίου αιχμής, απαιτεί ένα μικρό σύστημα που θα παράγει ενέργεια μόνο κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής.

Από αρχιτεκτονικής πλευράς, το σύστημα περιορίζεται στις διαστάσεις των διαθέσιμων επιφανειών του κτιρίου. Η ισορροπία μεταξύ της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος, της διαθέσιμης επιφάνειας και του κόστους καθορίζουν τον τύπο της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί. Κάθε τεχνολογία, έχει ένα συγκεκριμένο εύρος αποδιδόμενης ισχύος σε $Watt/m^2$ και κόστος ανά Watt. Έτσι, τα συστήματα άμορφου πυριτίου απαιτούν μεγαλύτερη διαθέσιμη επιφάνεια, αλλά κοστίζουν λιγότερο από τα ανάλογα ενιαίου κρυσταλλικού πυριτίου. Γι' αυτό, σε κατασκευές που έχουν περιορισμένο προϋπολογισμό, αλλά διαθέτουν μεγάλη επιφάνεια προσανατολισμένη στο νότο, η χρήση άμορφου πυριτίου αποτελεί την βέλτιστη επιλογή.



Σχήμα 2.21: Εφαρμογή BIPV σε κτίριο

2.8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ BIPV

Κάθε κτιριακή επιφάνεια που είναι υπό το ήλιο είναι υποψήφια για την εφαρμογή κτιριακά ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στις εφαρμογές αυτές, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται και άλλες αρχιτεκτονικές λειτουργίες, πράγμα που καθιστά την χρήση τους ιδιαίτερα ελκυστική. Ειδικότερα:

- Δεν απαιτείται αγορά οικοπέδων αποκλειστικά για την δραστηριότητα της ηλεκτροπαραγωγής, διότι γίνεται χρήση των διαθέσιμων επιφανειών των κτιρίων.
- Αποφεύγονται τα επιπλέον κόστη προετοιμασίας των οικοπέδων για εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών.
- Η παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται επιτόπου και έτσι αποφεύγονται απώλειες μεταφοράς και διανομής ίσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η μέγιστη ισχύς εξόδου συμπίπτει με το μεσημεριανό φορτίο αιχμής στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, στον οικιακό τομέα.
- Δεν υπάρχουν κόστη σύνδεσης με το δίκτυο και ανάγκη κατασκευής υποσταθμού, αφού γίνεται χρήση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του κτιρίου.
- Το κτίριο γίνεται στην ουσία το σύστημα στήριξης των φωτοβολταϊκών και έτσι δεν υπάρχουν επιπλέον κόστη για κατασκευή στηριγμάτων και θεμελιώσεων.
- Υποκαθίσταται η χρήση συμβατικών δομικών υλικών. Έτσι, το κόστος των BIPV μειώνεται κατά το ποσό που αντιστοιχεί στο κόστος του δομικού υλικού.
- Η αισθητική του κτιρίου μπορεί να αναβαθμιστεί.

Ακολουθούν ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών BIPV:

Οροφές φωτισμού:

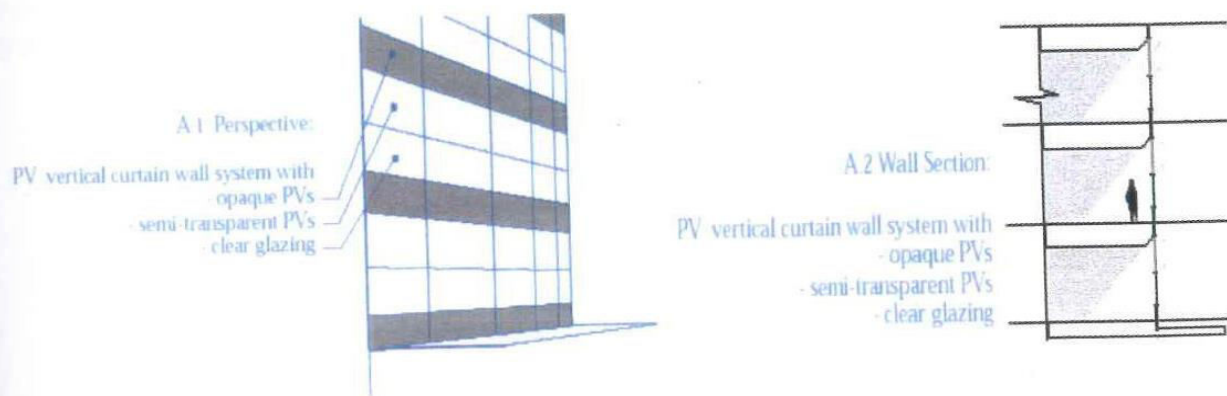
Τα διαφανή BIPV μπορούν να υποκαταστήσουν υαλοκατασκευές που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη αίθριων, θερμοκηπίων ή φεγγιτών. Σε εφαρμογές BIPV σε οροφές φωτισμού υπάρχει η δυνατότητα επιλογής κλίσης και έτσι μεγιστοποιείται η απόδοση των φωτοβολταϊκών. Η ικανότητα τους να παράγονται σε διάφορα επίπεδα διαφάνειας και χρώματα, τα καθιστά ακόμη πιο λειτουργικά. Οι οροφές φωτισμού BIPV περιλαμβάνουν πολυστρωματικά, διαμορφωμένα γυαλιά, που μπορούν να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές υαλοκατασκευές. Τα πολυστρωματικά γυαλιά είναι ένα τυποποιημένο προϊόν BIPV. Αποτελούνται από δύο κομμάτια γυαλιού, ανάμεσα στα οποία έχουν τοποθετηθεί τα ηλιακά στοιχεία: ένα οξικό άλας αιθυλενίου-βινυλίου τοποθετημένο σε κάψουλα (encapsulant of ethylene-vinyl acetate) ή άλλο υλικό, και ένας διαφανής ή χρωματισμένος πολυεστέρας, ντυμένος με στρώμα τέντλαρ. Μπορούν επίσης να παρασκευαστούν με χρήση ενός κομματιού γυαλιού και ενός στρώματος τέντλαρ, το χρώμα του οποίου μπορεί να καθοριστεί από τους αρχιτέκτονες.



Σχήμα 2.22: Εφαρμογή BIPV σε οροφή φωτισμού

Υαλοπετάσματα και προσόψεις κτιρίων:

Τα υαλοπετάσματα έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τις οροφές φωτισμού, αλλά έχουν το μειονέκτημα της χαμηλότερης απόδοσης, λόγω της κάθετης τοποθέτησής τους. Παρόλα αυτά, η αγορά υαλοπετασμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των οροφών φωτισμού. Τα υαλοπετάσματα περιλαμβάνουν αδιαφανή και ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά που μπορούν να λειτουργήσουν ως παράθυρα ή υαλότοιχοι, εξασφαλίζοντας φυσικό φωτισμό και εξωτερική θέα για τον ιδιοκτήτη, ανάλογα και με τον βαθμό διαφάνειας



Σχήμα 2.23: Χρήση αδιαφανούς, ημιδιαφανούς φωτοβολταϊκού και καθαρού γυαλιού σε υαλοπετάσματα

Ακόμη, τα ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά μπορούν να περιορίσουν το υπερβολικό θερμικό κέρδος και να ελέγξουν το εκτυφλωτικό φως του ήλιου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης φωτοβολταϊκών υαλοπετασμάτων φαίνεται στο σχήμα 2.23, όπου χρησιμοποιούνται αδιαφανή BIPV σε πολύ χαμηλό ύψος, τόσο από το πάτωμα όσο και από την οροφή, προκειμένου να μην περιοριστεί η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Τα ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται ακριβώς κάτω από τα αδιαφανή και μέχρι ύψους που δεν θα εμποδίζει την εξωτερική θέα των ενοίκων, ενώ στην συνέχεια χρησιμοποιείται καθαρό γυαλί. Επιπλέον, αδιαφανή φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους, παράγοντας σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.24: Εφαρμογή BIPV σε προσόψεις κτιρίων

Ενσωμάτωση σε στέγες:

Στις κατοικημένες και στις υψηλά δομημένες περιοχές όπου ο χώρος είναι ιδιαίτερα περιορισμένος, η χρήση των στεγών για εφαρμογή φωτοβολταϊκών είναι ιδιαίτερα ελκυστική. Αποτελούν ιδανικό χώρο τοποθέτησης φωτοβολταϊκών, αφού διαθέτουν συνήθως μεγάλη επιφάνεια και έχουν υψηλά ηλιακά κέρδη. Στην περίπτωση επίπεδης στέγης μπορεί να τοποθετηθεί σειρά από φωτοβολταϊκά σε συγκεκριμένη κλίση προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.25: Εφαρμογή BIPV σε επίπεδη στέγη

Στην περίπτωση στέγης με κεραμίδια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ηλιακά κεραμίδια. Πρόκειται για συστήματα που στην ουσία υποκαθιστούν τα κλασσικά κεραμίδια. Η προσφορά τέτοιων προϊόντων προέρχεται κυρίως από παραγωγούς συμβατικών κεραμιδιών οι οποίοι αναπτύσσουν ηλιακά κεραμίδια συμβατά με τα απλά κεραμίδια. Υπάρχουν βέβαια και παραγωγοί φωτοβολταϊκών στοιχείων που σχεδιάζουν προϊόντα με τα χαρακτηριστικά των απλών κεραμιδιών. Τα πλεονεκτήματα των ηλιακών κεραμιδιών σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα που τοποθετούνται επάνω από τα κεραμίδια είναι ότι εγκαθίστανται με την ίδια μέθοδο με τα απλά κεραμίδια και οι εγκαταστάσεις δεν συναντούν

δυσκολίες με την νέα αυτή τεχνολογία. Το μειονέκτημα των ηλιακών κεραμιδιών είναι ότι κατασκευάζονται σε συγκεκριμένους τύπους και έτσι η επιλογή ηλιακού κεραμιδιού πρέπει να είναι του ίδιου τύπου με το απλό κεραμίδι.



Σχήμα 2.26: Εφαρμογή BIPV σε στέγες (σκούρα κεραμίδια)

Συστήματα σκίασης:

Δεδομένης της αυξημένης χρήσης μεγάλων ανοιγμάτων παραθύρων και υαλότοιχων κυρίως στα εμπορικά κτίρια, υπάρχει αυξημένη ανάγκη εμπεριστατωμένων μελετών συστημάτων σκίασης. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να λειτουργήσουν και ως παθητικά ηλιακά συστήματα, προσφέροντας σκίαση στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό, μειώνονται οι ανάγκες σε φορτία κλιματισμού και το κτίριο γίνεται ενεργειακά πιο αποδοτικό.



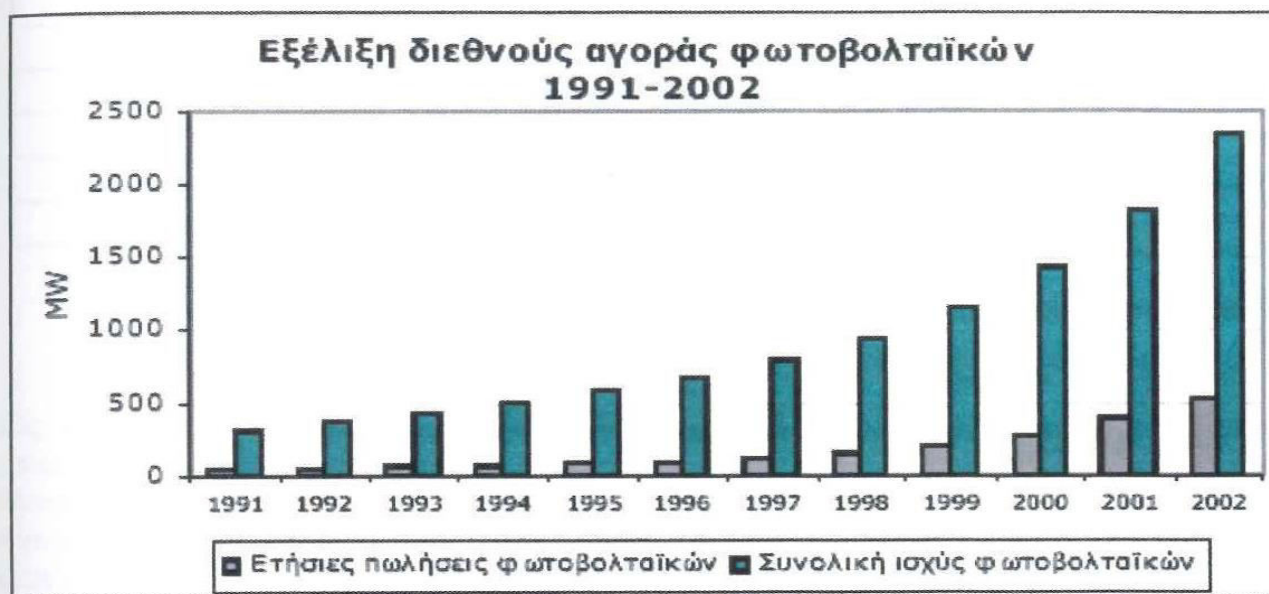
Σχήμα 2.27: Εφαρμογή BIPV σε συστήματα σκίασης

Τα συστήματα σκίασης προσφέρονται σε ποικιλία διαστάσεων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές. Οι φωτοβολταϊκές τέντες μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάνω από παράθυρα σε εύρος κλίσεων και μεγεθών, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η επιθυμητή σκίαση και η μέγιστη παραγωγή ηλεκτρισμού. Ακόμη, οι οροφές φωτισμού και τα υαλοπετάσματα, ανάλογα με τον βαθμό διαφάνειάς τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές σκίασης. Τέλος, οι φωτοβολταϊκές περσίδες είναι μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα εφαρμογή. Η παραγόμενη ενέργεια από τις περσίδες μπορεί είτε να διοχετευθεί στον κεντρικό πίνακα κτιρίου είτε να τροφοδοτήσει αυτόνομα ηλεκτροκίνητα κτιριακά συστήματα, όπως συστήματα ασφαλείας ή φωτισμό έκτακτης ανάγκης.

2.9 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Με πρωτόγνωρους ρυθμούς ανάπτυξης κινείται η διεθνής αγορά φωτοβολταϊκών (Φ/Β) τα τελευταία χρόνια, κυρίως χάρη στα προγράμματα τριών χωρών που αποτελούν το βαρόμετρο για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής: της Ιαπωνίας, της Γερμανίας και των ΗΠΑ. Έτσι, το 2002, πωλήθηκαν 530 μεγαβάτ (MW) φωτοβολταϊκών, ενώ η παραγωγή άγγιξε τα 562 MW. Η διεθνής αγορά φωτοβολταϊκών παρουσίασε το 2002 αύξηση 33,3% έναντι του προηγούμενου έτους, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην ευρωπαϊκή αγορά ήταν 37,7%.

Οι συνολικές πωλήσεις φωτοβολταϊκών ξεπέρασαν το 2002 το ψυχολογικό όριο των 2.000MW. Εκτιμάται ότι το 2010, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών θα ξεπεράσει διεθνώς τα 10.000 MW. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται τόσο στους σημερινούς ρυθμούς ανάπτυξης, όσο και στους στόχους που έχουν θέσει κατά καιρούς διάφορες κυβερνήσεις.



Διάγραμμα 2.1: Εξέλιξη διεθνούς αγοράς φωτοβολταϊκών από το 1991 έως το 2002. (πηγή: www.ekpa.gr).

Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Ένωση, στη Λευκή Βίβλο για τις ΑΠΕ, έχει θέσει ως στόχο τα 3.000 MW ως το 2010, η Ιαπωνία τα 4.820 MW, οι ΗΠΑ τα 2.000 MW, ενώ εκτιμάται ότι οι υπόλοιπες χώρες θα εγκαταστήσουν περί τα 1.200 MW. Προς το παρόν, οι ρυθμοί της ΕΕ υπολείπονται των στόχων της Λευκής Βίβλου, αν και οι πρόσφατες αποφάσεις διάφορων ευρωπαϊκών κυβερνήσεων (με χαρακτηριστικότερο το παράδειγμα της Βρετανίας) να ενισχύσουν την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, θα βοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό την επίτευξη του κοινοτικού στόχου. Ακόμη πάντως κι αν οι στόχοι της ΕΕ επιτευχθούν μερικώς, η συνολική εκτίμηση για 10.000 MW διεθνώς το 2010 παραμένει ρεαλιστική. Ο κύκλος εργασιών της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών αναμένεται να φθάσει τα 27,5 δις \$ το 2012 (από 3,5 δις \$ το 2002).

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες στα τέλη του 2002. Για σύγκριση, σημειώνουμε πως η εγκατεστημένη ισχύς στην πρωτοπόρο Ιαπωνία ήταν 584 MW.

| ΧΩΡΑ | Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών (σε MW) στα τέλη του 2002 |
|------------------------|--|
| Γερμανία | 278 |
| Ολλανδία | 28,3 |
| Ιταλία | 22,8 |
| Ισπανία | 19,3 |
| Γαλλία | 16,7 |
| Αυστρία | 10 |
| Βρετανία | 4,3 |
| Σουηδία | 3,3 |
| Φινλανδία | 3 |
| Ελλάδα | 2,4 |
| Δανία | 1,7 |
| Πορτογαλία | 1,5 |
| Βέλγιο | 0,5 |
| Ευρωπαϊκή Ένωση | 392 |

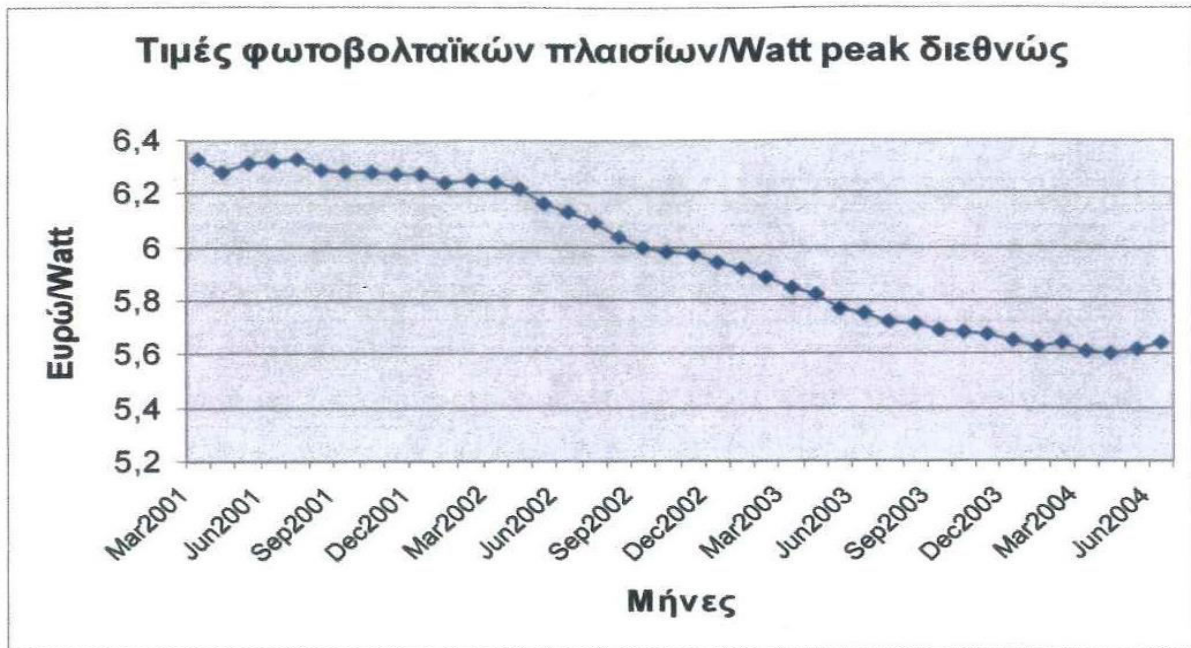
Πίνακας 2.3: Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στις χώρες της Ε.Ε.
(πηγή: www.ekpaa.gr).

Ως το 1998, η πλειοψηφία των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών αφορούσε σε αυτόνομα (standalone) συστήματα. Τα τελευταία χρόνια όμως η αγορά αλλάζει υπέρ των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο (grid-connected) συστημάτων. Ενώ το 1994 μόνο το 20% των εγκατεστημένων συστημάτων ήταν διασυνδεδεμένα στο δίκτυο, το 2001 το ποσοστό τους ξεπέρασε το 50%. Τα περισσότερα μάλιστα από τα συστήματα αυτά αφορούν εφαρμογές στον κτιριακό τομέα, μια τάση που ενισχύεται από προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών (BIPV, Building Integrated PhotoVoltaics) σε πολλές χώρες (π.χ. Ιαπωνία, Γερμανία, Ολλανδία, ΗΠΑ, κ.λπ).

Μόνο στις χώρες που συμμετέχουν στο πρόγραμμα PVPS της διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA), η βιομηχανία φωτοβολταϊκών απασχολεί σήμερα πάνω από 21.000 άτομα στους τομείς της κατασκευής, εμπορίας και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η αμερικανική βιομηχανία φωτοβολταϊκών από την πλευρά της εκτιμά ότι στον ευρύτερο χώρο που άπτεται των φωτοβολταϊκών απασχολούνται μόνο στις ΗΠΑ περί τα 20.000 άτομα και ευελπιστεί να αυξήσει τον αριθμό στις 150.000 ως το 2020. Εκατό χιλιάδες θέσεις εργασίας εκτιμά πως θα δημιουργήσει η ΕΕ με την επίτευξη του στόχου για παραγωγή και εγκατάσταση 3.000 MW φωτοβολταϊκών ως το 2010, σύμφωνα με τη Λευκή Βίβλο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Σε ότι αφορά το κόστος εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, αυτό ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή. Τα αυτόνομα συστήματα είναι ακριβότερα από τα διασυνδεδεμένα λόγω κυρίως του επιπλέον κόστους των συσσωρευτών που απαιτούνται στην περίπτωση των πρώτων. Το μέσο κόστος των αυτόνομων συστημάτων στην Ελλάδα είναι περί τα 11-12 €/W, ενώ για τα διασυνδεδεμένα συστήματα το μέσο κόστος κυμαίνεται περί τα 9 €/W. Τα κόστη αυτά είναι σημαντικά υψηλότερα από τις τιμές των πιο ώριμων

αγορών (π.χ. της Ιαπωνίας και της Γερμανίας) όπου τα διασυνδεδεμένα συστήματα κοστίζουν περί τα 6 €/W, ενώ σε μεγάλα συστήματα (της τάξης των λίγων MW) τα κόστη αυτά μπορεί να πέσουν και στα 4 €/W.

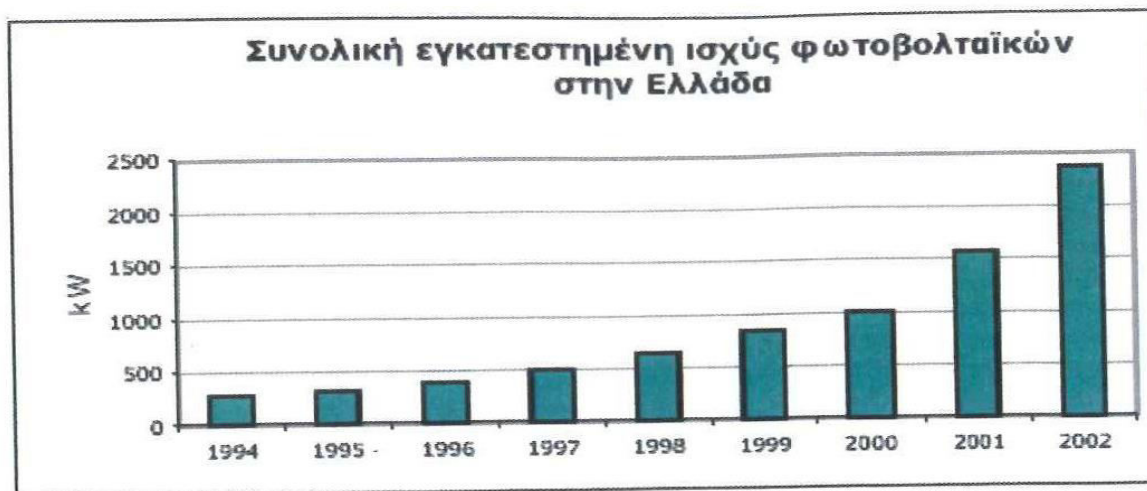


Διάγραμμα 2.2: Μέση τιμή κόστους φωτοβολταϊκών πλαισίων ανά Watt Peak διεθνώς. (Πηγή: www.solarbuzz.com).

Το ανηγμένο κόστος της κιλοβατώρας που παράγεται από φωτοβολταϊκά κυμαίνεται διεθνώς από 0,25 έως 1\$. Στην Ελλάδα, το μέσο ανηγμένο κόστος της ηλιακής κιλοβατώρας για διασυνδεδεμένα συστήματα είναι περίπου 0,6 € (υποθέτοντας μέση παραγωγή 1.300 kWh/kW, διάρκεια ζωής του συστήματος 20 χρόνια και προεξοφλητικό επιτόκιο 6%). Φυσικά το κόστος αυτό ποικίλλει ανάλογα με τη φύση του συστήματος (αυτόνομο ή διασυνδεδεμένο) και την κλιματική ζώνη που εγκαθίσταται το σύστημα.

2.10 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Η αγορά των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα είναι σήμερα σε εμβρυακή κατάσταση. Ελάχιστες αποκεντρωμένες εφαρμογές μετά βίας συντηρούν λίγες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο. Κι αυτό παρόλες τις άριστες καιρικές συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Περί τις 40 εταιρίες δραστηριοποιούνται σήμερα στο χώρο (εμπορία φωτοβολταϊκών και συναφών συστημάτων, μελέτες, εγκατάσταση, κ.λπ). Οι μεγαλύτερες εταιρίες του κλάδου εγκαθιστούν μόλις 20-250 kW το χρόνο, ενώ η σημερινή δυναμική της ελληνικής αγοράς απορροφά λίγες εκατοντάδες KW ετησίως, ισχύ πολύ μικρή συγκρινόμενη με το δυναμικό της χώρας, αλλά και τις εξελίξεις σε άλλες χώρες.



Διάγραμμα 2.3: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα.
(Πηγή: www.ekpaa.gr).

Μέχρι και το 2000, στην ελληνική αγορά κυριαρχούσαν τα αυτόνομα συστήματα. Τα πρώτα διασυνδεδεμένα συστήματα σε κτιριακές εφαρμογές εγκαταστάθηκαν μόλις την τελευταία πενταετία, ενώ το 2001, χάρη στις επιδοτήσεις του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας του Υπουργείου Ανάπτυξης, εγκαταστάθηκαν μερικές εκατοντάδες κιλοβάτ διασυνδεδεμένων σε ηλιακές εφαρμογές στην Κρήτη. Στα τέλη του 2002, η ισχύς των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα εκτιμάται ότι ήταν 2.365 KWp (0,22 W ανά κάτοικο ή περίπου 0,1% της παγκόσμιας αγοράς). Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το μερίδιο αγοράς των διαφόρων φωτοβολταϊκών εφαρμογών:

| Μερίδιο αγοράς φωτοβολταϊκών εφαρμογών στην Ελλάδα (2002) | | |
|---|--------------------------|--------------------|
| Τύποι φωτοβολταϊκών εφαρμογών | Εγκατεστημένη ισχύς (kW) | Μερίδιο αγοράς (%) |
| Διασυνδεδεμένα στο δίκτυο | 1.039 | 44 |
| Αυτόνομα συστήματα | 1.326 | 56 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 2.365 | 100 |

Πίνακας 2.4: Μερίδιο αγοράς φωτοβολταϊκών εφαρμογών στην Ελλάδα.

Παράλληλα, το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας αποφάσισε να επιδοτήσει την κατασκευή του πρώτου εργοστασίου παραγωγής φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα (a-Si double junction 4^{ης} γενιάς, παραγωγικής δυνατότητας 5 μεγαβάτ ετησίως, με προοπτική επέκτασης στα 10 μεγαβάτ και στροφή στην τεχνολογία λεπτού υμενίου CIGS – Copper indium gallium diselenide). Η νέα αυτή μονάδα κατασκευάζεται στο Κιλκίς από την εταιρία ΗΛΙΟΔΟΜΗ (θυγατρική της κατασκευαστικής εταιρίας ΘΕΜΕΛΙΟΔΟΜΗ), σε συνεργασία με την αμερικανική εταιρία EPV (συμμετέχει με 20%). Η μονάδα θα κοστίσει 25 εκατ. € και θα απασχολήσει 163 άτομα, με κόστος παραγωγής για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της τάξης των 2 \$/W.

Το χαμηλό κόστος παραγωγής αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση των τελικών τιμών καταναλωτή στην ελληνική αγορά, παρασύροντας και τα κόστη των εισαγόμενων προϊόντων. Τα φωτοβολταϊκά θα είναι ονομαστικής ισχύος 10-160 W, ενώ ένα σημαντικό τμήμα της παραγωγής (1,25 MW ετησίως) θα αφορά φωτοβολταϊκά μεγάλης επιφάνειας και υψηλής διαφάνειας ειδικά για ενσωμάτωση σε κτιριακές κατασκευές. Στη στέγη του υπό ανέγερση εργοστασίου, προβλέπεται να εγκατασταθούν 400 KW φωτοβολταϊκών διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η εμπειρία των πιο δυναμικών αγορών δείχνει ότι έμφαση θα πρέπει να δοθεί πλέον στα διασυνδεδεμένα συστήματα και ιδίως τα ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV). Αυτό σημαίνει βέβαια και αναπροσανατολισμό των πολιτικών ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών στη χώρα μας, δεδομένου ότι μέχρι σήμερα οι ενισχύσεις αφορούσαν κυρίως τον εμπορικό τομέα και τις κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, δίνοντας λιγότερη έμφαση στον οικιακό και τριτογενή τομέα.

2.11 Η ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν ίσως το ιδανικότερο παράδειγμα καθαρής αποκεντρωμένης παραγωγής και παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα (πολλά εκ των οποίων μοιράζονται και άλλα αποκεντρωμένα μικροσυστήματα ισχύος). Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,1 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ.).

Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 12% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ήλιος αποτελεί την απόλυτη πηγή ενέργειας για τη γη. Η ενέργεια αυτή καθορίζει το κλίμα, την ανάπτυξη των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης και παρέχει θερμότητα και φως, στοιχεία καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη της ζωής. Η ηλιακή ενέργεια που παράγεται στον ήλιο οφείλεται σε αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης με αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων. Κάθε φωτόνιο έχει ενέργεια ανάλογη με την συχνότητά του, σύμφωνα με την σχέση:

$$E = h\nu \quad (3.1)$$

όπου E είναι η ενέργεια του φωτονίου (J), h η σταθερά του Planck ($6,62 \times 10^{-34}$ Js) και ν η συχνότητα του φωτονίου (Hz).

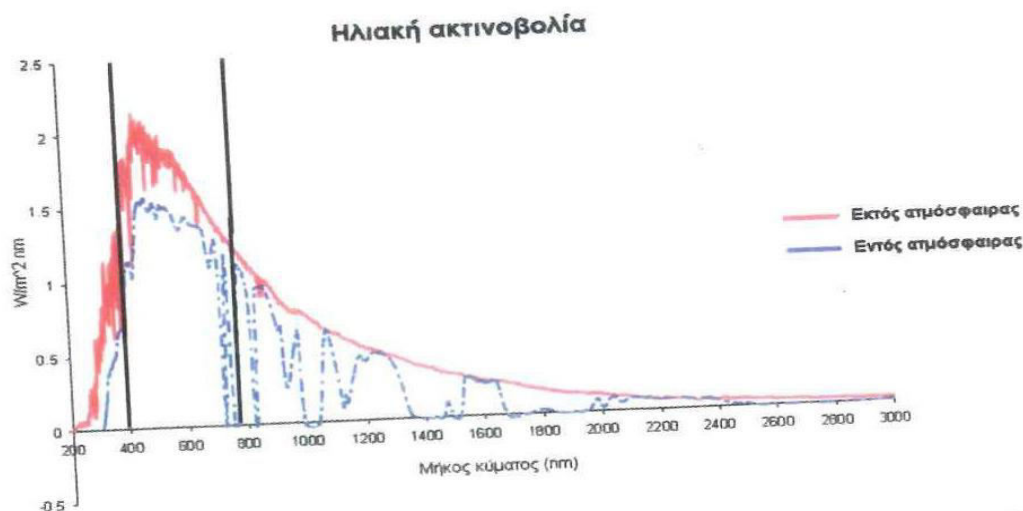
Ο ήλιος εκπέμπει φωτόνια σε ένα συγκεκριμένο φάσμα μηκών κύματος (λ) σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\lambda = c / \nu \quad (3.2)$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό (3×10^8 m/s). Το φάσμα κυμαίνεται από 0,2 μέχρι 3 μ m και μπορεί να εξομοιωθεί με την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα σε θερμοκρασία 5762°K. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη έξω από την ατμόσφαιρα είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τις εποχές του έτους. Είναι γνωστή ως ηλιακή σταθερά και παίρνει την τιμή (Duffie and Beckmann, Solar Engineering, Παρ. 1.2):

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

Η ηλιακή ακτινοβολία, το φάσμα της οποίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, μπορεί να χωριστεί σε υπέρυθρη (0-0,38 μ m αντιπροσωπεύει το 7% της ολικής), σε ορατή (0,38-0,78 μ m αντιπροσωπεύει το 47,3% της ολικής) και σε υπεριώδη (0,78-3 μ m αντιπροσωπεύει το 45,7% της ολικής).



Σχήμα 3.1: Ηλιακό φάσμα (ορατό φάσμα μεταξύ 400-800nm)

Ετσι, η ένταση της κάθε επιμέρους ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας, γνωστή και ως πυκνότητα ροής ενέργειας κατανέμεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

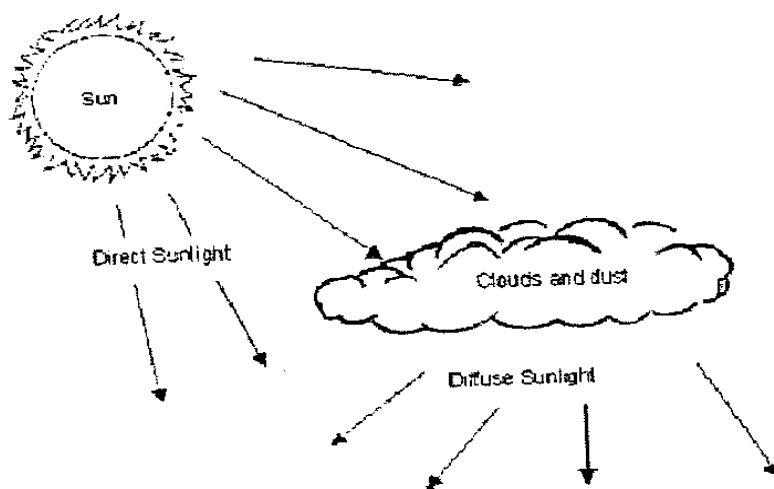
| Είδη ηλιακής ακτινοβολίας | Υπέρυθρη | Ορατή | Υπεριώδης |
|------------------------------|----------|---------|-----------|
| Μήκη κύματος (nm) | 0-380 | 380-780 | 780→∞ |
| Ποσοστό | 0,07 | 0,4729 | 0,4571 |
| Ενέργεια (W/m ²) | 95,7 | 646,45 | 624,85 |

Πίνακας 3.1: Στοιχεία φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που έχει εισέλθει στην ατμόσφαιρα της γης είναι σαφώς μικρότερη σε σχέση με αυτήν εκτός ατμόσφαιρας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1, δεδομένου ότι ένα τμήμα της απορροφάται από στοιχεία που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος από το κάθε στοιχείο είναι εμφανής στο ηλιακό φάσμα, με τις απότομες βυθίσεις.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης απαρτίζεται από δύο μέρη: την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (G_{beam}) και την διάχυτη (G_{diffuse}). Η άμεση ακτινοβολία προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο και σε καθαρό ουρανό αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος. Η διάχυτη ακτινοβολία προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουρανό θόλο εκτός του ηλιακού δίσκου. Είναι ισχυρότερη στο τμήμα του ουρανού κοντά στον ηλιακό δίσκο και ασθενέστερη όσο απομακρυνόμαστε από αυτόν. Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη δίνεται από την σχέση:

$$G = G_{\text{beam}} + G_{\text{diffuse}} \quad (3.3)$$

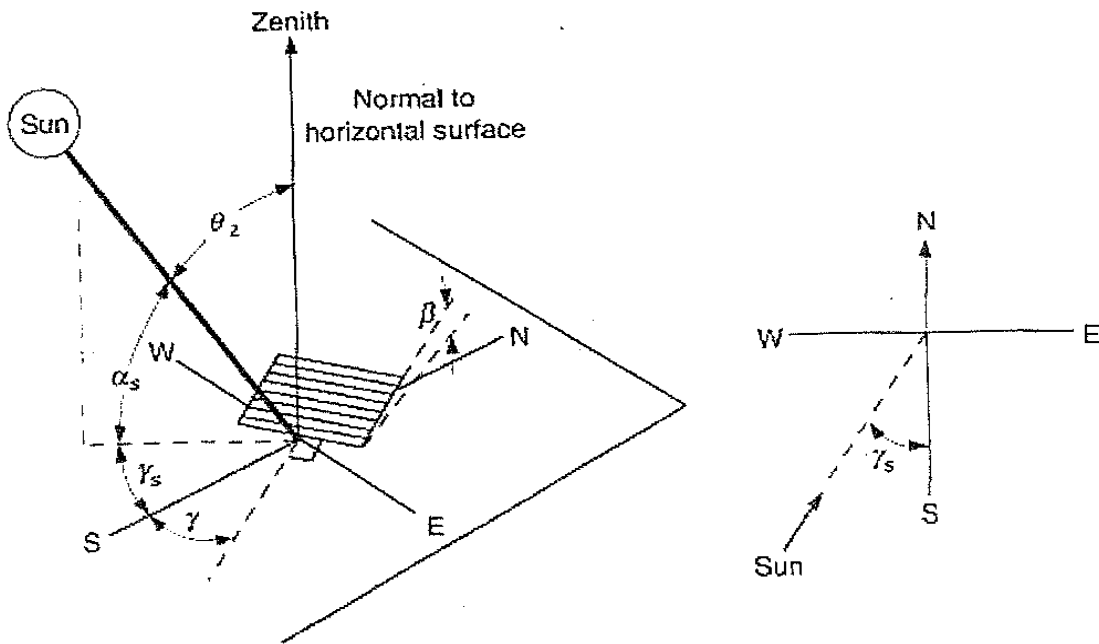


Σχήμα 3.2: Άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Το μέγεθος όμως, η διάρκεια και οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε μια περιοχή ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους και το κλίμα της περιοχής.

Η γεωμετρική σχέση μεταξύ μιας επιφάνειας με οποιονδήποτε προσανατολισμό σε οποιαδήποτε θέση και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτήν μπορεί να περιγραφεί με μια σειρά από γωνίες που παρατίθενται παρακάτω, και αποτελούν τα αστρονομικά δεδομένα.

3.2 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



Σχήμα 3.3: Ηλιακές γωνίες

Ας θεωρήσουμε επίπεδο με κλίση β ως προς το οριζόντιο. (σχήμα 3.3) Ορίζουμε:

ϕ Γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου: είναι η γωνιά της θέσης του τόπου σε σχέση με τον ισημερινό. Ορίζεται θετικό για τον Βορρά και αρνητικό για το Νότο και ισχύει: $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.

β Κλίση: είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου αναφοράς και του οριζόντιου επιπέδου. Η γωνία αυτή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ των ορίων $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Βέλτιστη γωνία κλίσης θεωρείται αυτή που ταυτίζεται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

γ Γωνία αζιμουθίου του επιπέδου: είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού που περνά από το επίπεδο αναφοράς και της προβολής σε οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί του επιπέδου. Η γωνία έχει μηδενική τιμή για Νότιο προσανατολισμό, αρνητική προς Ανατολάς και θετική προς Δυσμάς, δηλαδή $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$. Βέλτιστη γωνία αζιμουθίου θεωρείται αυτή που αναφέρεται σε νότιο προσανατολισμό.

γ_s Γωνία αζιμουθίου του ήλιου: είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού που περνά από το επίπεδο αναφοράς και της προβολής σε οριζόντιο επίπεδο της ευθείας που συνδέει τον ήλιο με το επίπεδο αναφοράς.

θ Γωνία πρόσπτωσης: είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο αναφοράς και της ευθείας που συνδέει αυτό το επίπεδο και τον ήλιο.

θ_z Γωνία ζενίθ: είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που συνδέει το επίπεδο με τον ήλιο και της ευθείας που συνδέει το επίπεδο με το ζενίθ.

ω Ωριαία γωνία: είναι η γωνία που σχηματίζει ο ήλιος κινούμενος στο ημερήσιο επίπεδο της τροχιάς του, με τον μεσημβρινό και περνά από το επίπεδο αναφοράς και υπολογίζεται με βάση την ηλιακή ώρα. Ορίζεται μηδέν για την ηλιακή μεσημβρία, θετική μετά από αυτήν, δηλαδή το απόγευμα και αρνητική πριν από αυτήν, δηλαδή το πρωί. Η γωνία μεταβάλλεται κατά 15° ανά μία ώρα, δεδομένου ότι $15^\circ \cdot 24 = 360^\circ$. Για παράδειγμα, στις 12 η ώρα $\omega = 0^\circ$, στις 10 π.μ. $\omega = -30^\circ$ και στις 3 μ.μ. $\omega = 45^\circ$.

Σε αυτό το σημείο θα ήταν χρήσιμο να δώσουμε τον ορισμό της ηλιακής ώρας:

Ως **ηλιακή ώρα** ορίζεται η ώρα που βασίζεται στην φαινομενική γωνιώδη κίνηση του ήλιου στον ουρανό και η ηλιακή μεσημβρία ταυτίζεται με το μέγιστο ύψος που απέχει ο ήλιος από έναν παρατηρητή στην διάρκεια μιας ημέρας.

Η ηλιακή ώρα χρησιμοποιείται στις σχέσεις μεταξύ των ηλιακών γωνιών και δεν συμπίπτει με την τοπική ώρα. Η σχέση μεταξύ της ηλιακής και της τοπικής ώρας δίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$\text{Ηλιακή ώρα} - \text{τοπική ώρα} = 4(\lambda_{ζώνης} - \lambda_{\text{τοπικό}}) + E_t \quad (\text{minutes}) \quad (3.4)$$

Όπου $\lambda_{ζώνης}$ το γεωγραφικό μήκος ζώνης που παίρνει τιμές: $-180^\circ < \lambda_{ζώνης} < 180^\circ$. Το γεωγραφικό μήκος ζώνης είναι τυποποιημένο και παίρνει τιμές ανά 15° με την τιμή μηδέν στον μεσημβρινό που περνάει από το Greenwich, αρνητικές τιμές ανατολικά του, και θετικές τιμές δυτικά του.

Το $\lambda_{\text{τοπικό}}$ είναι το πραγματικό γεωγραφικό μήκος της περιοχής και E_t είναι η διόρθωση ανάλογα με την ημέρα του έτους. Ισχύει:

$$E_t = 9,87 \sin 2B - 7,53 \cos B - 1,5 \sin B \quad (3.5)$$

$$\text{όπου } B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (3.6)$$

και n η ημέρα του έτους ($1 \leq n \leq 365$).

ω_s Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής: καλείται η ωριαία γωνία ω όταν η γωνία ζενίθ είναι 90° , δηλαδή όταν $\theta_z = 90^\circ$.

ω_s' Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για ένα επίπεδο: καλείται η ωριαία γωνία κατά την οποία ο ήλιος δύει ή ανατέλλει για το επίπεδο αυτό.

δ Ηλιακή απόκλιση: είναι η γωνιώδης θέση του ήλιου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με τον ισημερινό. Η ηλιακή απόκλιση ορίζεται θετική για τον Βορρά και αρνητική για το Νότο. Αλλάζει καθημερινά και κυμαίνεται στα όρια $-23.5^\circ \leq \delta \leq 23.5^\circ$. Η ηλιακή απόκλιση μπορεί να υπολογιστεί σε ημερήσια βάση από τον τύπο του Cooper:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad (3.7)$$

όπου n η ημέρα του έτους κατά αύξοντα αριθμό με αρχή την πρώτη Ιανουαρίου. Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται για την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα, παίρνει τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| Μήνας | n για την i -οστή μέρα του μήνα | Τυπική ημέρα του μήνα | n , Ημέρα του έτους | δ , ηλιακή απόκλιση |
|-------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Ιανουάριος | i | 17 | 17 | - 20.9 |
| Φεβρουάριος | $31 + i$ | 16 | 47 | - 13.0 |
| Μάρτιος | $59 + i$ | 16 | 75 | - 2.4 |
| Απρίλιος | $90 + i$ | 15 | 105 | 9.4 |
| Μάιος | $120 + i$ | 15 | 135 | 18.8 |
| Ιούνιος | $151 + i$ | 11 | 162 | 23.1 |
| Ιούλιος | $181 + i$ | 17 | 198 | 21.2 |
| Αύγουστος | $212 + i$ | 16 | 228 | 13.5 |
| Σεπτέμβριος | $243 + i$ | 15 | 258 | 2.2 |
| Οκτώβριος | $273 + i$ | 15 | 288 | - 9.6 |
| Νοέμβριος | $304 + i$ | 14 | 318 | - 18.9 |
| Δεκέμβριος | $334 + i$ | 10 | 344 | 23.0 |

Πίνακας 3.2: Τυπική ημέρα και ηλιακή απόκλιση κάθε μήνα (Klein, 1977)

Υπάρχει μια σειρά από εξισώσεις που συνδέουν τις παραπάνω γωνίες. Η σχέση που συνδέει την γωνία πρόσπτωσης θ της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο με τις υπόλοιπες γωνίες την n -οστή ημέρα του έτους δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega \\ & + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (3.8)$$

Για οριζόντιες επιφάνειες, δηλαδή όταν $\beta = 0^\circ$, η γωνία πρόσπτωσης θ ταυτίζεται με την γωνία ζενίθ θ_z , και ισχύει:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \phi \quad (3.9)$$

Όταν στην τελευταία σχέση θέσουμε $\theta_z = 90^\circ$, τότε μπορεί να βρεθεί η ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής του ήλιου ω_s . Ειδικότερα:

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \cdot \tan \delta \quad (3.10)$$

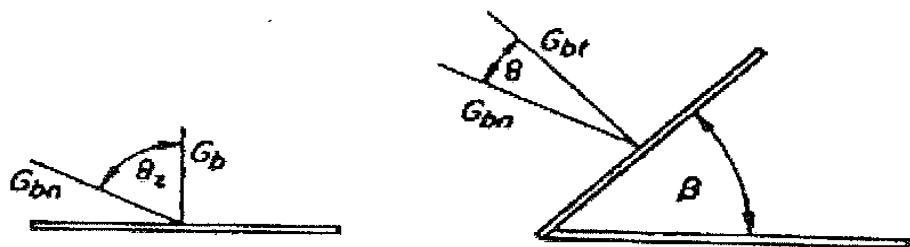
Τέλος, η ωριαία γωνία δύσης ω_s' δίνεται από την σχέση:

$$\omega_s' = \min[\omega_s, \ar \cos(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta)] \quad (3.11)$$

δηλαδή είναι η ελάχιστη τιμή μεταξύ των γωνιών ω_s και $\ar \cos(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta)$.

3.3 ΛΟΓΟΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Οι εξισώσεις που προαναφέρθηκαν είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Σε περίπτωση όμως κεκλιμένου επιπέδου, και δεδομένου ότι τα συχνότερα διαθέσιμα ηλιακά δεδομένα μιας περιοχής σχετίζονται με την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, δημιουργείται το πρόβλημα υπολογισμού της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για εφαρμογή σε κεκλιμένα επίπεδα, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα ή ηλιακοί συλλέκτες, που βρίσκονται υπό κλίση β σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα 3.4 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο

Ο γεωμετρικός παράγοντας R_b είναι ο λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο κλίσης β προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο, στον ίδιο τόπο, και δίνεται από την σχέση:

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G_{b,n} \cdot \cos \theta}{G_{b,n} \cdot \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3.12)$$

Ο βέλτιστος προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών για το βόρειο ημισφαίριο είναι ο νότιος, δηλαδή όταν η γωνία αζιμουθίου είναι $\gamma = 0^\circ$. (αντίστοιχα 180° στο νότιο). Έτσι, ο λόγος R_b για ωριαίες τιμές υπολογισμού με αντικατάσταση προκύπτει:

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (3.13)$$

όπου ω είναι το μέσο της ώρας υπολογισμού.

Αντίστοιχα, για ημερήσιες περιόδους υπολογισμού ισχύει:

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (3.14)$$

όπου ω_s η ωριαία γωνία δύσης του ήλιου

Τέλος, για μηνιαίες περιόδους υπολογισμού ισχύει:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s' + \frac{\pi}{180} \omega_s' \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (3.15)$$

3.4 ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Γενικά γίνεται χρήση του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς την ηλιακή ακτινοβολία στο ίδιο επίπεδο αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα.

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας δίνεται από την σχέση:

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cos \theta_z \quad (3.16)$$

όπου G_{sc} είναι η ηλιακή σταθερά και n η ημέρα του έτους.
Με αντικατάσταση του $\cos \theta_z$ η παραπάνω σχέση δίνει:

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta) \quad (3.17)$$

Επειδή είναι συχνά αναγκαίος ο υπολογισμός της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας, ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου προκύπτει:

$$H_o = \frac{24 \cdot G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right] \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \delta\right] \quad (3.18)$$

όπου H_o είναι η ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας μετρημένη σε (W/m^2) και ω_s η ωριαία γωνία δύσης.

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας, αρκεί να αντικαταστήσουμε την ημέρα του έτους n με την χαρακτηριστική ημέρα του εκάστοτε μήνα και να πολλαπλασιάσουμε με τις ημέρες του μήνα, δηλαδή:

$$\bar{H}_O = \bar{H}_o \cdot d_{om} \quad (3.19)$$

όπου \bar{H}_O η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας, \bar{H}_o η μηνιαία μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας και d_{om} οι ημέρες του μήνα.

Τέλος, η ωριαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας προκύπτει ολοκληρώνοντας την G_o μεταξύ δύο ωριαίων γωνιών ω_1 και ω_2 που ορίζουν την ώρα αναφοράς (η ω_2 είναι μεγαλύτερη).

$$I_o = \frac{12 \cdot G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \phi \cdot \sin \delta \right] \quad (3.20)$$

3.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας είναι η καλύτερη πηγή πληροφόρησης για την εκτίμηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μια περιοχή. Για να είναι αξιόπιστα τα δεδομένα αυτά όμως, πρέπει να στηρίζονται σε μετρήσεις τουλάχιστον δέκα ετών.

Για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε περίπτωση έλλειψης μετρήσεων της, χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις όπως ώρες ηλιοφάνειας ή μέση νέφωση ανά μήνα. Τα δεδομένα σχετικά με τις μέσες ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα, είναι διαθέσιμα σε πολλούς μετεωρολογικούς σταθμούς και βασίζονται κυρίως σε μετρήσεις από όργανα Campbell-Stokes. Τα δεδομένα μέσης νέφωσης είναι και αυτά ευρέως διαθέσιμα, αλλά δεν είναι τόσο αξιόπιστα όσο τα προηγούμενα, διότι στηρίζονται σε οπτικές εκτιμήσεις. Έτσι, χρησιμοποιούνται οι μέσες ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα για τον υπολογισμό της μηνιαίας μέσης ημερήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους. Σύμφωνα με τον τύπο του Angstrom που απλοποίησε ο Page το 1964 ισχύει:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (3.21)$$

όπου:

\bar{H} η μηνιαία μέση ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους

\bar{H}_o η μηνιαία μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας

\bar{n} οι ώρες ηλιοφάνειας της περιοχής υπολογισμού για την ίδια χρονική περίοδο.

\bar{N} οι ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας για ανέφελο ουρανό, για την ίδια περιοχή και την ίδια χρονική περίοδο. Ισχύει:

$$\bar{N} = \frac{2 \cdot \omega_s}{15} \quad (3.22)$$

α και b εμπειρικές σταθερές, ανάλογα με το κλίμα, τη βλάστηση, την διακύμανση των ωρών ηλιοφάνειας και την μέση τιμή των ωρών ηλιοφάνειας. Τους συντελεστές αυτούς για τον ελληνικό χώρο, μέτρησαν οι Πελεκάνος και Παπαχριστόπουλος από τις υπάρχουσες μετρήσεις του Αστεροσκοπείου Αθηνών με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων και είναι:

$$\alpha = 0,1992$$

$$b = 0,5165$$

με συντελεστή ακρίβειας $r = 0,97$:

3.6 ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ

Η ύπαρξη νέφωσης είναι κυρίαρχος παράγοντας που επηρεάζει την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε ένα επίπεδο. Ο λόγος της μέσης ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στο έδαφος κάθε μήνα \bar{H} προς τη μέση ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας \bar{H}_o ονομάζεται μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας και δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (3.23)$$

Αντίστοιχα, ορίζεται ημερήσιος δείκτης αιθριότητας ως ο λόγος της ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο μιας ημέρας στο έδαφος H , προς την ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας την ίδια μέρα H_o .

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (3.24)$$

Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται και ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας:

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (3.25)$$

όπου I η ωριαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στο έδαφος και I_o η ωριαία ολική ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας.

3.7 ΑΜΕΣΗ, ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ωριαία βάση σε μια επιφάνεια, σύμφωνα με το ισοτροπικό μοντέλο των Liu και Jordan (1963), απαρτίζεται από τρία μέρη:

1. Την άμεση G_b , που προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο.
2. Την διάχυτη G_d , που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και δημιουργείται κατά την σκέδαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε άτομα μόρια και αιωρούμενα σωματίδια.
3. Την ανακλώμενη G_r , που προέρχεται από την ανάκλαση της άμεσης ακτινοβολίας από γειτονικές επιφάνειες.



Σχήμα 3.5 Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας

Έτσι, μπορούμε να γράψουμε:

$$G = G_b + G_d + G_r \quad (3.26)$$

Η παραπάνω εξίσωση, που ισχύει και για ημερήσια και μηνιαία βάση, απλουστεύεται αν η επιφάνεια είναι επίπεδη, οριζόντια και δεν υπάρχουν κοντά υψώματα ή κτίρια, οπότε $I_r = 0$ και κατά συνέπεια,

$$G = G_b + G_d \quad (3.27)$$

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις εμπειρικές σχέσεις των Erbs, Klein και Duffie (1982) που προέκυψαν από μετρήσεις ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες τοποθεσίες των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Οι εμπειρικές αυτές σχέσεις βασίζονται στις τιμές της ωριαίας γωνίας δύσης του ήλιου ω_s και του δείκτη αιθριότητας και συνδέουν την ολική και την διάχυτη ακτινοβολία με τον δείκτη αιθριότητας.

Ειδικότερα, η ανά μήνα μέση ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία δίνεται από τις σχέσεις:

Για $\omega_s \leq 81.4^\circ$ και $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560 \cdot \bar{K}_T + 4.189 \cdot \bar{K}_T^2 - 2.137 \cdot \bar{K}_T^3 \quad (3.28)$$

Για $\omega_s > 81.4^\circ$ και $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022 \cdot \bar{K}_T + 3.427 \cdot \bar{K}_T^2 - 1.821 \cdot \bar{K}_T^3 \quad (3.29)$$

όπου \bar{H}_d η ανά μήνα μέση ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία

Αντίστοιχα, η ανά ημέρα διάχυτη ακτινοβολία δίνεται από τις σχέσεις:

Για $\omega_s \leq 81.4^\circ$ και $K_T < 0.715$

$$\frac{H_d}{H} = 1.0 - 0.2727 \cdot K_T + 2.4495 \cdot K_T^2 - 11.9514 \cdot K_T^3 + 9.3879 \cdot K_T^4 \quad (3.30)$$

Για $\omega_s \leq 81.4^\circ$ και $K_T \geq 0.715$

$$\frac{H_d}{H} = 0.143 \quad (3.31)$$

Για $\omega_s > 81.4^\circ$ και $K_T < 0.722$

$$\frac{H_d}{H} = 1.0 + 0.2832 \cdot K_T - 2.5557 \cdot K_T^2 + .8448 \cdot K_T^3 \quad (3.32)$$

Για $\omega_s > 81.4^\circ$ και $K_T \geq 0.722$

$$\frac{H_d}{H} = 0.175 \quad (3.33)$$

όπου H_d η ανά μήνα ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία

Τέλος, η ανά ώρα διάχυτη ακτινοβολία δίνεται από τις σχέσεις:

Για $k_T \leq 0.22$

$$\frac{I_d}{I} = 1.0 - 0.09 \cdot k_T \quad (3.34)$$

Για $0.22 < k_T \leq 0.80$

$$\frac{I_d}{I} = 0.9511 - 0.1604 \cdot k_T + 4.388 \cdot k_T^2 - 16.638 \cdot k_T^3 + 12.236 \cdot k_T^4 \quad (3.35)$$

Για $k_T > 0.8$

$$\frac{I_d}{I} = 0.165 \quad (3.36)$$

3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ

Όταν απαιτούνται υπολογισμοί ωριαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να είναι αναγκαία η χρήση ημερήσιων ηλιακών δεδομένων και ο υπολογισμός των ωριαίων τιμών να γίνει με βάση τις ημερήσιες τιμές. Όπως και στον υπολογισμό της διάχυτης από την ολική ηλιακή ακτινοβολία, ο υπολογισμός δεν είναι τελείως ακριβής. Για παράδειγμα, οι τιμές της ημερήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα σε τιμές καθαρού ουρανού και τελείως νεφελώδους μεταβάλλονται από ποικίλους παράγοντες, όπως σποραδικές πυκνές νεφώσεις, συνεχείς ελαφρές νεφώσεις ή πυκνή νέφωση σε ένα τμήμα της ημέρας. Οι παράγοντες αυτοί δεν είναι δυνατό να καθοριστούν με χρήση ημερήσιων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας. Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι που παρουσιάζονται λειτουργούν άψογα τις ημέρες με καθαρό ουρανό, στις οποίες παράγεται η μεγαλύτερη ισχύς σε ηλιακές εφαρμογές. Ακόμη, αυτές οι μέθοδοι τείνουν να παράγουν συντηρητικές προβλέψεις για μακροχρόνια εφαρμογή.

Στατιστικές έρευνες που έγιναν για τον ρόλο του παράγοντα χρόνου στην ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιώντας μέσες ημερήσιες μηνιαίες τιμές από μια σειρά σταθμών, οδήγησαν στην καθιέρωση του παράγοντα r_t . Ο παράγοντας r_t είναι ο λόγος της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς την ημερήσια στο ίδιο επίπεδο, ως συνάρτηση της διάρκειας της ημέρας και της ώρας.

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (3.37)$$

Οι ωριαίες τιμές υπολογίζονται για το μέσο της εκάστοτε ώρας και οι ημέρες θεωρούνται ότι είναι συμμετρικές με βάση την ηλιακή μεσημβρία. Η διάρκεια της ημέρας μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την σχέση 3.22. Έτσι, γνωρίζοντας την διάρκεια της ημέρας (που αποτελεί συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους ϕ και της ηλιακής απόκλισης δ) και την ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να υπολογιστεί η ωριαία ηλιακή ακτινοβολία για συμμετρικές ημέρες.

Ο παράγοντας r_t σύμφωνα με την εξίσωση των Collares-Pereira και Rabl δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cdot \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (3.38)$$

Οι συντελεστές a και b δίνονται από τις σχέσεις:

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (3.39)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (3.40)$$

Όμοια με τον παράγοντα r_t , αναπτύχθηκε και ο παράγοντας r_d , που αποτελεί τον λόγο της ωριαίας διάχυτης ακτινοβολίας προς την ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία, σύμφωνα με την σχέση:

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (3.41)$$

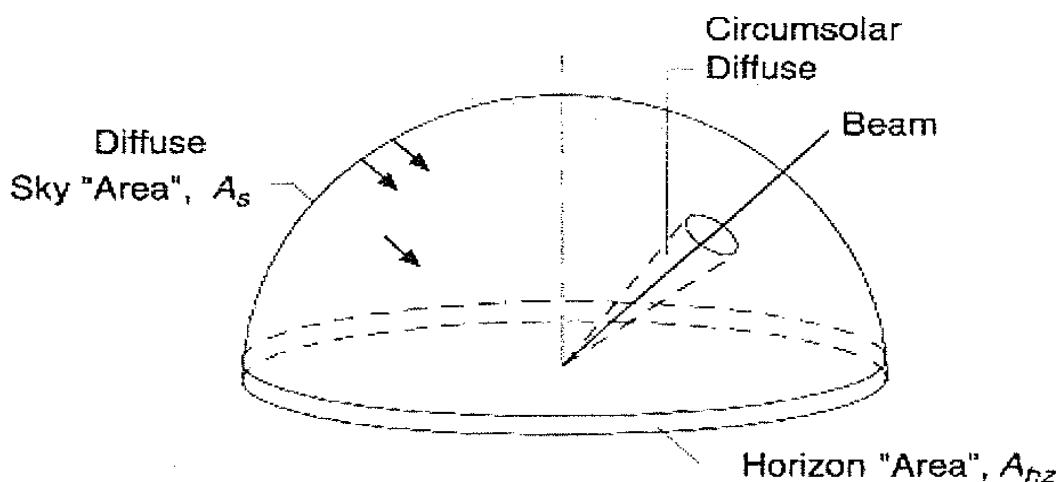
Οι Liu και Jordan (1960) θεωρώντας ότι ο λόγος I_d/H_d είναι ο ίδιος με τον λόγο I_o/H_o οδηγήθηκαν στην ακόλουθη σχέση:

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (3.42)$$

3.9 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε κεκλιμένες επιφάνειες όταν είναι γνωστή μόνο η συνολική ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια, χρειαζόμαστε τις κατευθύνσεις από τις οποίες η άμεση και η διάχυτη συνιστώσα φθάνουν στην εν λόγω επιφάνεια. Σε προηγούμενη παράγραφο εξετάσαμε το γεωμετρικό πρόβλημα της κατεύθυνσης της άμεσης ακτινοβολίας. Η κατεύθυνση από την οποία η διάχυτη ακτινοβολία λαμβάνεται, δηλαδή η κατανομή της πάνω στον ουράνιο θόλο, είναι μια συνάρτηση των συνθηκών νεφοκάλυψης και της ατμοσφαιρικής καθαρότητας, οι οποίες είναι ιδιαίτερα μεταβλητές.

Η ανάλυση στοιχείων διάχυτης ακτινοβολίας για μια καθαρή ημέρα έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η διάχυτη ακτινοβολία αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο είναι ένα ιστροπικό μέρος, που παραλαμβάνεται ομοιόμορφα από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο. Το δεύτερο μέρος είναι η διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από την περιφέρεια του ηλιακού δίσκου, ως αποτέλεσμα της εμπρόσθιας σκέδασης της ηλιακής ακτινοβολίας, και εντοπίζεται στο μέρος του ουρανού γύρω από τον ήλιο. Το τρίτο μέρος, που ονομάζεται λάμψη του ορίζοντα, είναι συγκεντρωμένο κοντά στον ορίζοντα και είναι εντονότερο στους καθαρούς και διαυγείς ουραμούς. Το σχήμα 3.6 παρουσιάζει σχηματικά αυτά τα τρία μέρη της διάχυτης ακτινοβολίας.



Σχήμα 3.6: Κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας πάνω στον ουράνιο θόλο

Η γωνιακή κατανομή της διάχυτης είναι μέχρι ενός ορισμένου βαθμού συνάρτηση της ανακλαστικότητας ρ_g (albedo) του εδάφους. Μια υψηλή ανακλαστικότητα (όπως αυτή του φρέσκου χιονιού με συντελεστή ανακλαστικότητας ρ_g περίπου ίσο με 0,7) καταλήγει στην αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στον ουρανό, η οποία μπορεί στη συνέχεια να διασκορπιστεί και να αποτελέσει τη λάμψη του ορίζοντα.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε ή να είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένες επιφάνειες όπως επίπεδοι συλλέκτες, παράθυρα, ή άλλοι δέκτες παθητικών συστημάτων. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι το άθροισμα ενός συνόλου ροών ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένης της άμεσης ακτινοβολίας, των τριών συστατικών της διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό και της ακτινοβολίας που ανακλάται από διάφορες επιφάνειες "που βλέπει" η κεκλιμένη επιφάνεια. Η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία σε αυτήν την επιφάνεια μπορεί να γραφεί ως:

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} + I_{T,d,hz} + I_{T,refl} \quad (3.43)$$

όπου οι δείκτες *iso*, *cs*, *hz* και *refl* αναφέρονται στην ισοτροπική, στην περιφερειακή του ήλιου, στη λάμψη του ορίζοντα και στην ανακλώμενη συνιστώσα της ακτινοβολίας.

Γενικά, δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί ο όρος της ανακλώμενης ενέργειας λεπτομερώς, λαμβάνοντας υπόψη τα κτίρια, τα δέντρα, κ.λπ., τη μεταβαλλόμενη ηλιακή πρόσπτωση πάνω σε αυτά και τους μεταβαλλόμενους συντελεστές ανάκλασής τους. Για κάθε ένα από τα εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ του ήλιου και της επιφάνειας θα πρέπει να είναι γνωστός ο συντελεστής ανάκλασής του ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η προσπιπώμενη ανακλώμενη ακτινοβολία στην επιφάνεια. Η τυποποιημένη πρακτική για διευκόλυνση των υπολογισμών, είναι να υποτεθεί ότι υπάρχει μια επιφάνεια, ένα οριζόντιο έδαφος μεγάλο σε έκταση γύρω από τη θεωρούμενη επιφάνεια υπολογισμού, που ανακλά τη διάχυτη έτσι ώστε γνωρίζοντας το συντελεστή ανάκλασης του υποτιθέμενου εδάφους να υπολογιστεί η συνιστώσα της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

3.10 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ

Μπορεί να υποτεθεί ότι ο συνδυασμός της διάχυτης και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας είναι ισοτροπικός. Με αυτήν την υπόθεση, το άθροισμα της διάχυτης από τον ουρανό και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια είναι το ίδιο ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό, και η συνολική ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια είναι το άθροισμα της συμβολής της άμεσης που υπολογίζεται ως $I_b R_b$ και της διάχυτης σε οριζόντια επιφάνεια I_d επί ένα συντελεστή που εξαρτάται από την κλίση του επιπέδου. Αυτό αντιπροσωπεύει μια βελτίωση της υπόθεσης ότι όλη η ακτινοβολία μπορεί να αντιμετωπιστεί ως άμεση, αλλά και καλύτερες μέθοδοι είναι διαθέσιμες.

Μια βελτίωση σε αυτά τα μοντέλα είναι το μοντέλο ισοτροπικής διάχυσης που αναπτύχθηκε από τους Liu και Jordan (1963). Η ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια θεωρείται ότι περιλαμβάνει τρία συστατικά: την άμεση, την ισοτροπική διάχυτη και την ηλιακή ακτινοβολία που διάχυτα ανακλάται από το έδαφος. Ο τρίτος και ο τέταρτος όρος στην εξίσωση 3.43 λαμβάνονται μηδέν καθώς όλη η διάχυτη υποτίθεται ότι είναι ισοτροπική. Μια επιφάνεια που είναι κεκλιμένη με κλίση β ως προς τον ορίζοντα έχει έναν παράγοντα θέασης του ουρανού F_{c-s} που δίνεται από τη σχέση $(1 + \cos\beta) / 2$. Η επιφάνεια έχει έναν παράγοντα θέασης του εδάφους F_{c-g} που δίνεται από τη σχέση $(1 - \cos\beta)/2$, και εάν ο περιβάλλον χώρος έχει έναν συντελεστή ανάκλασης διάχυσης ρ_g για τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία, η ανακλώμενη ακτινοβολία από το περιβάλλον στην επιφάνεια θα είναι $I\rho_g(1 - \cos\beta)/2$. Κατά συνέπεια η εξίσωση 3.43 τροποποιείται για να δώσει τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια για μια ώρα ως το άθροισμα τριών όρων:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + I\rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.44)$$

όπου

$$I_b = I - I_d \quad (3.45)$$

Από δω και πέρα σε όλους τους υπολογισμούς θα θεωρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά έναν ισοτροπικό ουρανό.

3.11 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ

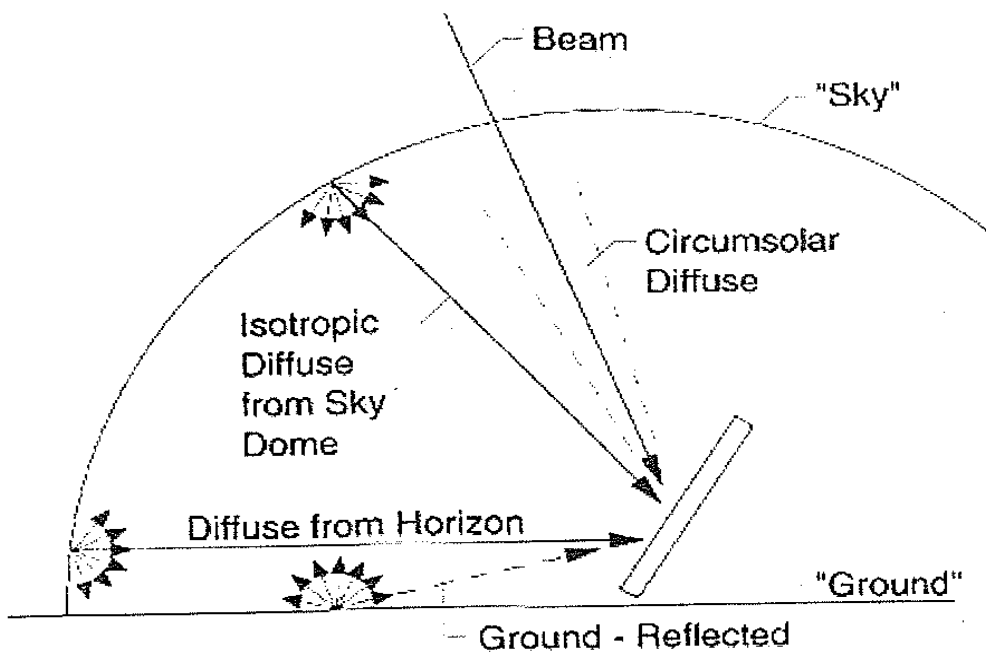
Το ισοτροπικό μοντέλο διάχυσης (εξίσωση 3.5) είναι εύκολο να κατανοηθεί. Κάνει συντηρητικές εκτιμήσεις (δηλ., τείνει να υποτιμήσει την I_T) και καθιστά τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες εύκολο. Εντούτοις, βελτιωμένα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί που λαμβάνουν υπόψη τη διάχυτη περιφερειακή ακτινοβολία του ήλιου και τη λάμψη του ορίζοντα σε μια κεκλιμένη επιφάνεια όπως παρουσιάζονται σχηματικά στο σχήμα 3.7.

Το μοντέλο των Hay και Davies (1980) βασίζεται στην υπόθεση ότι όλη η διάχυτη ακτινοβολία αποτελείται από δυο μέρη, το ισοτροπικό και το περιφερειακό του ήλιου. Κατά συνέπεια η ακτινοβολία σε έναν κεκλιμένο συλλέκτη γράφεται ως:

$$I_{d,T} = I_d \left[(1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + A_i R_b \right] \quad (3.46)$$

όπου ο A_i είναι ένας ανισοτροπικός δείκτης και είναι συνάρτηση της διαπερατότητας της ατμόσφαιρας για την άμεση ακτινοβολία:

$$A_i = \frac{I_{bn}}{I_{on}} = \frac{I_b}{I_o} \quad (3.47)$$



Σχήμα 3.7: Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια στο μοντέλο του ανισοτροπικού.

Ο ανισοτροπικός δείκτης καθορίζει το μέρος της διάχυτης που πρόκειται να αντιμετωπιστεί ως προς τα μπροστά διάχυτη ακτινοβολία θεωρείται ότι προσπίπτει με την ίδια γωνία όπως και η άμεση ακτινοβολία. Πρακτικά, είναι η διάχυτη που προέρχεται από το περιφερειακό τμήμα του ήλιου. Η ισορροπία της διάχυτης σε σχέση με την ανακλώμενη υποτίθεται ότι είναι ισοτροπική. Υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, ο A_i θα είναι υψηλός και το μεγαλύτερο μέρος της διάχυτης θα υποτίθεται ότι είναι προς τα μπροστά διάχυτη, αφού δεν υπάρχουν σύννεφα που να κρύβουν τον ηλιακό δίσκο. Όταν δεν υπάρχει άμεση ακτινοβολία, ο A_i θα είναι μηδέν. Τότε η υπολογισμένη διάχυτη θα είναι μόνο ισοτροπική, και το μοντέλο γίνεται το ίδιο με την εξίσωση 3.5.

Η συνολική ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια είναι τότε:

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.48)$$

Η μέθοδος των Hay και Davies για τον υπολογισμό της I_T δεν είναι πολύ πιο σύνθετη από το ισοτροπικό μοντέλο και οδηγεί σε ελαφρώς υψηλότερες εκτιμήσεις ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια. Εντούτοις, δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη του τη λάμψη του ορίζοντα. Οι Temps και Coulson (1977) συμπεριλαμβάνουν τη λάμψη του ορίζοντα με την προσθήκη ενός συντελεστή διόρθωσης $[1 + \sin^3(\beta/2)]$ στη διάχυτη ισότροπη. Ο Klucher (1979) τροποποίησε αυτόν τον συντελεστή διόρθωσης προσθέτοντας έναν παράγοντα F ώστε να λαμβάνει υπόψη του τη νεφοκάλυψη. Το βελτιωμένο μοντέλο έχει τη μορφή:

$$I_{d,T} = I_d \left\{ (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + A_i R_b \right\} \quad (3.49)$$

όπου ο A_i έχει οριστεί παραπάνω και ο f ορίζεται ως:

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (3.50)$$

Όταν προστεθούν η άμεση και η ανακλώμενη ακτινοβολία τότε προκύπτει το μοντέλο HDKR (Hay, Davies, Klucher, Reindl model). Έτσι, η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια δίνεται από την σχέση:

$$I_T = (I_b + I_d \cdot A_i)R_b + I_d \left\{ (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] \right\} + I \cdot \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.51)$$

3.12 ΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας για ισοτροπικό ουρανό μπορεί να γίνει για ημερήσιες ή μηνιαίες τιμές, δεδομένου ότι αυτές οι τιμές απαιτούνται για χρήση στις ηλιακές εφαρμογές. Θεωρώντας την διάχυτη και την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ισοτροπικές, σε αναλογία με τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε ωριαία βάση υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία σε ημερήσια βάση για νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0$):

$$H_T = H \cdot \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \cdot R_b + H_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + H \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (3.52)$$

$$\text{όπου } R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta}$$

$$\text{και } \omega_s = ar \cos(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηνιαία βάση, υπολογίζεται η μέση μηνιαία ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, η οποία πολλαπλασιάζεται με τις ημέρες του μήνα:

$$\bar{H}_T = \bar{H} \cdot \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \cdot \bar{R}_b + \bar{H}_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \bar{H} \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (3.53)$$

$$\text{όπου } \bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s' + \frac{\pi}{180} \omega_s' \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta}$$

$$\text{και } \omega_s' = \min[\omega_s, ar \cos(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta)]$$

3.13 ΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - Η ΜΕΘΟΔΟΣ K-T

Μια εναλλακτική προσέγγιση στον υπολογισμό της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες αναπτύχθηκε από τους Klein και Theilacker (1981). Είναι λίγο πιο δύσκολη στην χρήση της σε σχέση με τον ισοτροπικό ουρανό, αλλά οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την ισοτροπική μέθοδο, όταν συγκρίνεται για ωριαίους υπολογισμούς βασισμένους σε πολύχρονες μετρήσεις.

Η μέθοδος περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω, στην αρχή περιορισμένη σε νότιο προσανατολισμό και στην συνέχεια γενικευμένη για οποιονδήποτε προσανατολισμό. Όπως και στις εξισώσεις των Liu και Jordan, έτσι και εδώ οι εξισώσεις βασίζονται στην θεώρηση ότι η διάχυτη και η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι ισοτροπικές.

Η μακροχρόνια τιμή του R , που αποτελεί τον λόγο της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την αντίστοιχη σε οριζόντιο, μπορεί να υπολογιστεί ολοκληρώνοντας τους παράγοντες G_T και G από την ανατολή μέχρι την δύση του ηλίου για όλες τις μέρες από μακροχρόνια ηλιακά δεδομένα για έναν συγκεκριμένο μήνα και αθροίζοντάς τα. (Για παράδειγμα, τα δεδομένα για όλες τις ημέρες του Ιανουαρίου σε μια δεκαετία θα αποτελούν την μακροχρόνια μέση τιμή για τον Ιανουάριο).

$$\bar{R} = \frac{\sum_{day=1}^N \int_{t_{sr}}^{t_{ss}} G_T \cdot dt}{\int_{t_{sr}}^{t_{ss}} G \cdot dt} \quad (3.54)$$

Ο παρανομαστής είναι ο $N \cdot \bar{H}$. Για τον υπολογισμό του αριθμητή είναι χρήσιμο να αντικαταστήσουμε τον όρο G_T με τον όρο I_T , αλλάζοντας την τάξη της ολοκλήρωσης και του αθροίσματος. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 3.44, η ακτινοβολία οποιαδήποτε ώρα της ημέρας για N ημέρες δίνεται από την σχέση:

$$N \cdot I_T = N \left[(\bar{I} - \bar{I}_d) R_b + \bar{I}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{I} \cdot \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (3.55)$$

Όπου \bar{I} και \bar{I}_d είναι μακροχρόνιες μέσες τιμές της ολικής και της διάχυτης ακτινοβολίας. Έτσι, η εξίσωση του συντελεστή R γίνεται:

$$\bar{R} = \frac{\int_{t_{sr}}^{t_{ss}} \left[(\bar{I} - \bar{I}_d) R_b + \bar{I}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{I} \cdot \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \cdot dt}{\bar{H}} \quad (3.56)$$

Συνδυάζοντας την παραπάνω σχέση με τις εξισώσεις που συνδέουν την ωριαία ακτινοβολία με ημερήσιες τιμές (με τους παράγοντες t_i και t_d) προκύπτει η παρακάτω σχέση για επιφάνειες προσανατολισμένες νότια στο βόρειο ημισφαίριο:

$$\begin{aligned} \bar{R} = & \frac{\cos(\phi - \beta)}{d \cdot \cos \phi} \left[\left(a - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \left(\sin \omega_s' - \frac{\pi \cdot \omega_s'}{180} \cos \omega_s'' \right) \right. \\ & \left. + \frac{b}{2} \left(\frac{\pi \cdot \omega_s'}{180} + \sin \omega_s' \left(\cos \omega_s' - 2 \cdot \cos \omega_s'' \right) \right) \right] \\ & + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \end{aligned} \quad (3.57)$$

όπου $\omega_s' = \min[\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta)]$

$\omega_s'' = \cos^{-1}[-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta]$

και a, b οι συντελεστές που προκύπτουν από τις σχέσεις 3.39 και 3.40 αντίστοιχα.

Η ανάπτυξη της παραπάνω εξίσωσης βασίστηκε στην υπόθεση ότι η διάρκεια της ημέρας δεν αλλάζει κατά την διάρκεια του μήνα.

Οι Klein και Theilacker ανέπτυξαν και μια πιο γενικευμένη μορφή της παραπάνω σχέσης που ισχύει για οποιονδήποτε προσανατολισμό. Όταν η γωνία αζιμουθίου δεν είναι 0° ή 180° τότε οι ώρες ανατολής και δύσης δεν θα είναι συμμετρικές ως προς την ηλιακή μεσημβρία, και τα όρια ολοκλήρωσης για τον αριθμητή στις εξισώσεις 3.54 και 3.55 θα έχουν διαφορετικές απόλυτες τιμές. Η εξίσωση του συντελεστή \bar{R} είναι:

$$\bar{R} = D + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.58)$$

$$\text{όπου για } \omega_{ss} \geq \omega_{sr} \quad D = \max[0, G(\omega_{ss}, \omega_{sr})] \quad (3.59)$$

και

$$\text{για } \omega_{ss} < \omega_{sr} \quad D = \max[0, (G(\omega_{ss}, -\omega_s) + G(\omega_s, \omega_{sr}))] \quad (3.60)$$

Ο παράγοντας G δίνεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} G(\omega_1, \omega_2) = & \frac{1}{2 \cdot d} \left[\left(\frac{b \cdot A}{2} - a' \cdot B \right) (\omega_1 - \omega_2) \frac{\pi}{180} \right. \\ & + (a' \cdot A - b \cdot B) (\sin \omega_1 - \sin \omega_2) - a' \cdot C \cdot (\cos \omega_1 - \cos \omega_2) \\ & \left. + \left(\frac{b \cdot A}{2} \right) (\sin \omega_1 \cdot \cos \omega_1 - \sin \omega_2 \cdot \cos \omega_2) + \left(\frac{b \cdot C}{2} \right) \cdot (\sin^2 \omega_1 - \sin^2 \omega_2) \right] \end{aligned} \quad (3.61)$$

Ακόμη,

$$a' = a - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \quad (3.62)$$

Η ολοκλήρωση της εξίσωσης 2.20.3 ξεκινάει στην αργότερη ανατολή του ήλιου μεταξύ οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας και τελειώνει στην νωρίτερη δύση του ήλιου μεταξύ οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας. Θέτοντας $\theta=90^\circ$ στην εξίσωση 3.8, προκύπτει μια δευτεροβάθμια εξίσωση η οποία δίνει δύο τιμές του παράγοντα ω , οι οποίες πρέπει να βρίσκονται στα όρια $\pm\omega_s$. Έτσι, προκύπτουν οι ωριαίες γωνίες δύσης ω_{sr} και ανατολής ω_{sr} , που εξαρτώνται από τον προσανατολισμό της επιφάνειας, όπως φαίνεται και στις παρακάτω σχέσεις:

$$|\omega_{sr}| = \min \left[\omega_s, \cos^{-1} \frac{A \cdot B + C \sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right] \quad (3.63)$$

Αν $A > 0$ και $B > 0$ ή $A \geq B$ τότε:

$$\omega_{sr} = -|\omega_{sr}| \quad (3.64)$$

και

$$\omega_{sr} = +|\omega_{sr}| \quad (3.65)$$

σε κάθε άλλη περίπτωση.

$$|\omega_{ss}| = \min \left[\omega_s, \cos^{-1} \frac{A \cdot B - C \sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2} \right] \quad (3.66)$$

Αν $A > 0$ και $B > 0$ ή $A \geq B$ τότε:

$$\omega_{ss} = +|\omega_{ss}| \quad (3.67)$$

και

$$\omega_{ss} = -|\omega_{ss}| \quad (3.68)$$

σε κάθε άλλη περίπτωση.

Επιπλέον ισχύει:

$$A = \cos \beta + \tan \phi \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta \quad (3.69)$$

$$B = \cos \omega_s \cdot \cos \beta + \tan \delta \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \quad (3.70)$$

$$C = \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma}{\cos \phi} \quad (3.71)$$

3.14 ΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΒΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ r_t ΚΑΙ r_d ΓΙΑ ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΟ ΟΥΡΑΝΟ

Η τελευταία μέθοδος, υπολογίζει την ωριαία ηλιακή ακτινοβολία για οποιονδήποτε προσανατολισμό, θεωρώντας ισοτροπικό ουρανό και χρησιμοποιώντας τους παράγοντες r_t και r_d (Παρ. 3.8). Ειδικότερα, οι ωριαίες τιμές της ολικής, άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας με βάση τις αντίστοιχες ημερήσιες, δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

Ολική:

$$\bar{I} = \bar{H} \cdot r_t$$

Άμεση:

$$\bar{I}_b = \bar{I} - \bar{I}_d = \bar{H} \cdot r_t - \bar{H}_d \cdot r_d$$

Διάχυτη:

$$\bar{I}_d = \bar{H}_d \cdot r_d$$

Έτσι, η σχέση (3.44) γίνεται:

$$\bar{I}_T = (\bar{H} \cdot r_t - \bar{H}_d \cdot r_d) R_b + \bar{H}_d \cdot r_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H} \cdot \rho_g \cdot r_t \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.72)$$

Με αντικατάσταση από την σχέση (3.23) προκύπτει:

$$\bar{I}_T = \bar{K}_T \cdot \bar{H}_o \left[\left(r_t - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot r_d \right) R_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot r_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \cdot r_t \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (3.73)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου για τον υπολογισμό της ενέργειας που παράγουν διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα για εφαρμογή σε κτίρια στον ελληνικό χώρο. Το μοντέλο υπολογισμού έχει αναπτυχθεί σε πρόγραμμα Microsoft® Excel και ονομάζεται PHIVOS (Photovoltaics' Instrument Viable for On-grid Systems), δηλαδή εργαλείο φωτοβολταϊκών εφαρμόσιμο σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Το πρόγραμμα έχει ενσωματώσει αστρονομικά και μετεωρολογικά δεδομένα για τον υπολογισμό της ενέργειας που παράγουν διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα σε 25 περιοχές της Ελλάδας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα είναι τα γεωγραφικά πλάτη των περιοχών, οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ημέρας, και οι ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα της εκάστοτε περιοχής.



Σχήμα 1: Περιοχές εφαρμογής προγράμματος υπολογισμού

Η ανάπτυξη του μοντέλου έγινε στα πρότυπα του προγράμματος Retscreen, το οποίο αποτελεί ολοκληρωμένο εργαλείο για τον υπολογισμό παραγωγής ενέργειας, κόστους κύκλου ζωής και μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το πρόγραμμα Retscreen, δημιουργήθηκε στον Καναδά από ερευνητικές ομάδες με την συνεισφορά ειδημόνων από την βιομηχανία και την κυβέρνηση. Το πρόγραμμα αυτό αναπτύσσεται περαιτέρω σε συνεργασία με το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP) και άλλους φορείς, και λαμβάνει στοιχεία από την NASA για την κάλυψη των αστρονομικών και μετεωρολογικών δεδομένων που απαιτούνται.

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΠΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια με οποιονδήποτε προσανατολισμό, συγκρίθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι υπολογισμού:

- Υπολογισμός για ισοτροπικό ουρανό (Παρ. 3.10)
 - Υπολογισμός για ανισοτροπικό ουρανό (Παρ. 3.11)
 - Υπολογισμός με βάση την μέθοδο K-T (Παρ. 3.13)
 - Υπολογισμός με βάση τους παράγοντες r_i , r_d (Phivos) (Παρ. 3.14).
- (Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και από το πρόγραμμα Retscreen).

Ως μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων υπολογισμού, χρησιμοποιήθηκαν πινακοποιημένες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας. Ειδικότερα, συγκρίθηκε η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο για τις 25 περιοχές της Ελλάδας όπου εφαρμόζεται το μοντέλο, με αντίστοιχες μετρημένες τιμές από το περιοδικό «Τεχνικά Χρονικά», καθώς και μηνιαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας των περιοχών Αθήνας και Αλιάρτου με αντίστοιχες μετρημένες τιμές από το βιβλίο «European Solar Radiation Atlas». Για την περιοχή της Αθήνας συγκρίθηκαν και οι τιμές ηλιακής ακτινοβολίας που προκύπτουν από το πρόγραμμα Retscreen. Τα δεδομένα εισόδου για όλα τα προγράμματα είναι η περιοχή, η κλίση και η γωνία αζιμουθίου.

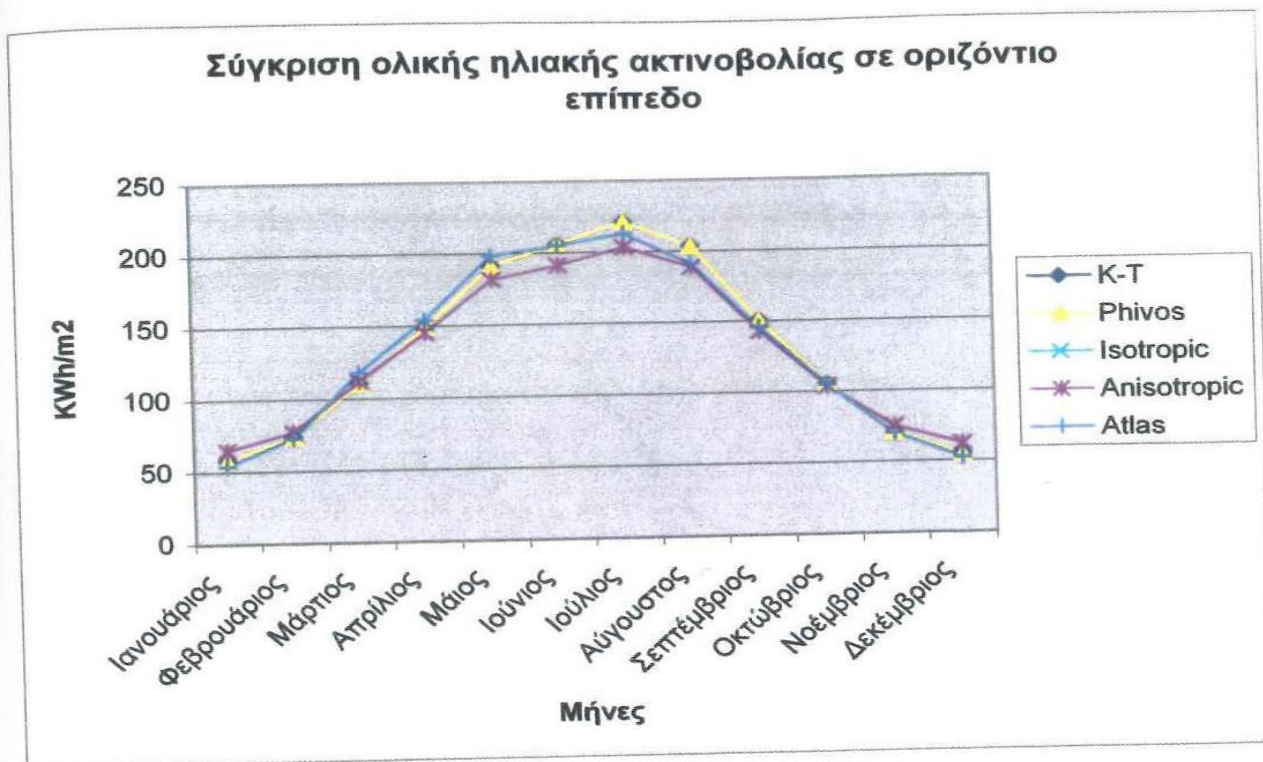
Το πρόγραμμα Retscreen χρησιμοποιεί τυποποιημένα στοιχεία μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, τα οποία παίρνει έτοιμα από την NASA, ενώ όλα τα άλλα προγράμματα υπολογίζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ως αποτέλεσμα του γινομένου της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας επί τον δείκτη αιθριότητας. Ο τελευταίος παράγοντας υπολογίζεται βάση της εμπειρικής σχέσης του Angstrom που απλοποίησε ο Page, με βάση τις ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα της εκάστοτε περιοχής:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{\bar{N}}$$

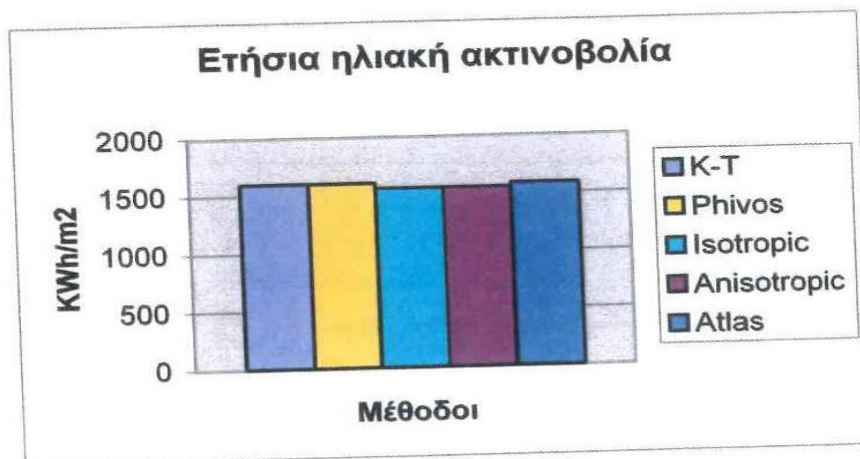
Ειδικότερα για τον ισοτροπικό και ανισοτροπικό ουρανό, χρησιμοποιείται ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας, ο οποίος υπολογίζεται με βάση τον μηνιαίο (με χρήση των παραγόντων r_i και r_d) σύμφωνα με την σχέση:

$$\bar{k}_T = \frac{\bar{I}}{\bar{I}_o} = \frac{r_i}{r_d} \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = \frac{r_i}{r_d} \bar{K}_T = \bar{K}_T (a + b \cdot \cos \omega) \quad (4.1)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο με βάση την ισοτροπική και την ανισοτροπική μέθοδο γίνεται με τον ίδιο τρόπο. Το ίδιο ισχύει και για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο με βάση τις μεθόδους K-T και Phivos. Η διαφορά των μεθόδων έγκειται στον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Στην συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα υπολογισμού της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$) και της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$) σε οριζόντιο επίπεδο και σε κεκλιμένο, για ποικίλες τιμές κλίσης β και γωνίας αζιμουθίου γ καθώς και οι αποκλίσεις των μεθόδων υπολογισμού από τις τιμές από το βιβλίο «European Solar Radiation Atlas».



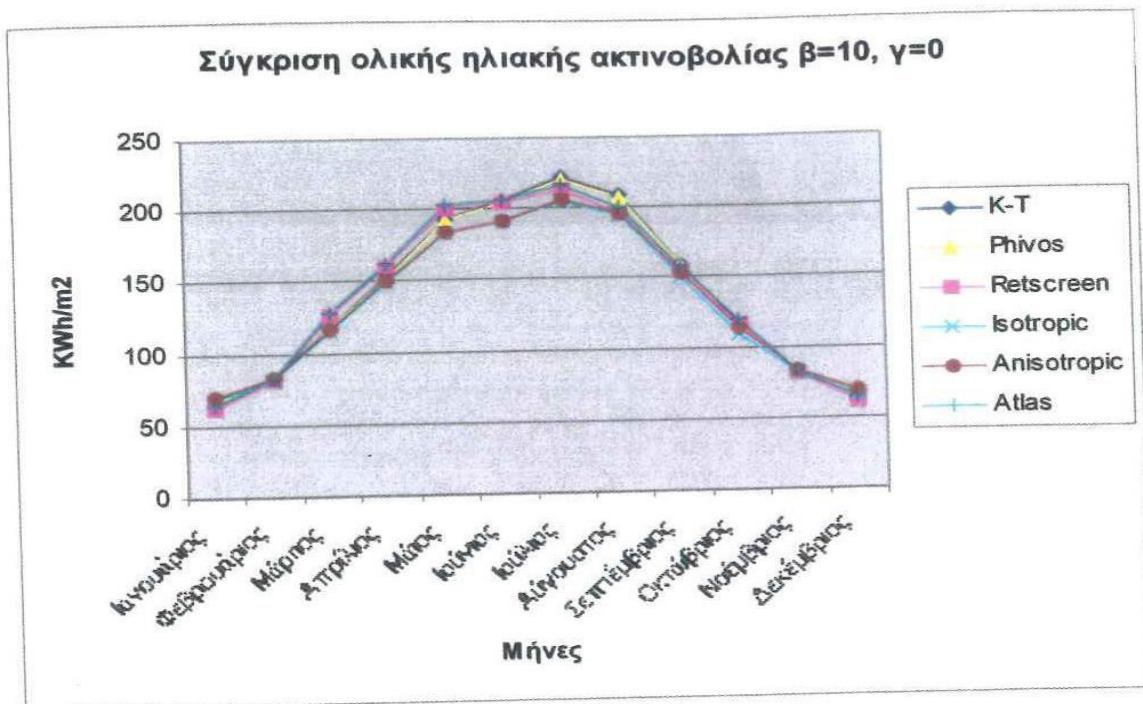
Διάγραμμα 7.1: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).



Διάγραμμα 7.2: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1582,17 | |
| K-T | 1597,27 | 0,9 |
| Phivos | 1597,27 | 0,9 |
| Ισοτροπική | 1552,37 | -1,9 |
| Ανισοτροπική | 1552,37 | -1,9 |

Πίνακας 7.1: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα.



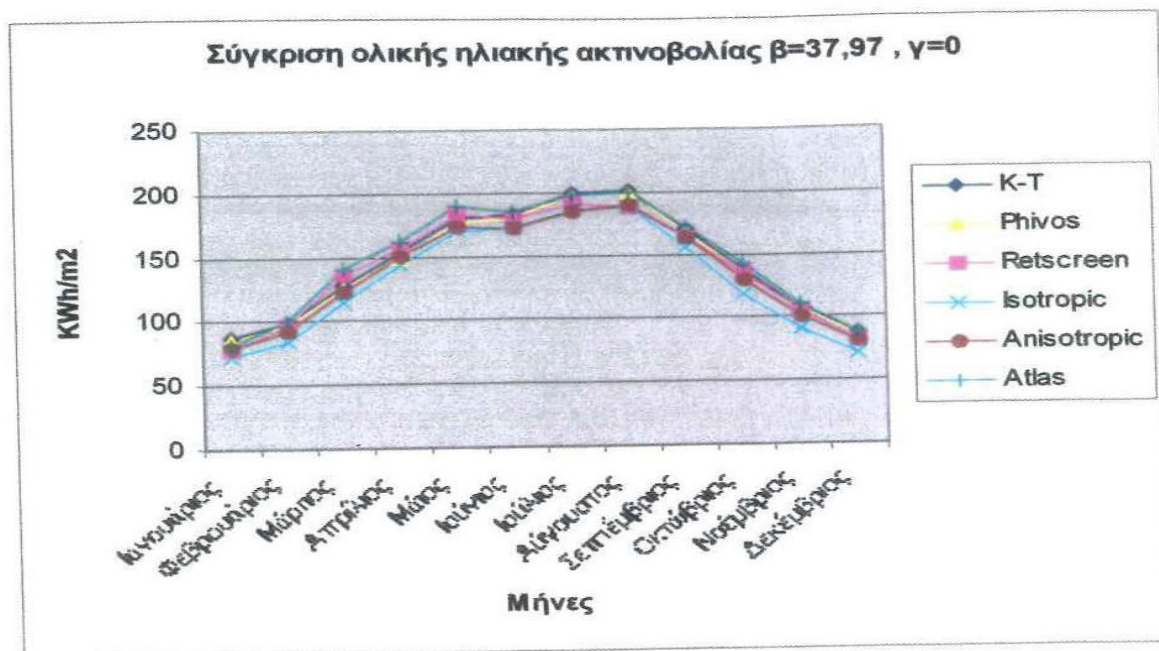
Διάγραμμα 7.3: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=10^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).



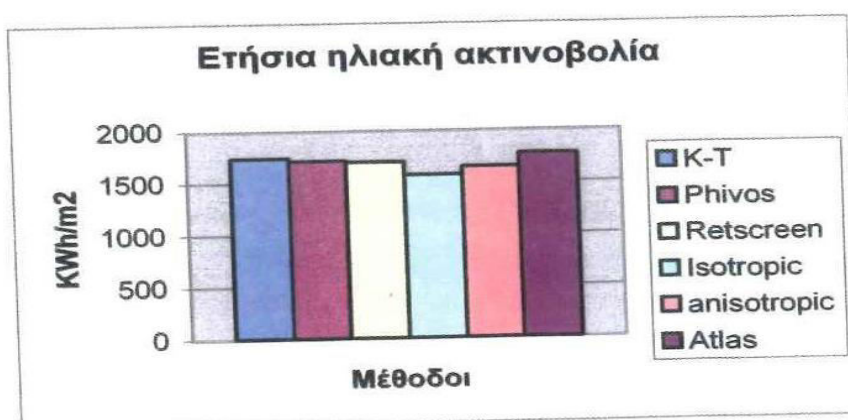
Διάγραμμα 7.4: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=10^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1689,7 | |
| K-T | 1673,75 | -1,0 |
| Phivos | 1671,59 | -1,1 |
| Retscreen | 1661,71 | -1,7 |
| Ισοτροπική | 1600,18 | -5,6 |
| Ανισοτροπική | 1618,81 | -4,4 |

Πίνακας 7.2: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=10^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.



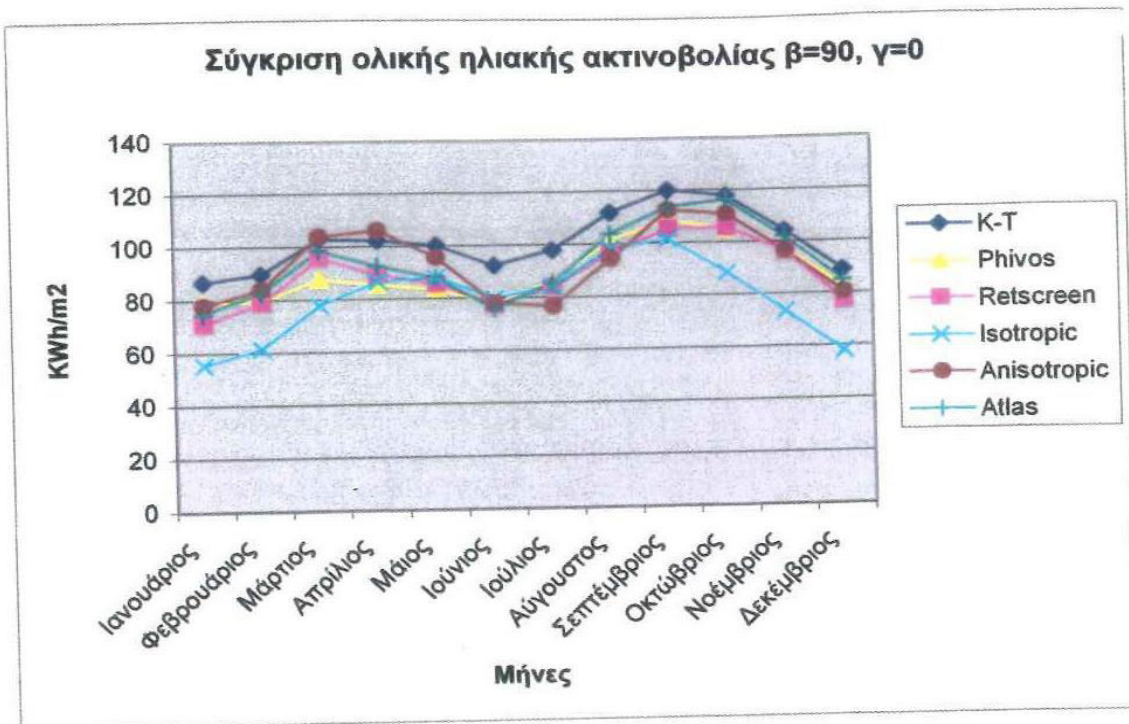
Διάγραμμα 7.5: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=37,97^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).



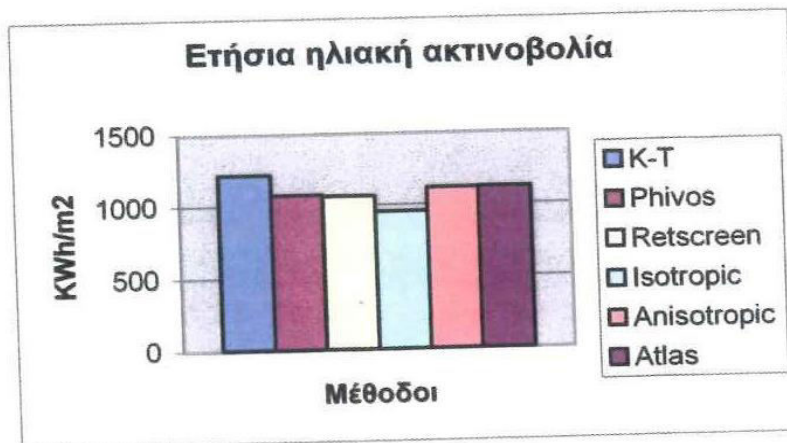
Διάγραμμα 7.6: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=37,97^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1769,42 | |
| K-T | 1737,8 | -1,8 |
| Phivos | 1709,12 | -3,5 |
| Retscreen | 1696,75 | -4,3 |
| Ισοτροπική | 1570,9 | -12,6 |
| Ανισοτροπική | 1645,16 | -7,6 |

Πίνακας 7.3: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=37,97^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.



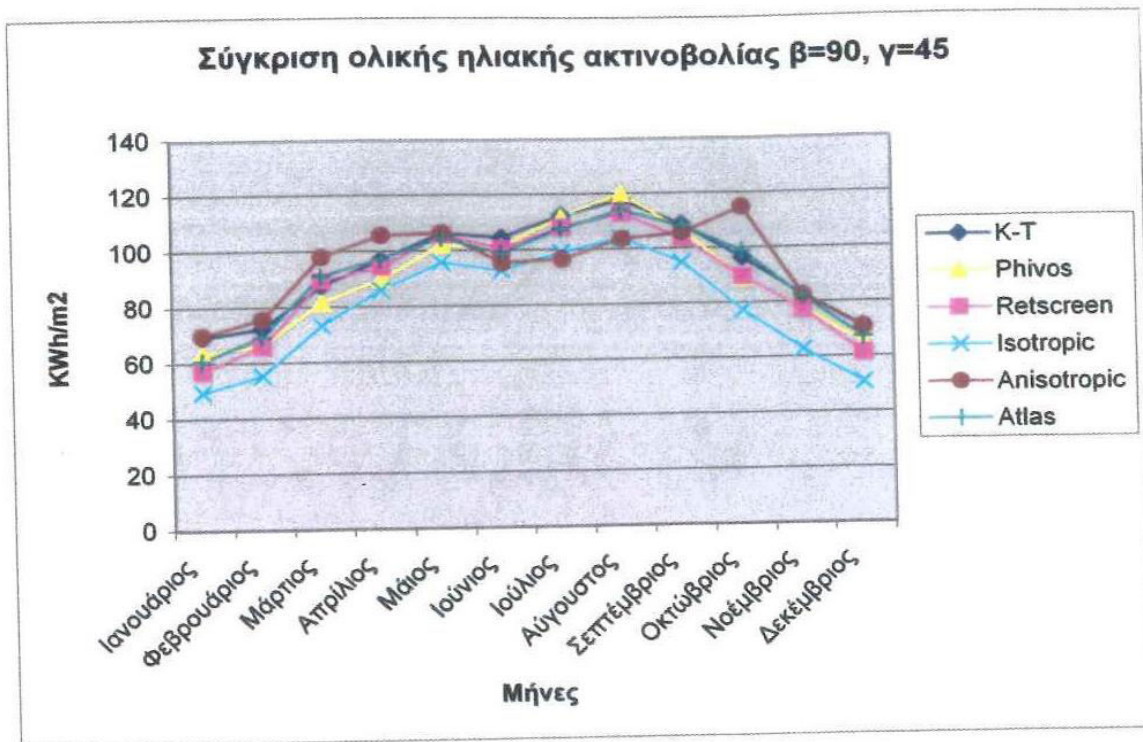
Διάγραμμα 7.7: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).



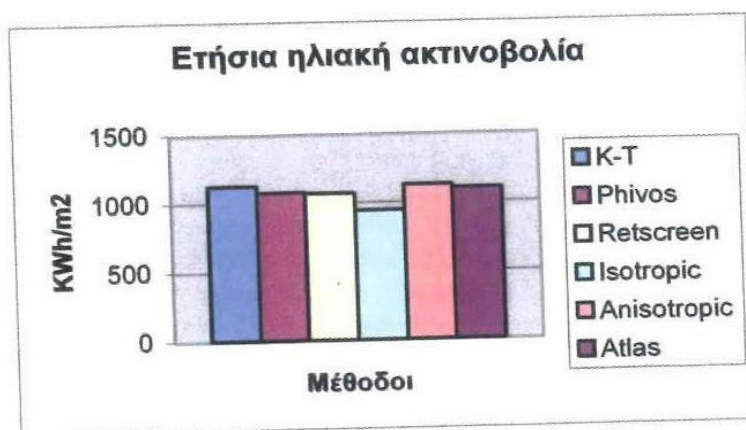
Διάγραμμα 7.8: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1119,42 | |
| K-T | 1216,19 | 8,0 |
| Phivos | 1075,22 | -4,1 |
| Retscreen | 1065,56 | -5,1 |
| Ισοτροπική | 955,52 | -17,2 |
| Ανισοτροπική | 1118,1 | -0,1 |

Πίνακας 7.4: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=90^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.



Διάγραμμα 7.9: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=45^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

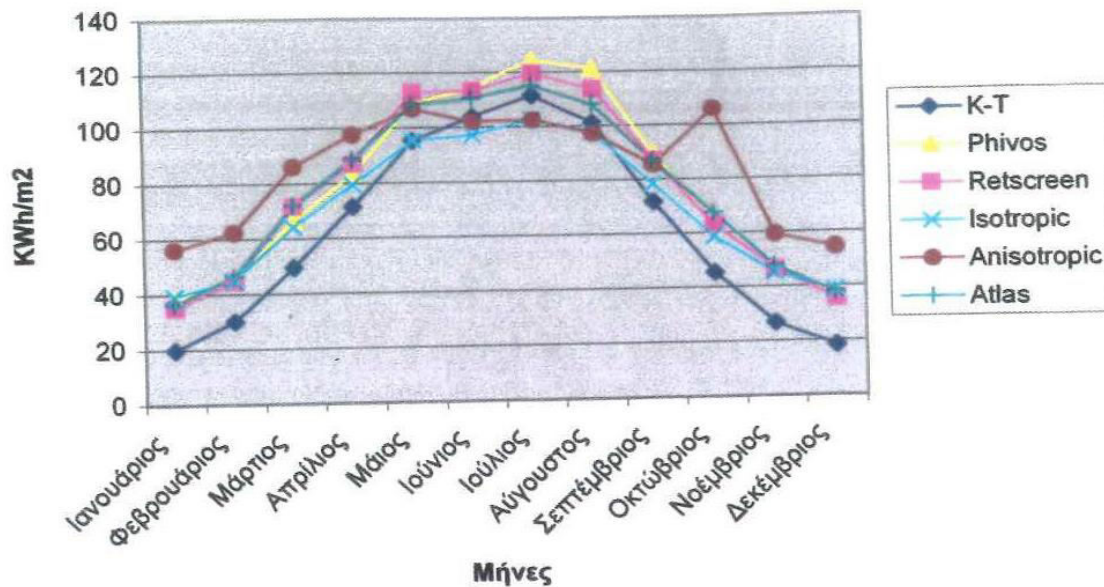


Διάγραμμα 7.10: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=45^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

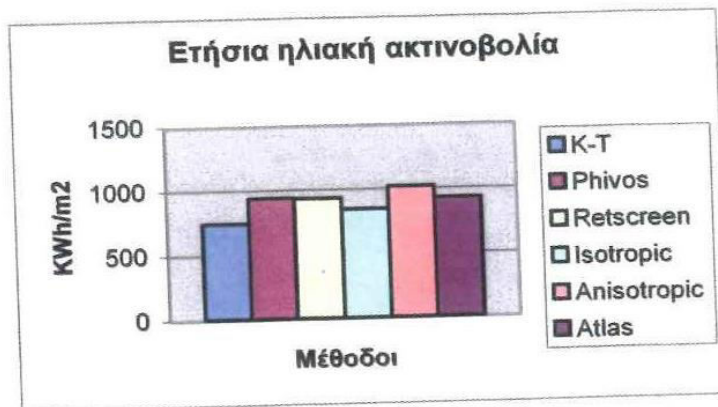
| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1100,33 | |
| K-T | 1126,42 | 2,3 |
| Phivos | 1076,46 | -2,2 |
| Retscreen | 1067,33 | -3,1 |
| Ισοτροπική | 943,2 | -16,7 |
| Ανισοτροπική | 1125,93 | 5,3 |

Πίνακας 7.5: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=90^\circ$ και $\gamma=45^\circ$.

Σύγκριση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας $\beta=90^\circ$, $\gamma=90^\circ$



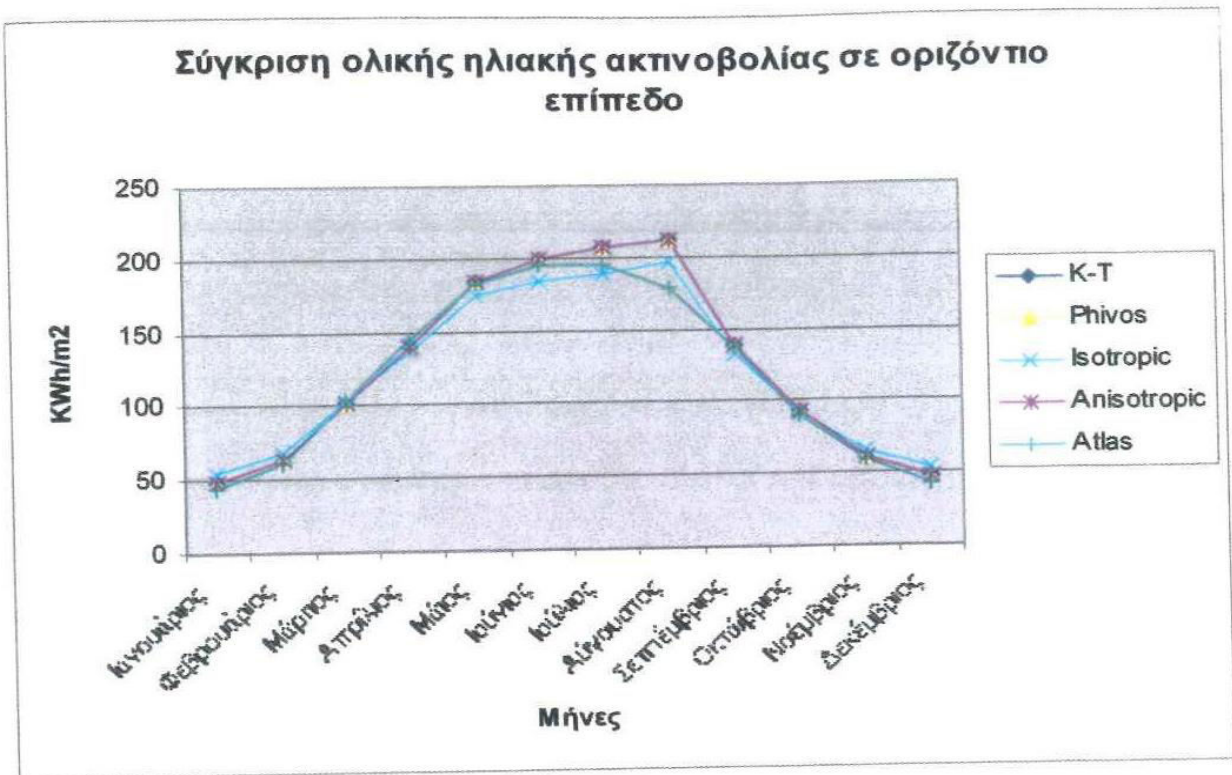
Διάγραμμα 7.11: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=90^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).



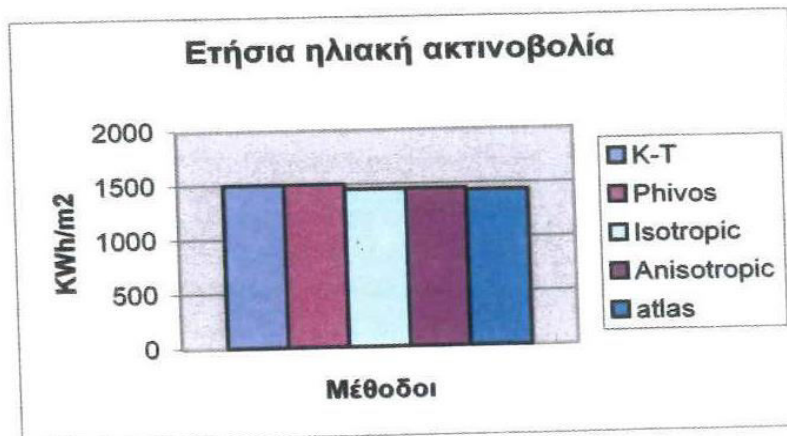
Διάγραμμα 7.12: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=90^\circ$ για την περιοχή της Αθήνας ($\varphi=37,97^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 926,9 | |
| K-T | 746,89 | -24,1 |
| Phivos | 940,18 | 1,4 |
| Retscreen | 933,74 | 0,7 |
| Ισοτροπική | 844,25 | -10 |
| Ανισοτροπική | 1017,97 | -8,9 |

Πίνακας 7.6: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=90^\circ$ και $\gamma=90^\circ$.



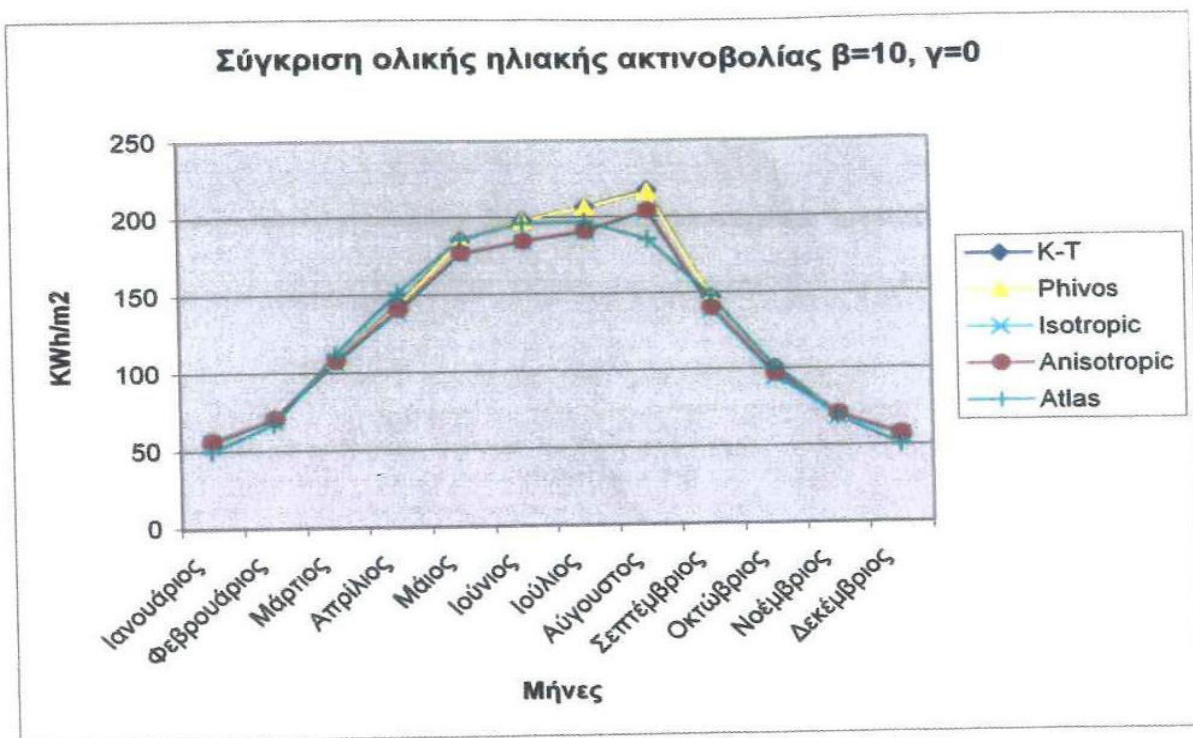
Διάγραμμα 7.13: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=0^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).



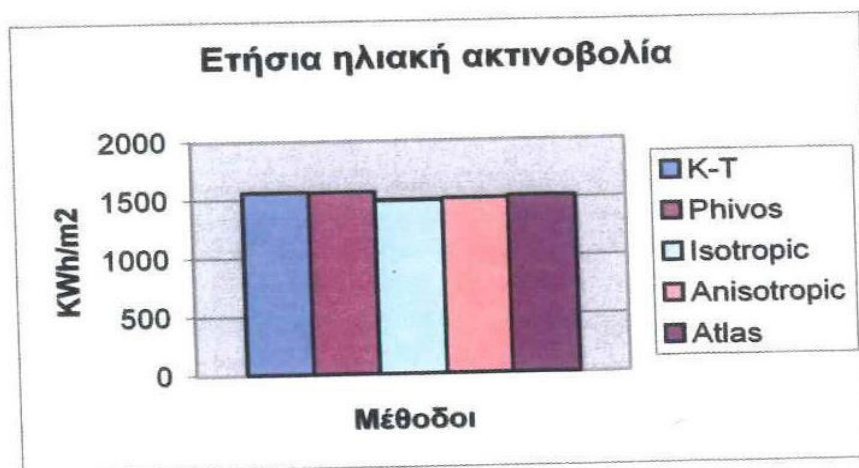
Διάγραμμα 7.14: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=0^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1432,31 | |
| K-T | 1498,16 | 4,4 |
| Phivos | 1498,16 | 4,4 |
| Ισοτροπική | 1451,76 | 1,3 |
| Ανισοτροπική | 1451,76 | 1,3 |

Πίνακας 7.7: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=0^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.



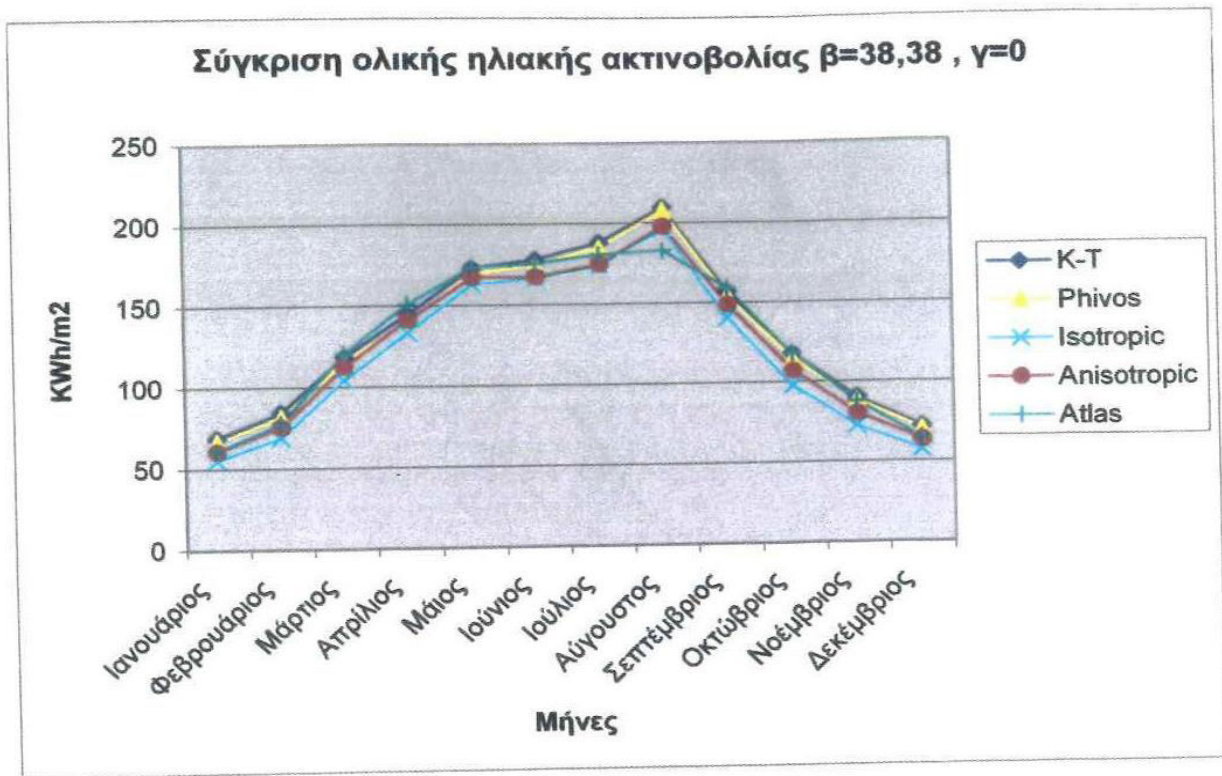
Διάγραμμα 7.15: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=10^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).



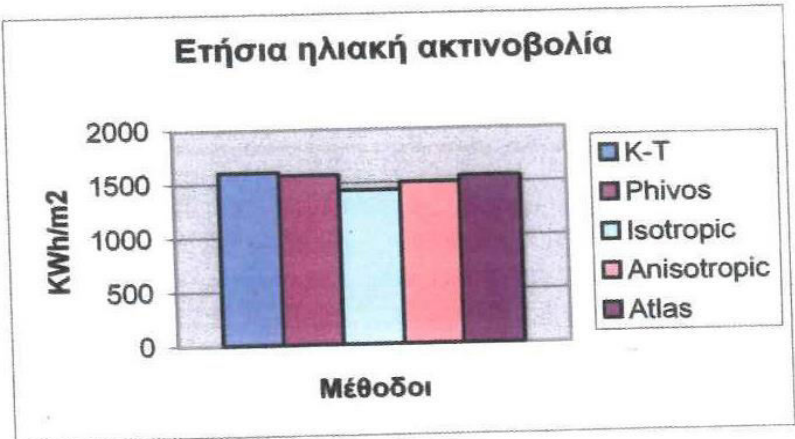
Διάγραμμα 7.16: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=10^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Ατλας | 1514,34 | |
| K-T | 1561,12 | 3,8 |
| Phivos | 1558,7 | 2,8 |
| Ισοτροπική | 1484,4 | -2,0 |
| Ανισοτροπική | 1499,43 | -1,0 |

Πίνακας 7.8: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=10^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.



Διάγραμμα 7.17: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=38,38^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

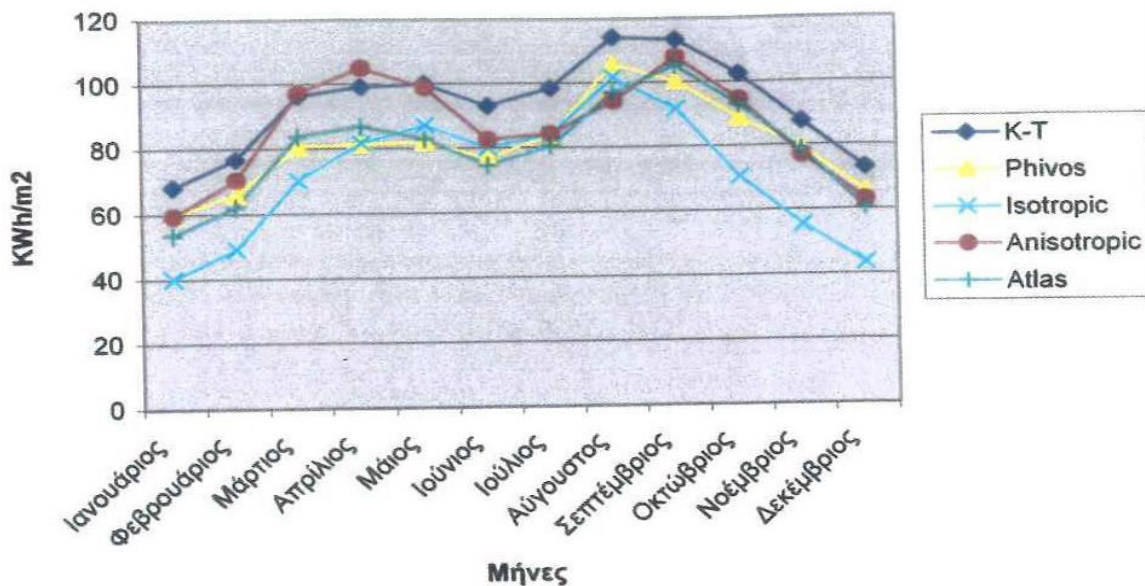


Διάγραμμα 7.18: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=38,38^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

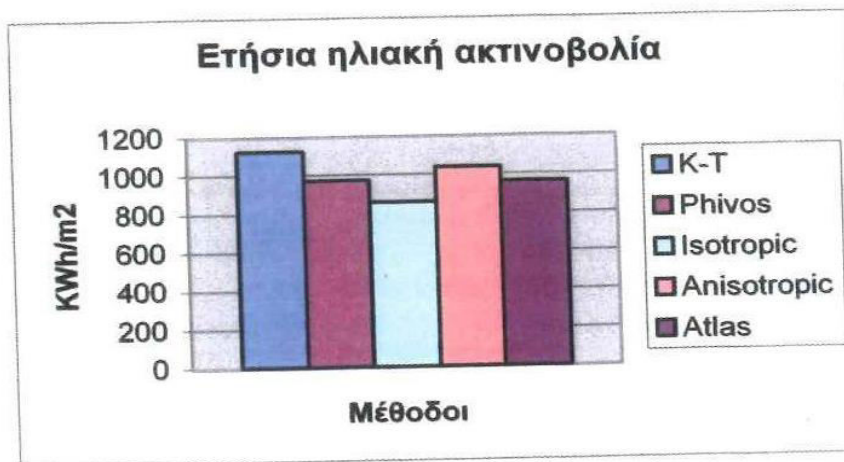
| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 1552,32 | |
| K-T | 1603,16 | 3,2 |
| Phivos | 1571,41 | 1,2 |
| Ισοτροπική | 1430,8 | -8,5 |
| Ανισοτροπική | 1498,61 | -3,6 |

Πίνακας 7.9: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=38,38^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.

Σύγκριση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας $\beta=90^\circ, \gamma=0^\circ$



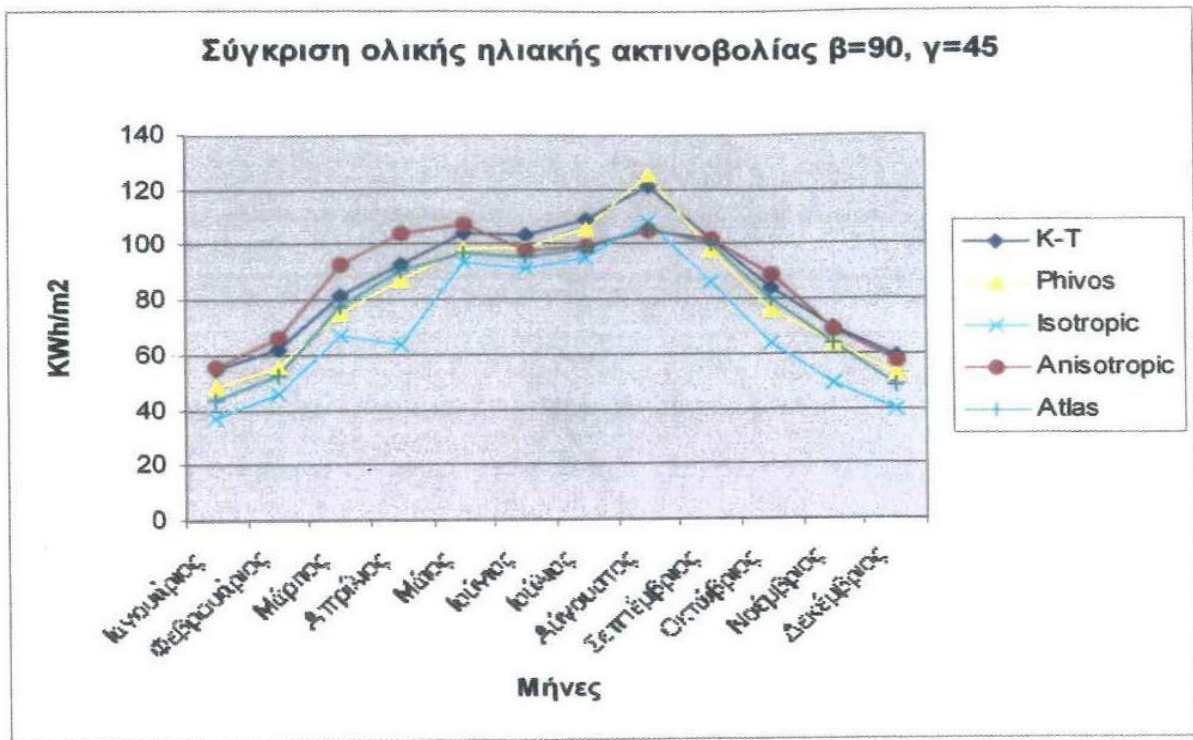
Διάγραμμα 7.19: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).



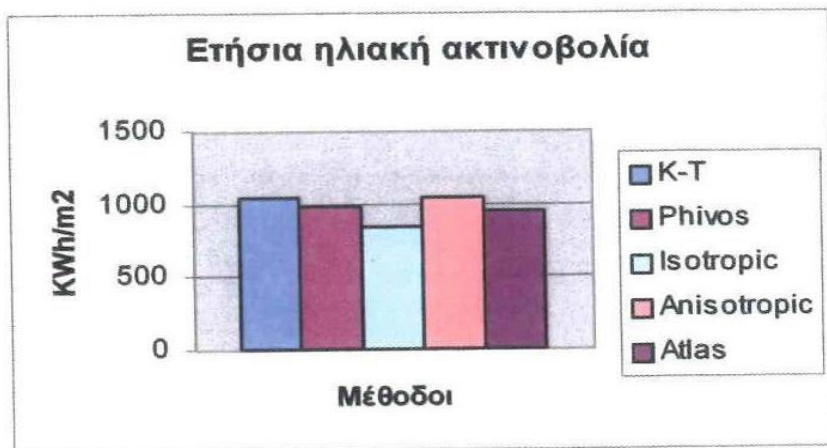
Διάγραμμα 7.20: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 959,56 | |
| K-T | 1123,62 | 14,6 |
| Phivos | 971,8 | 1,3 |
| Ισοτροπική | 857,8 | 11,9 |
| Ανισοτροπική | 1035,8 | 7,4 |

Πίνακας 7.10: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=90^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.



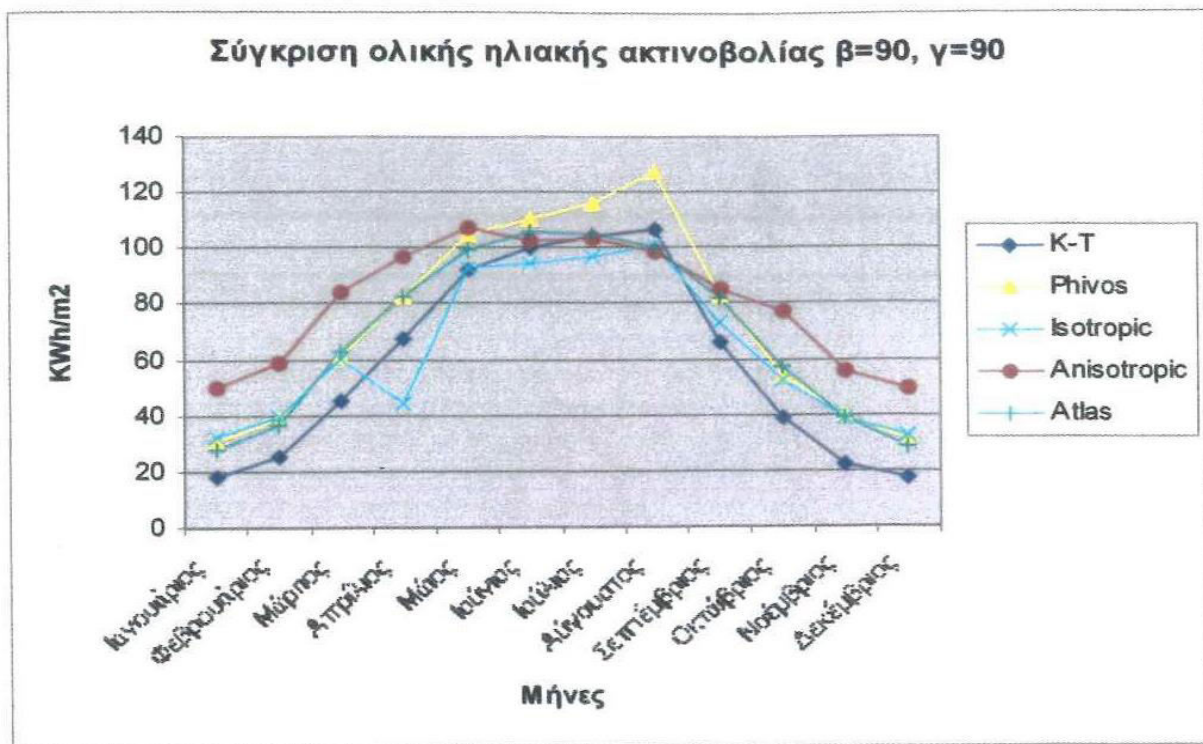
Διάγραμμα 7.21: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=45^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).



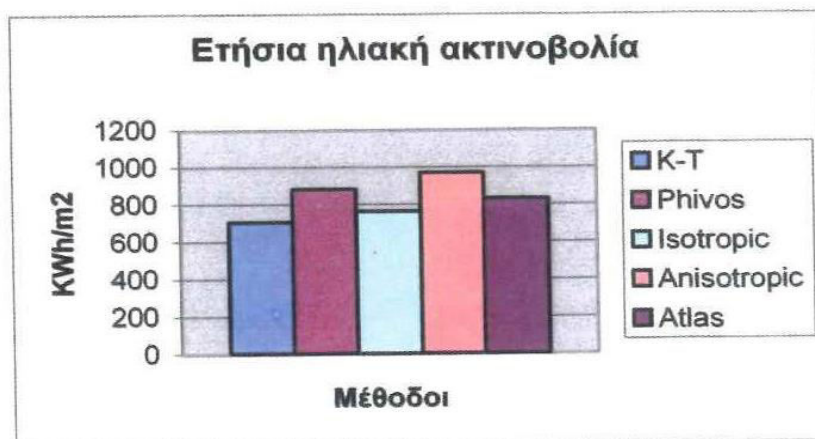
Διάγραμμα 7.22: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=45^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 956,05 | |
| K-T | 1044,63 | 8,5 |
| Phivos | 986,95 | 3,1 |
| Ισοτροπική | 842,25 | -13,5 |
| Ανισοτροπική | 1046,77 | 8,7 |

Πίνακας 7.11: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=90^\circ$ και $\gamma=45^\circ$.



Διάγραμμα 7.23: Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=90^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).



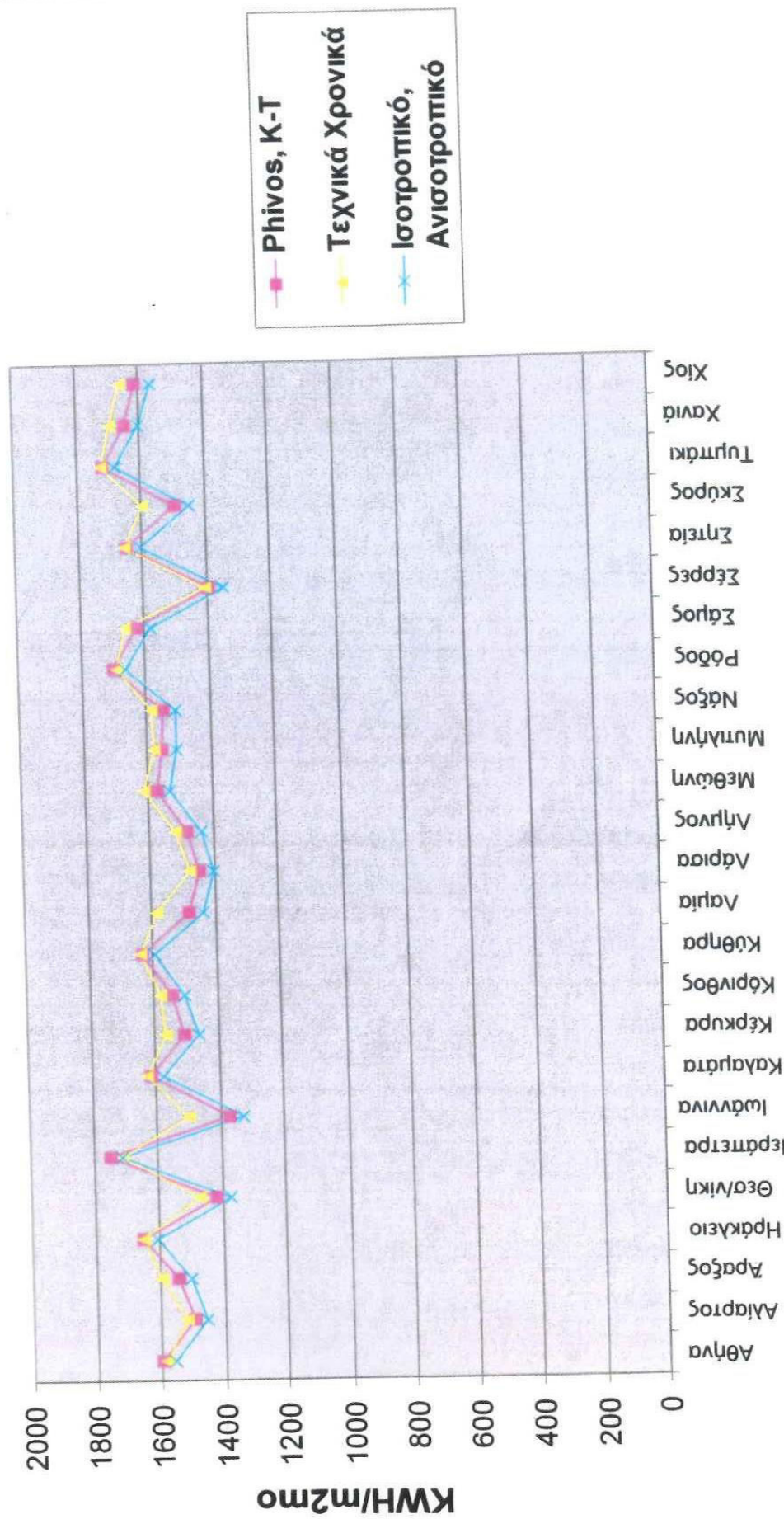
Διάγραμμα 7.24: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=90^\circ$ για την περιοχή της Αλιάρτου ($\varphi=38,38^\circ$).

| Μέθοδος | Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) | Απόκλιση (%) |
|--------------|---|--------------|
| Άτλας | 828,3 | |
| K-T | 704,16 | -17,6 |
| Phivos | 880,83 | 6 |
| Ισοτροπική | 762,4 | -9 |
| Ανισοτροπική | 968,88 | 14,5 |

Πίνακας 7.12: Αποκλίσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο των μεθόδων υπολογισμού σε σύγκριση με τον Άτλαντα για $\beta=90^\circ$ και $\gamma=90^\circ$.

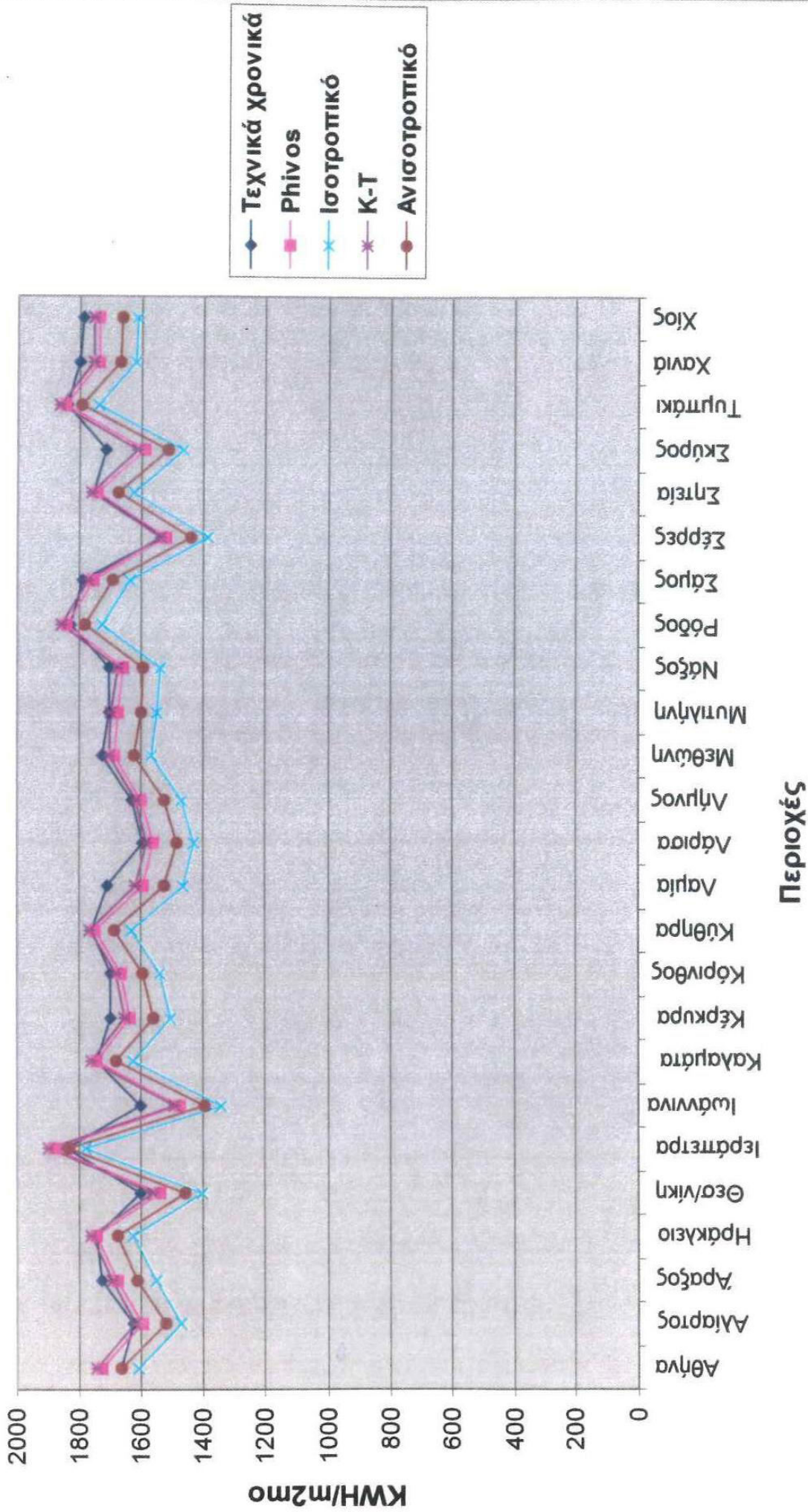
Στην συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα υπολογισμού της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας για τις 25 περιοχές της Ελλάδας όπου εφαρμόζεται το πρόγραμμα, σε οριζόντιο επίπεδο και σε κεκλιμένο, για τιμές κλίσης 30°, 45° και 60° και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$. Οι τιμές συγκρίνονται με μετρημένες τιμές από το περιοδικό «Τεχνικά Χρονικά».

Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



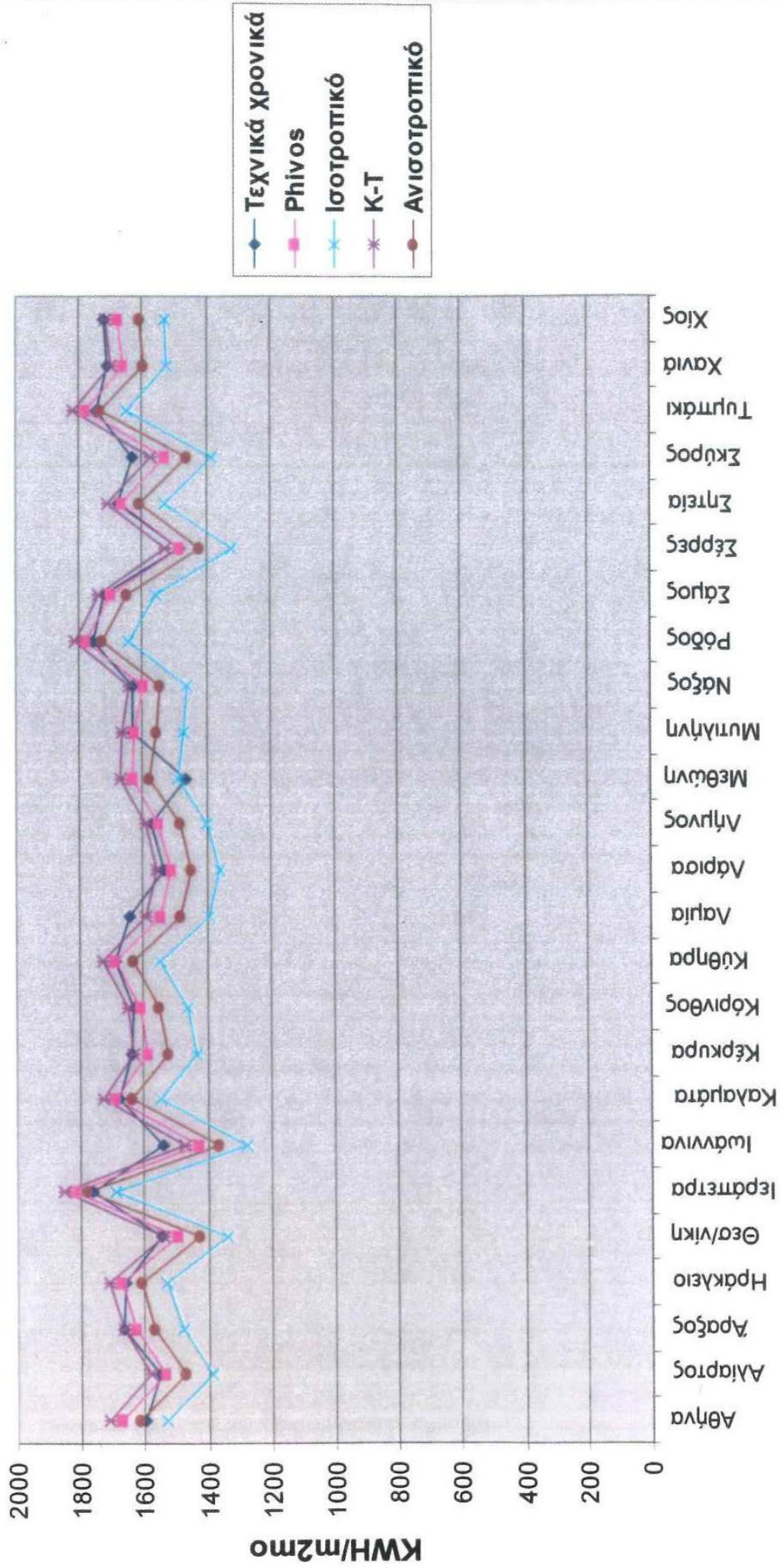
Διάγραμμα 7.25: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για 25 περιοχές της Ελλάδας

Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 30ο



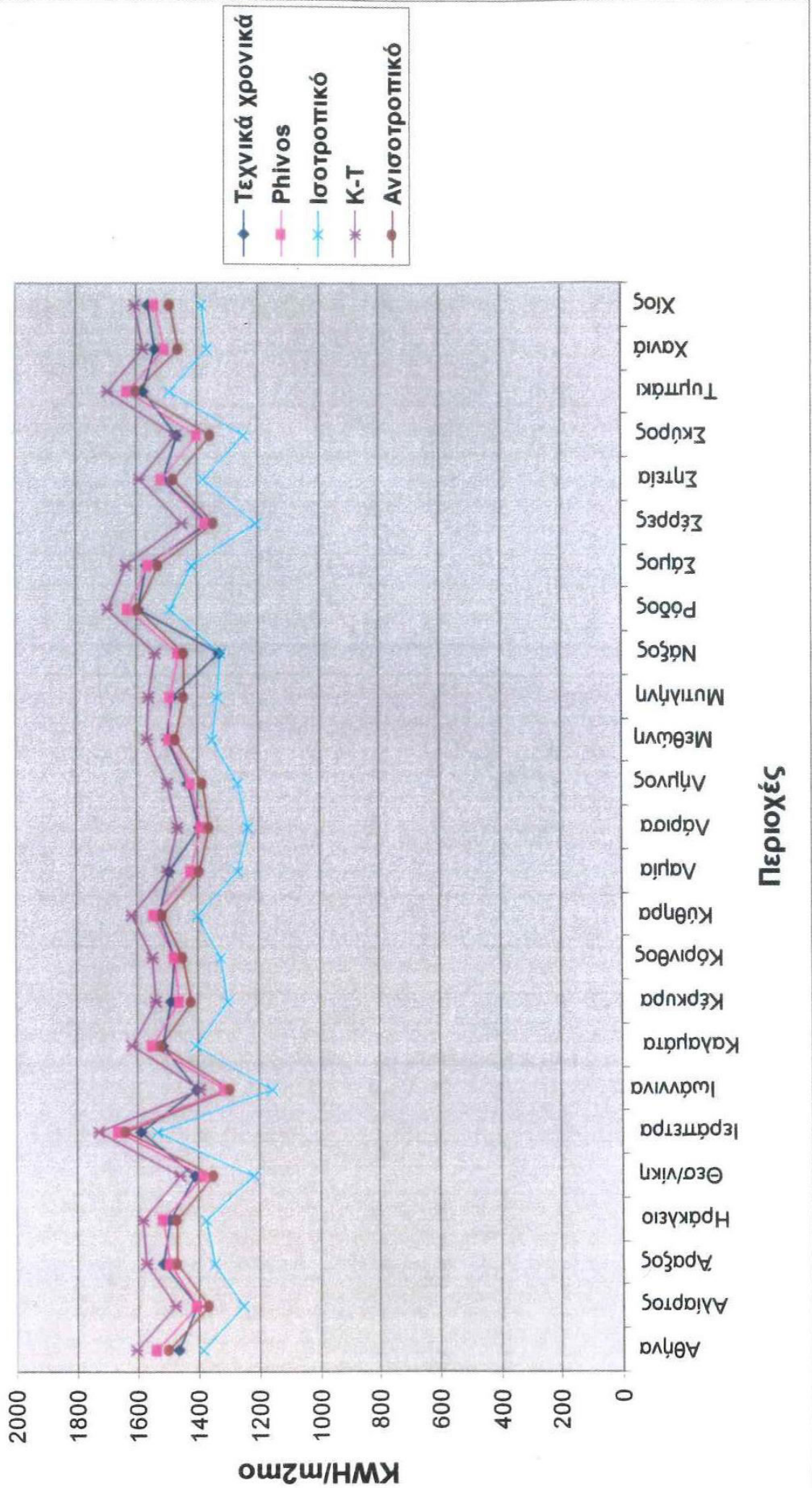
Διάγραμμα 7.26: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 30° για 25 περιοχές της Ελλάδας

Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 45ο



Διάγραμμα 7.27: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 45° για 25 περιοχές της Ελλάδας

Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 60ο



Διάγραμμα 7.28: Σύγκριση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 60° για 25 περιοχές της Ελλάδας

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται οι τιμές της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (σε KWh/m^2) για τις 25 περιοχές της Ελλάδας όπου εφαρμόζεται το πρόγραμμα, καθώς και οι αποκλίσεις τους από τις μετρημένες τιμές που πάρθηκαν από το περιοδικό «Τεχνικά Χρονικά».

| | Τεχνικά Χρονικά | K-T, Ρhivos | Απόκλιση | Ισοτροπικό, Ανισοτροπικό | Απόκλιση |
|-----------|--------------------|----------------|----------|-----------------------------|----------|
| Αθήνα | 1584 | 1597,269 | 1,0% | 1552,37 | -2,0% |
| Αλιάρτος | 1521 | 1498,164 | -7,4% | 1451,761 | -4,8% |
| Αραξος | 1593 | 1542,596 | -6,4% | 1500,351 | -6,2% |
| Ηράκλειο | 1647 | 1647,519 | -4,0% | 1603,875 | -2,7% |
| Θεσ/νίκη | 1470 | 1418,012 | 1,1% | 1372,403 | -7,1% |
| Ιεράπετρα | 1704 | 1746,229 | -1,9% | 1704,864 | 0,1% |
| Ιωάννινα | 1499 | 1370,976 | -10,8% | 1328,219 | -12,9% |
| Καλαμάτα | 1626 | 1612,208 | -4,4% | 1569,759 | -3,6% |
| Κέρκυρα | 1567 | 1505,442 | -6,3% | 1458,256 | -7,5% |
| Κόρινθος | 1580 | 1541,812 | -10,8% | 1498,734 | -5,4% |
| Κύθηρα | 1637 | 1631,305 | -4,8% | 1589,526 | -3,0% |
| Λαμία | 1582 | 1481,502 | -8,3% | 1437,883 | -10,0% |
| Λάρισα | 1477 | 1448,383 | -8,9% | 1402,905 | -5,3% |
| Λήμνος | 1519 | 1484,007 | -6,7% | 1434,82 | -5,9% |
| Μεθώνη | 1612 | 1572,123 | -6,1% | 1530,401 | -5,3% |
| Μυτιλήνη | 1578 | 1553,868 | -4,6% | 1504,795 | -4,9% |
| Νάξος | 1582 | 1548,252 | -6,4% | 1505,985 | -5,0% |
| Ρόδος | 1691 | 1703,592 | -2,1% | 1659,159 | -1,9% |
| Σάμος | 1658 | 1622 | -4,1% | 1576,527 | -5,2% |
| Σέρρες | 1407 | 1393,217 | -9,3% | 1348,093 | -4,4% |
| Σητεία | 1652 | 1645,84 | -4,3% | 1603,335 | -3,0% |
| Σκύρος | 1593 | 1495,819 | -6,4% | 1446,799 | -10,1% |
| Τυμπάκι | 1724 | 1720,743 | -2,9% | 1679,18 | -2,7% |
| Χανιά | 1697 | 1646,527 | -3,5% | 1602,469 | -5,9% |
| Χίος | 1658 | 1610,288 | -3,3% | 1561,347 | -6,2% |

Πίνακας 7.13: Υπολογισμένες τιμές ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (KWh/m^2) για 25 περιοχές της Ελλάδας και αποκλίσεις από μετρημένες τιμές

| | Τεχνικά Χρονικά | Ριθμος | Απόκλιση | Ισοτροπικό | Απόκλιση | Κ-Τ | Απόκλιση | Ανισοτροπικό | Απόκλιση |
|-----------|-----------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| Αθήνα | 1666 | 1728,05 | 3,6% | 1604,0776 | -4% | 1746,095 | 5% | 1662,126 | 0% |
| Αλιάρτος | 1623 | 1595,818 | -1,7% | 1469,4731 | -10% | 1615,437 | 0% | 1520,052 | -7% |
| Αραξος | 1728 | 1673,887 | -3,2% | 1549,1091 | -12% | 1693,134 | -2% | 1609,821 | -7% |
| Ηράκλειο | 1745 | 1742,412 | -0,1% | 1626,1358 | -7% | 1759,642 | 1% | 1674,883 | -4% |
| Θεσ/νίκη | 1600 | 1538,965 | -4,0% | 1402,7659 | -14% | 1559,166 | -3% | 1460,507 | -10% |
| Ιεράπετρα | 1840 | 1882,885 | 2,3% | 1775,8567 | -4% | 1898,27 | 3% | 1835,788 | 0% |
| Ιωάννινα | 1599 | 1472,953 | -8,6% | 1341,7854 | -19% | 1494,633 | -7% | 1397,005 | -14% |
| Καλαμάτα | 1746 | 1742,043 | -0,2% | 1623,5151 | -8% | 1759,205 | 1% | 1683,497 | -4% |
| Κέρκυρα | 1697 | 1635,155 | -3,8% | 1502,0531 | -13% | 1653,881 | -3% | 1560,12 | -9% |
| Κόρινθος | 1698 | 1661,963 | -2,2% | 1537,0452 | -10% | 1681,287 | -1% | 1594,599 | -6% |
| Κύθηρα | 1762 | 1749,911 | -0,7% | 1631,8367 | -8% | 1767,227 | 0% | 1688,497 | -4% |
| Λαμία | 1710 | 1597,241 | -7,1% | 1467,1598 | -17% | 1616,923 | -6% | 1524,255 | -12% |
| Λάρισα | 1593 | 1561,332 | -2,0% | 1430,011 | -11% | 1581,501 | -1% | 1486,006 | -7% |
| Λήμνος | 1630 | 1600,272 | -1,9% | 1469,7073 | -11% | 1619,658 | -1% | 1524,254 | -7% |
| Μεθώνη | 1728 | 1687,876 | -2,4% | 1568,1769 | -10% | 1706,174 | -1% | 1625,51 | -6% |
| Μυτιλήνη | 1702 | 1677,402 | -1,5% | 1548,5885 | -10% | 1695,447 | 0% | 1603,126 | -6% |
| Νάξος | 1702 | 1657,151 | -2,7% | 1538,2798 | -11% | 1675,849 | -2% | 1594,058 | -7% |
| Ρόδος | 1828 | 1839,894 | 0,6% | 1727,3501 | -6% | 1855,08 | 1% | 1785,164 | -2% |
| Σάμος | 1792 | 1757,055 | -2,0% | 1635,8256 | -10% | 1774,757 | -1% | 1693,964 | -6% |
| Σέρρες | 1533 | 1520,82 | -0,8% | 1384,034 | -11% | 1541,061 | 1% | 1444,259 | -6% |
| Σητεία | 1757 | 1740,984 | -0,9% | 1625,8245 | -8% | 1758,583 | 0% | 1675,746 | -5% |
| Σκύρος | 1713 | 1591,937 | -7,6% | 1465,021 | -17% | 1611,366 | -6% | 1514,313 | -13% |
| Τυμπάκι | 1839 | 1847,039 | 0,4% | 1737,102 | -6% | 1863,043 | 1% | 1794,589 | -2% |
| Χανιά | 1799 | 1737,26 | -3,6% | 1619,8052 | -11% | 1754,438 | -3% | 1667,095 | -8% |
| Χίος | 1791 | 1735,866 | -3,2% | 1610,7488 | -11% | 1753,159 | -2% | 1664,949 | -8% |

Πίνακας 7.14: Υπολογισμένες τιμές ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 30° (KWh/m²) για 25 περιοχές της Ελλάδας και αποκλίσεις από μετρημένες τιμές

| | Τεχνικά Χρονικά | Ριθμος | Απόκλιση | Ισοτροπικό | Απόκλιση | Κ-Τ | Απόκλιση | Ανισοτροπικό | Απόκλιση |
|-------------|-----------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| Αθήνα | 1595 | 1672,365 | 4,6% | 1525,609 | -5% | 1712,875 | 7% | 1613,997 | 1% |
| Αλιάρτος | 1552 | 1535,158 | -1,1% | 1387,2463 | -12% | 1578,894 | 2% | 1469,261 | -6% |
| Άραξος | 1664 | 1623,279 | -2,5% | 1475,7165 | -13% | 1666,331 | 0% | 1570,72 | -6% |
| Ηράκλειο | 1660 | 1667,76 | 0,5% | 1530,6689 | -8% | 1707,973 | 3% | 1605,729 | -3% |
| Θεσσαλονίκη | 1545 | 1494,789 | -3,4% | 1333,7507 | -16% | 1539,249 | 0% | 1428,392 | -8% |
| Ιεράπετρα | 1760 | 1816,461 | 3,1% | 1690,0564 | -4% | 1853,012 | 5% | 1776,137 | 1% |
| Ιωάννινα | 1541 | 1425,165 | -8,1% | 1271,0487 | -21% | 1472,909 | -5% | 1365,077 | -13% |
| Καλαμάτα | 1674 | 1684,829 | 0,6% | 1544,6594 | -8% | 1724,557 | 3% | 1636,17 | -2% |
| Κέρκυρα | 1636 | 1586,981 | -3,1% | 1429,4738 | -14% | 1628,513 | 0% | 1520,757 | -8% |
| Κόρινθος | 1628 | 1606,957 | -1,3% | 1459,4123 | -12% | 1650,227 | 1% | 1550,071 | -5% |
| Κύθηρα | 1686 | 1686,501 | 0,0% | 1546,732 | -9% | 1726,813 | 2% | 1633,501 | -3% |
| Λαμία | 1643 | 1545,641 | -6,3% | 1391,9484 | -18% | 1589,626 | -3% | 1483,947 | -11% |
| Λάρισα | 1532 | 1511,303 | -1,4% | 1356,8262 | -13% | 1555,923 | 2% | 1448,023 | -6% |
| Λήμνος | 1574 | 1548,386 | -1,7% | 1395,3429 | -13% | 1591,048 | 1% | 1481,943 | -6% |
| Μεθώνη | 1465 | 1628,547 | 10,0% | 1487,444 | 2% | 1670,688 | 12% | 1577,556 | 7% |
| Μυτιλήνη | 1632 | 1622,376 | -0,6% | 1470,6164 | -11% | 1662,527 | 2% | 1554,673 | -5% |
| Νάξος | 1633 | 1597,068 | -2,2% | 1457,6268 | -12% | 1639,975 | 0% | 1546,368 | -6% |
| Ρόδος | 1755 | 1776,919 | 1,2% | 1644,078 | -7% | 1812,786 | 3% | 1728,155 | -2% |
| Σάμος | 1721 | 1700,872 | -1,2% | 1557,6594 | -10% | 1740,575 | 1% | 1644,967 | -5% |
| Σέρρες | 1482 | 1481,448 | 0,0% | 1319,6179 | -12% | 1525,932 | 3% | 1418,55 | -4% |
| Σητεία | 1675 | 1666,703 | -0,5% | 1531,0648 | -9% | 1707,741 | 2% | 1608,158 | -4% |
| Σκύρος | 1631 | 1530,869 | -6,5% | 1382,6222 | -18% | 1573,948 | -4% | 1461,822 | -12% |
| Τυμπάκι | 1744 | 1778,703 | 2,0% | 1648,8855 | -6% | 1816,533 | 4% | 1732,99 | -1% |
| Χανιά | 1711 | 1660,945 | -3,0% | 1522,3212 | -12% | 1701,019 | -1% | 1595,527 | -7% |
| Χίος | 1721 | 1676,712 | -2,6% | 1529,2457 | -13% | 1715,403 | 0% | 1610,63 | -7% |

Πίνακας 7.15: Υπολογισμένες τιμές ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 45° (KWh/m²) για 25 περιοχές της Ελλάδας και αποκλίσεις από μετρημένες τιμές

| | Τεχνικά Χρονικά | Ρήινοσ | Απόκλιση | Ισοτροπικό | Απόκλιση | Κ-Τ | Απόκλιση | Ανισοτροπικό | Απόκλιση |
|-----------|-----------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| Αθήνα | 1465 | 1535,585 | 4,6% | 1383,0592 | -6% | 1606,863 | 9% | 1500,161 | 2% |
| Αλιάρτοσ | 1406 | 1401,829 | -0,3% | 1250,0464 | -12% | 1478,583 | 5% | 1365,201 | -3% |
| Αραξοσ | 1516 | 1494,5 | -1,4% | 1342,1855 | -13% | 1570,017 | 3% | 1471,265 | -3% |
| Ηράκλειο | 1491 | 1514,405 | 1,5% | 1372,0652 | -9% | 1584,931 | 6% | 1472,718 | -1% |
| Θεσ/νίκη | 1412 | 1379,148 | -2,4% | 1212,9967 | -16% | 1457,517 | 3% | 1346,828 | -5% |
| Ιεράπετρα | 1590 | 1661,986 | 4,3% | 1530,3597 | -4% | 1726,279 | 8% | 1638,033 | 3% |
| Ιωάννινα | 1404 | 1310,829 | -7,1% | 1153,43 | -22% | 1394,28 | -1% | 1290,634 | -9% |
| Καλαμάτα | 1516 | 1546,45 | 2,0% | 1401,2425 | -8% | 1616,815 | 6% | 1522,62 | 0% |
| Κέρκυρα | 1489 | 1461,907 | -1,9% | 1298,4848 | -15% | 1535,425 | 3% | 1423,031 | -5% |
| Κόρινθοσ | 1476 | 1475,1 | -0,1% | 1322,7665 | -12% | 1550,931 | 5% | 1446,715 | -2% |
| Κύθηρα | 1528 | 1542,579 | 0,9% | 1397,5309 | -9% | 1613,588 | 5% | 1513,146 | -1% |
| Λαμία | 1493 | 1420,42 | -5,1% | 1261,8951 | -18% | 1497,891 | 0% | 1390,277 | -7% |
| Λάριασ | 1390 | 1389,339 | 0,0% | 1230,6427 | -13% | 1467,805 | 5% | 1359,004 | -2% |
| Λημόνοσ | 1430 | 1422,008 | -0,6% | 1264,5438 | -13% | 1497,21 | 4% | 1383,753 | -3% |
| Μεθώνη | 1496 | 1491,836 | -0,3% | 1346,5085 | -11% | 1566,075 | 4% | 1469,398 | -2% |
| Μυτιλήνη | 1481 | 1488,579 | 0,5% | 1331,1167 | -11% | 1559,644 | 5% | 1443,813 | -3% |
| Νόξοσ | 1324 | 1461,449 | 9,4% | 1318,6239 | 0% | 1537 | 14% | 1440,943 | 8% |
| Ρόδοσ | 1592 | 1627,323 | 2,2% | 1488,9487 | -7% | 1691,124 | 6% | 1595,339 | 0% |
| Σάμοσ | 1564 | 1561,891 | -0,1% | 1413,0563 | -11% | 1631,625 | 4% | 1527,216 | -2% |
| Σέρρες | 1359 | 1371,093 | 0,9% | 1204,258 | -13% | 1449,614 | 6% | 1344,372 | -1% |
| Σητεία | 1510 | 1513,997 | 0,3% | 1373,5466 | -10% | 1585,775 | 5% | 1477,229 | -2% |
| Σκύροσ | 1467 | 1397,122 | -5,0% | 1244,8741 | -18% | 1472,902 | 0% | 1355,151 | -8% |
| Τυμπάκι | 1576 | 1624,736 | 3,0% | 1489,7474 | -6% | 1691,177 | 7% | 1597,01 | 1% |
| Χανιά | 1535 | 1506,37 | -1,9% | 1362,2113 | -13% | 1576,648 | 3% | 1460,879 | -5% |
| Χίοσ | 1560 | 1535,863 | -1,6% | 1382,3632 | -13% | 1604,236 | 3% | 1488,885 | -5% |

Πίνακασ 7.16: Υπολογιςμένες τιμές ετήλιασ ηλιακήσ ακτινοβολίασ σε επίπεδο κλίσησ 60° (KWh/m²) για 25 περιοχέσ τησ Ελλάδασ και αποκλίσεισ από μετρημένεσ τιμέσ

Από τα διαγράμματα συγκρίσεων των υπολογισμένων μηνιαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας με τις τιμές από το βιβλίο «European Solar Radiation Atlas», καθώς και από τους πίνακες με τις αποκλίσεις των ετήσιων τιμών ακτινοβολίας από τις αντίστοιχες τιμές από τον «Άτλαντα» προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Για την περιοχή της Αθήνας, όλες οι μέθοδοι ακολουθούν πιστά την καμπύλη των τιμών του Άτλαντα στις περιπτώσεις του οριζόντιου επιπέδου και σε κλίσεις 10° και $37,97^\circ$ με νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0^\circ$), αλλά οι μέθοδοι που παρουσιάζουν τις μικρότερες αποκλίσεις είναι η K-T και η μέθοδος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας με βάση τους παράγοντες t_1 , t_d (Phivos). Στις περιπτώσεις κάθετης κλίσης ($\beta=90^\circ$) και ποικίλων προσανατολισμών (N, NA/NΔ και A/Δ που αντιστοιχούν σε γωνίες αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$, 45° και 90° αντίστοιχα), η μέθοδος που παρουσιάζει τις μικρότερες αποκλίσεις και ακολουθεί πιστότερα την καμπύλη των αποτελεσμάτων του άτλαντα είναι η μέθοδος Phivos.
- Για την περιοχή της Αλιάρτου, όλες οι μέθοδοι ακολουθούν πιστά την καμπύλη των τιμών του Άτλαντα στις περιπτώσεις του οριζόντιου επιπέδου και σε κλίσεις 10° και $38,38^\circ$ με νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0^\circ$). Η μέθοδος που παρουσιάζει την μικρότερη απόκλιση σε οριζόντιο επίπεδο και σε επίπεδο κλίσης 10° με νότιο προσανατολισμό είναι η ανισοτροπική, ενώ σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, η μέθοδος που παρουσιάζει τις μικρότερες αποκλίσεις και ακολουθεί πιστότερα την καμπύλη των αποτελεσμάτων του άτλαντα είναι η μέθοδος Phivos. Ο λόγος που δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην σύγκριση της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθετες κλίσεις, είναι το γεγονός ότι τα BIPV στοιχεία, για τα οποία θα εφαρμοστεί το μοντέλο χρησιμοποιούνται συνήθως σε κάθετες επιφάνειες.

Από τα διαγράμματα συγκρίσεων των υπολογισμένων ετήσιων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας για τις 25 περιοχές της Ελλάδας, με τις τιμές από το περιοδικό «Τεχνικά Χρονικά», καθώς και από τους πίνακες με τις αποκλίσεις των υπολογισμένων τιμών ακτινοβολίας από τις αντίστοιχες μετρημένες, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Οι αποκλίσεις των υπολογισμένων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας κάθε μεθόδου από τις αντίστοιχες μετρημένες, ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με την περιοχή και την κλίση του επιπέδου. Παρόλα αυτά, οι τιμές των μεθόδων K-T και Phivos, ακολουθούν πιστότερα την καμπύλη των μετρημένων τομών για οριζόντιο επίπεδο και κλίσεις επιπέδου 30° και 45° με νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0^\circ$) και παρουσιάζουν συνολικά μικρότερες αποκλίσεις σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Τέλος, για επίπεδο κλίσης 60° με νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0^\circ$) υπερτερεί η μέθοδος Phivos.

Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι η μέθοδος που παρουσιάζει την μικρότερη απόκλιση τιμών σε σχέση με τις μετρημένες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και προσεγγίζει καλύτερα τις καμπύλες των μετρημένων τιμών, είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας με βάση τους παράγοντες t_1 , t_d (Phivos), και επομένως αυτή θα χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο υπολογισμού.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Μετά την επιλογή της μεθόδου υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο υπολογισμού της ενέργειας που παράγουν τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα για 25 περιοχές της Ελλάδας. Το μοντέλο υπολογισμού (PHIVOS) περιλαμβάνει τρία βήματα υπολογισμού που παρατίθενται αναλυτικά στην συνέχεια:

1. Υπολογισμός της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό σύστημα.
2. Υπολογισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.
3. Υπολογισμός της ενέργειας που παράγεται από το σύστημα.

Πρώτο βήμα υπολογισμού

Στο πρώτο βήμα το πρόγραμμα υπολογίζει τα αστρονομικά δεδομένα και στην συνέχεια υπολογίζει την μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στο έδαφος, δηλαδή την ενέργεια που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό, σύμφωνα με την σχέση:

$$H_{TM} = d_{om} \cdot \bar{H}_T$$

όπου d_{om} , οι ημέρες του αντίστοιχου μήνα υπολογισμού.

Ο όρος \bar{H}_T εκφράζει την μηνιαία μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στο έδαφος. Με άλλα λόγια, είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα υπολογισμού. Η τιμή της προκύπτει από το άθροισμα των ωριαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα υπολογισμού:

$$\bar{H}_T = \sum \bar{I}_T$$

Η ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\bar{I}_T = \bar{K}_T \cdot \bar{H}_o \left[\left(r_t - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot r_d \right) R_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot r_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \cdot r_t \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right]$$

όπου \bar{H}_o η μηνιαία μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας, η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\bar{H}_o = \frac{24 \cdot G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \delta \right]$$

\bar{K}_T είναι ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας και δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{K}_T = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{N}$$

\bar{H} είναι η μηνιαία μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στο έδαφος:

$$\bar{H} = \bar{H}_o \cdot \bar{K}_T$$

\bar{H}_d είναι η μηνιαία μέση ημερήσια διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία:

Για $\omega_s \leq 81.4^\circ$ και $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560 \cdot \bar{K}_T + 4.189 \cdot \bar{K}_T^2 - 2.137 \cdot \bar{K}_T^3$$

Για $\omega_s > 81.4^\circ$ και $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022 \cdot \bar{K}_T + 3.427 \cdot \bar{K}_T^2 - 1.821 \cdot \bar{K}_T^3$$

Οι παράγοντες r_t , r_d συνδέουν την μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία με ωριαίες τιμές:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cdot \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cos \omega_s}$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cos \omega_s}$$

και R_b είναι ο λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο κλίσης β προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_s}$$

Δεύτερο βήμα υπολογισμού

Στο δεύτερο βήμα υπολογίζεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος. Το φωτοβολταϊκό σύστημα χαρακτηρίζεται από την μέση απόδοση της συστοιχίας n_p , που είναι συνάρτηση της μέσης θερμοκρασίας του πλαισίου. Ειδικότερα:

$$n_p = n_r \cdot [1 - \beta_p \cdot (T_c - T_r)]$$

όπου n_r είναι η απόδοση του φωτοβολταϊκού στην θερμοκρασία αναφοράς $T_r (= 25^\circ\text{C})$ και β_p είναι ο συντελεστής διόρθωσης για την πραγματική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού T_c . Η θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού T_c σχετίζεται με την μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a σύμφωνα με την εξίσωση του Evans (1981):

$$T_c - T_a = (219 + 832 \cdot \bar{K}_T) \cdot \frac{NOCT - 20}{800}$$

Επειδή οι υπολογισμοί μας γίνονται σε ωριαία βάση, θεωρούμε ότι T_a είναι η μέση ωριαία θερμοκρασία περιβάλλοντος και αντίστοιχα T_c η ωριαία θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού. Οι ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (κατά την διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας) για τις περιοχές της Ελλάδας που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα, παρατίθενται στο παράρτημα.

Ο όρος NOCT είναι η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Οι όροι η_r , β_p και NOCT εξαρτώνται από τον τύπο του φωτοβολταϊκού στοιχείου που χρησιμοποιείται. Οι τιμές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

| Τύπος στοιχείου | η_r (%) | NOCT (°C) | β_p (%/°C) |
|-------------------------|--------------|-----------|------------------|
| Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο | 13 | 45 | 0,40 |
| Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο | 11 | 45 | 0,40 |
| Άμορφο Πυρίτιο | 5 | 50 | 0,11 |
| CdTe | 7 | 46 | 0,24 |
| CIS | 7,5 | 47 | 0,46 |

Αν η γωνία κλίσης δεν είναι η βέλτιστη, τότε το δεξί τμήμα της εξίσωσης Evans πρέπει να πολλαπλασιαστεί με έναν συντελεστή διόρθωσης C_f , που δίνεται από την σχέση:

$$C_f = 1 - 1,17 \cdot 10^{-4} \cdot (s_m - s)^2$$

όπου s_m είναι η βέλτιστη γωνία κλίσης και s είναι η πραγματική γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού. Η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού s ταυτίζεται με την κλίση β και η βέλτιστη γωνία κλίσης s_m θεωρούμε ότι ταυτίζεται με το γεωγραφικό πλάτος ϕ .

Η συνολική απόδοση του συστοιχίας μειώνεται λόγω ποικίλων απωλειών στην συστοιχία και άλλων ηλεκτρικών απωλειών κατά τους συντελεστές απωλειών λ_p και λ_c αντίστοιχα. Έτσι, η συνολική απόδοση της συστοιχίας δίνεται από την σχέση:

$$n_A = n_p \cdot (1 - \lambda_p)(1 - \lambda_c)$$

Ο συντελεστής λ_p περιλαμβάνει απώλειες λόγω εναπόθεσης σκόνης ή χιονιού πάνω στην συστοιχία. Παίρνει τιμές κοντά στο 0% αλλά μπορεί να φτάσει και το 20% σε πολύ επβαρημένο περιβάλλον.

Ο συντελεστής λ_c περιλαμβάνει ηλεκτρικές απώλειες κατά την επεξεργασία της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορεί να περιλαμβάνει απώλειες που υπάρχουν σε DC-DC μετατροπείς ή μετασχηματιστές αύξησης τάσης.

Τέλος, ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό της συνολικής απόδοσης του συστοιχίας επί τον βαθμό απόδοσης του αναστροφέα (inverter):

$$n_{Tot} = n_A \cdot n_{inv}$$

Η απόδοση του inverter n_{inv} , κυμαίνεται από 80-95%.

Τρίτο βήμα υπολογισμού

Τέλος, στο τρίτο βήμα υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος. Η ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα σε ωριαία βάση δίνεται από την σχέση:

$$E_{H.Tot} = n_{Tot} \cdot S \cdot \bar{I}_T$$

ενώ η αντίστοιχη σε μηνιαία βάση:

$$E_{M.Tot} = n_{Tot} \cdot S \cdot \bar{H}_T \cdot d_{om}$$

όπου S είναι η επιφάνεια της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών και \bar{H}_T το άθροισμα των ωριαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο σύστημα.

4.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ)

Το υπολογιστικό μοντέλο είναι εύχρηστο και φιλικό στον χρήστη. Ο χρήστης οφείλει να συμπληρώσει μια σειρά από παραμέτρους στο φύλλο εργασίας PHIVOS (σχήμα 4.1), οι οποίες αναλύονται παρακάτω προκειμένου να τρέξει το πρόγραμμα. Τα κελιά που πρέπει να συμπληρωθούν είναι χρωματισμένα:

| Μοντέλο υπολογισμού PHIVOS (Photovoltaics' Instrument Viable for On-grid Systems) | |
|---|---------|
| Όνομα έργου: | |
| Περιοχή | Κέρκυρα |
| Τύπος φωτοβολταϊκού | mono-si |
| Βαθμός απόδοσης inverter | 0,95 |
| Επιφάνεια Φωτοβολταϊκού (m ²) | 30 |
| Απώλειες συστοιχίας | 0 |
| Απώλειες ισχύος | 0,05 |
| Κλίση β | 45 |
| Γωνία αζιμουθίου γ | 60 |

Σχήμα 4.1: Δεδομένα εισόδου στο φύλλο εργασίας PHIVOS

- 1. Περιοχή (D3):** Ο χρήστης επιλέγει την περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών. Στο πρόγραμμα υπολογισμού υπάρχει μια λίστα από περιοχές στην Ελλάδα, για τις οποίες υπάρχουν επαρκή κλιματικά στοιχεία. Με τον καθορισμό της περιοχής, καθορίζεται αυτόματα το γεωγραφικό πλάτος της φ, οι ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα, καθώς και οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος αναφέρονται στην διάρκεια της ημέρας που λειτουργεί το φωτοβολταϊκό, και όχι στην διάρκεια του ημερονυκτίου.
- 2. Τύπος Φωτοβολταϊκού (D4):** Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε πέντε τύπους φωτοβολταϊκών:
 - Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si)
 - Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)
 - Άμορφου πυριτίου (a-Si)
 - CdTe
 - CISΟ τύπος που θα επιλεγεί καθορίζει αυτόματα τον χαρακτηριστικό βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού, την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας NOCT, καθώς και τον συντελεστή διόρθωσης β_p, της πραγματικής θερμοκρασίας λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σε σχέση με την θερμοκρασία αναφοράς. Σε περίπτωση που είναι γνωστά τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά για ένα συγκεκριμένο τύπο φωτοβολταϊκών, μπορούν να συμπληρωθούν στο φύλλο εργασίας «Τύποι pn+βαθμοί», αντικαθιστώντας τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές.
- 3. Βαθμός απόδοσης του inverter (αναστροφέα) (D5):** Κυμαίνεται από 80% έως 95%. Εκφράζει την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Σε περίπτωση που όλες οι καταναλώσεις είναι συνεχούς ρεύματος, τότε δεν απαιτείται αναστροφέα και ο βαθμός απόδοσης του αναστροφέα παίρνει την τιμή 1 (100%).

4. **Επιφάνεια των Φωτοβολταϊκών (D6):** Εκφράζεται σε τετραγωνικά μέτρα (m^2). Για κάθετες όψεις περιορίζεται σε αδιαφανή ή ημιδιαφανή στοιχεία του κελύφους. Στις οροφές των κτιρίων εξαρτάται από την κλίση των φωτοβολταϊκών, αλλά δεν μπορεί να υπερβαίνει το ήμισυ του εμβαδού της οροφής. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιφάνεια αναφέρεται στα φωτοβολταϊκά στοιχεία και όχι στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αφού το τελευταίο συνήθως περιλαμβάνει μεταλλικό περίβλημα.
5. **Απώλειες συστοιχίας (D7):** Περιλαμβάνουν απώλειες από ποικίλες πηγές που δεν μπορούν να συμπεριληφθούν κάπου αλλού στο μοντέλο. Αυτό περιλαμβάνει για παράδειγμα απώλειες λόγω επικάθισης σκόνης ή χιονιού στην συστοιχία. Τυπικές τιμές κυμαίνονται από 0 έως 5%. Σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις με πολύ βεβαρημένο από την μόλυνση περιβάλλον, η τιμή μπορεί να φτάσει και το 20%.
6. **Απώλειες ισχύος (D8):** Πρόκειται για ηλεκτρικές απώλειες ποικίλων μορφών που κυμαίνονται από 0 έως 10%. Μπορούν να περιλαμβάνουν για παράδειγμα απώλειες από ρυθμιστές τάσης ή από μετασχηματιστές ανόρθωσης τάσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις παίρνει την τιμή μηδέν.
7. **Η κλίση των φωτοβολταϊκών β (D9):** Κυμαίνεται από 0 έως 90°. Σε οροφές κτιρίων όπου μπορεί να καθοριστεί, ως βέλτιστη κλίση θεωρείται αυτή που ταυτίζεται με το γεωγραφικό πλάτος ϕ της περιοχής. Στις κάθετες όψεις, παίρνει την τιμή 90.
8. **Γωνία αζιμουθίου γ (D10):** Γωνία αζιμουθίου του επιπέδου: είναι η γωνία που σχηματίζει ο προσανατολισμός της συστοιχίας με τον Νότιο προσανατολισμό και κυμαίνεται: $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$. Βέλτιστη γωνία αζιμουθίου θεωρείται αυτή που αναφέρεται σε νότιο προσανατολισμό. Έτσι, στην οροφή του κτιρίου όπου τα φωτοβολταϊκά είναι προσανατολισμένα νότια, ισχύει $\gamma = 0^\circ$, ενώ στις κάθετες όψεις του κτιρίου παίρνει τιμές ανάλογες με τον προσανατολισμό της κάθε όψης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Τα αποτελέσματα του προγράμματος περιλαμβάνουν την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο, υπολογισμένη σε KWh/m^2 , την παραγόμενη ενέργεια υπολογισμένη σε KWh , την ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανηγμένη στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών KWh/m^2 , την μέση ετήσια απόδοση του συστήματος, την αποφυγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα υπολογισμένη σε τόνους CO_2 , καθώς και μια σειρά διαγραμμάτων.

Η αποφυγή εκπομπών CO_2 στην ατμόσφαιρα από την χρήση φωτοβολταϊκών, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας (KWh) επί τον συντελεστή εκπομπών (τόνοι CO_2/KWh), ο οποίος με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα ($1\text{kg CO}_2/\text{KWh}$ παραγόμενη από λιγνίτη), και τις μέσες απώλειες του δικτύου (12%), είναι $1,12 \cdot 10^{-3}$ τόνοι CO_2/KWh . Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα.

5.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Ως περιοχή υπολογισμού επιλέχτηκε η Κέρκυρα ($\varphi=39,78^\circ$). Χρησιμοποιήθηκε μονοκρυσταλλικό πυρίτιο επιφάνειας 30 m^2 , κλίσης $\beta=45^\circ$ και γωνίας αζιμουθίου $\gamma=60^\circ$. Οι απώλειες συστοιχίας θεωρήθηκαν μηδενικές, ενώ οι απώλειες ισχύος θεωρήθηκαν ότι είναι 5%. Ακόμη, θεωρήθηκε ότι ο βαθμός απόδοσης του inverter είναι 95%.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

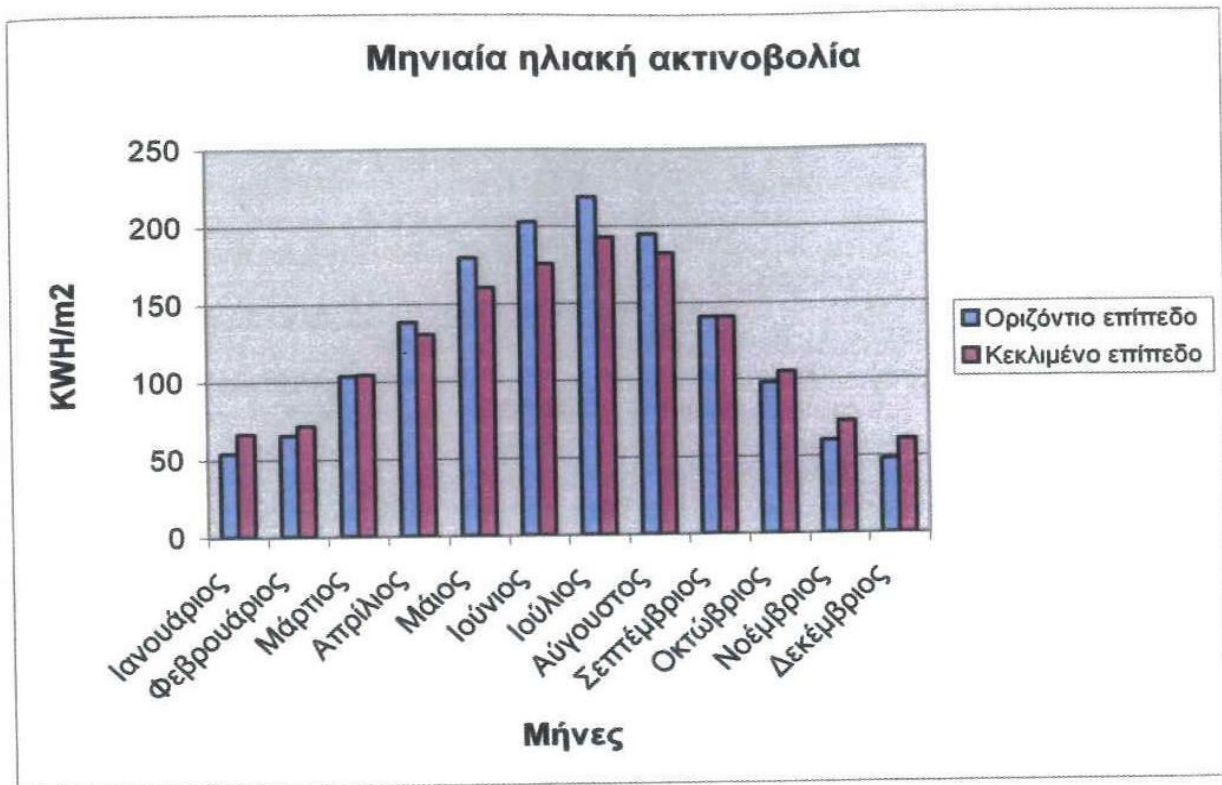
| Αποτελέσματα: | |
|---|-----------------|
| Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (KWh/m^2) | 1505,442 |
| Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο (KWh/m^2) | 1463,257 |
| Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (KWh) | 4793,42 |
| Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (KWh/m^2) | 159,78 |
| Μέση ετήσια απόδοση Φωτοβολταϊκού | 11,1% |
| Αποφυγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (τόνοι) | 5,27 |

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα υπολογισμού

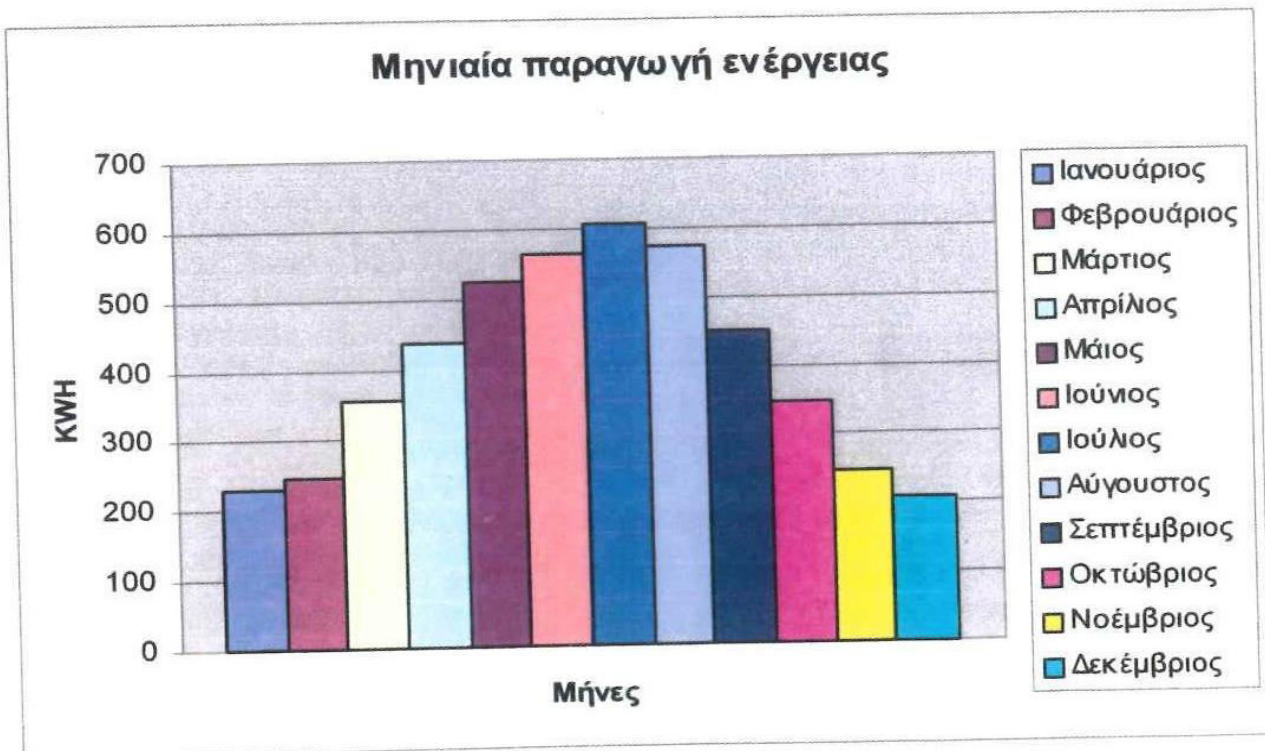
Στην συνέχεια παρατίθεται μια σειρά από διαγράμματα, όπου παρουσιάζουν την μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο, την μηνιαία παραγωγή ενέργειας, την ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο και αντίστοιχα την ωριαία παραγόμενη ενέργεια, τον μέσο μηνιαίο βαθμό απόδοσης του συστήματος και τέλος την μέση μηνιαία θερμοκρασία φωτοβολταϊκών και περιβάλλοντος.

Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία και αντίστοιχα η μέγιστη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τον μήνα Ιούνιο ($607,405\text{KWh}$) και η ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία και παραγωγή ενέργειας τον μήνα Δεκέμβριο ($208,476\text{ KWh}$), όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 5.1 και 5.2. Από τα διαγράμματα 5.3 και 5.4 επαληθεύεται η γραμμική σχέση μεταξύ προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και παραγόμενης ενέργειας. Όσον αφορά τον βαθμό απόδοσης του συστήματος, παρατηρούμε ότι ενώ ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης είναι 13%, ο πραγματικός βαθμός κυμαίνεται μηνιαίως από 11,6-10,6% με μέση ετήσια απόδοση 11,1% (Διάγραμμα 5.5). Καταλυτικό ρόλο στην μεταβολή του βαθμού απόδοσης παίζει η θερμοκρασία των

φωτοβολταϊκών, η οποία ακολουθεί την καμπύλη διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Διάγραμμα 5.6).

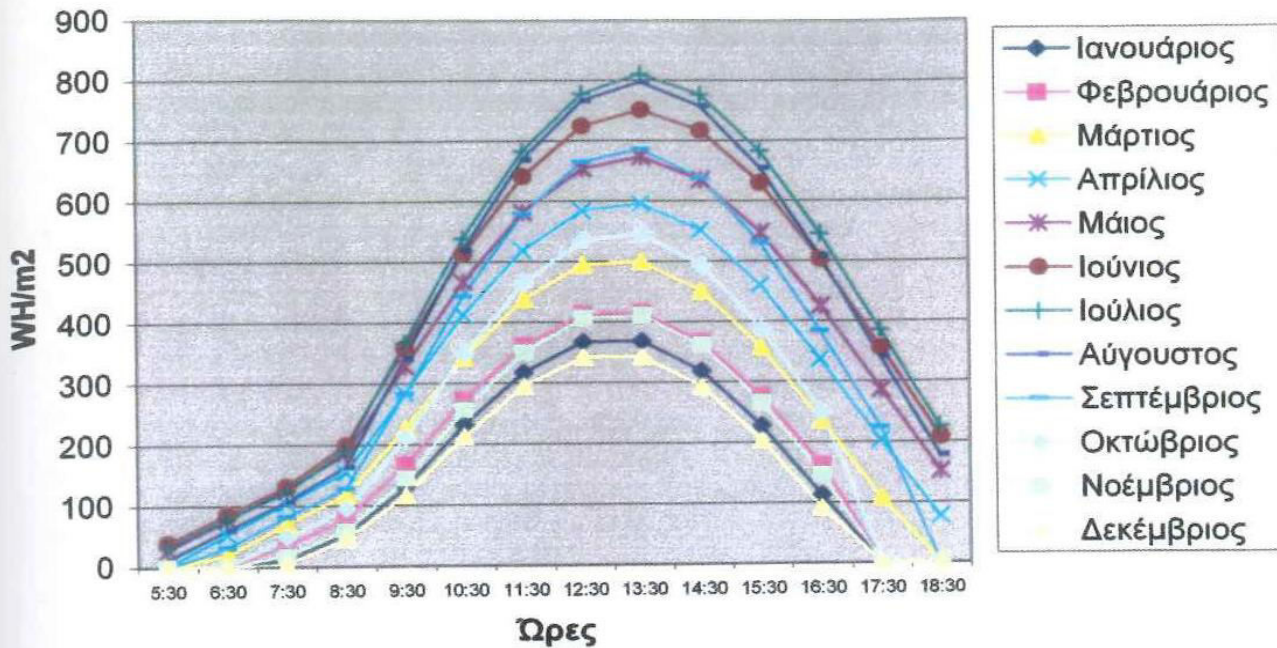


Διάγραμμα 5.1: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Κέρκυρας με $\beta=45^\circ$ και $\gamma=60^\circ$.



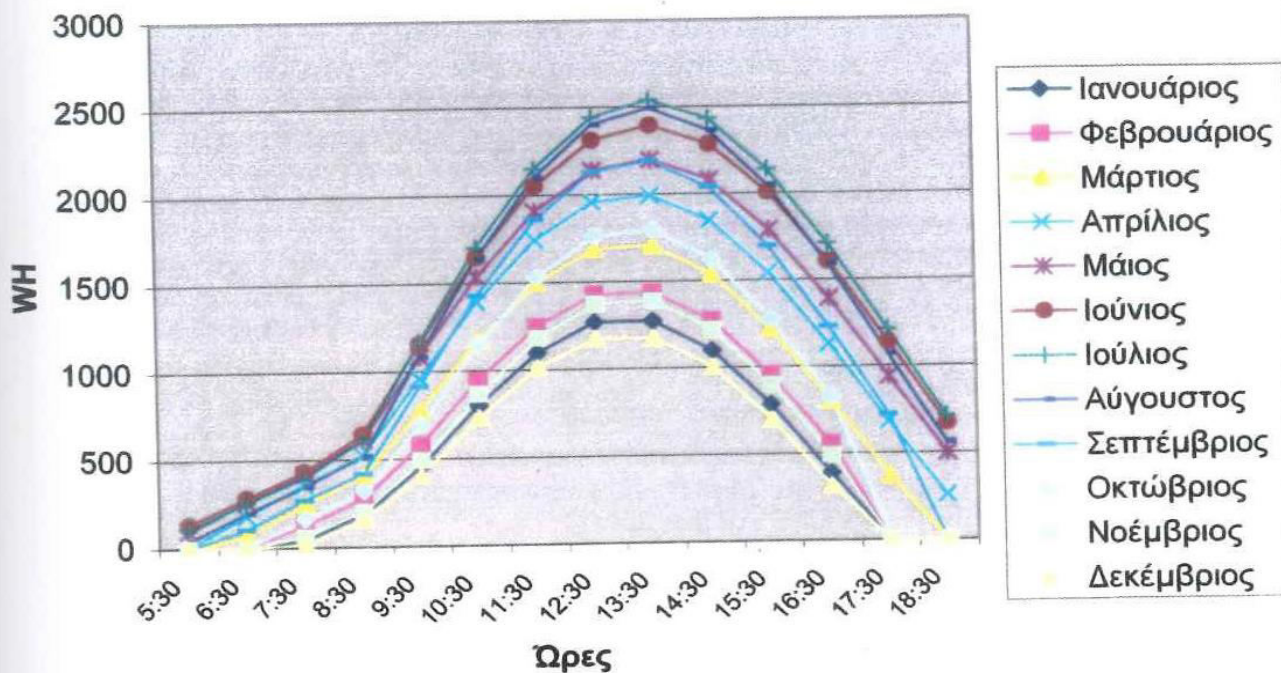
Διάγραμμα 5.2: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου στην περιοχή της Κέρκυρας με $S=30 \text{ m}^2$, $\beta=45^\circ$ και $\gamma=60^\circ$.

Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα



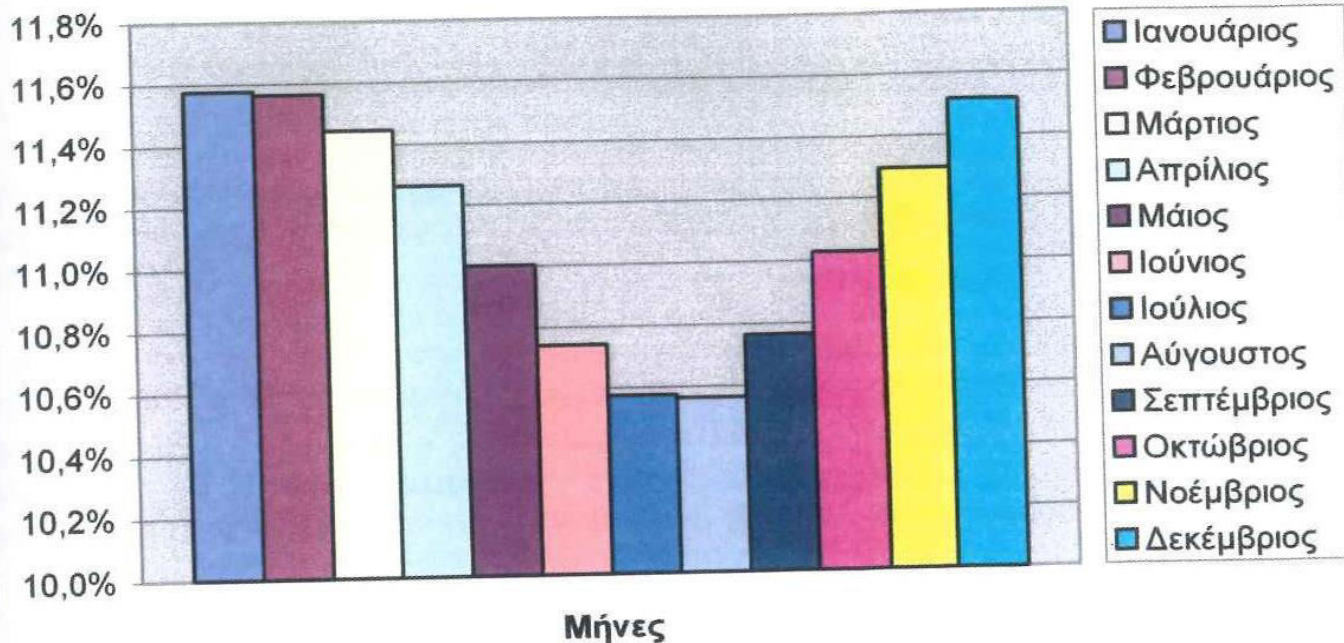
Διάγραμμα 5.3: Ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Κέρκυρας με $\beta=45^\circ$ και $\gamma=60^\circ$.

Ωριαία παραγόμενη ενέργεια για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα



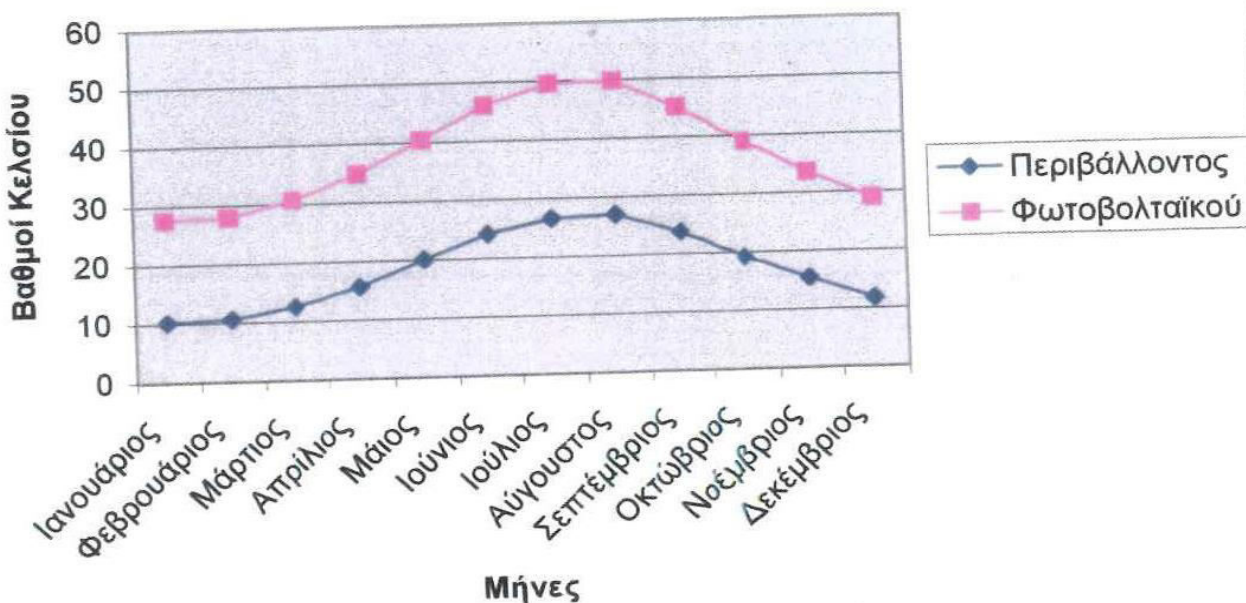
Διάγραμμα 5.4: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου στην περιοχή της Κέρκυρας με $S=30 \text{ m}^2$, $\beta=45^\circ$ και $\gamma=60^\circ$.

Μηνιαίος βαθμός απόδοσης



Διάγραμμα 5.5: Μέσος μηνιαίος βαθμός απόδοσης συστήματος

Μέση μηνιαία θερμοκρασία



Διάγραμμα 5.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος και φωτοβολταϊκού

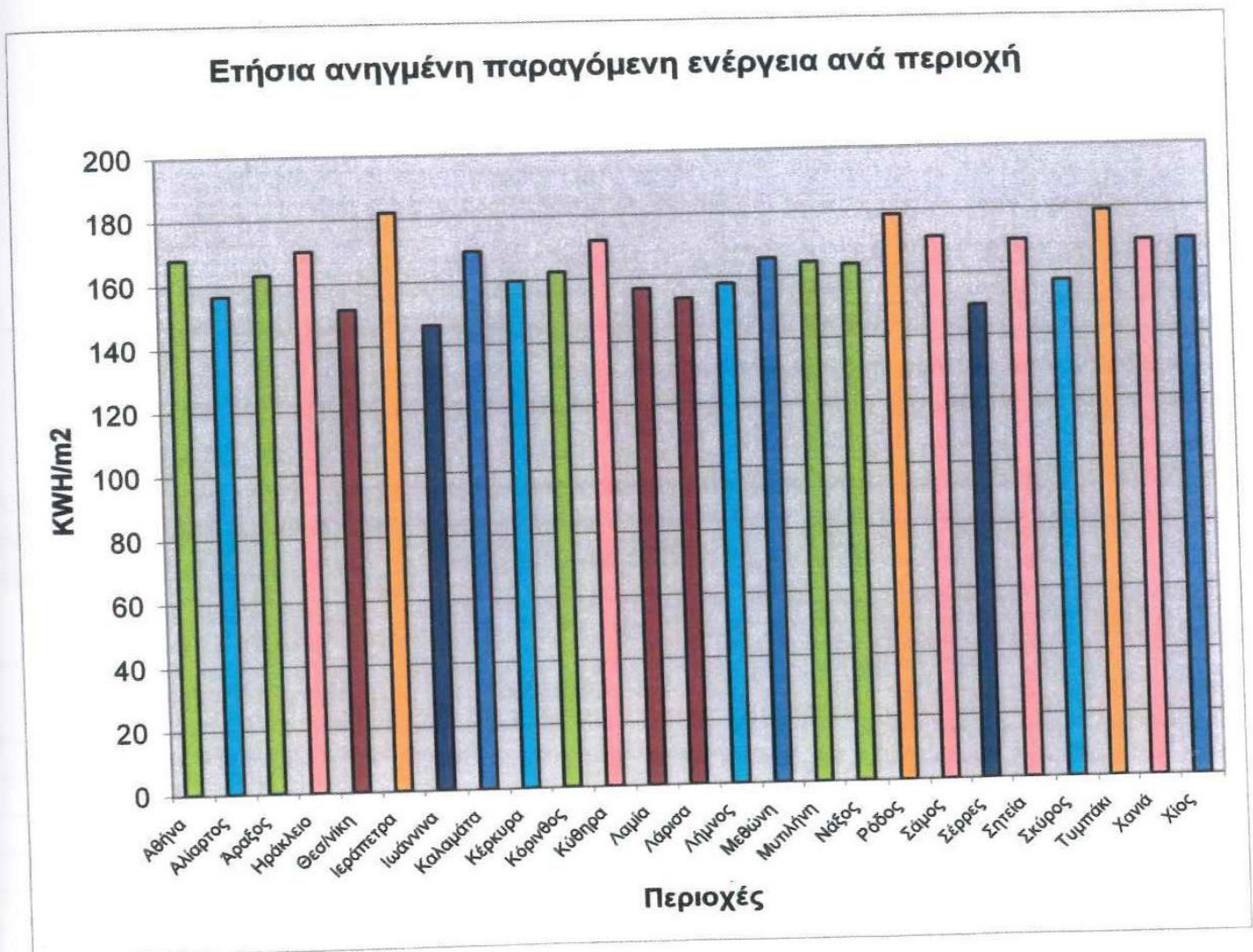
5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Στην συνέχεια μελετάται η επίδραση της μεταβολής συγκεκριμένων παραμέτρων στα αποτελέσματα του μοντέλου. Ειδικότερα, αναλύεται η επίδραση της γεωγραφικής περιοχής, του τύπου φωτοβολταϊκών που θα χρησιμοποιηθούν, της κλίσης τους, του προσανατολισμού τους και της θερμοκρασίας, στην παραγωγή ενέργειας της συστοιχίας.

5.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών, καθώς όσο αυξάνεται τόσο μειώνεται η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η περιοχή.

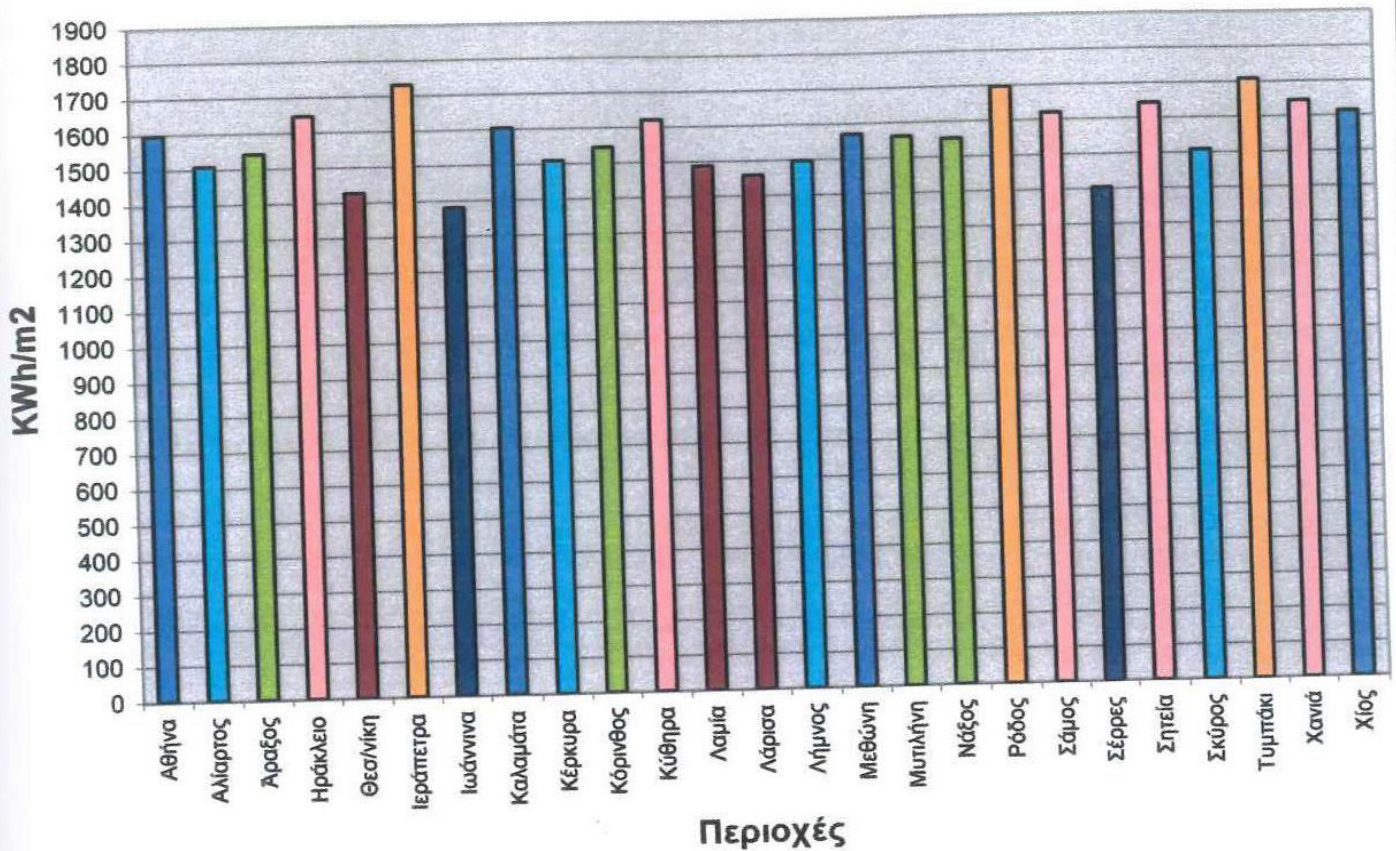
Για την μελέτη της επίδρασης της περιοχής στην παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκής συστοιχίας, συγκρίθηκε η παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος για τις 25 περιοχές της Ελλάδας, με τα ίδια χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο παράδειγμα. Τα αποτελέσματα της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας ανηγμένης στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών για κάθε περιοχή φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 5.7: Ετήσια παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου για τις 25 περιοχές της Ελλάδας με $S=30 \text{ m}^2$, $\beta=45^\circ$ και $\gamma=60^\circ$.

Αντίστοιχα, η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε περιοχή φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

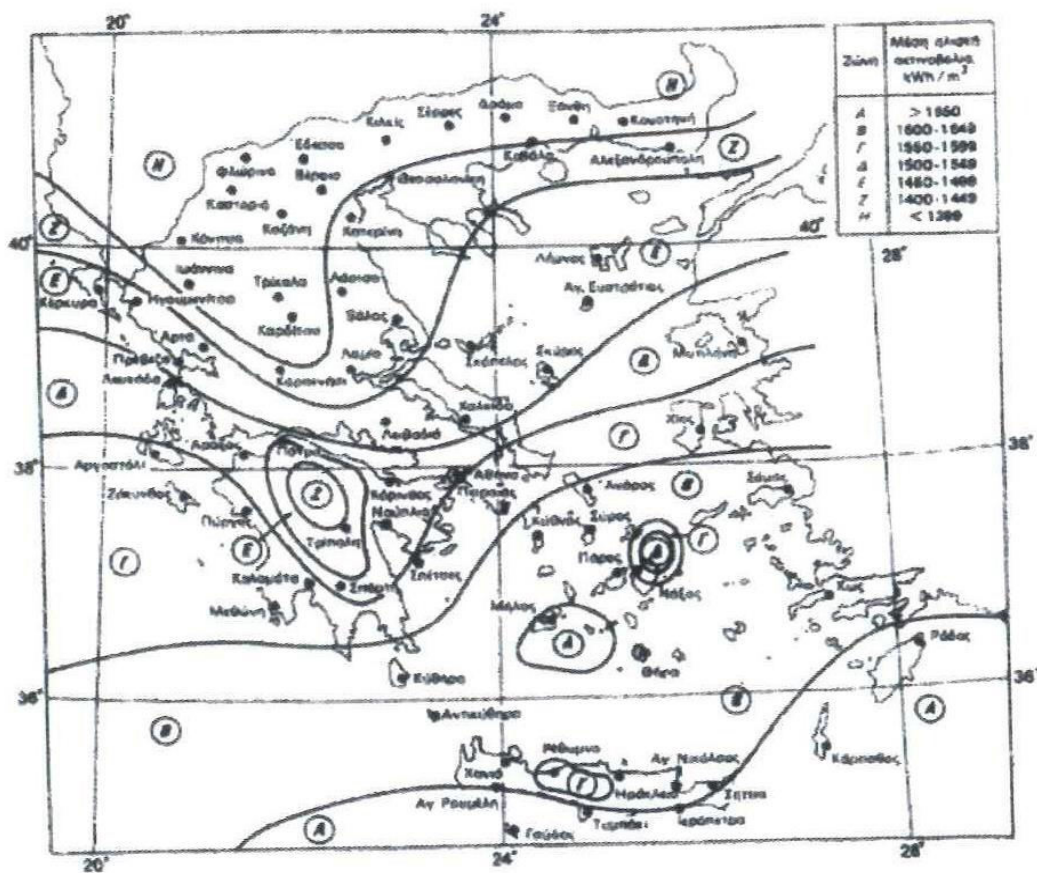


Διάγραμμα 5.8: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για τις 25 περιοχές της Ελλάδας

Από το παραπάνω διάγραμμα, μπορεί να προκύψει ο διαχωρισμός των περιοχών σε ζώνες, ανάλογα με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (χρωματισμένες στήλες), όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί, και επαληθεύεται από το σχήμα 5.1.

| Ζώνη | Χρώμα | Ηλιακή ακτινοβολία (KWh/m ²) |
|------|-------|--|
| A | | >1650 |
| B | | 1600-1649 |
| Γ | | 1550-1599 |
| Δ | | 1500-1549 |
| E | | 1450-1499 |
| Z | | 1400-1449 |
| H | | <1399 |

Πίνακας 5.2: Ζώνες κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας για την Ελλάδα.



Σχήμα 5.1: Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Καγκαράκης, 1992).

Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα κατάλληλης κλίσης και προσανατολισμού, παράγει ετησίως περί τις 1.000-1.600 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW) στην Ελλάδα. Ενδεικτικά, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250 - 1.450 KWh/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1.200 - 1.380 KWh/έτος/KW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400 - 1.600 KWh/έτος/KW. Συμπερασματικά, η γεωγραφική περιοχή παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών και στις μελέτες εγκατάστασης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ηλιακό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής (σχήμα 5.2).



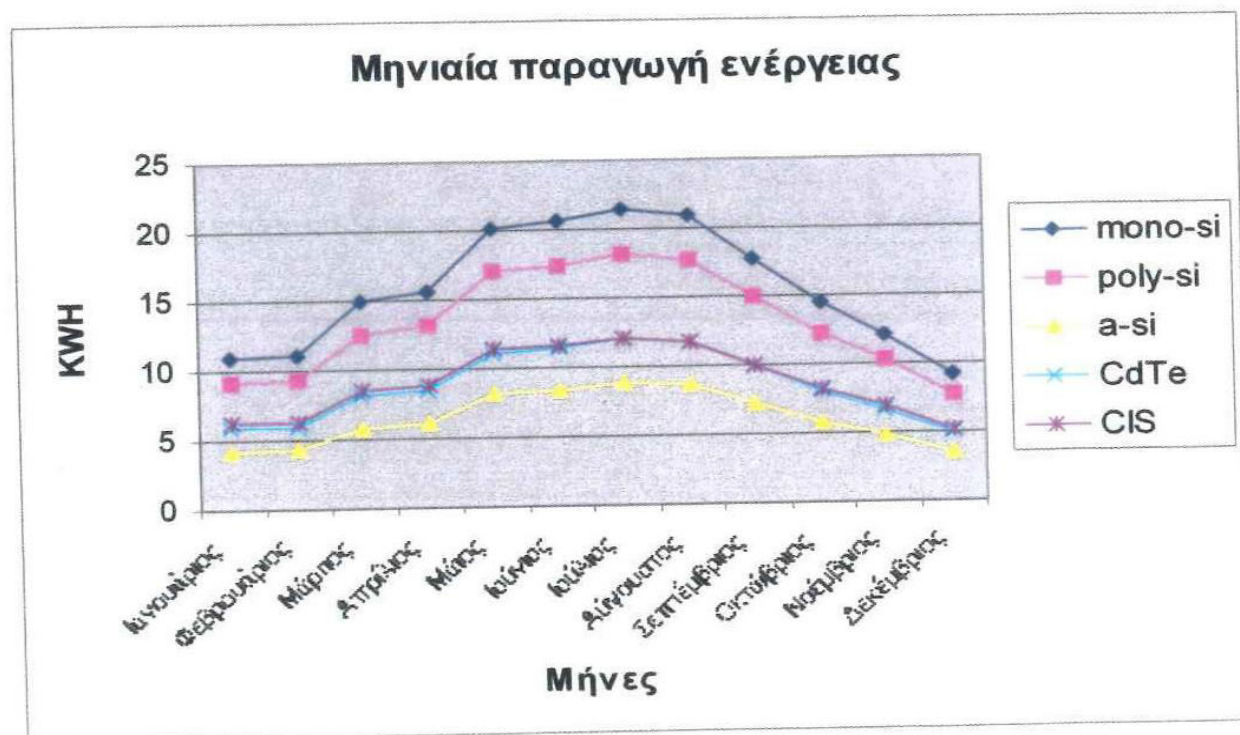
Σχήμα 5.2: Ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας (πηγή: www.helapco.gr)

5.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΥΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Ο τύπος των φωτοβολταϊκών, καθορίζει την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας NOCT, τον συντελεστή διόρθωσης β_r , της πραγματικής θερμοκρασίας λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σε σχέση με την θερμοκρασία αναφοράς, καθώς και τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού. Ο τελευταίος, αποτελεί και τον πιο καθοριστικό παράγοντα στην επίδραση της παραγόμενης ενέργειας.

Αν και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων στοιχείων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, ακόμα και όταν αυτά προέρχονται από τον ίδιο τύπο, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ως πρότυπο τις χαρακτηριστικές τιμές των πέντε πιο διαδεδομένων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η επίδραση του τύπου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στην μηνιαία παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος για την περιοχή της Καλαμάτας ($\varphi=37,07^\circ$). Στο υπό μελέτη σύστημα θεωρήθηκε επιφάνεια φωτοβολταϊκού 1m^2 , βαθμός απόδοσης inverter 90%, μηδενικές απώλειες συστοιχίας και ισχύος, κλίση $\beta=30^\circ$ και νότιος προσανατολισμός ($\gamma=0^\circ$).

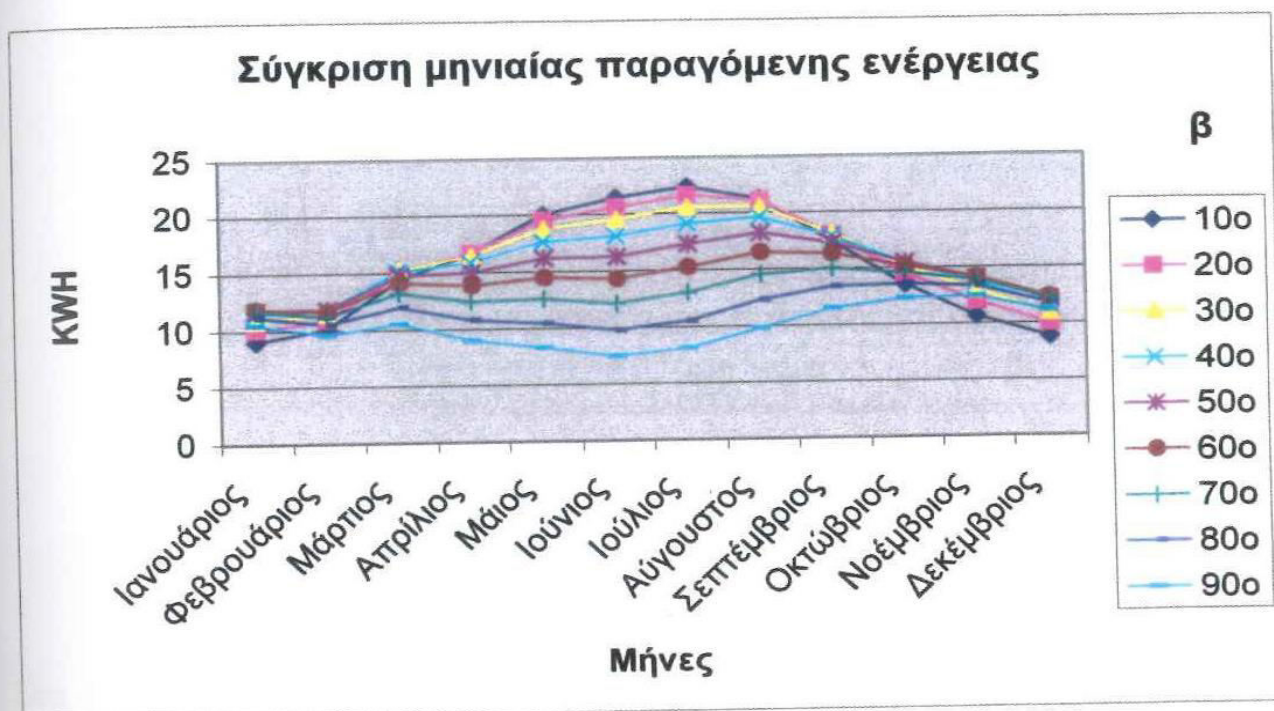


Διάγραμμα 5.9: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού για την περιοχή της Καλαμάτας ($\varphi=37,07^\circ$) με $S=1\text{m}^2$, $\beta=30^\circ$ και $\gamma=0^\circ$.

5.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΣΗΣ

Η επίδραση της κλίσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων στην παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης. Η βέλτιστη κλίση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων ταυτίζεται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, ενώ σε περίπτωση κινούμενων συστημάτων, αυτή μειώνεται κατά τους θερινούς μήνες και αυξάνεται κατά τους χειμερινούς, προκειμένου να προσπίπτει μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, και να παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας.

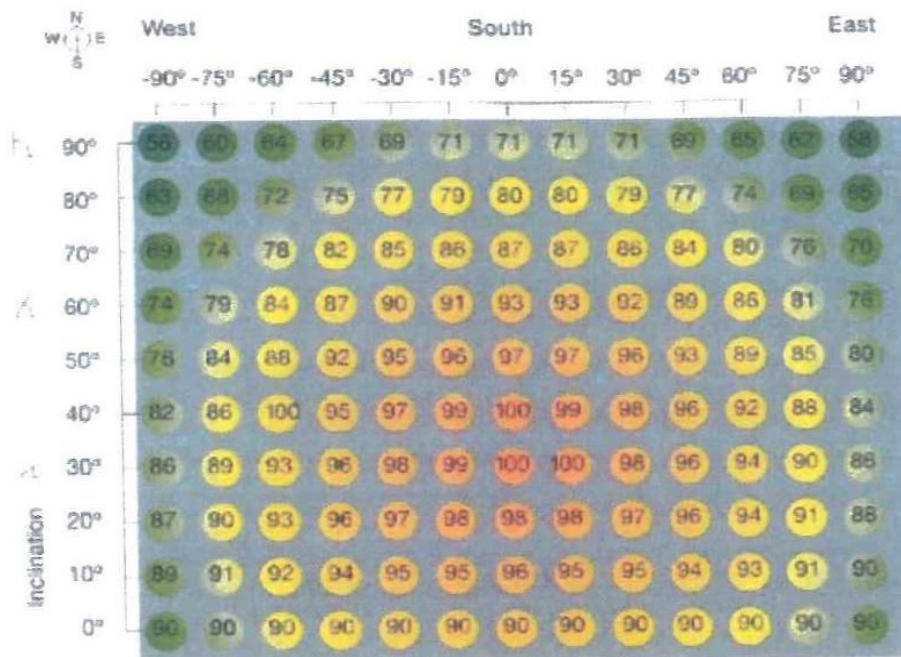
Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η επίδραση της κλίσης των πλαισίων στην μηνιαία παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος πολυκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Ιεράπετρας ($\phi=35^\circ$). Στο υπό μελέτη σύστημα θεωρήθηκε επιφάνεια φωτοβολταϊκού 1m^2 , βαθμός απόδοσης inverter 100%, μηδενικές απώλειες συστοιχίας και ισχύος, και νότιος προσανατολισμός ($\gamma=0^\circ$).



Διάγραμμα 5.10: Επίδραση κλίσης στην μηνιαία παραγωγή ενέργειας πολυκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Ιεράπετρας ($\phi=35^\circ$) με $S=1\text{m}^2$, $\gamma=0^\circ$.

5.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

Ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών στοιχείων αποτελεί μια ακόμη κρίσιμη παράμετρο στην παραγωγή ενέργειας του συστήματος. Ο βέλτιστος προσανατολισμός θεωρείται ο νότιος, αλλά και αποκλίσεις έως και 45° προς δυτικά ή ανατολικά κρίνονται ικανοποιητικές, καθώς η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται το πολύ κατά 10%, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.3.

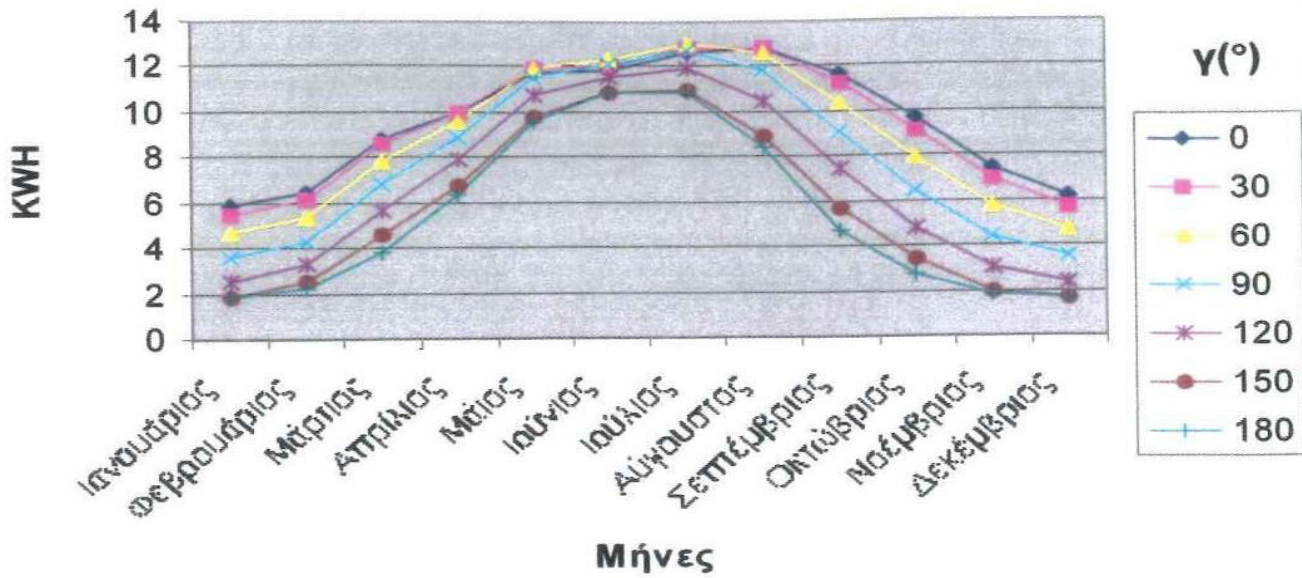


Solar Sundial showing energy yield relative to the inclination and orientation of your roof

Σχήμα 5.3: Επίδραση προσανατολισμού και κλίσης στο ποσοστό πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. (Πηγή: www.greenspec.co.uk)

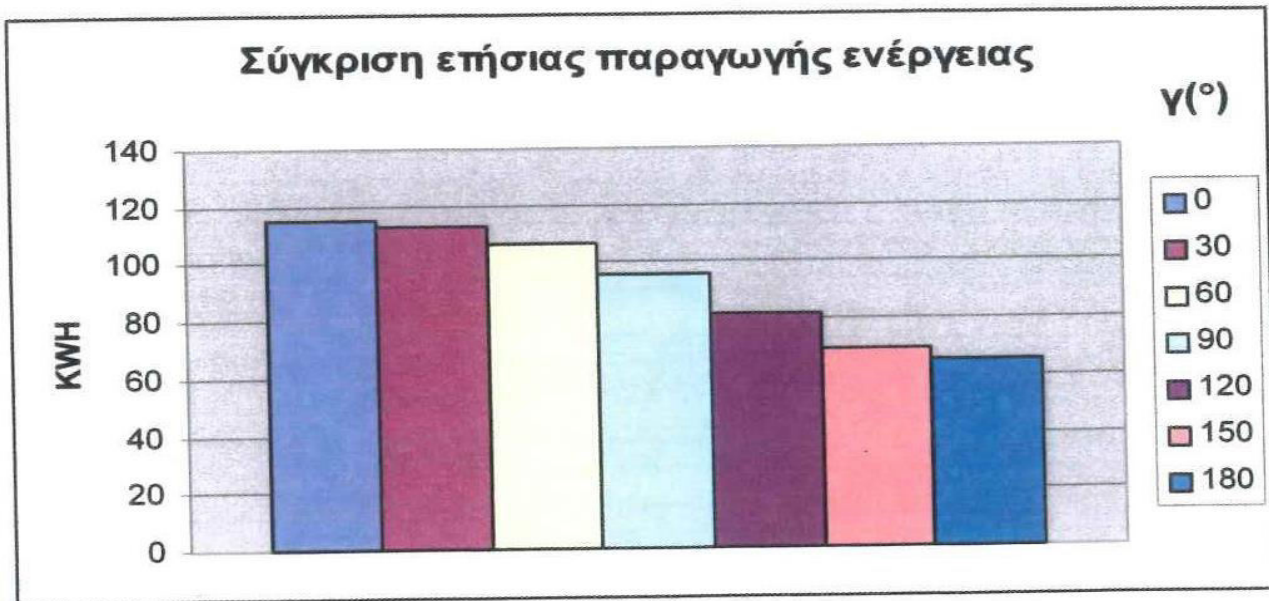
Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η επίδραση του προσανατολισμού των πλαισίων στην μηνιαία και στην ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος λεπτής μεμβράνης CIS για την περιοχή της Χίου ($\varphi=38,37^\circ$). Στο υπό μελέτη σύστημα θεωρήθηκε επιφάνεια φωτοβολταϊκού 1m^2 , βαθμός απόδοσης inverter 100%, μηδενικές απώλειες συστοιχίας και ισχύος, και κλίση $\beta=45^\circ$.

Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας



Διάγραμμα 5.11: Επίδραση κλίσης στην μηνιαία παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού CIS για την περιοχή της Χίου ($\varphi=38,37^\circ$) με $S=1m^2$, $\beta=45^\circ$.

Σύγκριση ετήσιας παραγωγής ενέργειας

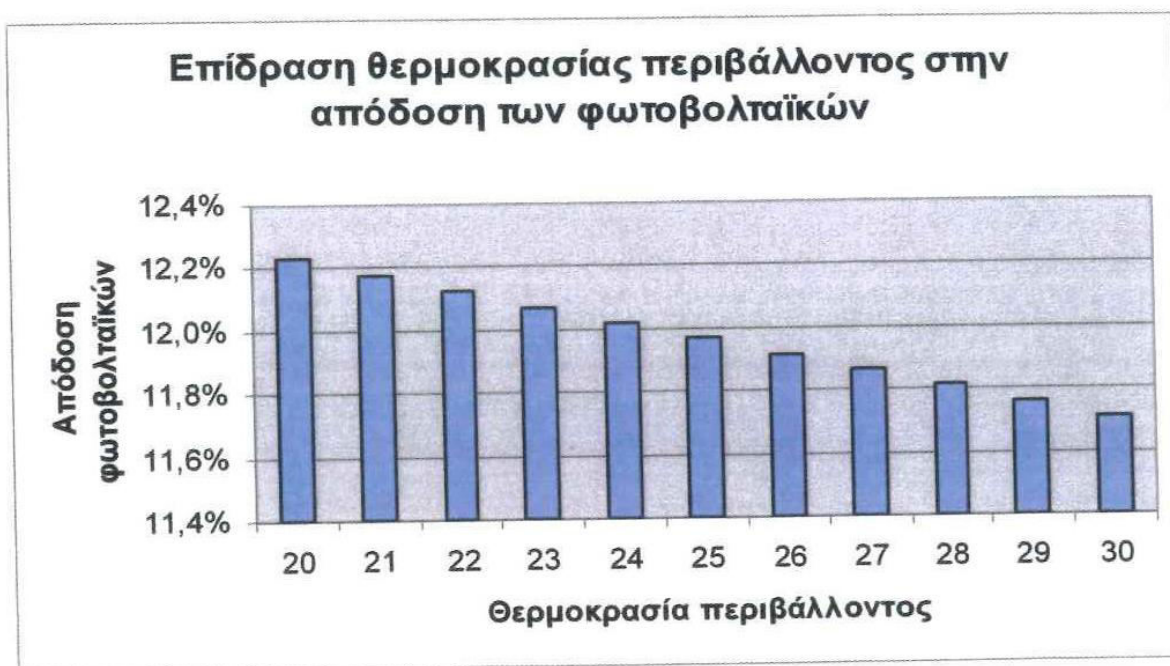


Διάγραμμα 5.12: Επίδραση κλίσης στην ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού CIS για την περιοχή της Χίου ($\varphi=38,37^\circ$) με $S=1m^2$, $\beta=45^\circ$.

5.2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η θερμοκρασία του στοιχείου είναι μια ακόμη κρίσιμη παράμετρος στην επίδραση της παραγόμενης ενέργειας, και όπως αναφέρθηκε, σχετίζεται γραμμικά με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Παρά το γεγονός ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει μεγαλύτερη επιρροή στα φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου, παρά στις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης, το πρόγραμμα υπολογίζει με τον ίδιο τρόπο την μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κατά την αύξηση της θερμοκρασίας τους.

Για την επίδραση της θερμοκρασίας στον βαθμό απόδοσης, και κατ' επέκταση στην παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών, θεωρήθηκε φωτοβολταϊκό σύστημα μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε περιοχή με δείκτη αιθριότητας $\bar{K}_T = 0,50$ και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρατηρείται η σταθερή μείωση του βαθμού απόδοσης του φωτοβολταϊκού κατά την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, από τους 20°C στους 30°C. Ειδικότερα, παρατηρείται πτώση της απόδοσης κατά 0,004 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 5.13: Επίδραση θερμοκρασίας περιβάλλοντος στον βαθμό απόδοσης φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

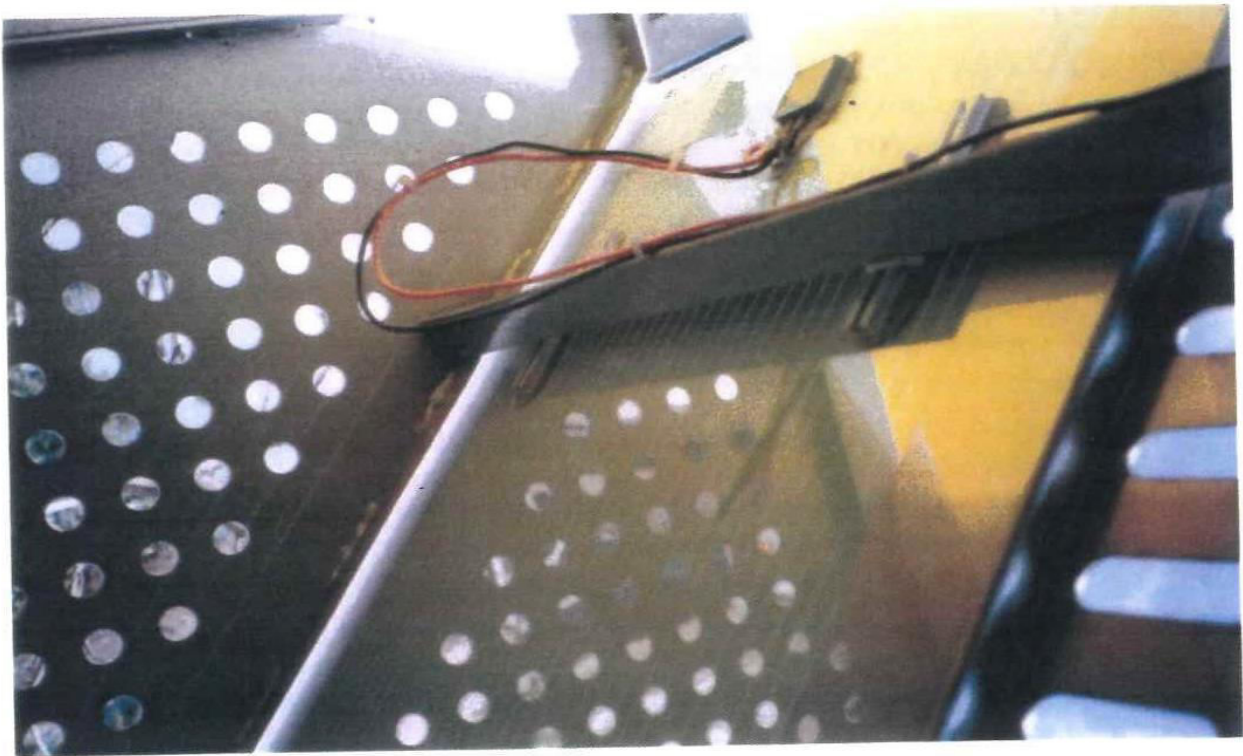
Στην παράγραφο αυτή γίνεται σύγκριση μεταξύ των τιμών υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας από το πρόγραμμα και των πραγματικών τιμών παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκές διατάξεις. Ειδικότερα, συγκρίνονται οι υπολογισμένες ωριαίες τιμές παραγόμενης ενέργειας (που προκύπτουν για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα) με τις αντίστοιχες μέσες ωριαίες τιμές ενέργειας που παράχθηκαν από τις φωτοβολταϊκές διατάξεις για τον εκάστοτε μήνα. Ακόμη, συγκρίνονται οι μηνιαίες τιμές παραγόμενης ενέργειας από το πρόγραμμα με τις αντίστοιχες των διατάξεων.

5.3.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Αρχικά, το πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε επιδεικτική διάταξη φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου, που βρίσκεται στο χώρο στάθμευσης της τεχνικής εταιρείας «Θεμελιοδομή» στην Θέρμη Θεσσαλονίκης (σχήματα 5.4 και 5.5). Η εγκατάσταση έγινε από την εταιρεία «Ηλιοδομή», η οποία στεγάζεται στον ίδιο χώρο. Η διάταξη περιλαμβάνει δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια επιφάνειας $0,79 \text{ m}^2$ το καθένα, με κλίση $\beta = 45^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma = 60^\circ$. Το σύστημα περιλαμβάνει εκτός από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, συσσωρευτή για αποθήκευση της ενέργειας, ελεγκτή φόρτισης της μπαταρίας και ηλεκτρονικό υπολογιστή για καταγραφή της παραγόμενης ενέργειας. Η καταγραφή της παραγόμενης ενέργειας πραγματοποιούνταν ανά λεπτό.

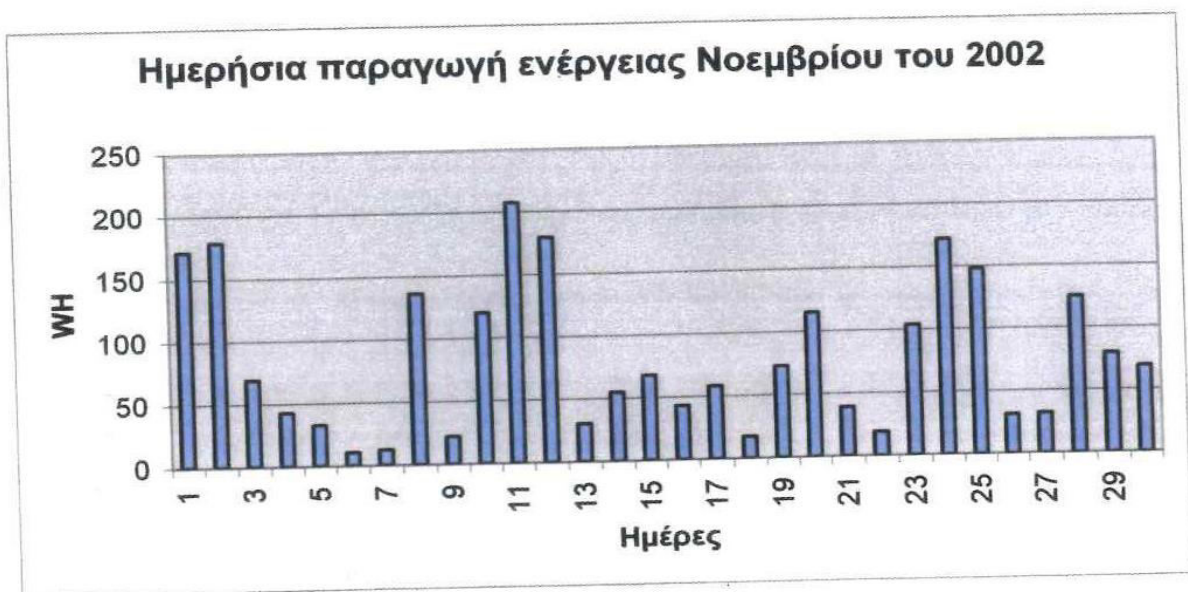


Σχήμα 5.4: Επιδεικτική φωτοβολταϊκή διάταξη άμορφου πυριτίου.



Σχήμα 5.5: Πίσω όψη της φωτοβολταϊκής διάταξης άμορφου πυριτίου

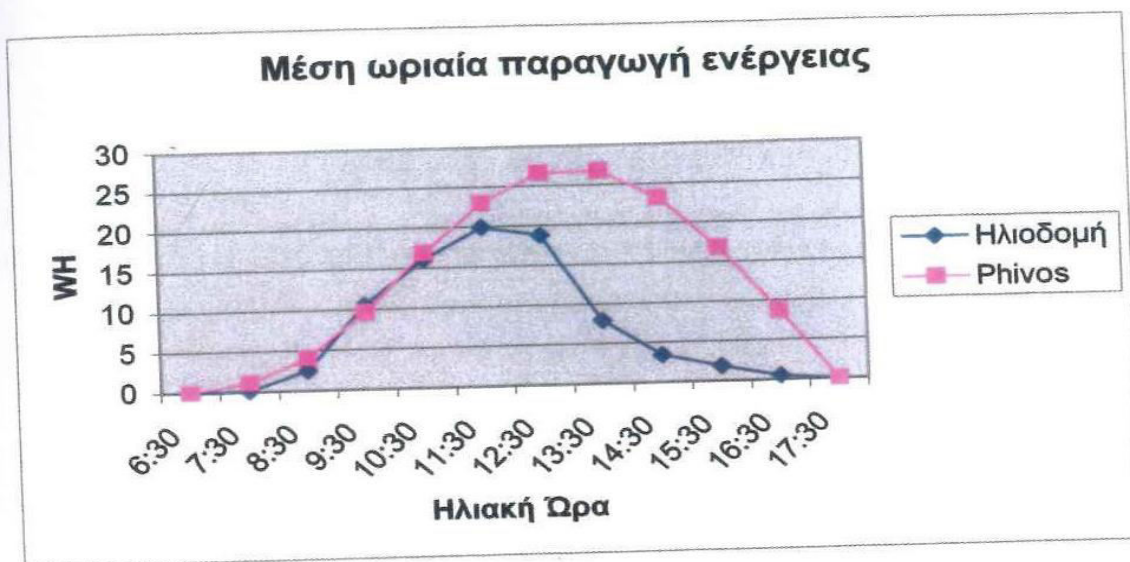
Δυστυχώς το υπάρχον σύστημα συνδεόταν με το δίκτυο φωτισμού της περιοχής, στο οποίο συνέβαιναν συχνά black out, με αποτέλεσμα οι μετρημένες τιμές της παραγόμενης ενέργειας να καλύπτονταν διάσπαρτα κάποιες μέρες κάθε μήνα. Ο μόνος μήνας για τον οποίο υπήρχε πλήρης κάλυψη των μετρήσεων είναι ο Νοέμβριος του 2002. Η ημερήσια παραγωγή ενέργειας της διάταξης για αυτόν τον μήνα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.14: Ημερήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκής διάταξης άμορφου πυριτίου για τον μήνα Νοέμβριο.

Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα είναι τα εξής: περιοχή Θεσσαλονίκη, τύπος φωτοβολταϊκού άμορφο πυρίτιο, κλίση $\beta=45^\circ$, γωνία αζιμουθίου $\gamma=60^\circ$, βαθμός απόδοσης Inverter 100%, επιφάνεια φωτοβολταϊκού $1,6\text{m}^2$, απώλειες ισχύος 0% και απώλειες συστοιχίας 10%. Ο λόγος που θεωρήθηκε η τιμή 10% στις απώλειες συστοιχίας είναι η επικάλυψη σκόνης στην συστοιχία, και λόγω του γεγονότος ότι σε περίπτωση υπερφόρτωσης της μπαταρίας δεν υπήρχε φορτίο να απορροφήσει την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της υπολογισμένης ωριαίας ενέργειας (Phivos) και της αντίστοιχης πραγματικής παραγόμενης ενέργειας (Ηλιοδομή) για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα Νοεμβρίου φαίνεται στο διάγραμμα 5.15. Η μεγάλη απόκλιση που παρατηρείται μετά τις 12:00, οφείλεται στην ύπαρξη πεύκων δυτικά της εγκατάστασης, οπότε λόγω της χαμηλής τροχιάς του ηλίου, η διάταξη σκιάζεται όλο και περισσότερο όσο ο ήλιος προχωράει στην δύση του. Έτσι, δικαιολογείται η μεγάλη απόκλιση που παρατηρείται στην μηνιαία παραγωγή ενέργειας στο διάγραμμα 5.16.



Διάγραμμα 5.15: Σύγκριση ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα Νοεμβρίου.



Διάγραμμα 5.16: Σύγκριση τιμών παραγόμενης ενέργειας για τον μήνα Νοέμβριο.

5.3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ

Η δεύτερη εφαρμογή του προγράμματος έγινε σε διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα, το οποίο βρίσκεται στην ταράτσα της κατοικίας του αναπληρωτή καθηγητή στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κύριου Γεώργιου Σεργιάδη, στην Περαία Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για 10 φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου υψηλής απόδοσης, τα οποία τροφοδοτούν την κατοικία με ηλεκτρικό ρεύμα και σε περίπτωση κάλυψης των αναγκών, η περίσσεια ενέργειας πωλείται στο δίκτυο.

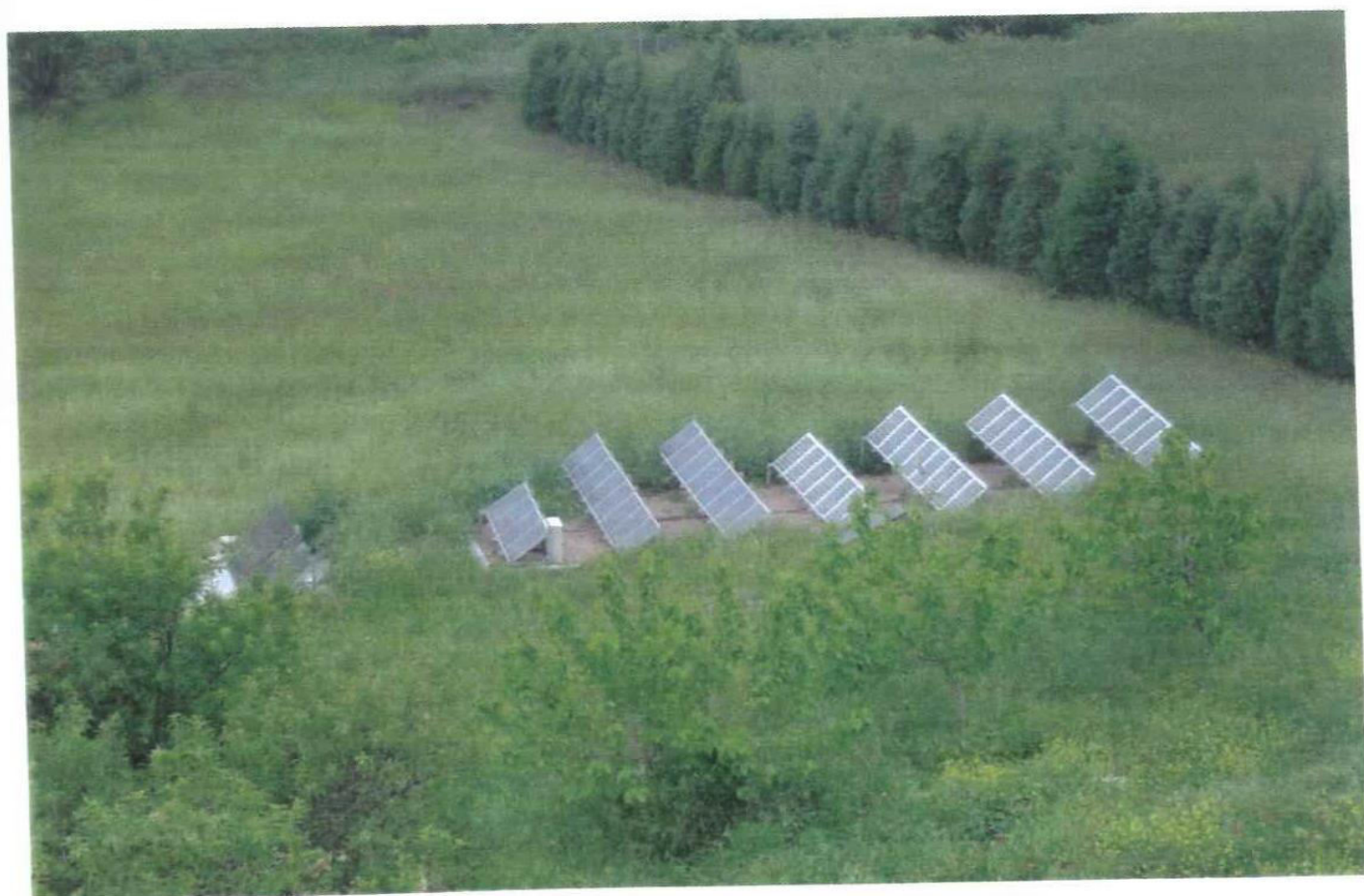


Σχήμα 5.6: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα πολυκρυσταλλικού πυριτίου στην ταράτσα της κατοικίας

Πρόσφατα, εγκαταστάθηκαν συστοιχίες φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου στην αυλή της κατοικίας (σχήματα 5.7 και 5.8), για τα οποία όμως, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία προκειμένου να γίνει η σύγκριση με τις τιμές του προγράμματος. Η κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, φτάνει έως και το 50% κατά το καλοκαίρι.



Σχήμα 5.7: Διασυνδεδεμένες φωτοβολταϊκές διατάξεις άμορφου, πολυκρυσταλλικού και μονοκρυσταλλικού πυριτίου στην αυλή της κατοικίας.

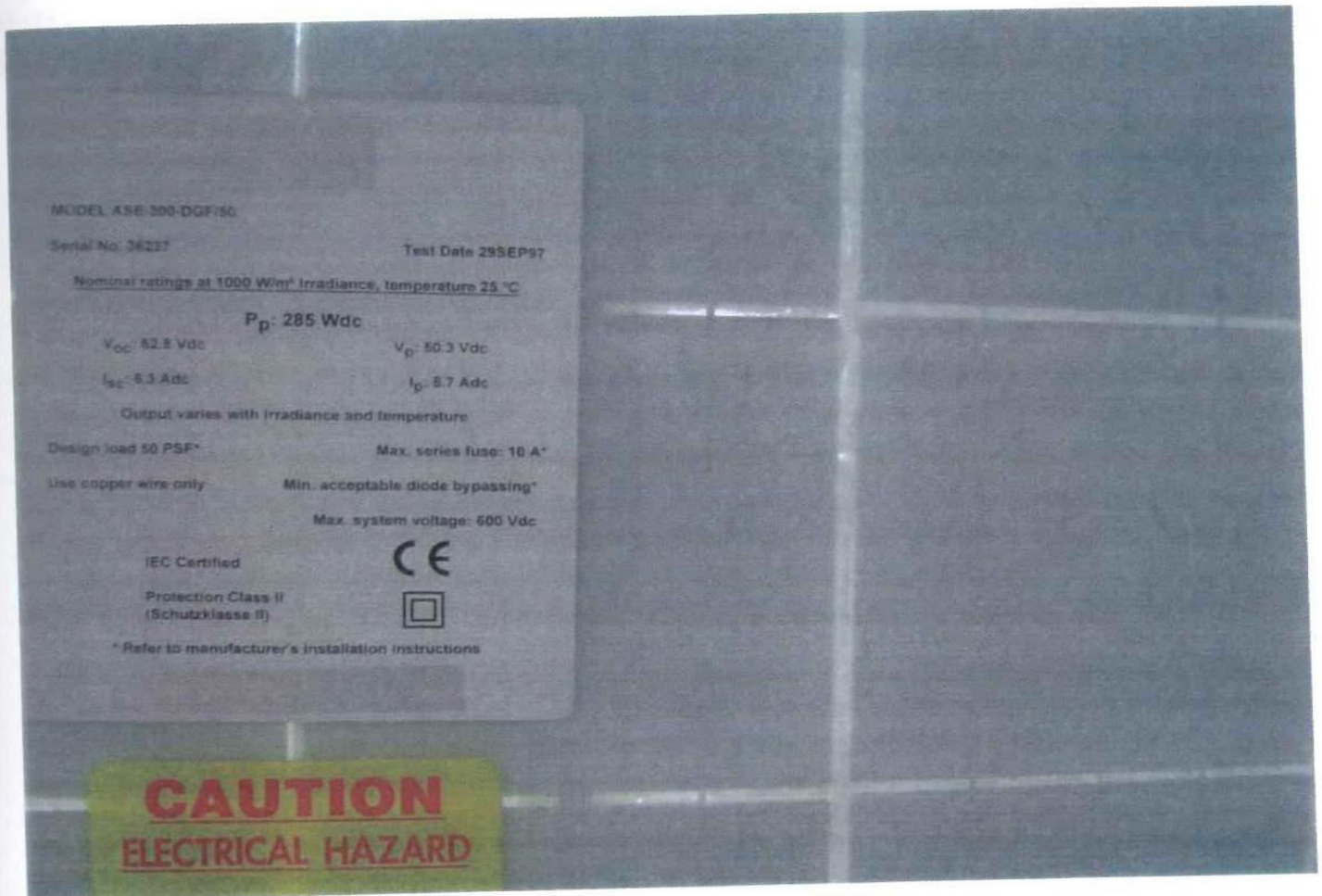


Σχήμα 5.8: Άποψη των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών διατάξεων.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν κλίση 40° , νότιο προσανατολισμό και είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Έτσι, αν σε κάποιο πλαίσιο υπάρξει πρόβλημα, δεν επηρεάζεται η ισχύς εξόδου των υπολοίπων. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από 216 στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου υψηλής απόδοσης, επιφάνειας $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κάθε πλαισίου είναι $216 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ και δεδομένου ότι υπάρχουν δέκα πλαίσια, η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών του συστήματος είναι: $S = 21,6 \text{ m}^2$. Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων, η ισχύς αιχμής τους είναι 285W, η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας NOCT είναι 45°C και ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας είναι $\beta_p = 0,38\%/^\circ\text{C}$. Από την ισχύ αιχμής προκύπτει ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης κάθε πλαισίου, σύμφωνα με την σχέση 2.2:

$$n = \frac{W_p}{1000 \cdot S} = \frac{285}{1000 \cdot 2,16} = 13,194\%$$

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η πίσω όψη του φωτοβολταϊκού πλαισίου.



Σχήμα 5.9: Πίσω όψη φωτοβολταϊκού πλαισίου, στο οποίο αναγράφονται τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά.

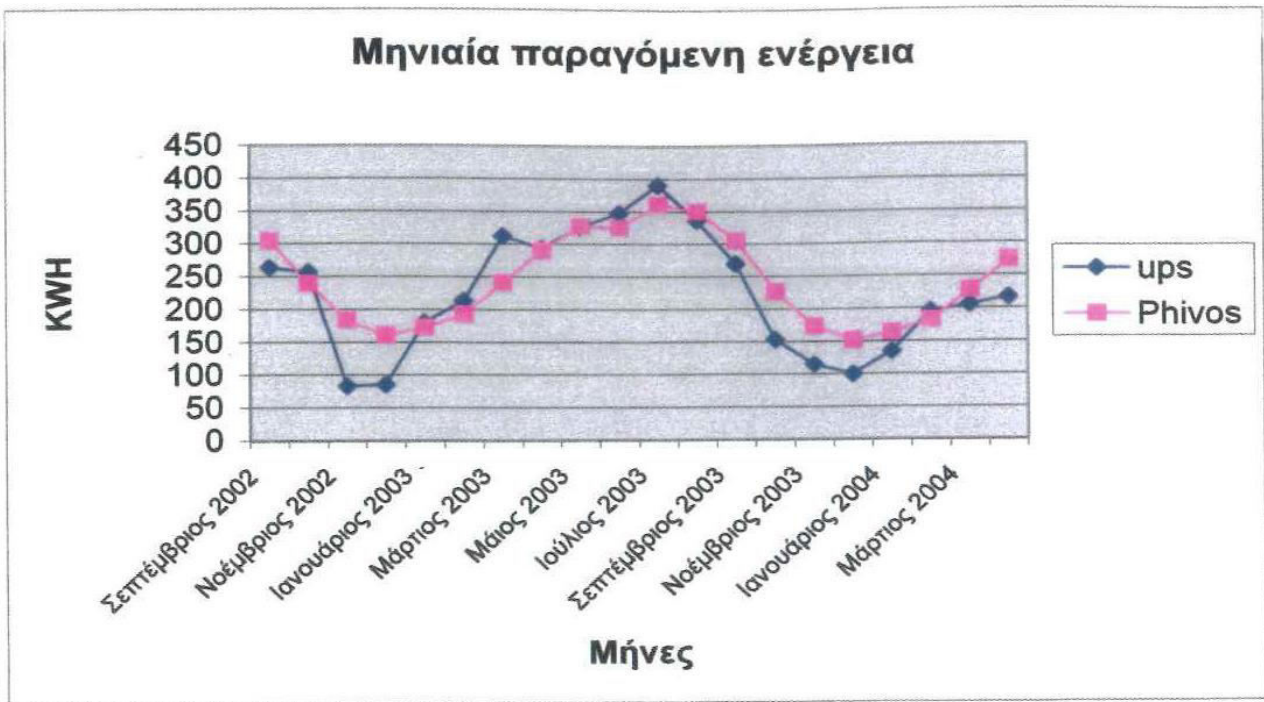
Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα είναι τα εξής: περιοχή Θεσσαλονίκη, τύπος φωτοβολταϊκού πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, κλίση $\beta=40^\circ$, γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$, βαθμός απόδοσης Inverter 92%, επιφάνεια φωτοβολταϊκού $21,6\text{m}^2$, απώλειες ισχύος 0% και απώλειες συστοιχίας 0%. Προκειμένου τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται στα πραγματικά χαρακτηριστικά του συστήματος, διορθώθηκε ο βαθμός απόδοσης του πολυκρυσταλλικού πυριτίου στο φύλλο εργασίας «Τύποι pn+βαθμοί» από 11% σε 13,194% και ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας β_p από $0,40\%/^\circ\text{C}$ σε $0,38\%/^\circ\text{C}$.

Οι μετρημένες τιμές από την φωτοβολταϊκή συστοιχία καλύπτουν την περίοδο από τον Νοέμβριο του 2002 έως τον Απρίλιο του 2004. Πρέπει να σημειωθεί ότι τρία πλαίσια έσπασαν λόγω πτώσης από ισχυρούς ανέμους, και λειτουργούσαν με την μισή απόδοση από ότι τα υπόλοιπα (σχήμα 5.10). Έτσι, η υπολογισμένη ενέργεια πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 0,85 ($7 \cdot 100\% + 3 \cdot 50\%$) προκειμένου να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες. Ακόμη, λόγω των ισχυρών βροχοπτώσεων τον Οκτώβριο του 2003, ένα προβληματικό πλαίσιο έπαψε να λειτουργεί. Έτσι, η υπολογισμένη ενέργεια από τον Οκτώβριο του 2003 και στην συνέχεια, πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή $0,80 (7 \cdot 100\% + 2 \cdot 50\%)$.



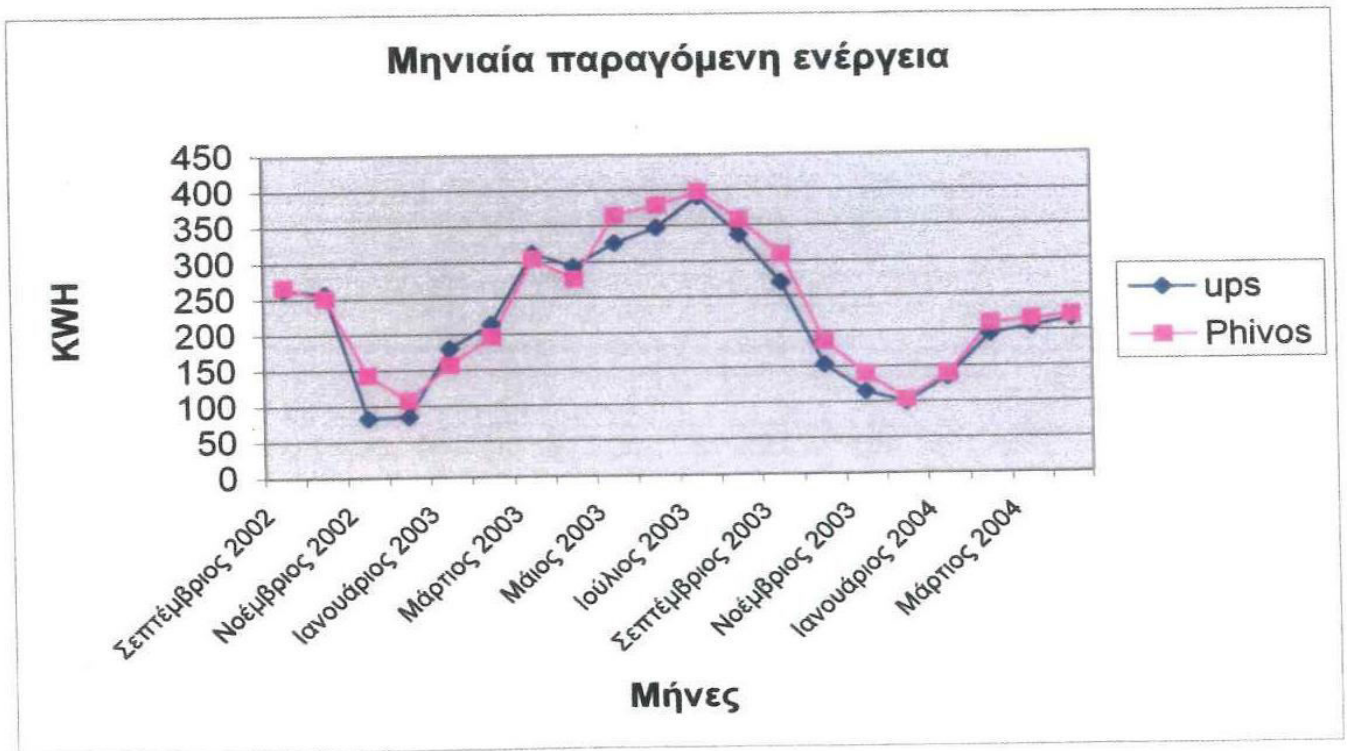
Σχήμα 5.10: Σπασμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της υπολογισμένης μηνιαίας ενέργειας (Ρhivos) και της αντίστοιχης πραγματικής παραγόμενης ενέργειας (UPS) φαίνεται στο διάγραμμα 5.17, όπου παρατηρείται σχετικά μικρή απόκλιση μεταξύ πραγματικών και υπολογισμένων τιμών.



Διάγραμμα 5.17: Σύγκριση μηνιαίων τιμών υπολογισμένης και νέων τιμών μετρημένης ενέργειας.

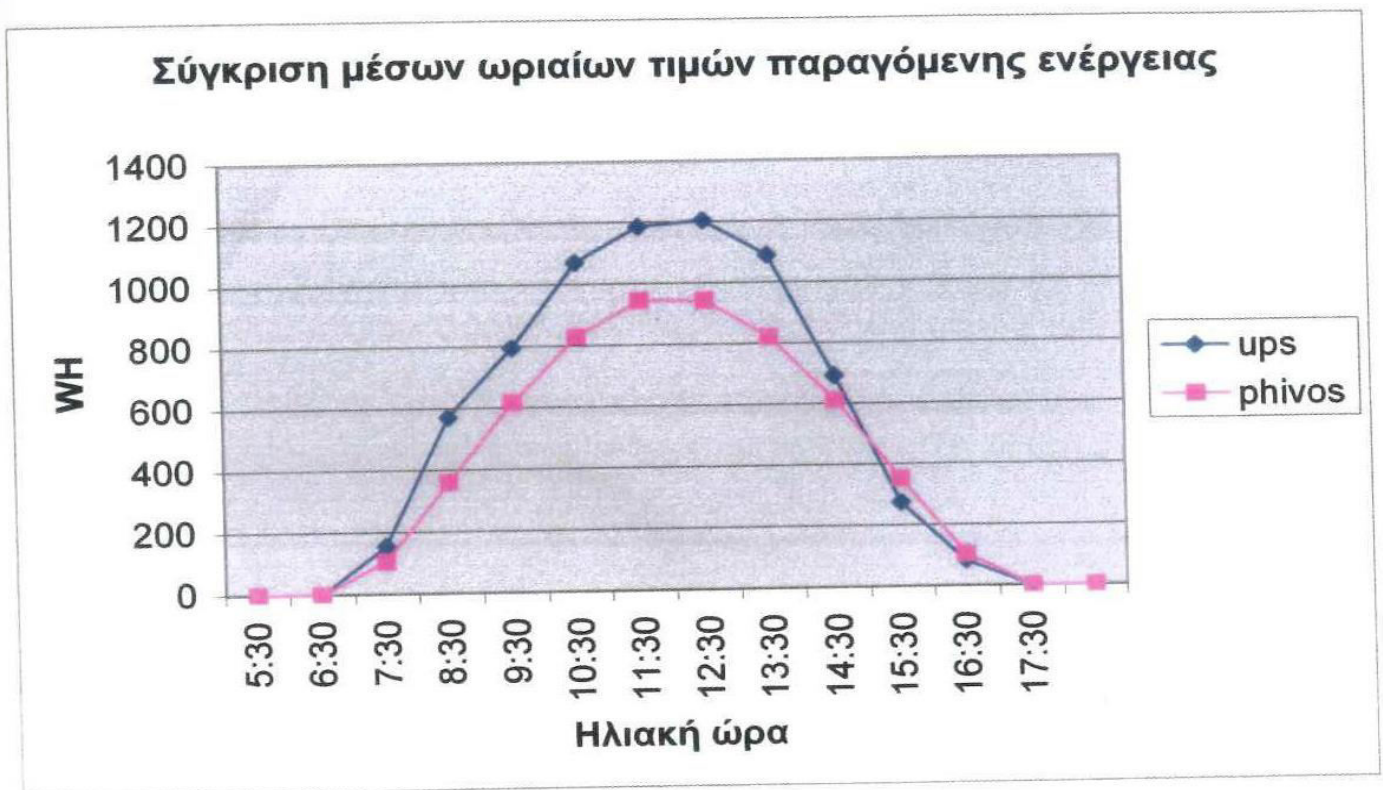
Αντικαθιστώντας τις μέσες τιμές ωρών ηλιοφάνειας ανά μήνα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα με τις πραγματικές τιμές ωρών ηλιοφάνειας για τον εκάστοτε μήνα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, προκύπτει το διάγραμμα 5.18, όπου παρατηρείται πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ υπολογισμένων και πραγματικών τιμών.



Διάγραμμα 5.18: Σύγκριση μηνιαίων τιμών υπολογισμένης ενέργειας, με βάση τα πραγματικά ηλιακά δεδομένα, και των τιμών μετρημένης ενέργειας.

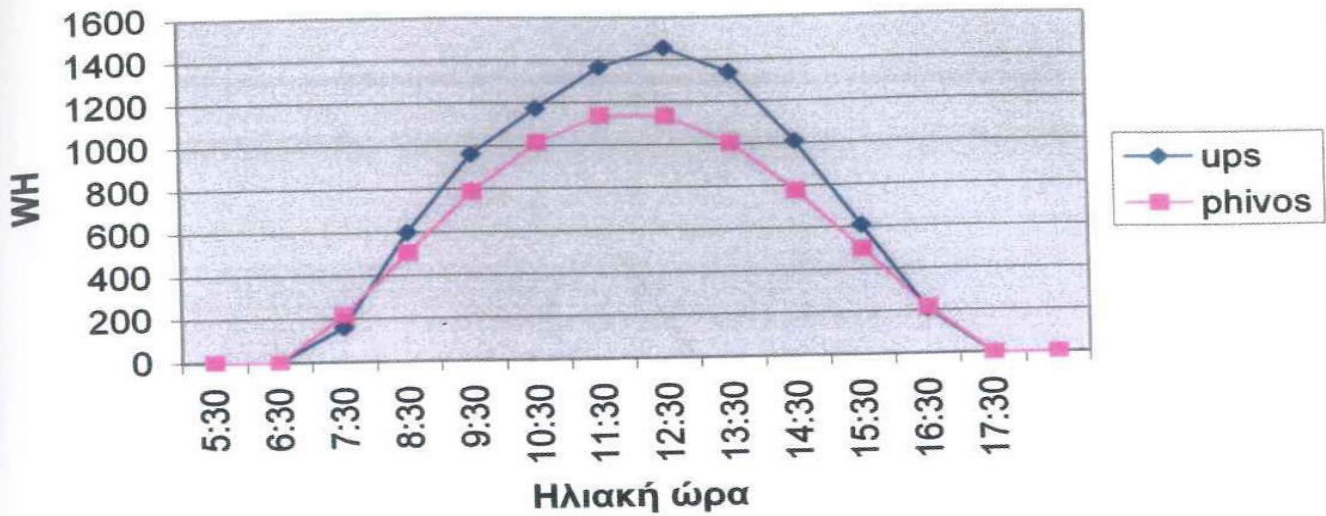
Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της υπολογισμένης ωριαίας ενέργειας (Phivos) με βάση τις μέσες ώρες ηλιοφάνειας, και της αντίστοιχης πραγματικής παραγόμενης ενέργειας (ups) για το έτος 2003. Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα είναι τα εξής: περιοχή Θεσσαλονίκη, βαθμός απόδοσης 13,194%, συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας $\beta_p=0,38\%/^{\circ}\text{C}$, κλίση $\beta=40^{\circ}$, γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^{\circ}$, βαθμός απόδοσης Inverter 92%, επιφάνεια φωτοβολταϊκού $21,6\text{m}^2$, απώλειες ισχύος 0% και απώλειες συστοιχίας 0%.

Λόγω περιορισμένης ακρίβειας του καταγραφικού συστήματος, σε περίπτωση μηδενικής παραγωγής, το σύστημα κατέγραφε πολλές φορές τιμή 0,07 W ανά δεκάλεπτο, με αποτέλεσμα η μέση τιμή των ωριαίων τιμών μετρημένης ενέργειας, να προκύψει για τιμές μεγαλύτερες από 0,07. Έτσι, το άθροισμα των μέσων ωριαίων πραγματικών τιμών παραγόμενης ενέργειας για όλη την διάρκεια του μήνα, δεν αντιστοιχεί στην παραγόμενη ενέργεια του μήνα, καθώς δεν συμπεριλαμβάνονται κατά τον υπολογισμό των μέσων τιμών οι μηδενικές τιμές. Παρά το πρόβλημα αυτό όμως, η σύγκριση των αποτελεσμάτων αποδεικνύει ότι υπάρχει πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ υπολογισμένων και πραγματικών τιμών.



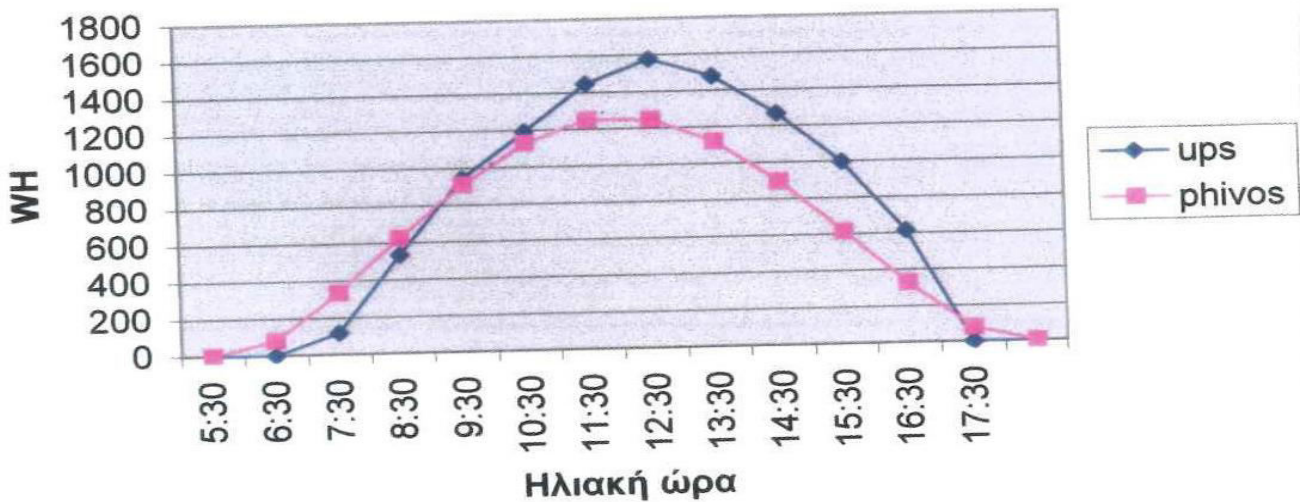
Διάγραμμα 5.19: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Ιανουάριο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



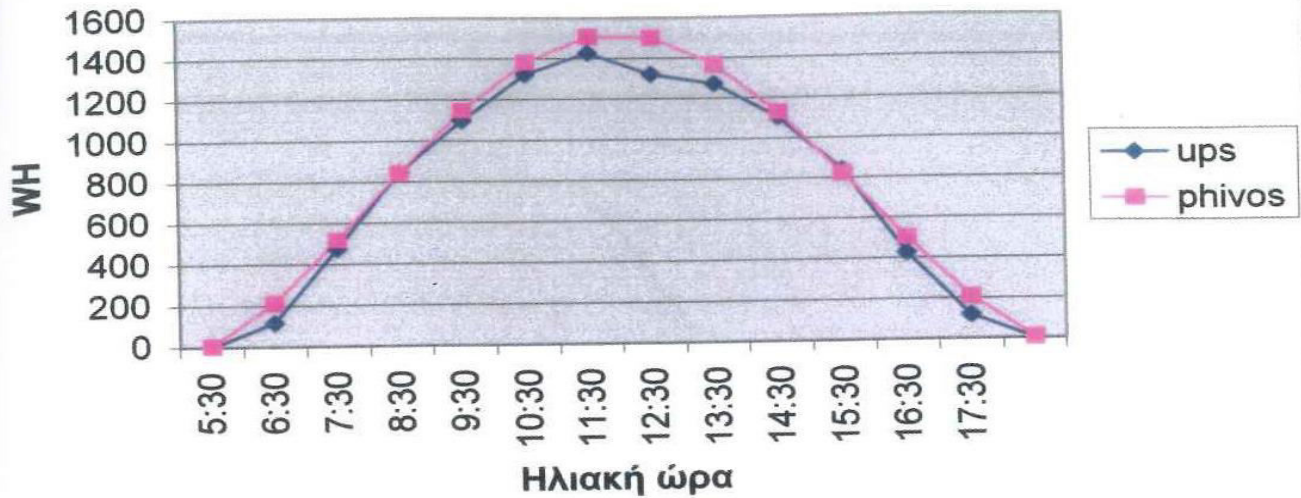
Διάγραμμα 5.20: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Φεβρουάριο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



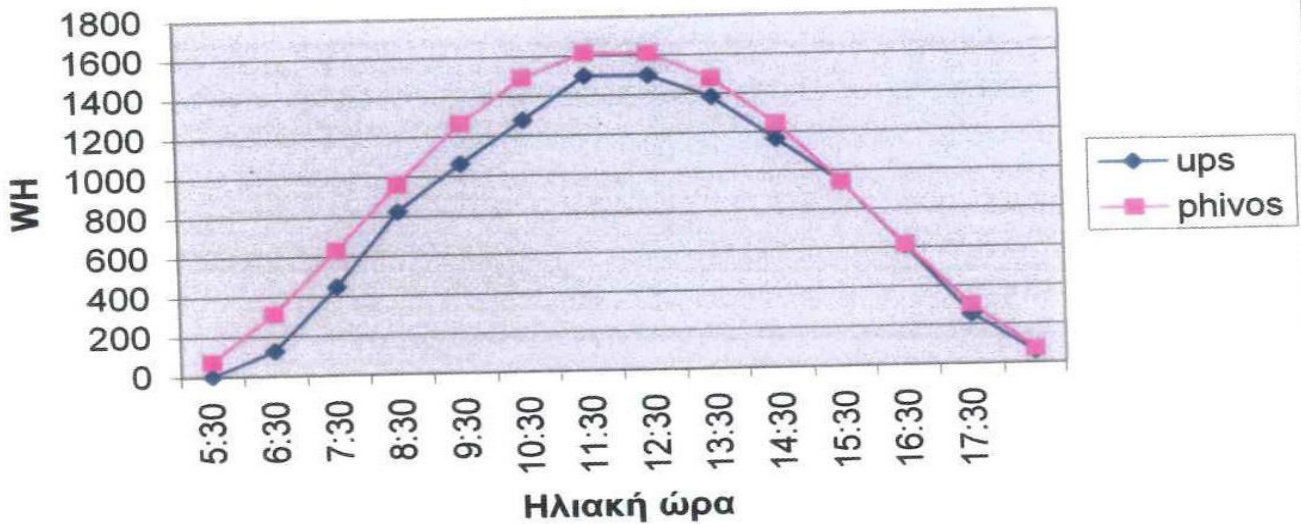
Διάγραμμα 5.21: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Μάρτιο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



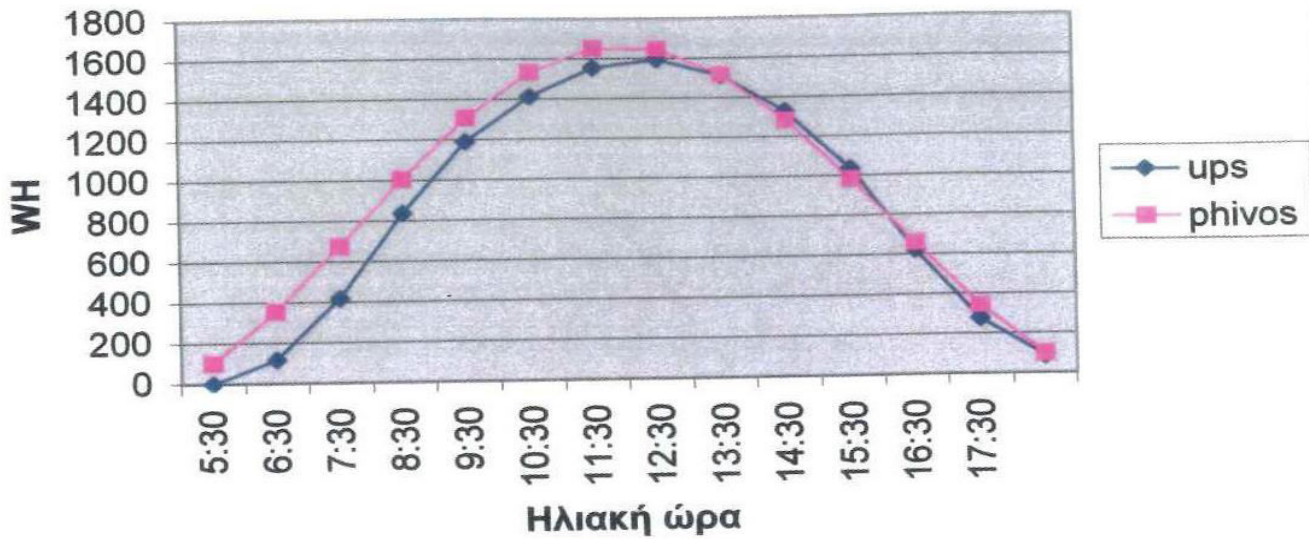
Διάγραμμα 5.22: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Απρίλιο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



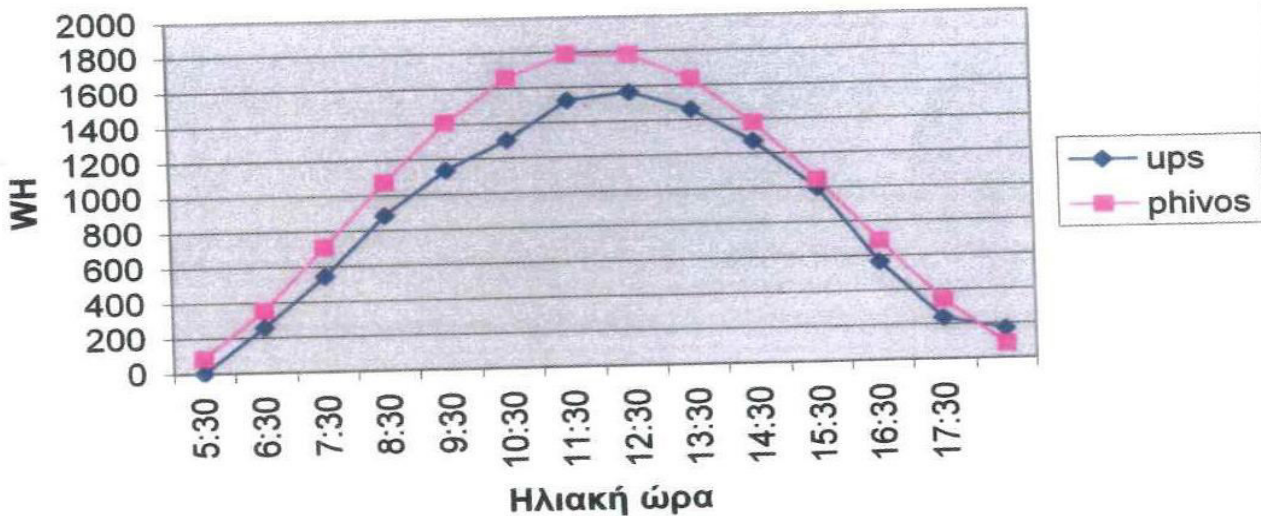
Διάγραμμα 5.23: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Μάιο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



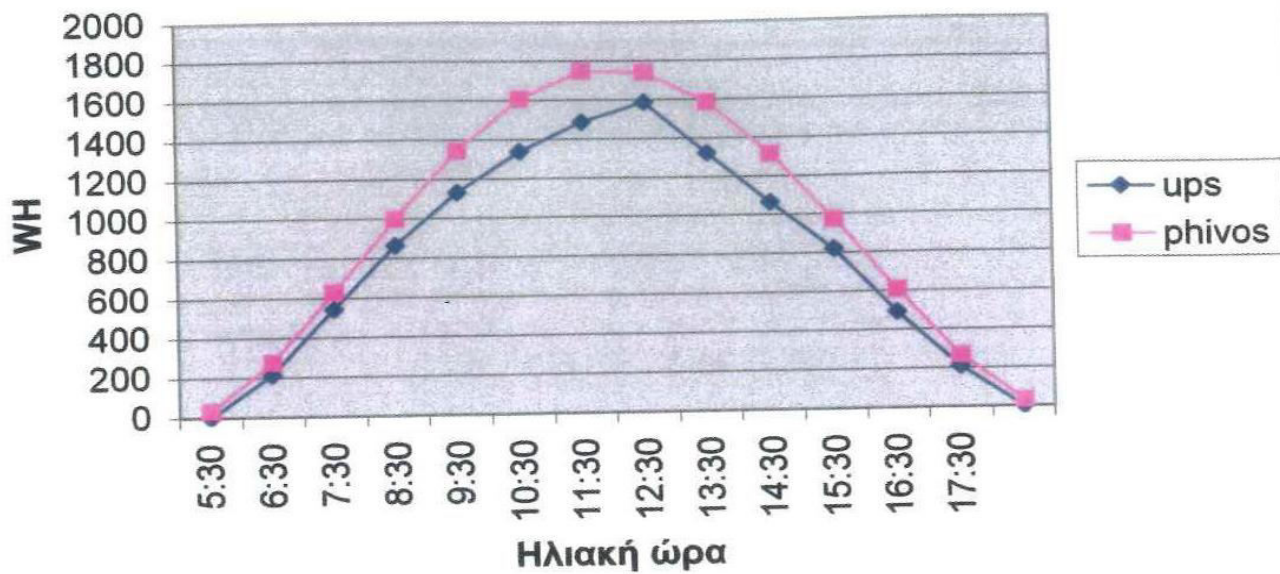
Διάγραμμα 5.24: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Ιούνιο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



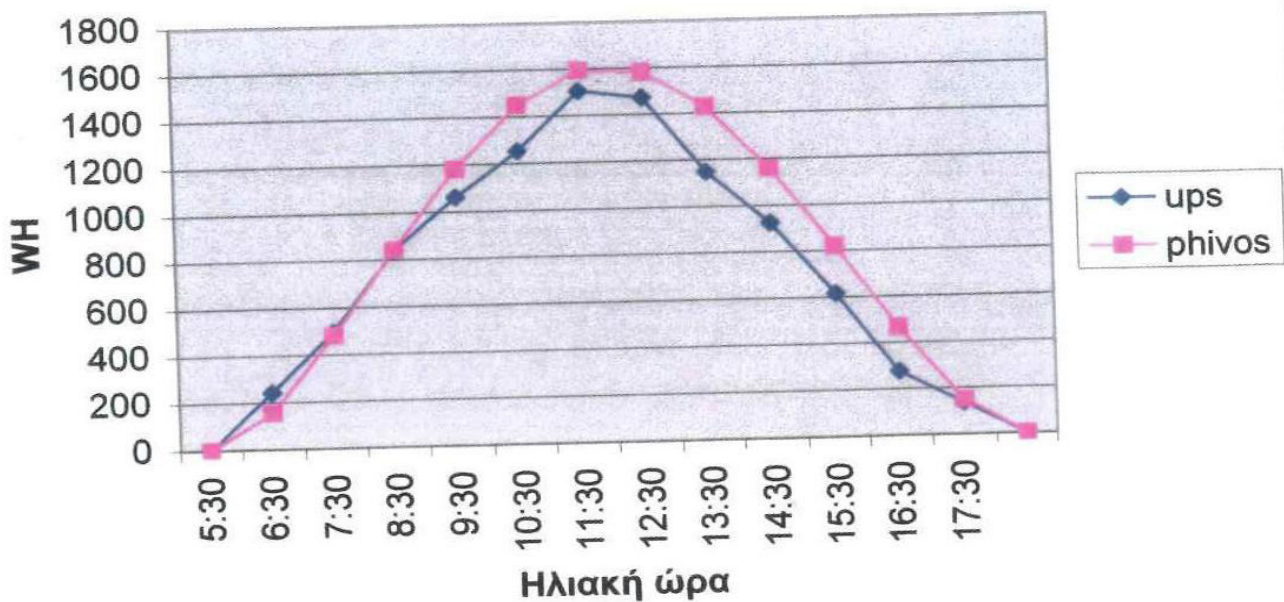
Διάγραμμα 5.25: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Ιούλιο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



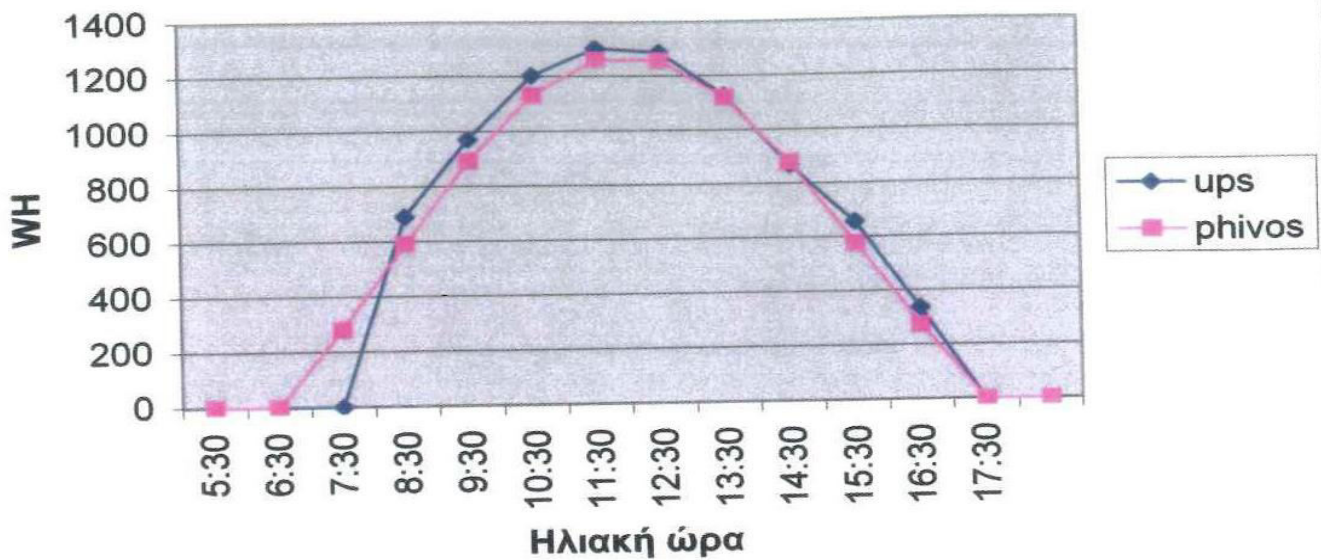
Διάγραμμα 5.26: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Αύγουστο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



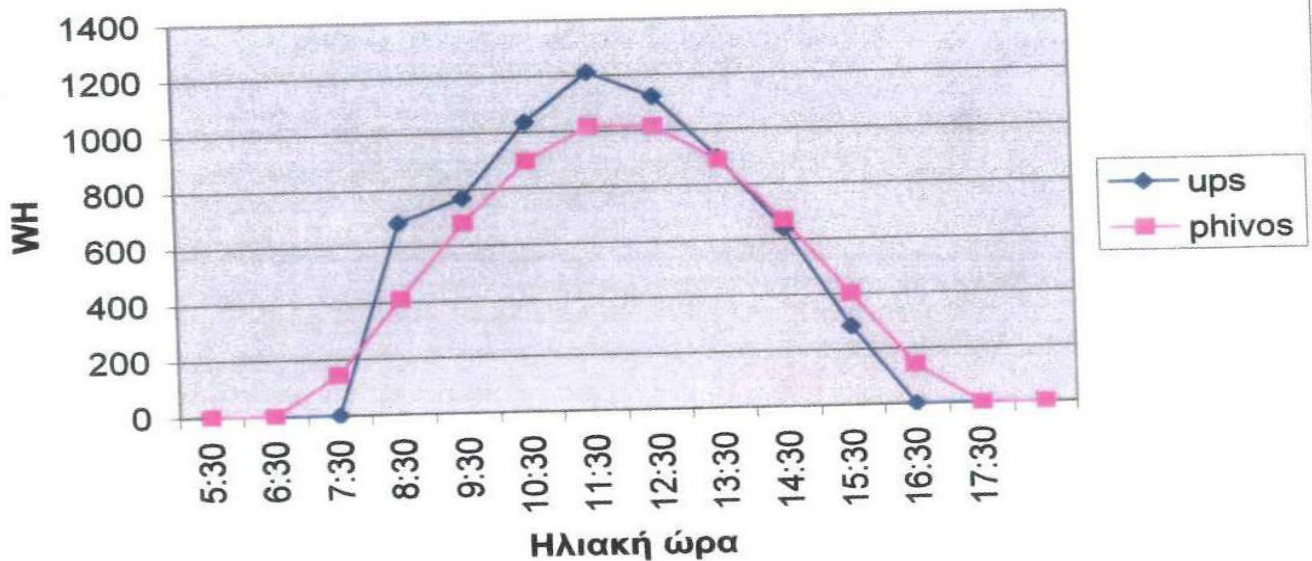
Διάγραμμα 5.27: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Σεπτέμβριο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



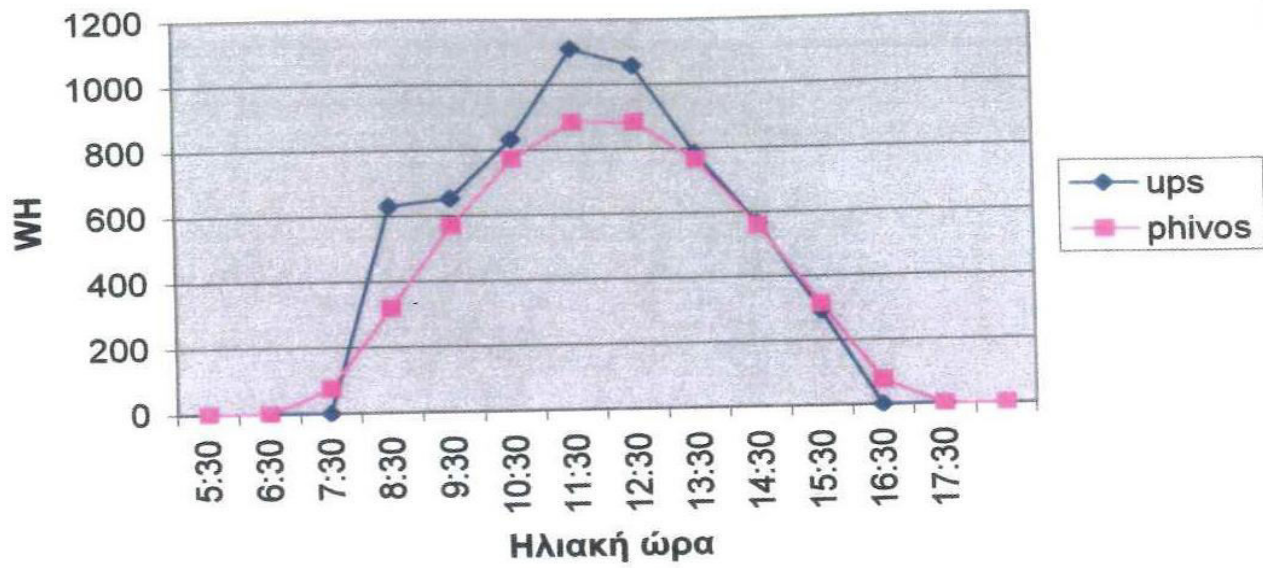
Διάγραμμα 5.28: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Οκτώβριο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας



Διάγραμμα 5.29: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Νοέμβριο του 2003.

Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών παραγόμενης ενέργειας

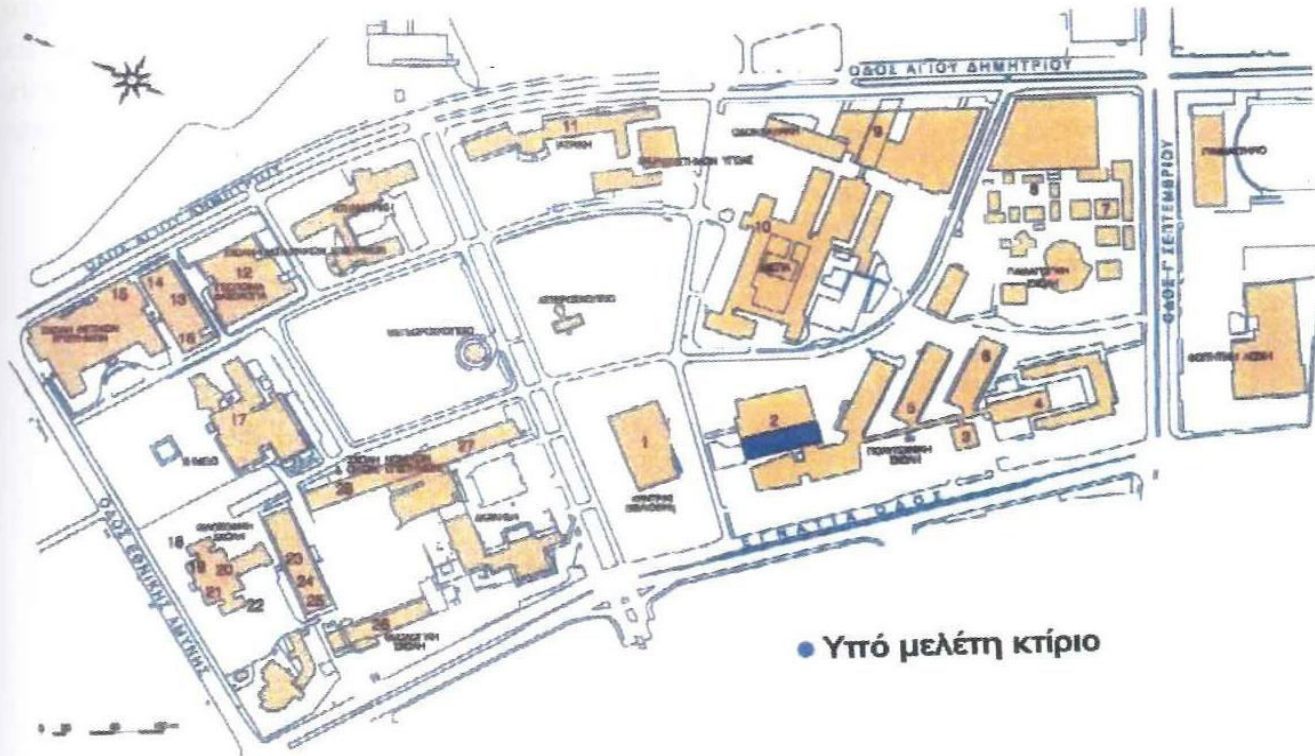


Διάγραμμα 5.30: Σύγκριση μέσων ωριαίων τιμών υπολογισμένης και πραγματικής ενέργειας για τον Δεκέμβριο του 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εφαρμογή του μοντέλου σε υπάρχον κτίριο, προκειμένου να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούν να υποκαταστήσουν τα φωτοβολταϊκά στην κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Το κτίριο στο οποίο επιλέχτηκε να γίνει εφαρμογή του μοντέλου βρίσκεται στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και αποτελεί το Κτίριο Εδρών του Πολυτεχνείου (Εικόνα 6.1).



Σχήμα 6.1: Κάτοψη Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Πρόκειται για 8όροφο κτίριο το οποίο χτίστηκε την δεκαετία του 1950 και στεγάζει διοικητικό προσωπικό του πανεπιστημίου. Η νότια όψη του κτιρίου έχει απόκλιση από το νότο 40° δυτικά ($\gamma = 40^\circ$). Το κτίριο είναι πανταχόθεν ελεύθερο μετά τον πρώτο όροφο και δεν γειτνιάζει με υψηλό κτίριο που θα μπορούσε να το σκιάσει. Ακόμη, διαθέτει μεγάλες αδιαφανείς επιφάνειες σε όλες τις όψεις του, πράγμα που το καθιστά ιδανικό για την εφαρμογή κτιριακά ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων.

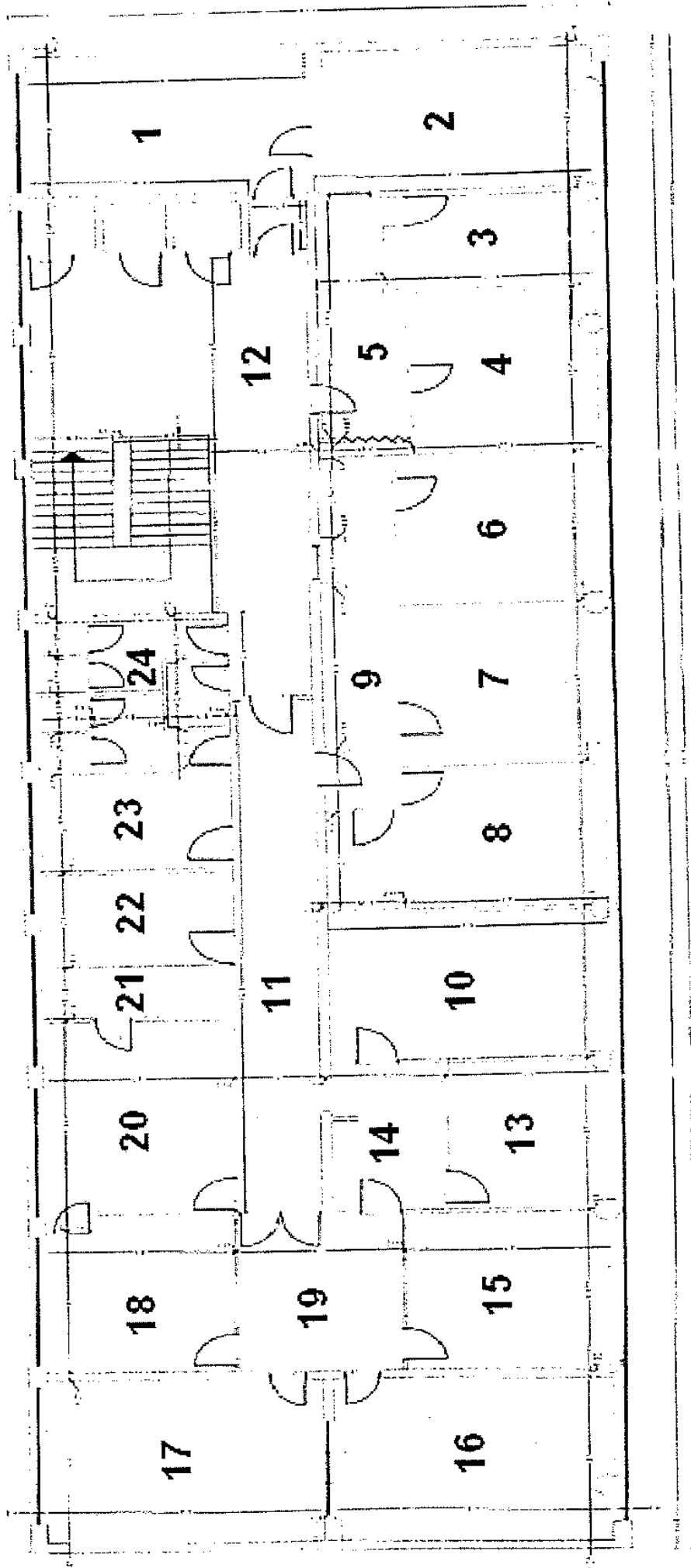
6.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο συνδέεται με το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ και δεν διαθέτει μετρητές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, ο υπολογισμός της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας βασίστηκε στην καταγραφή του μηχανολογικού εξοπλισμού τυπικού ορόφου του κτιρίου και στην προφορική συλλογή πληροφοριών από το εργαζόμενο προσωπικό ως προς τις ώρες χρήσης του εξοπλισμού. Ως τυπικός όροφος θεωρήθηκε ο τέταρτος, ο οποίος χωρίστηκε σε 24 αίθουσες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2.

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός του τυπικού ορόφου περιλαμβάνει συνολικά 155 λαμπτήρες, 33 ηλεκτρονικούς υπολογιστές, 16 κλιματιστικά, 4 ανεμιστήρες, 5 φωτοτυπικά μηχανήματα και 2 ψυγεία. Αναλυτικά ο μηχανολογικός εξοπλισμός σε κάθε αίθουσα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

| | Λαμπτήρες | Η/Υ | Κλιματιστικά | Ανεμιστήρες | Φωτοτυπικά | Ψυγεία |
|----|-------------------------|-----|---------------|-------------|------------|--------|
| 1 | 12 σωλ. φθορ. | 5 | 1 (9000 Btu) | - | - | 1 |
| 2 | 12 σωλ. φθορ. | 1 | 1 (12000 Btu) | - | - | - |
| 3 | 4 σωλ. φθορ. | 1 | - | 1 | - | - |
| 4 | 4 σωλ. φθορ. | 2 | 1 (9000 Btu) | 1 | - | - |
| 5 | 3 μεγάλοι σωλ. φθορ. | - | - | 1 | 1 | - |
| 6 | 4 σωλ. φθορ. | 5 | 1 (12000 Btu) | - | - | 1 |
| 7 | 4 σωλ. φθορ. | 1 | 1 (12000 Btu) | - | - | - |
| 8 | 6 σωλ. φθορ. | 1 | 1 (12000 Btu) | - | - | - |
| 9 | 6 σωλ. φθορ. | - | - | - | - | - |
| 10 | 8 σωλ. φθορ. | 1 | 1 (9000 Btu) | - | - | - |
| 11 | 10 σωλ. φθορ. | - | - | - | - | - |
| 12 | 20 μικροί σωλ. φθορ. | - | - | - | - | - |
| 13 | 2 σωλ. φθορ. | 1 | 1 (9000 Btu) | - | 1 | - |
| 14 | 2 σωλ. φθορ. | - | - | - | - | - |
| 15 | 8 σωλ. φθορ. | 2 | 1 (9000 Btu) | - | - | - |
| 16 | 12 σωλ. φθορ. | 3 | 1 (12000 Btu) | - | 1 | - |
| 17 | 12 σωλ. φθορ. | 3 | 1 (12000 Btu) | - | - | - |
| 18 | 4 σωλ. φθορ. | - | 1 (9000 Btu) | - | - | - |
| 19 | 4 σωλ. φθορ. | - | - | - | 2 | - |
| 20 | 4 σωλ. φθορ. | 2 | 1 (9000 Btu) | 1 | - | - |
| 21 | 2 σωλ. φθορ. | 1 | 1 (9000 Btu) | - | - | - |
| 22 | 2 σωλ. φθορ. | 2 | 1 (9000 Btu) | - | - | - |
| 23 | 2 σωλ. φθορ. | 2 | 1 (9000 Btu) | - | - | - |
| 24 | 8 λαμπτήρες πυρακτώσεως | - | - | - | - | - |

Πίνακας 6.1: Μηχανολογικός εξοπλισμός 4^{ου} ορόφου κτιρίου εδρών



Σχήμα 6.2: Κάτοψη του 4^{ου} ορόφου του κτιρίου εδρών και χαρισιμής του σε αίθουσες.

Όσον αφορά τον φωτισμό του ορόφου, αυτός καλύπτεται από 147 λαμπτήρες φθορισμού και 8 λαμπτήρες πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι τύπου σωλήνα, τριών μεγεθών με ισχύ 18W, 36W και 58W αντίστοιχα. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως είναι ίδιου τύπου ισχύος 60W έκαστος. Στο ερωτηματολόγιο προς το προσωπικό θεωρήθηκαν δύο περίοδοι χρήσης: η χειμερινή από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάρτιο και η θερινή από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο. Στην συνέχεια παρατίθενται πίνακες στους οποίους προκύπτει η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας από την χρήση λαμπτήρων για τον χαρακτηριστικό όροφο κατά την θερινή και την χειμερινή περίοδο. Οι ημέρες χρήσης ανά μήνα θεωρήθηκαν 24 και εκφράζουν τις εργάσιμες ημέρες ανά μήνα.

| Αίθουσα | Λαμπτήρες | Ισχύς (W) | Ώρες χρήσης ανά ημέρα | Μέρες χρήσης ανά μήνα | Μηνιαία κατανάλωση (KWH) |
|---------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 12 | 36 | 5 | 24 | 51,84 |
| 2 | 12 | 36 | 5 | 24 | 51,84 |
| 3 | 4 | 36 | 4 | 24 | 13,824 |
| 4 | 4 | 36 | 5 | 24 | 17,28 |
| 5 | 3 | 58 | 8 | 24 | 33,408 |
| 6 | 4 | 36 | 5 | 24 | 17,28 |
| 7 | 4 | 36 | 5 | 24 | 17,28 |
| 8 | 6 | 36 | 5 | 24 | 25,92 |
| 9 | 6 | 36 | 8 | 24 | 41,472 |
| 10 | 8 | 36 | 2 | 24 | 13,824 |
| 11 | 10 | 36 | 8 | 24 | 69,12 |
| 12 | 20 | 18 | 2 | 24 | 17,28 |
| 13 | 2 | 36 | 5 | 24 | 8,64 |
| 14 | 2 | 36 | 8 | 24 | 13,824 |
| 15 | 8 | 36 | 5 | 24 | 34,56 |
| 16 | 12 | 36 | 4 | 24 | 41,472 |
| 17 | 12 | 36 | 5 | 24 | 51,84 |
| 18 | 4 | 36 | 2 | 10 | 2,88 |
| 19 | 4 | 36 | 8 | 24 | 27,648 |
| 20 | 4 | 36 | 5 | 24 | 17,28 |
| 21 | 2 | 36 | 5 | 24 | 8,64 |
| 22 | 2 | 36 | 5 | 24 | 8,64 |
| 23 | 2 | 36 | 4 | 24 | 6,912 |
| 24 | 8 | 60 | 6 | 24 | 69,12 |
| Σύνολο | | | | | 661,824 |

Πίνακας 6.2: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας λαμπτήρων την χειμερινή περίοδο για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου

| Αίθουσα | Λαμπτήρες | Ισχύς (W) | Ώρες χρήσης ανά ημέρα | Μέρες χρήσης ανά μήνα | Μηνιαία κατανάλωση (KWH) |
|---------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 12 | 36 | 8 | 24 | 82,944 |
| 2 | 12 | 36 | 8 | 24 | 82,944 |
| 3 | 4 | 36 | 4 | 24 | 13,824 |
| 4 | 4 | 36 | 6 | 24 | 20,736 |
| 5 | 3 | 58 | 8 | 24 | 33,408 |
| 6 | 4 | 36 | 7 | 24 | 24,192 |
| 7 | 4 | 36 | 7 | 24 | 24,192 |
| 8 | 6 | 36 | 7 | 24 | 36,288 |
| 9 | 6 | 36 | 8 | 24 | 41,472 |
| 10 | 8 | 36 | 3 | 24 | 20,736 |
| 11 | 10 | 36 | 8 | 24 | 69,12 |
| 12 | 20 | 18 | 4 | 24 | 34,56 |
| 13 | 2 | 36 | 7 | 24 | 12,096 |
| 14 | 2 | 36 | 8 | 24 | 13,824 |
| 15 | 8 | 36 | 7 | 24 | 48,384 |
| 16 | 12 | 36 | 6 | 24 | 62,208 |
| 17 | 12 | 36 | 7 | 24 | 72,576 |
| 18 | 4 | 36 | 3 | 10 | 4,32 |
| 19 | 4 | 36 | 8 | 24 | 27,648 |
| 20 | 4 | 36 | 8 | 24 | 27,648 |
| 21 | 2 | 36 | 7 | 24 | 12,096 |
| 22 | 2 | 36 | 7 | 24 | 12,096 |
| 23 | 2 | 36 | 6 | 24 | 10,368 |
| 24 | 8 | 60 | 8 | 24 | 92,16 |
| Σύνολο | | | | | 879,84 |

Πίνακας 6.3: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας λαμπτήρων την θερινή περίοδο για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου

Όσον αφορά την κάλυψη των αναγκών ψύξης και δροσισμού του ορόφου κατά την θερινή περίοδο, αυτή καλύπτεται με 16 κλιματιστικά μηχανήματα με ισχύ 9000 BTU και 12000 BTU αντίστοιχα, ή 800W και 1000W αντίστοιχα. Επίσης, υπάρχουν 4 ανεμιστήρες οροφής με ισχύ 100W ο καθένας. Στους πίνακες που ακολουθούν, προκύπτει η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας από την χρήση κλιματιστικών και ανεμιστήρων για τον χαρακτηριστικό όροφο κατά την θερινή περίοδο.

| Αίθουσα | Κλιματιστικά | Ισχύς (W) | Ώρες χρήσης ανά ημέρα | Μέρες χρήσης ανά μήνα | Μηνιαία κατανάλωση (KWH) |
|---------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 800 | 6 | 24 | 115,2 |
| 2 | 1 | 1000 | 6 | 24 | 144 |
| 3 | | | | | 0 |
| 4 | 1 | 800 | 6 | 24 | 115,2 |
| 5 | | | | | 0 |
| 6 | 1 | 1000 | 5 | 24 | 120 |
| 7 | 1 | 1000 | 5 | 24 | 120 |
| 8 | 1 | 1000 | 5 | 24 | 120 |
| 9 | | | | | 0 |
| 10 | 1 | 800 | 6 | 24 | 115,2 |
| 11 | | | | | 0 |
| 12 | | | | | 0 |
| 13 | 1 | 800 | 5 | 24 | 96 |
| 14 | | | | | 0 |
| 15 | 1 | 800 | 5 | 24 | 96 |
| 16 | 1 | 1000 | 5 | 24 | 120 |
| 17 | 1 | 1000 | 4 | 24 | 96 |
| 18 | 1 | 800 | 2 | 24 | 38,4 |
| 19 | | | | | 0 |
| 20 | 1 | 800 | 4 | 24 | 76,8 |
| 21 | 1 | 800 | 6 | 24 | 115,2 |
| 22 | 1 | 800 | 5 | 24 | 96 |
| 23 | 1 | 800 | 3 | 24 | 57,6 |
| 24 | | | | | 0 |
| Σύνολο | | | | | 1641,6 |

Πίνακας 6.4: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας κλιματιστικών την θερινή περίοδο για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου

| Αίθουσα | Ανεμιστήρες | Ισχύς (W) | Ώρες χρήσης ανά ημέρα | Μέρες χρήσης ανά μήνα | Μηνιαία κατανάλωση (KWH) |
|---------|-------------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | | | | | 0 |
| 2 | | | | | 0 |
| 3 | 1 | 100 | 5 | 24 | 12 |
| 4 | 1 | 100 | 6 | 24 | 14,4 |
| 5 | 1 | 100 | 3 | 24 | 7,2 |
| 6 | | | | | 108 |
| 7 | | | | | 0 |
| 8 | | | | | 0 |
| 9 | | | | | 0 |
| 10 | | | | | 0 |
| 11 | | | | | 0 |
| 12 | | | | | 0 |
| 13 | | | | | 0 |
| 14 | | | | | 0 |
| 15 | | | | | 0 |
| 16 | | | | | 0 |
| 17 | | | | | 0 |
| 18 | | | | | 0 |
| 19 | | | | | 0 |
| 20 | 1 | 100 | 4 | 24 | 9,6 |
| 21 | | | | | 0 |
| 22 | | | | | 0 |
| 23 | | | | | 0 |
| 24 | | | | | 0 |
| Σύνολο | | | | | 151,2 |

Πίνακας 6.5: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας ανεμιστήρων την θερινή περίοδο για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου

Ο υπόλοιπος μηχανολογικός εξοπλισμός του ορόφου περιλαμβάνει 33 ηλεκτρονικούς υπολογιστές ισχύος 300W μαζί με τις οθόνες, 2 μικρά ψυγεία ισχύος 150W και 5 φωτοτυπικά μηχανήματα ισχύος 500 W, τα οποία λειτουργούν καθ όλη την διάρκεια του έτους. Η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας που προκύπτει από την χρήση των παραπάνω συσκευών για τον χαρακτηριστικό όροφο καθ όλη την διάρκεια του έτους φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν.

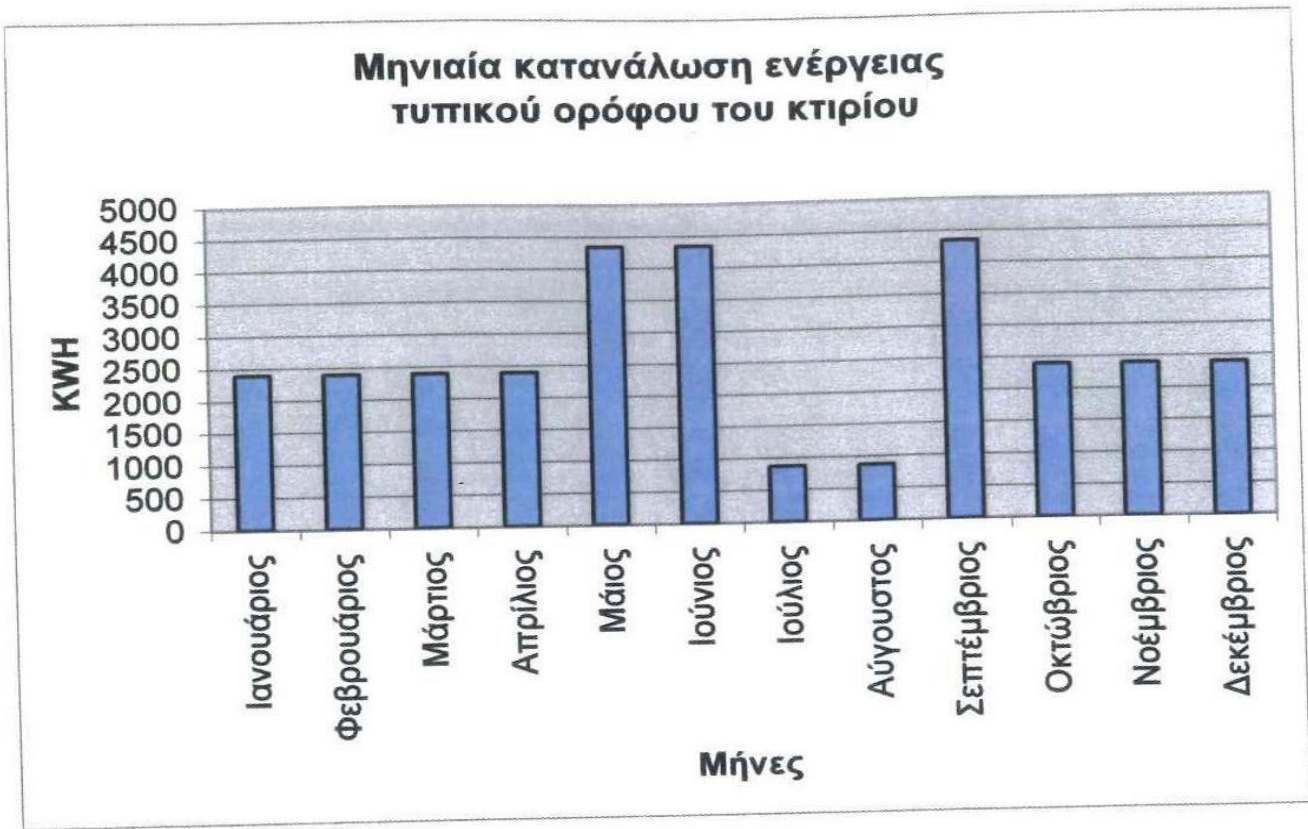
| Αίθουσα | Ηλεκτρονικοί υπολογιστές | Ισχύς (W) | Ώρες χρήσης ανά ημέρα | Μέρες χρήσης ανά μήνα | Μηνιαία κατανάλωση (KWH) |
|---------|--------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 5 | 300 | 8 | 24 | 288 |
| 2 | 1 | 300 | 8 | 24 | 57,6 |
| 3 | 1 | 300 | 1 | 24 | 7,2 |
| 4 | 2 | 300 | 3 | 24 | 43,2 |
| 5 | | | | | 0 |
| 6 | 5 | 300 | 4 | 24 | 144 |
| 7 | 1 | 300 | 4 | 24 | 28,8 |
| 8 | 1 | 300 | 4 | 24 | 28,8 |
| 9 | | | | | 0 |
| 10 | 1 | 300 | 8 | 24 | 57,6 |
| 11 | | | | | 0 |
| 12 | | | | | 0 |
| 13 | 1 | 300 | 4 | 24 | 28,8 |
| 14 | | | | | 0 |
| 15 | 2 | 300 | 4 | 24 | 57,6 |
| 16 | 3 | 300 | 3 | 24 | 64,8 |
| 17 | 3 | 300 | 4 | 24 | 86,4 |
| 18 | | | | | 0 |
| 19 | | | | | 0 |
| 20 | 2 | 300 | 8 | 24 | 115,2 |
| 21 | 1 | 300 | 8 | 24 | 57,6 |
| 22 | 2 | 300 | 6 | 24 | 86,4 |
| 23 | 2 | 300 | 6 | 24 | 86,4 |
| 24 | | | | | 0 |
| Σύνολο | | | | | 1238,4 |

Πίνακας 6.6: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας ηλεκτρονικών υπολογιστών καθ όλη την διάρκεια του έτους, για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου

| Αίθουσα | Άλλες συσκευές | Ισχύς (W) | Ώρες χρήσης ανά ημέρα | Μέρες χρήσης ανά μήνα | Μηνιαία κατανάλωση (KWH) |
|---------|----------------|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 150 | 24 | 30 | 108 |
| 2 | | | | | 0 |
| 3 | | | | | 0 |
| 4 | | | | | 0 |
| 5 | 1 | 500 | 1 | 24 | 12 |
| 6 | 1 | 150 | 24 | 30 | 108 |
| 7 | | | | | 0 |
| 8 | | | | | 0 |
| 9 | | | | | 0 |
| 10 | | | | | 0 |
| 11 | | | | | 0 |
| 12 | | | | | 0 |
| 13 | | | | | 0 |
| 14 | 1 | 500 | 1 | 24 | 12 |
| 15 | | | | | 0 |
| 16 | 1 | 500 | 1 | 24 | 12 |
| 17 | | | | | 0 |
| 18 | 2 | 500 | 1 | 24 | 24 |
| 19 | | | | | 0 |
| 20 | | | | | 0 |
| 21 | | | | | 0 |
| 22 | | | | | 0 |
| 23 | | | | | 0 |
| 24 | | | | | 0 |
| Σύνολο | | | | | 276 |

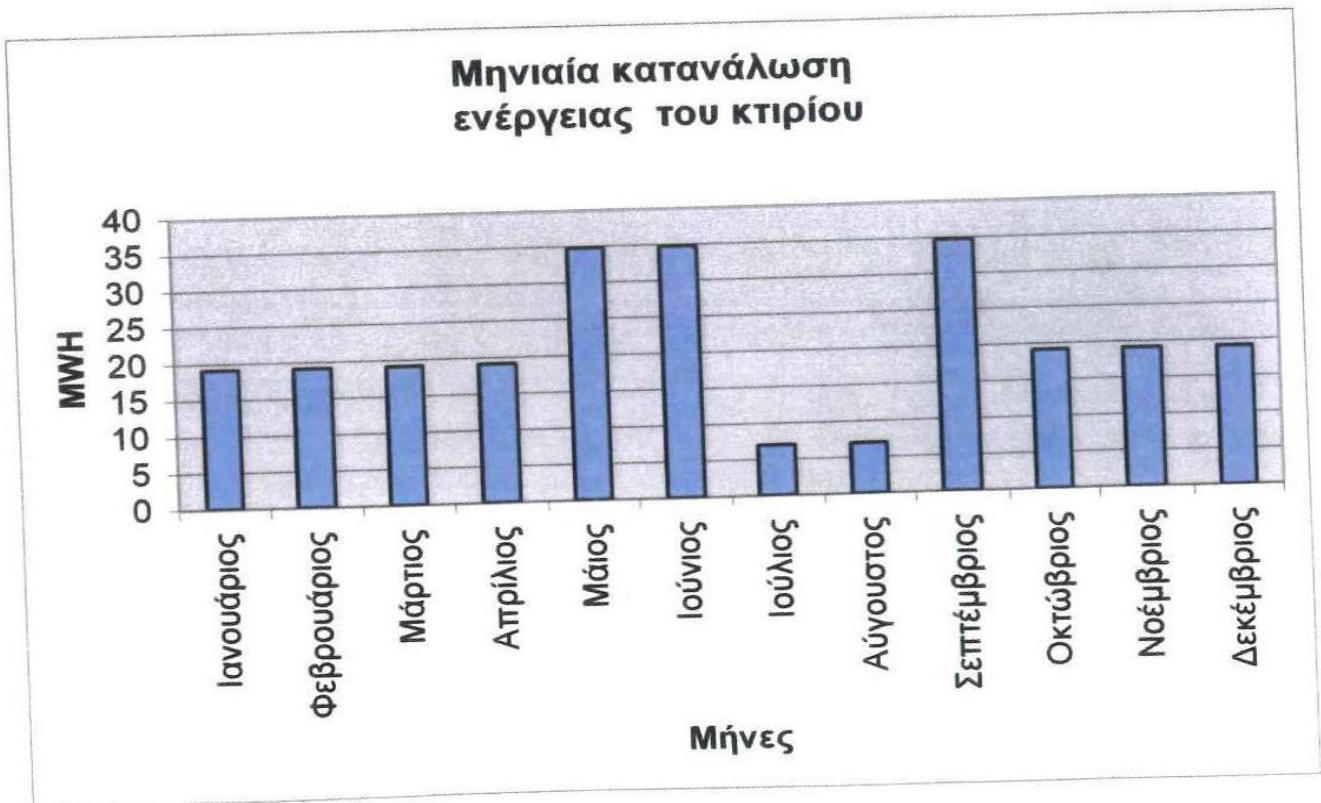
Πίνακας 6.7: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας λοιπών συσκευών (ψυγείων και φωτοτυπικών) την θερινή περίοδο για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου.

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας στον χαρακτηριστικό όροφο κατά την χειμερινή περίοδο είναι 2394,94KWH και κατά την θερινή περίοδο 4343,24KWH. Κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου είναι περίοδος διακοπών, η κατανάλωση ενέργειας πέφτει κατά 80% σύμφωνα με τις ενδείξεις των αμπερομέτρων, που παρατήρησε ο ηλεκτρολόγος υπεύθυνος συντήρησης. Έτσι, η μηνιαία ενέργεια τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο είναι 868,68 KWH. Με βάση τις παραπάνω τιμές προκύπτει η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του ορόφου ίση με 31527,32KWH. Η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για τον χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου για ένα έτος, φαίνεται στο διάγραμμα 6.1.



Διάγραμμα 6.1: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας τυπικού ορόφου του κτιρίου.

Η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας ολόκληρου του κτιρίου προκύπτει από το γινόμενο της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του τυπικού ορόφου επί τον αριθμό των ορόφων του κτιρίου, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.2. Έτσι, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου είναι 252,22MWH.



Διάγραμμα 6.2: Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

Τα παραπάνω στοιχεία συγκρίθηκαν με την μέση ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου γραφείων στην Ελλάδα, που μετρήθηκε στα πλαίσια πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος (πίνακας 6.8). Ειδικότερα, συγκρίθηκαν οι ετήσιες τιμές κατανάλωσης ενέργειας κτιρίου γραφείων, ανηγμένες στην επιφάνειά τους (KWH/m²). Από την κάτοψη του ορόφου, η καθαρή επιφάνεια των γραφείων, αφαιρώντας τους κοινόχρηστους χώρους και τους διαδρόμους, προκύπτει 400m². Η ανηγμένη κατανάλωση ενέργειας για δροσισμό και από την χρήση συσκευών προκύπτει με βάση την καθαρή επιφάνεια των γραφείων, ενώ η αντίστοιχη για φωτισμό, προκύπτει με βάση την συνολική καθαρή επιφάνεια του ορόφου, που είναι περίπου 520m². Διαιρώντας την ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος χρήσης με την καθαρή επιφάνεια, προκύπτει ο πίνακας 6.9.

| Τύπος Κτιρίου | Δροσισμός | Θέρμανση | Φωτισμός | Συσκευές | Σύνολο |
|---------------|-----------|----------|----------|----------|--------|
| Γραφεία | 24 | 95 | 20 | 48 | 187 |
| Εμπορικά | 18 | 74 | 19 | 41 | 152 |
| Σχολεία | 2 | 66 | 16 | 8 | 92 |
| Νοσοκομεία | 3 | 299 | 52 | 53 | 407 |
| Ξενοδοχεία | 11 | 198 | 24 | 40 | 273 |

Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο.

Πίνακας 6.8: Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης για την Ελλάδα. (πηγή www.spitia.gr).

| Τύπος χρήσης | Δροσισμός | Φωτισμός | Συσκευές |
|---|-----------|----------|----------|
| Ετήσια κατανάλωση (KWH/m ²) | 18,87 | 18,2 | 45,43 |

Πίνακας 6.9: Ανηγμένη ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

Από την σύγκριση των τιμών των παραπάνω πινάκων, προκύπτει πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ υπολογισμένων τιμών και μέσων τιμών κατανάλωσης ενέργειας σε κτίριο γραφείων (με εξαίρεση τον δροσισμό, όπου η απόκλιση δικαιολογείται λόγω των θερινών διακοπών), οπότε οι υπολογισμένες τιμές κρίνονται αποδεκτές.

6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου, λήφθηκαν μια σειρά από εκδοχές για την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο υφιστάμενο κτίριο. Ειδικότερα, όσον αφορά την χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών, αναλύθηκε η ενσωμάτωσή τους σε κάθε όψη του κτιρίου, στο δώμα του, και σε όλες τις όψεις και στο δώμα. Ταυτόχρονα, στις προαναφερθείσες εκδοχές αναλύθηκε η χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου. Τέλος, επιλέχτηκε η βέλτιστη ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

6.3.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗ ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

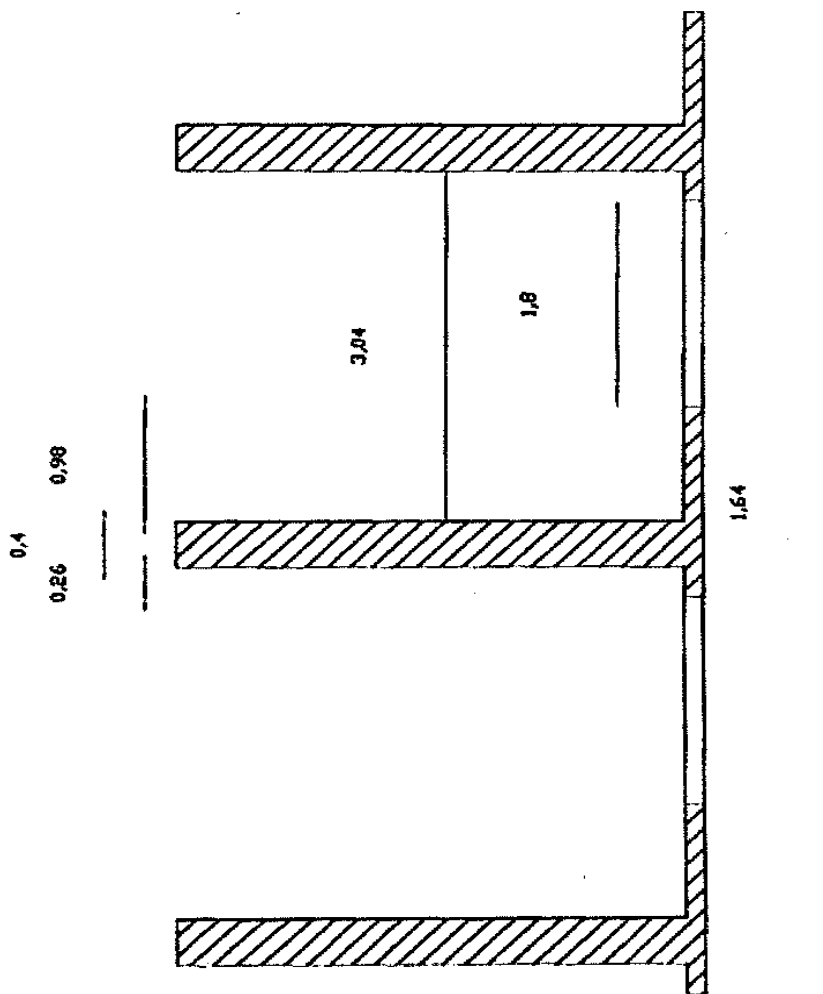
Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στη νότια όψη του κτιρίου (σχήμα 6.3) περιλαμβάνει την ενσωμάτωση σε αδιαφανή και σε διαφανή στοιχεία της όψης, από τον δεύτερο όροφο του κτιρίου. Όσον αφορά τα διαφανή στοιχεία της όψης, προτείνεται η εγκατάσταση ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε ύψος 2,2 m από το δάπεδο κάθε ορόφου, προκειμένου να μην περιορίζουν την οπτική άνεση του προσωπικού.



Σχήμα 6.3: Νότια όψη κτιρίου εδρών.

Από την τομή της νότιας όψης του κτιρίου (σχήμα 6.4) προκύπτει ότι το ύψος που μπορούν να καλύψουν τα φωτοβολταϊκά στα αδιαφανή στοιχεία του κελύφους, ανά όροφο, είναι 1,64m και στα διαφανή στοιχεία 0,6m. Ακόμη, από την κάτοψη του 4^{ου} ορόφου του κτιρίου (σχήμα 6.2) προκύπτει ότι το μήκος που μπορούν να καλύψουν τα φωτοβολταϊκά στα αδιαφανή στοιχεία του κελύφους, ανά όροφο, είναι 44,35m και στα διαφανή στοιχεία 42,75m. Έτσι, η συνολική επιφάνεια που μπορούν να καλύψουν τα φωτοβολταϊκά στα αδιαφανή στοιχεία της νότιας όψης είναι 582m² και στα διαφανή στοιχεία 180m².

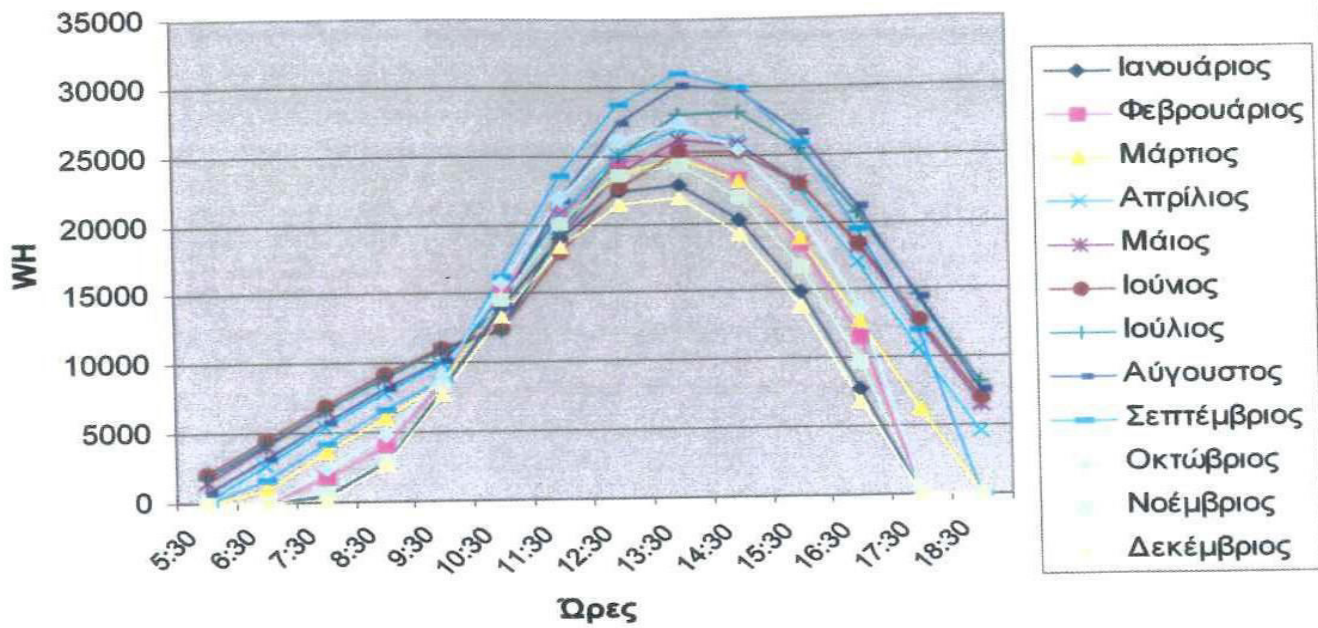
ΤΟΜΗ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ



Σχήμα 6.4: Τομή νότιας όψης κτιρίου εδρών

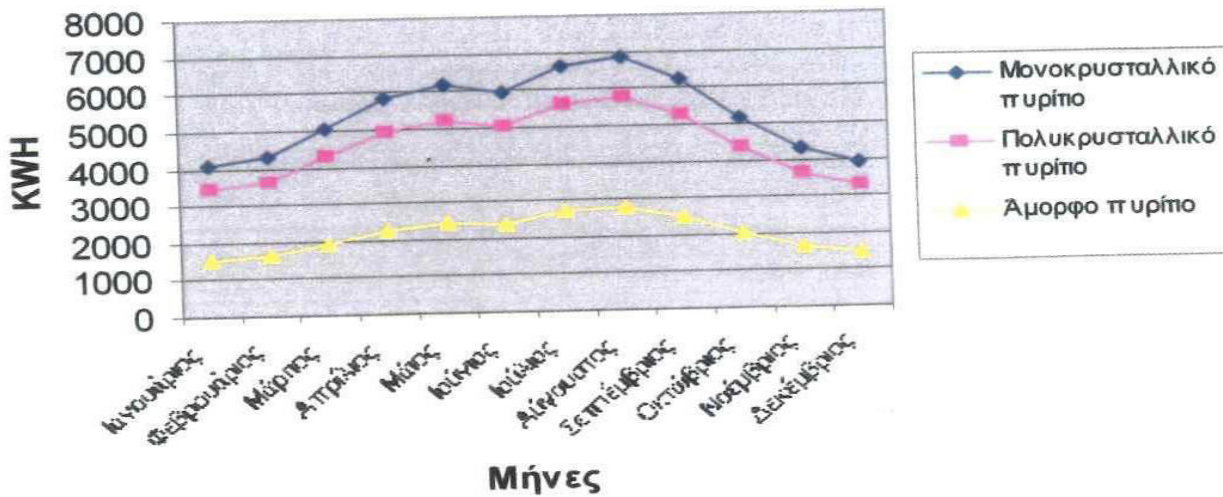
Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση των αδιαφανών στοιχείων στο πρόγραμμα είναι τα εξής: περιοχή Θεσσαλονίκη, κλίση $\beta=90^\circ$, γωνία αζιμουθίου $\gamma=40^\circ$, βαθμός απόδοσης inverter 95%, επιφάνεια φωτοβολταϊκού 582m², απώλειες ισχύος 5% και απώλειες συστοιχίας 0%. Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 6.3 για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο συμβαίνει κατά τις 13:00-15:00 (ηλιακή ώρα). Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.4.

Ωριαία παραγόμενη ενέργεια για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα



Διάγραμμα 6.3: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=40^\circ$.

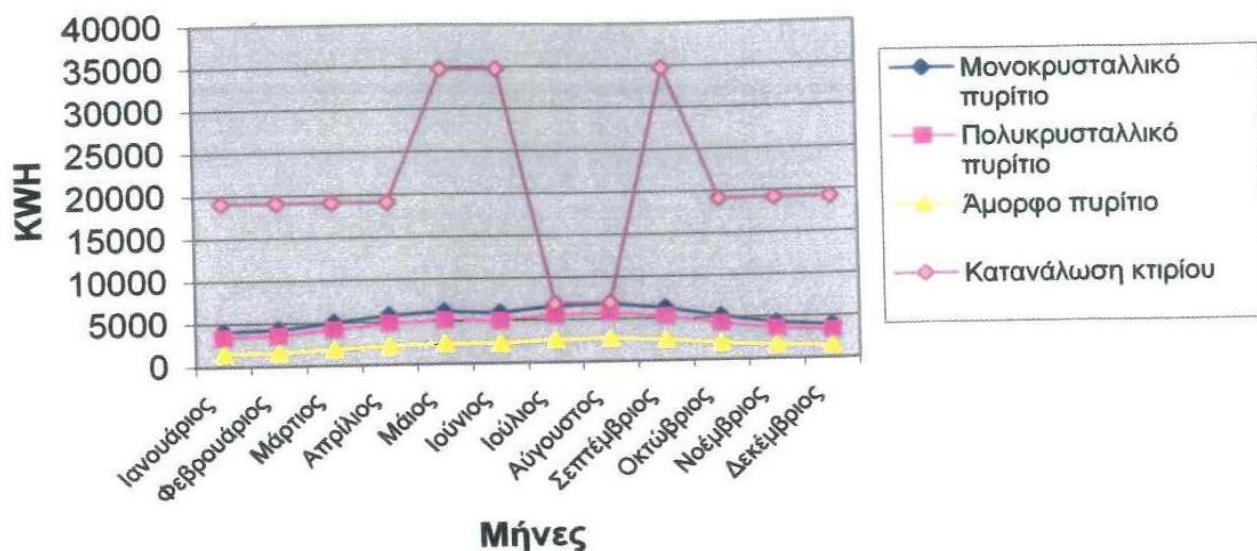
Μηνιαία παραγωγή ενέργειας



Διάγραμμα 6.4: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=40^\circ$.

Η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στα αδιαφανή στοιχεία της νότιας όψης, και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας



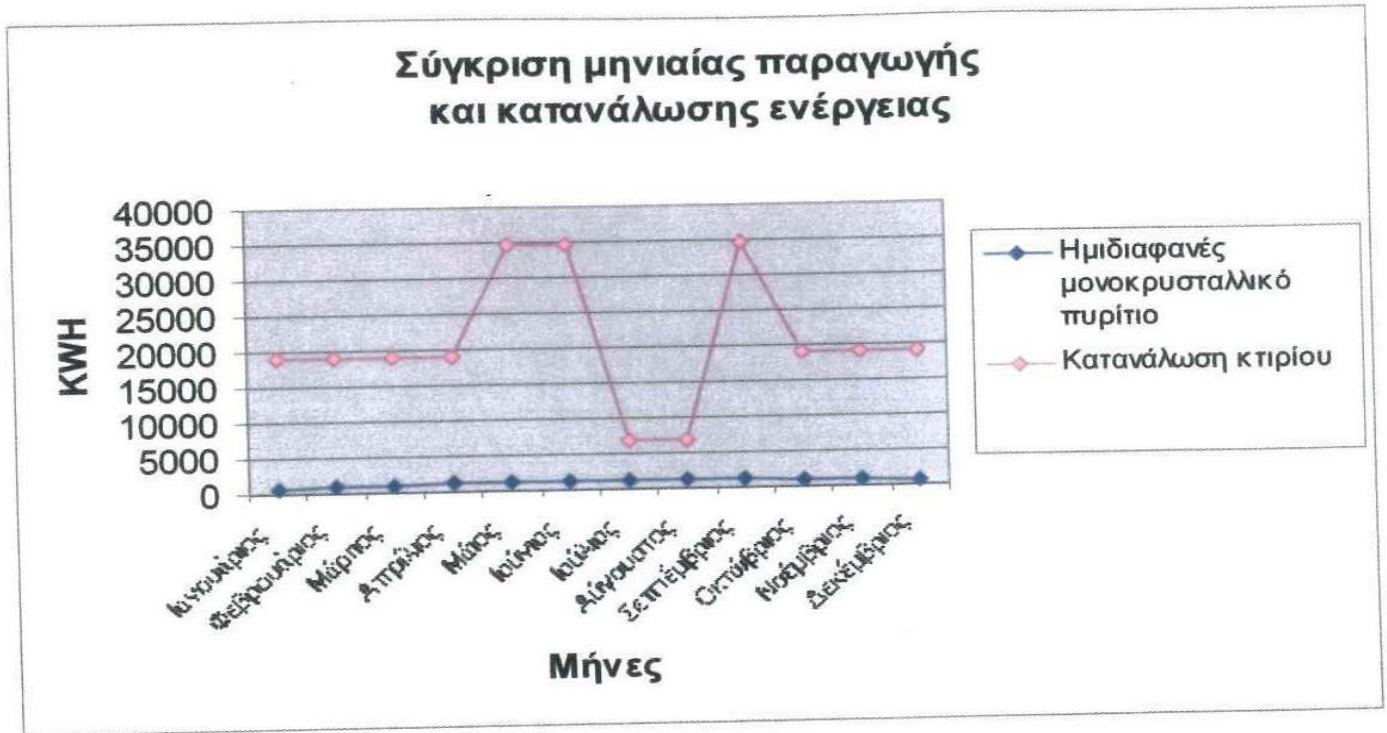
Διάγραμμα 6.5: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στα αδιαφανή στοιχεία της νότιας όψης, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου από την χρήση φωτοβολταϊκών στη νότια όψη. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών είναι 10% για το άμορφο πυρίτιο, 22% για το πολυκρυσταλλικό και 26% για το μονοκρυσταλλικό.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών άμορφου πυριτίου | |
|-------------|------------------------------------|---|--------|---|--------|--|--------|
| | | Καταγωγή | Κάλυψη | Καταγωγή | Κάλυψη | Καταγωγή | Κάλυψη |
| Ιανουάριος | 19153,92 | 4105,51 | 21% | 3473,90 | 18% | 1546,99 | 8% |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 4295,11 | 22% | 3634,32 | 19% | 1629,93 | 9% |
| Μάρτιος | 19153,92 | 5067,03 | 26% | 4287,49 | 22% | 1939,45 | 10% |
| Απρίλιος | 19153,92 | 5825,62 | 30% | 4929,37 | 26% | 2267,80 | 12% |
| Μάιος | 34747,39 | 6195,57 | 18% | 5242,41 | 15% | 2455,98 | 7% |
| Ιούνιος | 34747,39 | 5966,98 | 17% | 5048,98 | 15% | 2401,09 | 7% |
| Ιούλιος | 6949,478 | 6647,00 | 96% | 5624,39 | 81% | 2703,51 | 39% |
| Αύγουστος | 6949,478 | 6848,63 | 99% | 5794,99 | 83% | 2779,35 | 40% |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 6251,48 | 18% | 5289,71 | 15% | 2499,82 | 7% |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 5189,22 | 27% | 4390,88 | 23% | 2033,40 | 11% |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 4295,49 | 22% | 3634,64 | 19% | 1654,32 | 9% |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 3898,13 | 20% | 3298,42 | 17% | 1477,01 | 8% |
| Σύνολο | 252218,6 | 64585,78 | 26% | 54649,50 | 22% | 25388,65 | 10% |

Πίνακας 6.10: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού και ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας.

Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στα διαφανή στοιχεία της νότιας όψης, χρησιμοποιήθηκε ημιδιαφανές μονοκρυσταλλικό πυρίτιο απόδοσης 8%, NOCT = 45°C, $\beta_p = 0,36\%/^{\circ}\text{C}$ και επιφάνειας 180m². Στο διάγραμμα 6.6 παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, και στον πίνακα που ακολουθεί, η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου από την χρήση ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών, που φτάνουν το 5% της ετήσιας κατανάλωσης.



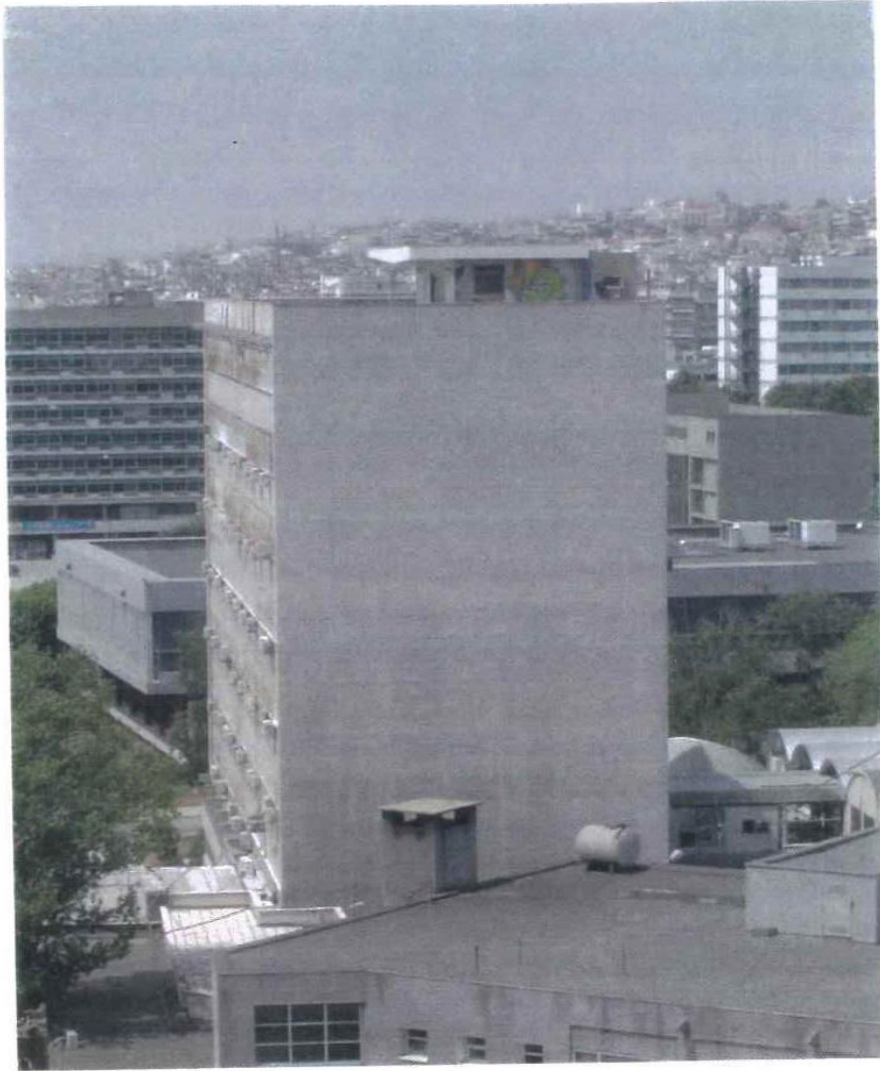
Διάγραμμα 6.6: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας από την ενσωμάτωση ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών στα διαφανή στοιχεία της νότιας όψης, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας ημιδιαφανούς μονοκρυσταλλικού πυρίτιου (KWH) | Κάλυψη αναγκών κατανάλωσης ενέργειας |
|-------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Ιανουάριος | 19153,92 | 779,47 | 4% |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 816,27 | 4% |
| Μάρτιος | 19153,92 | 964,11 | 5% |
| Απρίλιος | 19153,92 | 1111,09 | 6% |
| Μάιος | 34747,39 | 1184,70 | 3% |
| Ιούνιος | 34747,39 | 1143,46 | 3% |
| Ιούλιος | 6949,478 | 1275,78 | 18% |
| Αύγουστος | 6949,478 | 1314,05 | 19% |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 1196,89 | 3% |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 990,62 | 5% |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 818,00 | 4% |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 740,66 | 4% |
| Σύνολο | 252218,6 | 12335,09 | 5% |

Πίνακας 6.11: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας ημιδιαφανούς φωτοβολταϊκού και ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας.

6.3.2 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

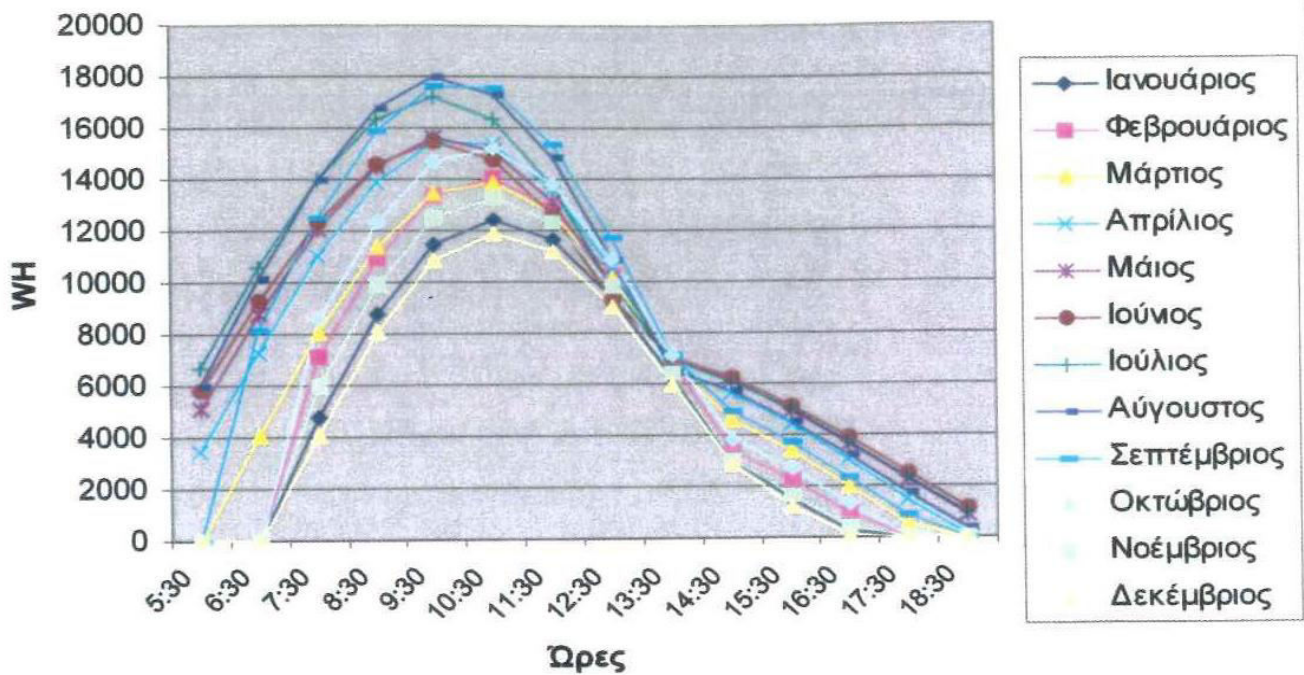
Η ανατολική όψη του κτιρίου είναι αδιαφανής και έχει απόκλιση από το νότο 50° ανατολικά ($\gamma = -50^\circ$). Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στη ανατολική όψη του κτιρίου (σχήμα 6.5) ξεκινάει ένα μέτρο πάνω από το δάπεδο του δεύτερου ορόφου του κτιρίου, προκειμένου να μην σκιάζονται τα φωτοβολταϊκά από παρακείμενο κτίριο.



Σχήμα 6.5: Ανατολική όψη του κτιρίου εδρών.

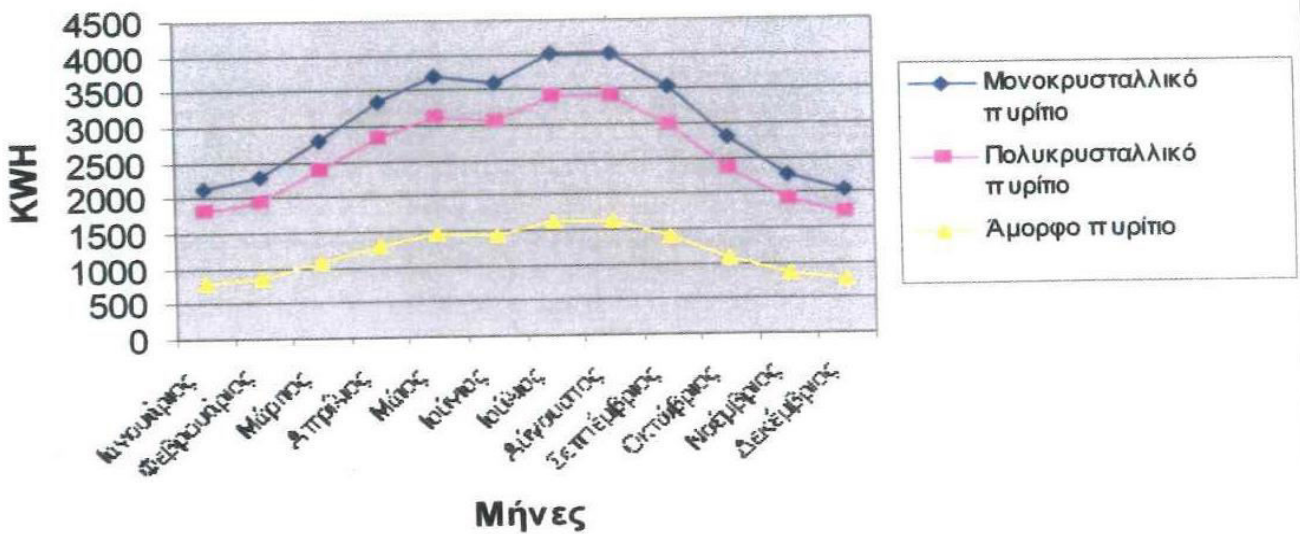
Έτσι, τα δεδομένα εισόδου που αλλάζουν σε σχέση με τη νότια όψη, στο πρόγραμμα είναι η γωνία αζιμουθίου $\gamma = -50^\circ$ και η επιφάνεια φωτοβολταϊκών 332m^2 . Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 6.7 για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο συμβαίνει κατά τις 9:00-11:00 τους χειμερινούς μήνες και 8:00-11:00 τους θερινούς. Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.8.

Ωριαία παραγόμενη ενέργεια για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα



Διάγραμμα 6.7: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=-50^\circ$.

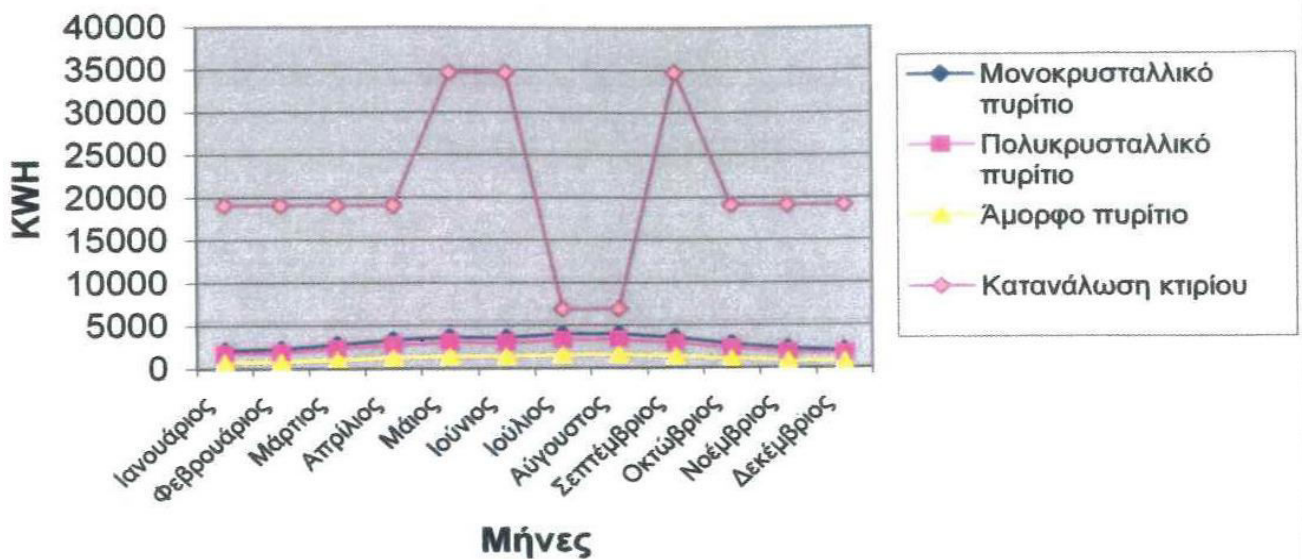
Μηνιαία παραγωγή ενέργειας



Διάγραμμα 6.8: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=-50^\circ$.

Η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στην ανατολική όψη, και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας



Διάγραμμα 6.9: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στην ανατολική όψη, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου από την χρήση φωτοβολταϊκών στην ανατολική όψη. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών είναι 6% για το άμορφο πυρίτιο, 12% για το πολυκρυσταλλικό και 15% για το μονοκρυσταλλικό.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών άμορφου πυριτίου | |
|-------------|------------------------------------|---|------------|---|------------|--|------------|
| | | Παραγωγή (KWH) | Κάλυψη (%) | Παραγωγή (KWH) | Κάλυψη (%) | Παραγωγή (KWH) | Κάλυψη (%) |
| Ιανουάριος | 19153,92 | 2153,26 | 11% | 1821,99 | 10% | 808,10 | 4% |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 2299,66 | 12% | 1945,86 | 10% | 868,31 | 5% |
| Μάρτιος | 19153,92 | 2823,89 | 15% | 2389,45 | 12% | 1075,16 | 6% |
| Απρίλιος | 19153,92 | 3360,13 | 18% | 2843,19 | 15% | 1299,12 | 7% |
| Μάιος | 34747,39 | 3693,04 | 11% | 3124,88 | 9% | 1453,68 | 4% |
| Ιούνιος | 34747,39 | 3606,85 | 10% | 3051,95 | 9% | 1440,96 | 4% |
| Ιούλιος | 6949,48 | 4030,00 | 58% | 3410,00 | 49% | 1624,79 | 23% |
| Αύγουστος | 6949,48 | 4034,72 | 58% | 3414,00 | 49% | 1621,67 | 23% |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 3540,60 | 10% | 2995,89 | 9% | 1403,79 | 4% |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 2807,64 | 15% | 2375,69 | 12% | 1093,74 | 6% |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 2265,43 | 12% | 1916,90 | 10% | 867,99 | 5% |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 2031,85 | 11% | 1719,25 | 9% | 766,40 | 4% |
| Σύνολο | 252218,60 | 36647,08 | 15% | 31009,07 | 12% | 14323,72 | 6% |

Πίνακας 6.12: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού και ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας.

6.3.3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

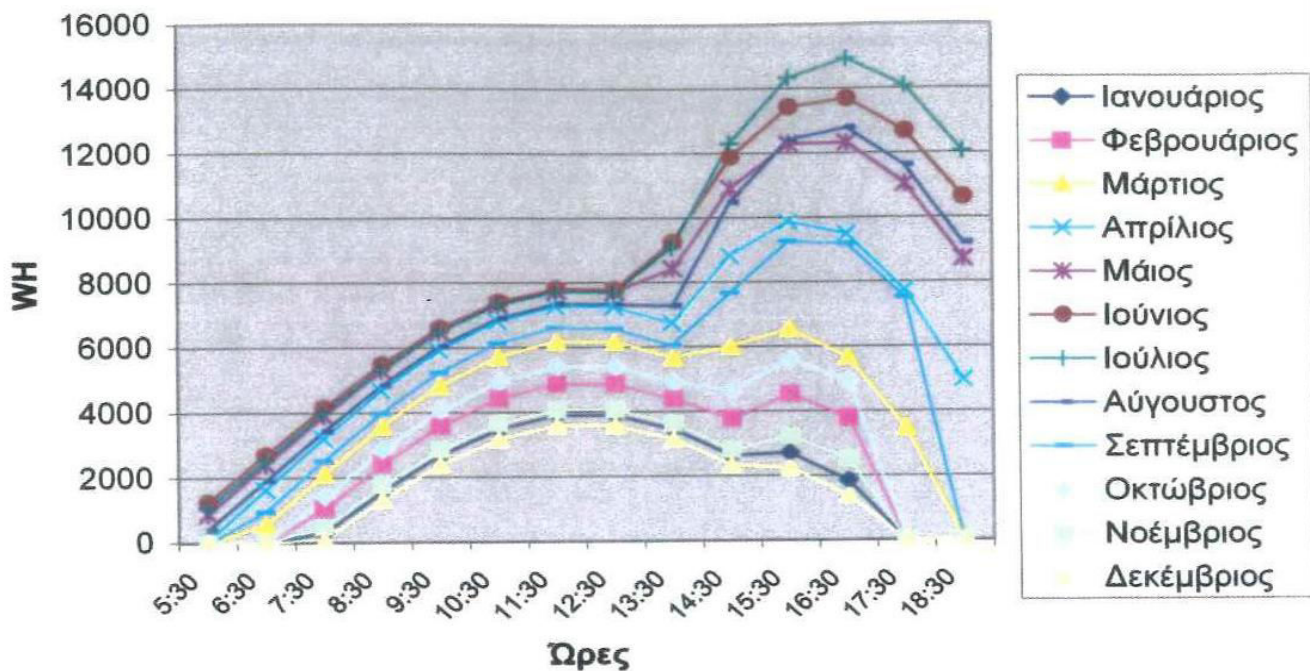
Η δυτική όψη του κτιρίου εδρών, όπως και η ανατολική, είναι αδιαφανής και έχει απόκλιση από το νότο 130° δυτικά ($\gamma=130^\circ$). Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στη δυτική όψη του κτιρίου (σχήμα 6.6) ξεκινάει από τον δεύτερο όροφο του κτιρίου.



Σχήμα 6.6: Δυτική όψη του κτιρίου εδρών.

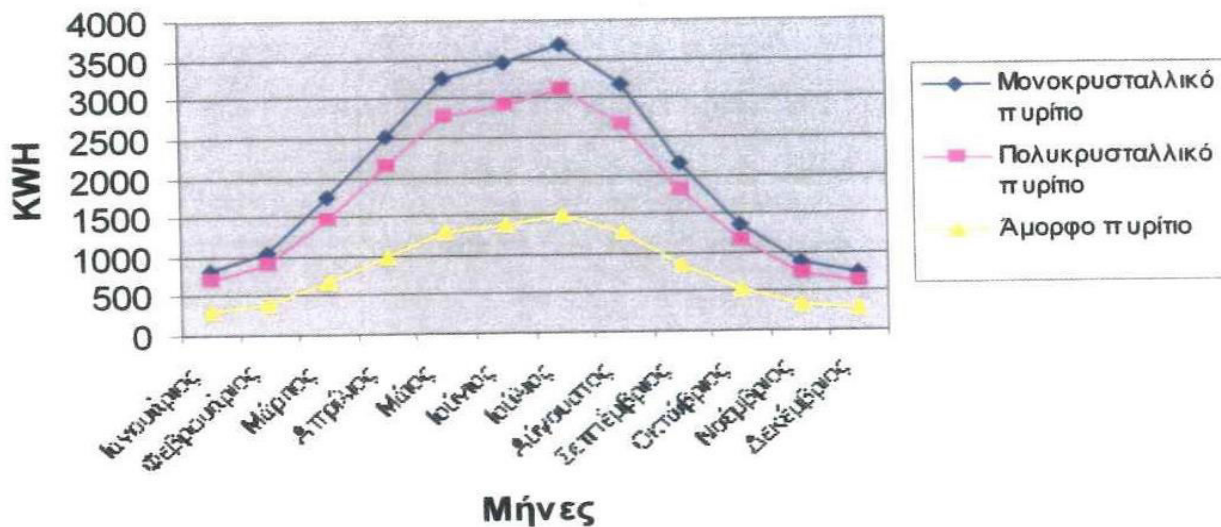
Τα δεδομένα εισόδου που αλλάζουν στο πρόγραμμα, σε σχέση με τη νότια όψη, είναι η γωνία αζιμουθίου $\gamma=130^\circ$ και η επιφάνεια φωτοβολταϊκών 345m^2 . Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 6.10 για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο συμβαίνει κατά τις 11:00-13:00 τους χειμερινούς μήνες και 15:00-18:00 τους θερινούς. Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.11.

Ωριαία παραγόμενη ενέργεια για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα



Διάγραμμα 6.10: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=130^\circ$.

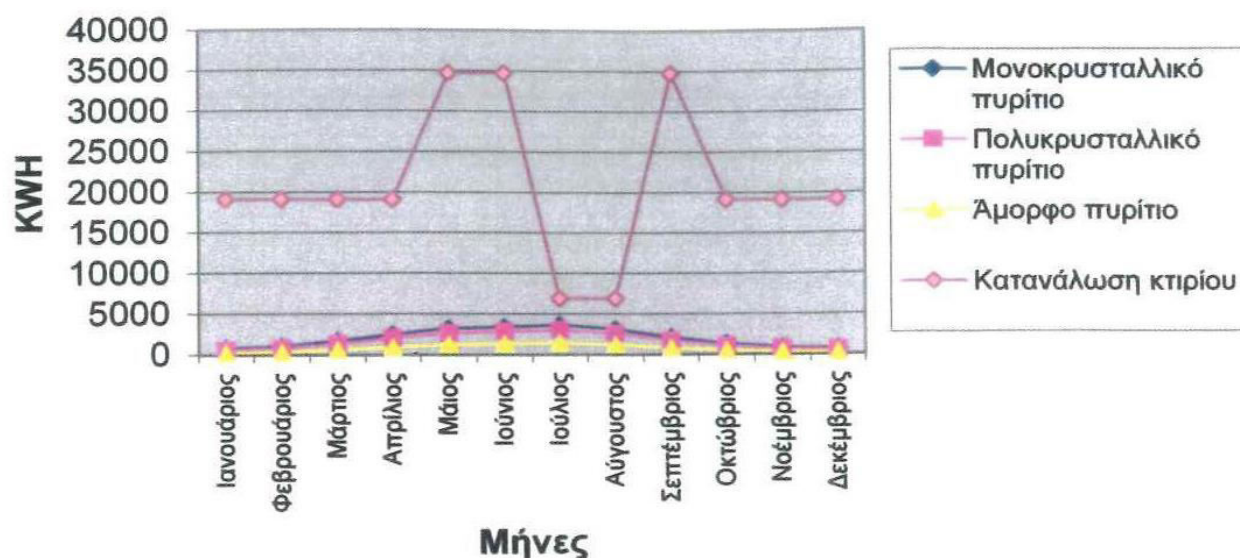
Μηνιαία παραγωγή ενέργειας



Διάγραμμα 6.11: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=-50^\circ$.

Η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στην δυτική όψη, και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα

Σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας



Διάγραμμα 6.12: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στην δυτική όψη, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου από την χρήση φωτοβολταϊκών στην δυτική όψη. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών είναι 4% για το άμορφο πυρίτιο, 8% για το πολυκρυσταλλικό και 10% για το μονοκρυσταλλικό.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών άμορφου πυριτίου | |
|-------------|------------------------------------|---|--------|---|--------|--|--------|
| | | Καταγωγή | Κάλυψη | Καταγωγή | Κάλυψη | Καταγωγή | Κάλυψη |
| Ιανουάριος | 19153,92 | 822,21 | 4% | 695,72 | 4% | 309,45 | 2% |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 1059,35 | 6% | 896,37 | 5% | 401,48 | 2% |
| Μάρτιος | 19153,92 | 1754,97 | 9% | 1484,97 | 8% | 671,00 | 4% |
| Απρίλιος | 19153,92 | 2538,00 | 13% | 2147,54 | 11% | 987,13 | 5% |
| Μάιος | 34747,39 | 3274,89 | 9% | 2771,06 | 8% | 1297,49 | 4% |
| Ιούνιος | 34747,39 | 3447,18 | 10% | 2916,85 | 8% | 1386,91 | 4% |
| Ιούλιος | 6949,478 | 3691,34 | 53% | 3123,44 | 45% | 1501,10 | 22% |
| Αύγουστος | 6949,478 | 3165,18 | 46% | 2678,23 | 39% | 1283,69 | 18% |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 2155,71 | 6% | 1824,06 | 5% | 860,96 | 2% |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 1370,80 | 7% | 1159,91 | 6% | 536,34 | 3% |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 872,97 | 5% | 738,67 | 4% | 335,70 | 2% |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 723,68 | 4% | 612,34 | 3% | 273,84 | 1% |
| Σύνολο | 252218,6 | 24876,27 | 10% | 21049,15 | 8% | 9845,09 | 4% |

Πίνακας 6.13: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού και ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας.

6.3.4 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η βόρεια όψη του κτιρίου εδρών έχει απόκλιση από το νότο 140° ανατολικά ($\gamma = -140^\circ$). Παρά το γεγονός ότι η βόρεια όψη περιλαμβάνει διαφανή και αδιαφανή στοιχεία, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών έγινε μόνο στα αδιαφανή στοιχεία της όψης του κτιρίου (σχήμα 6.7) και ξεκινάει από τον δεύτερο όροφο του κτιρίου.

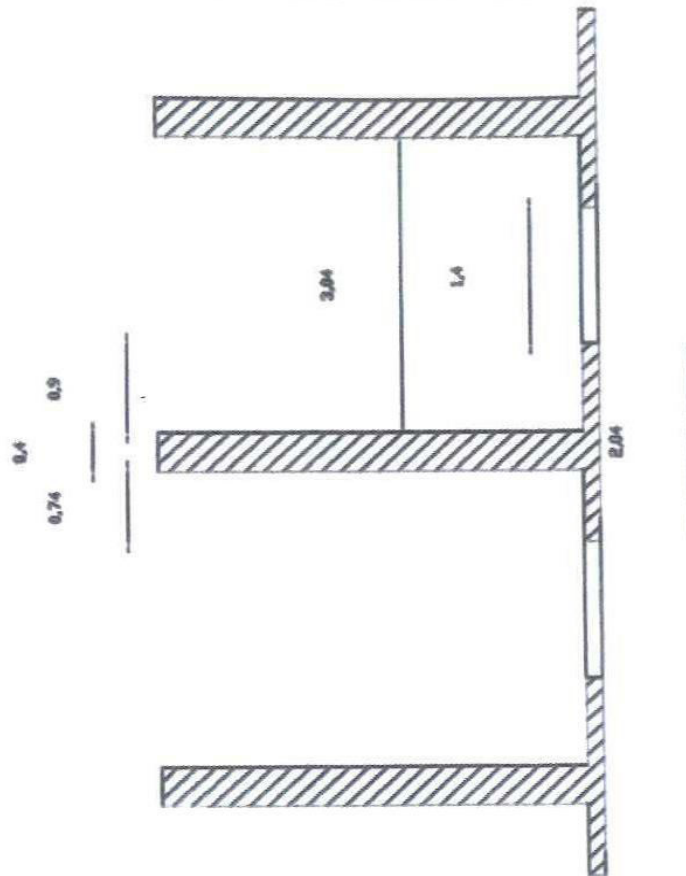


Σχήμα 6.7: Βόρεια όψη κτιρίου εδρών.

Από την τομή της νότιας όψης του κτιρίου (σχήμα 6.4) προκύπτει ότι το ύψος που μπορούν να καλύψουν τα φωτοβολταϊκά στα αδιαφανή στοιχεία του κελύφους, ανά όροφο, είναι 2,04m. Ακόμη, από την κάτοψη του 4^{ου} ορόφου του κτιρίου (σχήμα 6.2) προκύπτει ότι το μήκος που μπορούν να καλύψουν τα φωτοβολταϊκά στα αδιαφανή στοιχεία του κελύφους, ανά όροφο, είναι 36,35m (αφαιρείται το μήκος του κλιμακοστασίου). Έτσι, η συνολική επιφάνεια που μπορούν να καλύψουν τα φωτοβολταϊκά στα αδιαφανή στοιχεία της βόρειας όψης είναι 520m^2 .

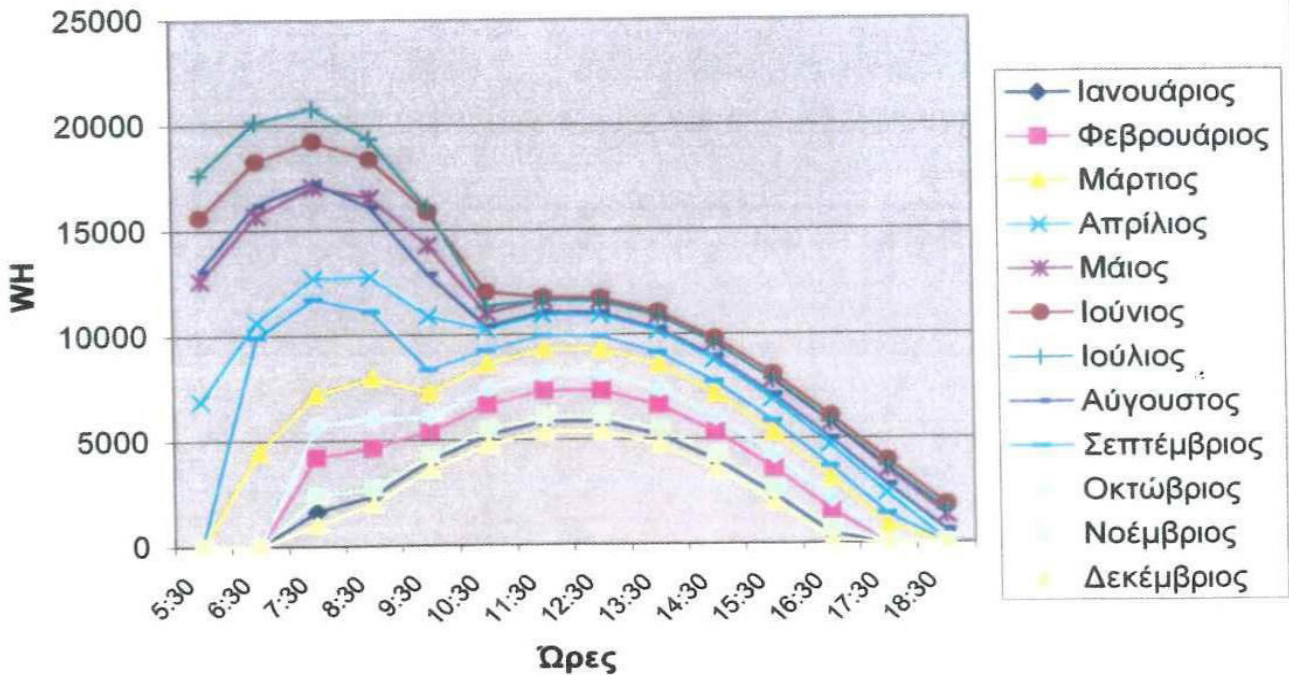
Τα δεδομένα εισόδου που αλλάζουν στο πρόγραμμα, σε σχέση με τη νότια όψη, είναι η γωνία αζιμουθίου $\gamma = -140^\circ$ και η επιφάνεια φωτοβολταϊκών 520m^2 . Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 6.10 για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο συμβαίνει κατά τις 11:00-13:00 τους χειμερινούς μήνες και 6:00-9:00 τους θερινούς.

ΤΟΜΗ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ



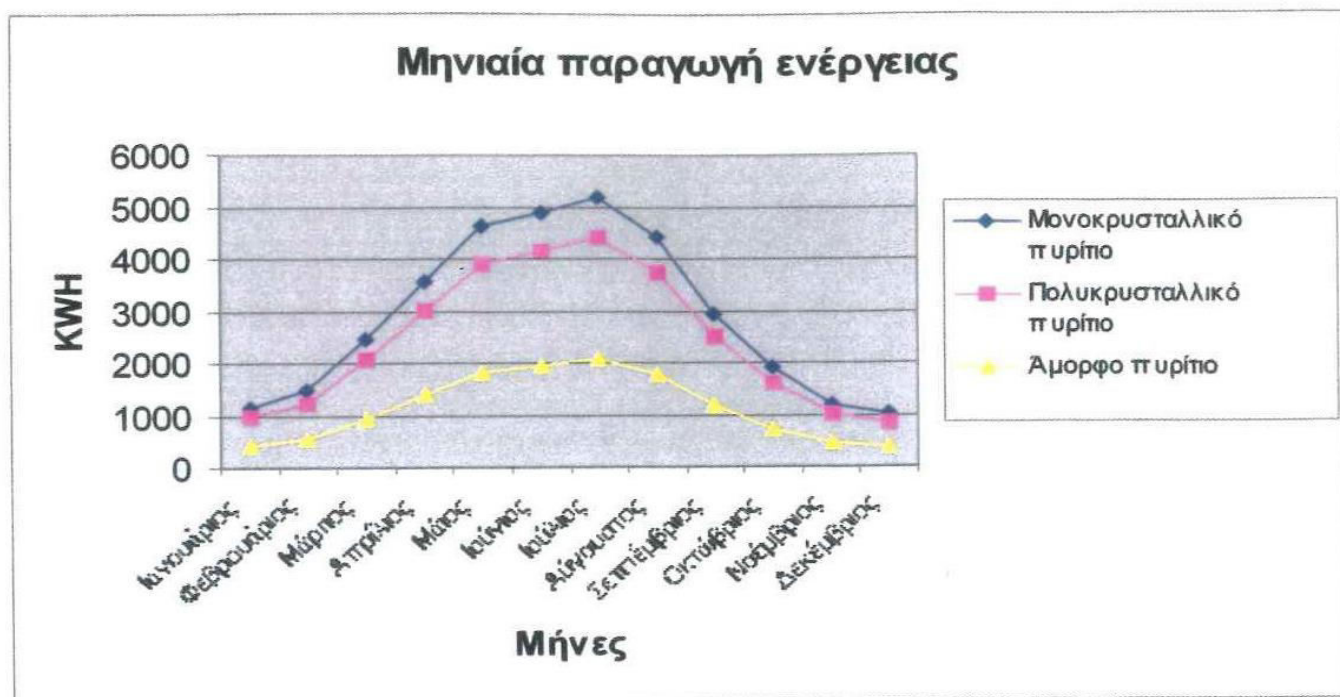
Σχήμα 6.8: Τομή βόρειας όψης κτιρίου εδρών

Ωριαία παραγόμενη ενέργεια για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα

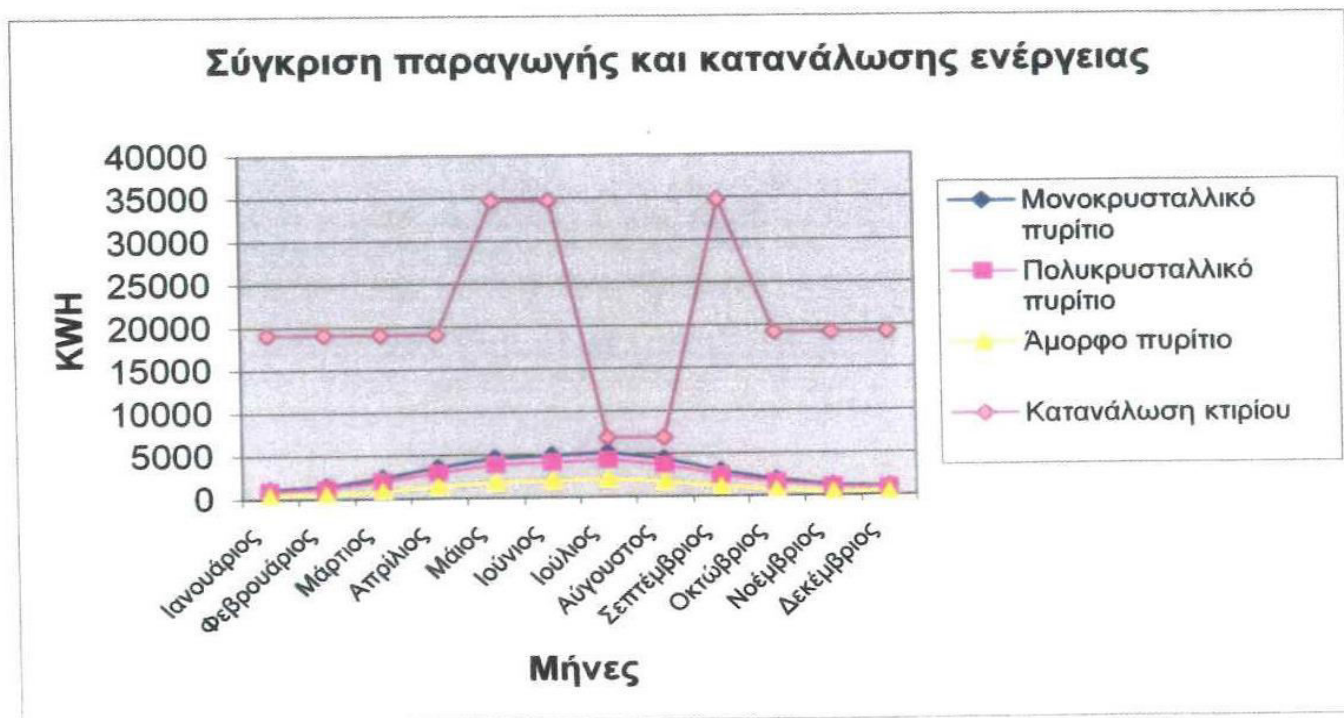


Διάγραμμα 6.13: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=-140^\circ$.

Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.14, και η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στην δυτική όψη, και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.15.



Διάγραμμα 6.14: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=90^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=-140^\circ$.



Διάγραμμα 6.15: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στην βόρεια όψη, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου από την χρήση φωτοβολταϊκών στην βόρεια όψη. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών είναι 5% για το άμορφο πυρίτιο, 12% για το πολυκρυσταλλικό και 14% για το μονοκρυσταλλικό.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών άμορφου πυριτίου | |
|-------------|------------------------------------|---|-----|---|-----|--|-----|
| | | | | | | | |
| Ιανουάριος | 19153,92 | 1149,01 | 6% | 972,24 | 5% | 432,09 | 2% |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 1480,37 | 8% | 1252,62 | 7% | 560,09 | 3% |
| Μάρτιος | 19153,92 | 2456,05 | 13% | 2078,20 | 11% | 936,26 | 5% |
| Απρίλιος | 19153,92 | 3579,46 | 19% | 3028,78 | 16% | 1383,67 | 7% |
| Μάιος | 34747,39 | 4638,91 | 13% | 3925,23 | 11% | 1823,62 | 5% |
| Ιούνιος | 34747,39 | 4914,60 | 14% | 4158,51 | 12% | 1959,96 | 6% |
| Ιούλιος | 6949,478 | 5208,48 | 75% | 4407,18 | 63% | 2096,11 | 30% |
| Αύγουστος | 6949,478 | 4430,11 | 64% | 3748,55 | 54% | 1778,67 | 26% |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 2949,48 | 8% | 2495,71 | 7% | 1170,35 | 3% |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 1905,03 | 10% | 1611,95 | 8% | 743,59 | 4% |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 1208,68 | 6% | 1022,73 | 5% | 464,24 | 2% |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 1014,48 | 5% | 858,41 | 4% | 383,58 | 2% |
| Σύνολο | 252218,6 | 34934,65 | 14% | 29560,09 | 12% | 13732,23 | 5% |

Πίνακας 6.14: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού και ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας.

6.3.5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟ ΔΩΜΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

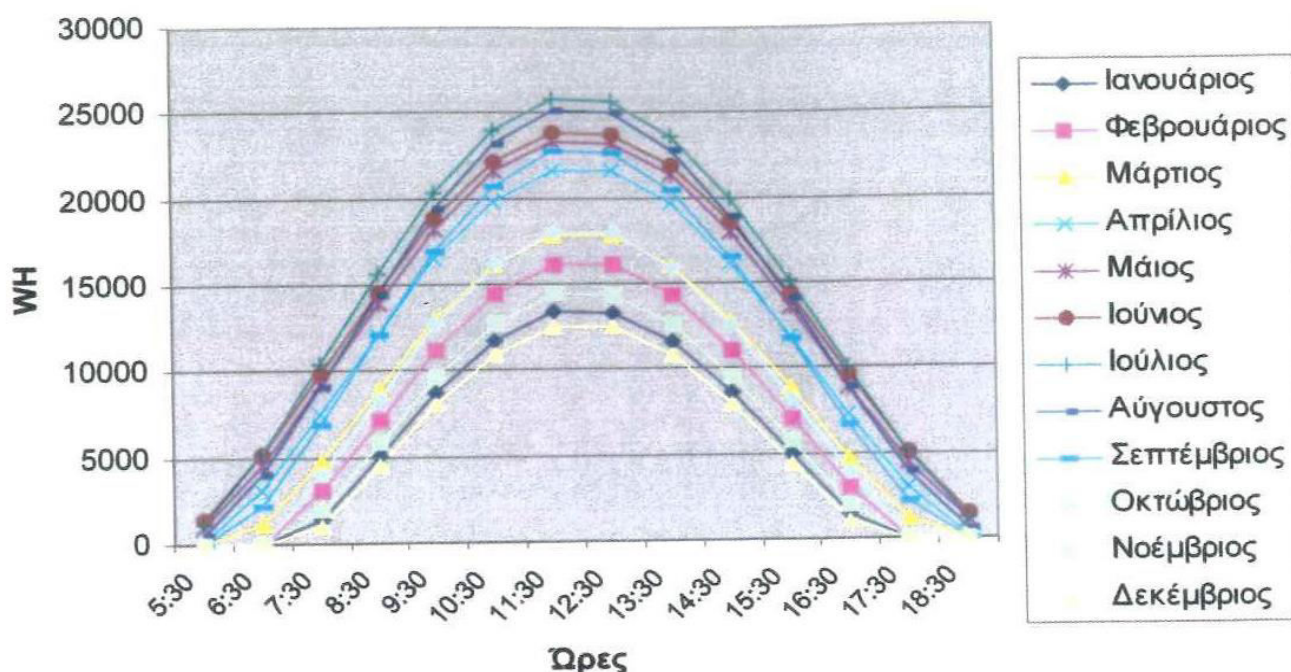
Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο δώμα του κτιρίου καλύπτει επιφάνεια 300m^2 σε συνολική επιφάνεια $612,03\text{m}^2$, προκειμένου να υπάρχει ευκολία πρόσβασης. Κατά την εφαρμογή του προγράμματος υπολογισμού δεν λήφθηκε υπόψη σκίαση των φωτοβολταϊκών από την απόληξη του κλιμακοστασίου. Τα φωτοβολταϊκά θα έχουν νότιο προσανατολισμό και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Ειδικότερα, τα δεδομένα εισόδου που αλλάζουν στο πρόγραμμα, σε σχέση με τη νότια όψη, είναι τα εξής: γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$, κλίση $\beta=40,55^\circ$ και η επιφάνεια φωτοβολταϊκών 300m^2 .



Σχήμα 6.9: Δώμα κτιρίου εδρών.

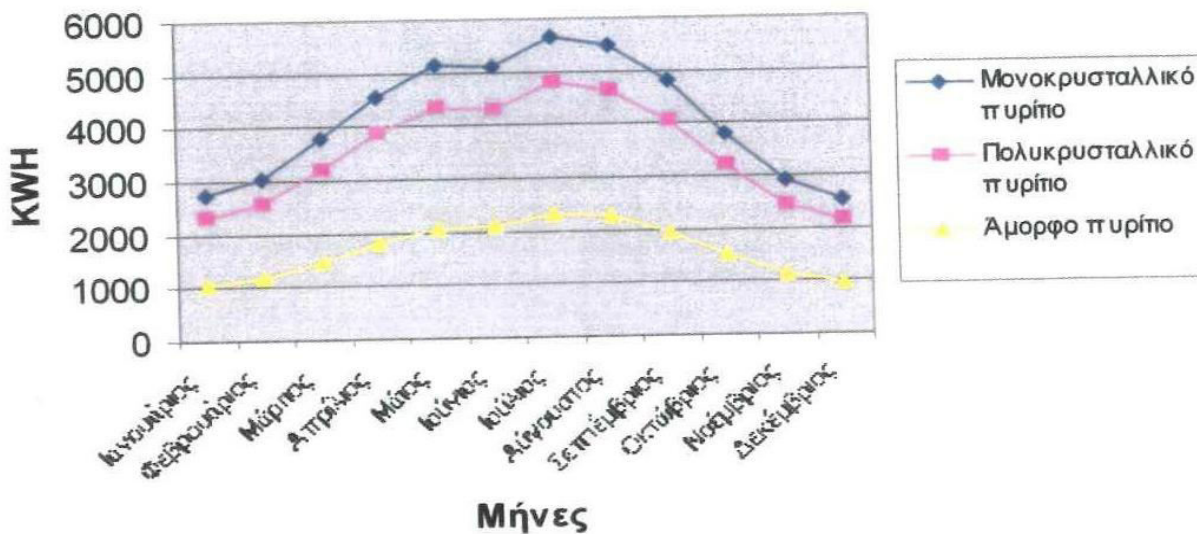
Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 6.16 για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο συμβαίνει κατά τις 11:00-13:00. Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.17.

Ωριαία παραγόμενη ενέργεια για την χαρακτηριστική ημέρα του μήνα



Διάγραμμα 6.16: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=40,55^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$.

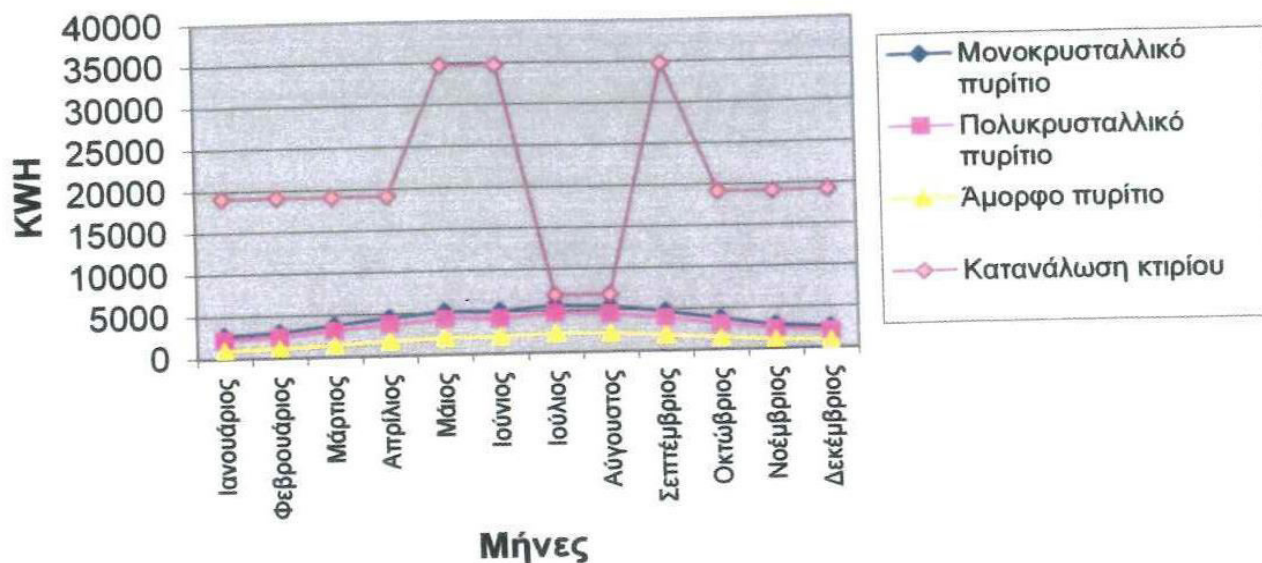
Μηνιαία παραγωγή ενέργειας



Διάγραμμα 6.17: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κλίση $\beta=40,55^\circ$ και γωνία αζιμουθίου $\gamma=0^\circ$.

Η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στο δώμα, και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα

Σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας



Διάγραμμα 6.18: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού, που ενσωματώθηκε στο δώμα, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών

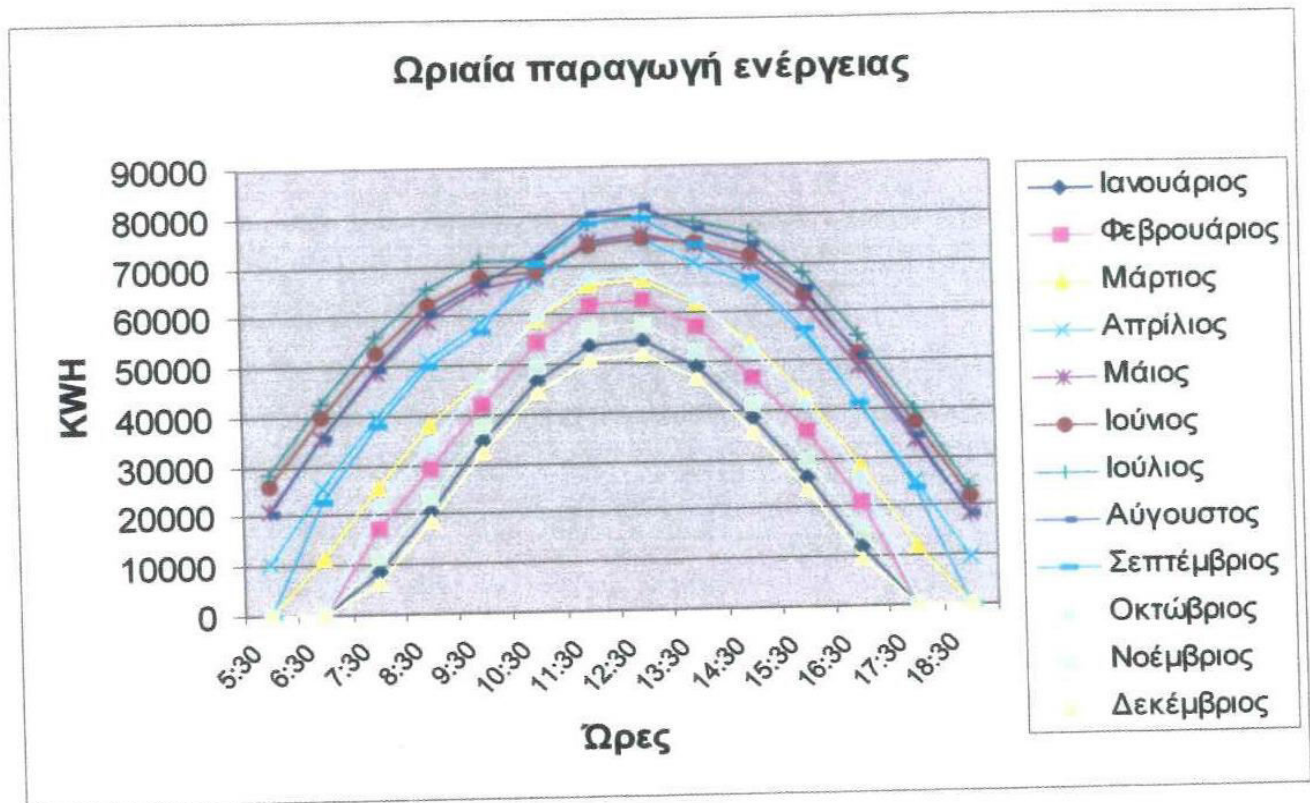
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου από την χρήση φωτοβολταϊκών στο δώμα. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών είναι 8% για το άμορφο πυρίτιο, 17% για το πολυκρυσταλλικό και 20% για το μονοκρυσταλλικό.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου | | Παραγωγή ενέργειας (KWH) και κάλυψη αναγκών άμορφου πυριτίου | |
|-------------|------------------------------------|---|--------|---|--------|--|--------|
| | | Καταγωγή | Κάλυψη | Καταγωγή | Κάλυψη | Καταγωγή | Κάλυψη |
| Ιανουάριος | 19153,92 | 2741,15 | 14% | 2319,44 | 12% | 1044,11 | 5% |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 3061,83 | 16% | 2590,78 | 14% | 1174,79 | 6% |
| Μάρτιος | 19153,92 | 3817,84 | 20% | 3230,48 | 17% | 1478,00 | 8% |
| Απρίλιος | 19153,92 | 4580,92 | 24% | 3876,16 | 20% | 1806,49 | 9% |
| Μάιος | 34747,39 | 5160,88 | 15% | 4366,90 | 13% | 2075,79 | 6% |
| Ιούνιος | 34747,39 | 5117,58 | 15% | 4330,26 | 12% | 2091,57 | 6% |
| Ιούλιος | 6949,478 | 5668,39 | 82% | 4796,33 | 69% | 2343,48 | 34% |
| Αύγουστος | 6949,478 | 5501,55 | 79% | 4655,15 | 67% | 2267,40 | 33% |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 4799,34 | 14% | 4060,98 | 12% | 1946,18 | 6% |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 3787,43 | 20% | 3204,75 | 17% | 1502,96 | 8% |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 2907,24 | 15% | 2459,98 | 13% | 1132,50 | 6% |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 2548,49 | 13% | 2156,42 | 11% | 975,99 | 5% |
| Σύνολο | 252218,6 | 49692,64 | 20% | 42047,62 | 17% | 19839,25 | 8% |

Πίνακας 6.15: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας ανά τύπο φωτοβολταϊκού και ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας.

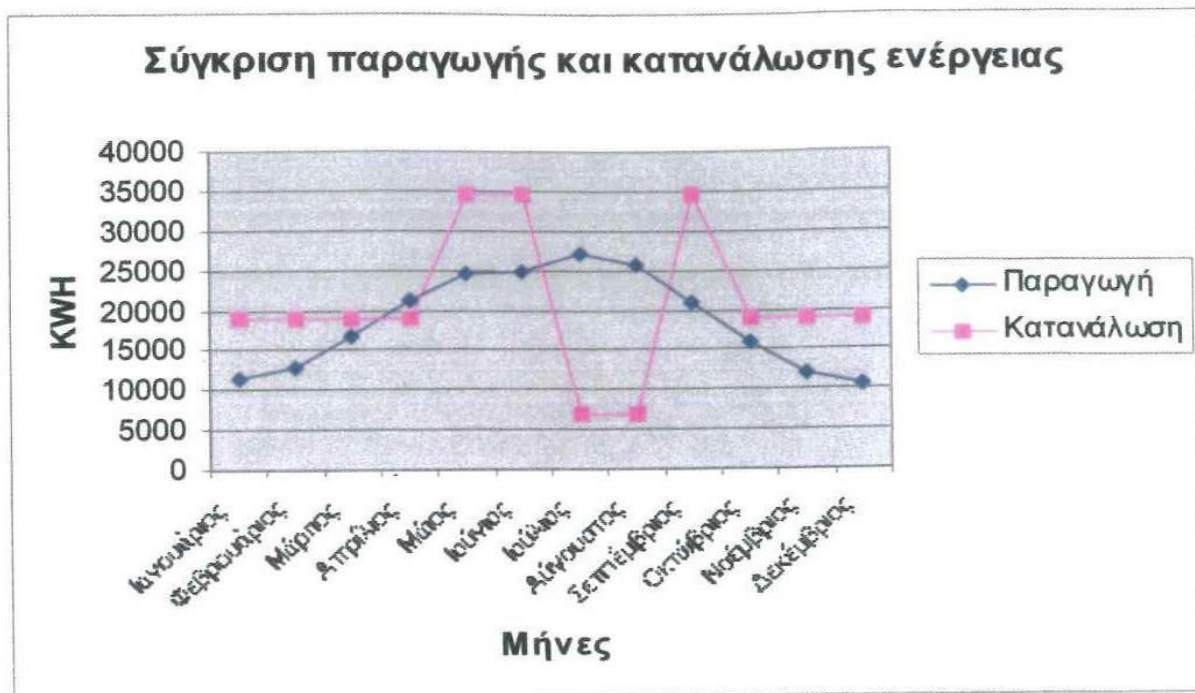
6.3.6 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΟΨΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών σε όλες τις όψεις και στο δώμα του κτιρίου στην ουσία αποτελεί το άθροισμα των αποτελεσμάτων των προαναφερθέντων εκδοχών. Η ενσωμάτωση δεν περιλαμβάνει τα ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά στη νότια όψη του κτιρίου και εφαρμόστηκε αποκλειστικά για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 6.19 για μονοκρυσταλλικό πυρίτιο συμβαίνει κατά τις 11:00-13:00 (ηλιακή ώρα).



Διάγραμμα 6.19: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυρίτιου κατά την ενσωμάτωσή του σε όλες τις όψεις και στο δώμα του κτιρίου εδρών.

Η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου φαίνεται στο διάγραμμα 6.20. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, υπάρχει υπερκάλυψη των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Τους μήνες αυτούς, η περίσσεια ενέργειας μπορεί να πωλείται στο δίκτυο.



Διάγραμμα 6.20: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας φωτοβολταϊκών που ενσωματώθηκαν σε όλες τις όψεις και στο δώμα, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου, καθώς και η πώληση ενέργειας προς το δίκτυο σε περίπτωση υπερκάλυψης των αναγκών από την χρήση φωτοβολταϊκών σε όλες τις όψεις και στο δώμα. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών φτάνει το 74%. Η περίσσεια ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο είναι αντίστοιχα 2082,60KWH, 20211,79 KWH και 18734,72 KWH.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ενέργειας ημιδιαφανούς μονοκρυσταλλικού πυριτίου (KWH) | Κάλυψη αναγκών κατανάλωσης ενέργειας | Περίσσεια ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο (KWH) |
|-------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Ιανουάριος | 19153,92 | 11505,68 | 60% | |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 12859,69 | 67% | |
| Μάρτιος | 19153,92 | 16898,91 | 88% | |
| Απρίλιος | 19153,92 | 21236,52 | 100% | 2082,60 |
| Μάιος | 34747,39 | 24648,53 | 71% | |
| Ιούνιος | 34747,39 | 24809,95 | 71% | |
| Ιούλιος | 6949,478 | 27161,27 | 100% | 20211,79 |
| Αύγουστος | 6949,478 | 25684,20 | 100% | 18734,72 |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 20960,79 | 60% | |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 15915,42 | 83% | |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 12125,11 | 63% | |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 10697,28 | 56% | |
| Σύνολο | 252218,6 | 224503,36 | 74% | |

Πίνακας 6.16: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας, ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας και περίσσεια ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο.

6.3.7 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Από την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε κάθε όψη και στο δώμα του κτιρίου, προέκυψαν τα αποτελέσματα του πίνακα 6.17 ως προς την ετήσια ανηγμένη παραγωγή ενέργειας.

| Περιοχή ενσωμάτωσης | Ανηγμένη ετήσια παραγωγή ενέργειας (KWH/m ²) |
|---------------------|--|
| Νότια όψη | 110,97 |
| Ανατολική όψη | 110,38 |
| Δυτική όψη | 72,11 |
| Βόρεια όψη | 67,18 |
| Δώμα | 167,82 |

Πίνακας 6.17: Ανηγμένη ετήσια παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου ανά περιοχή ενσωμάτωσης στο κτίριο εδρών.

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει ότι η μέγιστη παραγωγή ενέργειας συμβαίνει στο δώμα, στην συνέχεια στη νότια όψη, στην ανατολική όψη, στην δυτική όψη και η ελάχιστη παραγωγή συμβαίνει στην βόρεια όψη.

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην βέλτιστη ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στο κτίριο, είναι οι ώρες αιχμής κατά την διάρκεια της ημέρας, δηλαδή οι ώρες στις οποίες παρατηρείται η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας στο κτίριο. Σύμφωνα με τις πληροφορίες του ηλεκτρολόγου υπεύθυνου συντήρησης, οι ώρες αιχμής είναι μεταξύ 11:00 με 13:00, που συμπίπτουν με τις ώρες μέγιστης παραγωγής ενέργειας από την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στο δώμα.

Παρά το γεγονός ότι το πρόγραμμα υπολογίζει την ενέργεια με βάση την ηλιακή ώρα, αυτή δεν αποκλίνει σημαντικά από την πραγματική. Θέτοντας στην εξίσωση 3.4 ως $\lambda_{\text{τοπικό}} = -23,02^\circ$ και $\lambda_{\text{ζώνης}} = -30^\circ$ (το αρνητικό πρόσημο προκύπτει επειδή η περιοχή βρίσκεται ανατολικά του Greenwich), προκύπτει η απόκλιση της τοπικής από την ηλιακή ώρα για την χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα, για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η απόκλιση της πραγματικής ώρας από την ηλιακή σε λεπτά.

| Ιανουάριος | Φεβρουάριος | Μάρτιος | Απρίλιος | Μάιος | Ιούνιος | Ιούλιος | Αύγουστος | Σεπτέμβριος | Οκτώβριος | Νοέμβριος | Δεκέμβριος |
|------------|-------------|---------|----------|-------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|
| 37,89 | 42,46 | 37,28 | 28,14 | 24,17 | 27,35 | 33,72 | 31,80 | 22,24 | 12,95 | 12,97 | 21,81 |

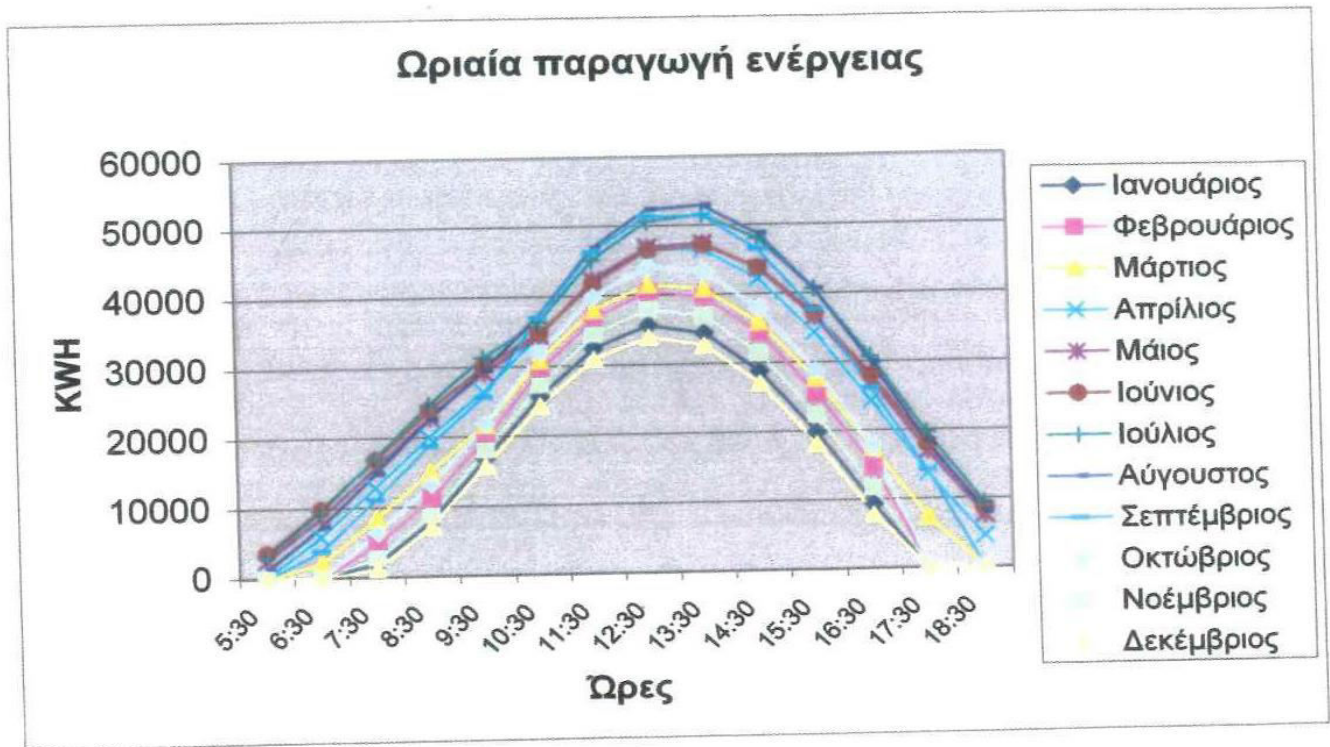
Πίνακας 6.18: Απόκλιση πραγματικής ώρας από την ηλιακή για την χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα, για την περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Έτσι, η βέλτιστη ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών είναι στο δώμα του κτιρίου. Σε περίπτωση που επιζητείται μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας, η επιλογή θα γίνει μεταξύ της νότιας και της ανατολικής όψης, που έχουν σχεδόν ταυτόσημη ανηγμένη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Από την σύγκριση των διαγραμμάτων 6.3 και 6.7, προκύπτει ότι η μέγιστη ωριαία παραγωγή ενέργειας κατά την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στη νότια όψη, προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό τις ώρες μέγιστης κατανάλωσης. Έτσι, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στη νότια όψη, αποτελεί την δεύτερη βέλτιστη επιλογή ενσωμάτωσης. Η συγχώνευση των δύο βέλτιστων επιλογών προσομοιώθηκε στο πρόγραμμα,

προκειμένου να υπολογιστεί η κάλυψη των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου εδρών.

Αναλυτικά έγινε ενσωμάτωση μονοκρυσταλλικού πυριτίου στο δώμα προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας, και ενσωμάτωση ημιδιαφανούς μονοκρυσταλλικού πυριτίου στα διαφανή στοιχεία της νότιας όψης. Ακόμη, έγινε ενσωμάτωση άμορφου πυριτίου στα αδιαφανή στοιχεία της νότιας όψης καθώς το τελευταίο αξιοποιεί καλύτερα την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας σε σχέση με το κρυσταλλικό πυρίτιο, και είναι ελαφρύτερο, με αποτέλεσμα να έχει μειωμένες απαιτήσεις στατικότητας.

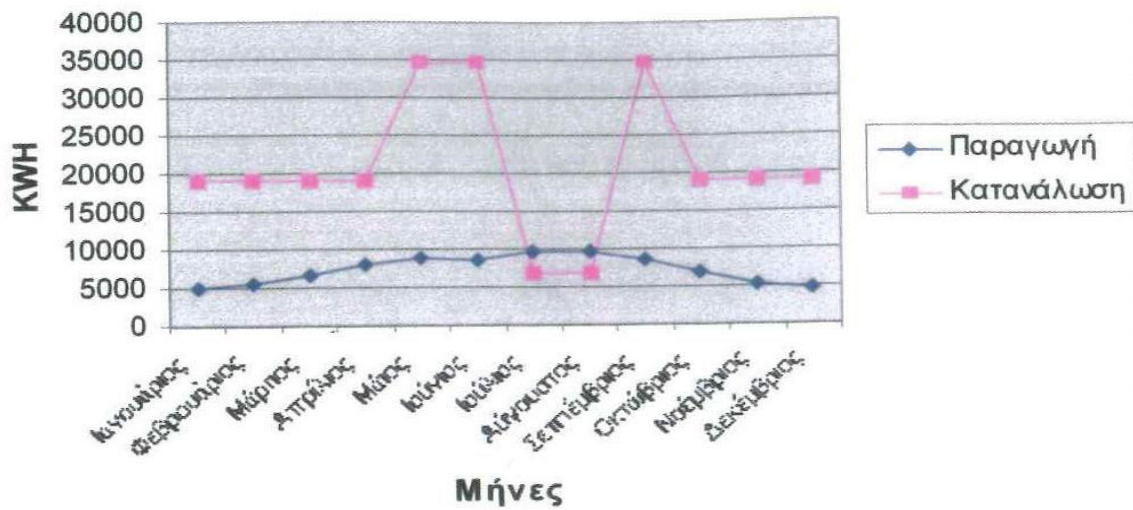
Η ωριαία παραγωγή ενέργειας από την χρήση μονοκρυσταλλικού πυριτίου στο δώμα και στα αδιαφανή στοιχεία της νότιας όψης, που έγινε προκειμένου να βρεθεί η μέγιστη παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, φαίνεται στο διάγραμμα 6.21.



Διάγραμμα 6.21: Ωριαία παραγωγή ενέργειας μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατά την ενσωμάτωσή του στα αδιαφανή στοιχεία της νότιας όψης και στο δώμα του κτιρίου εδρών.

Η σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου φαίνεται στο διάγραμμα 6.22. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, υπάρχει υπερέκλυση των αναγκών κατανάλωσης ενέργειας τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου η περίσσεια ενέργειας μπορεί να πωλείται στο δίκτυο.

Σύγκριση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας



Διάγραμμα 6.22: Σύγκριση μηνιαίας παραγωγής ενέργειας φωτοβολταϊκών που ενσωματώθηκαν στη νότια όψη και στο δώμα, και της κατανάλωσης ενέργειας στο κτίριο εδρών

Τέλος, στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σύγκριση μηνιαίας και ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, η κάλυψη των μηνιαίων και ετήσιων αναγκών κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου, καθώς και η πώληση ενέργειας προς το δίκτυο σε περίπτωση υπερκάλυψης των αναγκών από την χρήση φωτοβολταϊκών στη νότια όψη και στο δώμα του κτιρίου. Η κάλυψη των ετήσιων αναγκών φτάνει το 33%. Η περίσσεια ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο είναι αντίστοιχα 2698,21KWH και 2645,46KWH.

| | Κατανάλωση Ενέργειας κτιρίου (KWH) | Παραγωγή ημιδιαφανούς μονοκρυσταλλικού πυριτίου (KWH) | Κάλυψη αναγκών κατανάλωσης ενέργειας | Περίσσεια ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο (KWH) |
|-------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Ιανουάριος | 19153,92 | 5067,61 | 26% | |
| Φεβρουάριος | 19153,92 | 5508,03 | 29% | |
| Μάρτιος | 19153,92 | 6721,39 | 35% | |
| Απρίλιος | 19153,92 | 7959,80 | 42% | |
| Μάιος | 34747,39 | 8801,56 | 25% | |
| Ιούνιος | 34747,39 | 8662,13 | 25% | |
| Ιούλιος | 6949,478 | 9647,69 | 100% | 2698,21 |
| Αύγουστος | 6949,478 | 9594,94 | 100% | 2645,46 |
| Σεπτέμβριος | 34747,39 | 8496,05 | 24% | |
| Οκτώβριος | 19153,92 | 6811,45 | 36% | |
| Νοέμβριος | 19153,92 | 5379,57 | 28% | |
| Δεκέμβριος | 19153,92 | 4766,16 | 25% | |
| Σύνολο | 252218,6 | 87416,39 | 33% | |

Πίνακας 6.19: Μηνιαία και ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας, ποσοστό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας και περίσσεια ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα υπολογισμού της παραγωγής ενέργειας διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε 25 περιοχές στον ελληνικό χώρο και δόθηκε έμφαση στην ενσωμάτωση των τελευταίων σε κτίρια. Το μοντέλο υπολογισμού έχει αναπτυχθεί σε πρόγραμμα Microsoft® Excel και ονομάζεται PHIVOS (Photovoltaics' Instrument Viable for On-grid Systems), δηλαδή εργαλείο φωτοβολταϊκών εφαρμόσιμο σε διασυνδεδεμένα συστήματα.

Για την επιλογή της μεθόδου υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων τεσσάρων μεθόδων με πινακοποιημένες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας για περιοχές της Ελλάδας. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν οι μέθοδοι υπολογισμού ήταν τα γεωγραφικά πλάτη των περιοχών και οι ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα της εκάστοτε περιοχής. Από την σύγκριση, προέκυψε ότι η καλύτερη μέθοδος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι η ίδια που χρησιμοποιεί το διεθνές πρόγραμμα Retscreen, όπου η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται βάση των παραγόντων t_b , t_d για ισοτροπικό ουρανό.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του προγράμματος, προκύπτει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας είναι ο τύπος των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Η τελευταία, εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων όπως, το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, η κλίση και ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών, η ώρα της ημέρας και η εποχή του έτους.

Ακόμη, από την σύγκριση των αποτελεσμάτων του προγράμματος με τιμές από εγκατεστημένες φωτοβολταϊκές διατάξεις, προκύπτει ότι το πρόγραμμα λειτουργεί καλά και έχει αξιόπιστα αποτελέσματα. Έτσι, μπορεί να αποτελέσει εργαλείο για μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια διασυνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο στον ελληνικό χώρο.

Από την εφαρμογή του μοντέλου σε κτίριο, μπορεί να προκύψει η βέλτιστη επιλογή ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών, ανάλογα με το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας που είναι οικονομικά αποδεκτό να καλύψουν. Η επιλογή αυτή δεν γίνεται μόνο βάση της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας των φωτοβολταϊκών, αλλά βάση της ωριαίας παραγωγής, η οποία οφείλει να προσεγγίζει τις ώρες μέγιστης κατανάλωσης του κτιρίου.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του προγράμματος είναι ότι είναι εύκολα επεκτάσιμο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα είναι τα γεωγραφικά πλάτη των περιοχών, οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ημέρας, και οι ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα της εκάστοτε περιοχής. Το πρόγραμμα μπορεί να επεκταθεί για όλες τις περιοχές της Ελλάδας που υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα, τουλάχιστον μιας δεκαετίας, με την προσθήκη στοιχείων από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Ακόμη, η ανάπτυξη του προγράμματος μπορεί να αποτελέσει εφαλτήριο για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα ή την εφαρμογή φωτοβολταϊκών για κάλυψη των καταναλώσεων αντλίων νερού. Τέλος, οι υπολογισμοί μπορούν να επεκταθούν και σε άλλες ηλιακές εφαρμογές λαμβάνοντας υπόψη διάφορα ατμοσφαιρικά δεδομένα και παράγοντες όπως η σκίαση. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να επεκταθούν και σε μη επίπεδες επιφάνειες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΝΤΥΠΗ:

- Collares-Pereira, M. and A. Rabl, *Solar Energy*, 22, 155 (1979a). "The Average Distribution of Solar Radiation – Correlations between Diffuse and Hemispherical and between Daily and Hourly Insolation Values."
- Duffie J. and Beckman W. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, 2nd Edition 1991
- Hay, J. E. and J. A. Davies, in Proc. First Canadian Solar Radiation Data Workshop (J. E. Hay and T. K. Won, eds.) Ministry of Supply and Services Canada, 59 (1980). "Calculation of the Solar Radiation Incident on an Inclined Surface."
- Klein, S. A. and J. C Theilacker, *Trans. ASME, J. Solar Energy Engrg.*, 103, 29 (1981). "An Algorithm for Calculating Monthly-Average Radiation on Inclined Surfaces."
- Klucher, T. M., *Solar Energy*, 23 , 111 (1979). "Evaluating Models to predict Insolation on Tilted Surfaces."
- Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan, *Solar Energy*, 4(3), 1 (1960). "The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation."
- Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan, *Solar Energy*, 7 , 53 (1963). "The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collectors."
- Page, J. K., *Proc. of the UN Conference on New Sources of Energy*, 4, 378 (1964). "The Estimation of Monthly Mean Values of Daily Total Short Wave Radiation of Vertical and Inclined Surfaces from Sunshine Records for Latitudes 40°N-40°S."
- Temps, R. C. and K. L. Coulson, *Solar Energy*, 19, 179 (1977). "Solar Radiation Incident upon Slopes of Different Orientations."
- Wolfgang Palz, Jurgen Greif, *Comission of the European Communities (Eds.), European Solar Radiation Atlas- Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces, Third Improved and Revised Edition*, Springer 1996
- Μοσχάτος Α. Ε., *Ηλιακή Ενέργεια – Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., 1992
- Δρ. Ανδρίτσος Ν., *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας-Διδακτικές σημειώσεις*, Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, Απρίλιος 2001
- Εμμανουηλίδου Π., *Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια, Ύλη και Κτίριο*
- Κυρατζής Α., *Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων Στα Κτίρια, Διπλωματική εργασία τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Σεπτέμβριος 2003*

Λάλας Δ. Π., Πισιμάνης Δ. Κ., Νοταρίδου Β. Α., Μέθοδοι Υπολογισμού Εντάσεως Ηλιακής Ακτινοβολίας σε Αυθαίρετες Κλίσεις, Επίπεδο και Πίνακες για 30°, 45° και 60° στον Ελληνικό Χώρο, Τεχνικά Χρονικά Β, Τόμος 2, Τεύχος 3-4, 1982

Παπακώστας Χ. Δ., Ανάπτυξη αριθμητικού αλγορίθμου υπολογισμού προσπιπώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε σύνθετες επιφάνειες, Διπλωματική εργασία τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ιούνιος 2004

Πηλαβάκης Π. Α., Ενεργειακή Πολιτική και Οικονομία- Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη 2004

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

NREL Study: Building-Integrated Photovoltaics Kiss Cathcart Anders Architects PC
<http://www.kisscathcart.com/>

Patrina Eiffert, Ph.D., Gregory J. Kiss, Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures, A Sourcebook for Architects
<http://www.helapco.gr/library/PV%20for%20Architects.pdf>

House integrated photovoltaics hightech in public, <http://www.hip-hip.net>

A.S. Bahaj, P.A.B. James, University of Southampton, Photovoltaic roof tiles: design and integration in buildings <http://www.energy.soton.ac.uk/solar/bepac.pdf>

Ingo B. Hagemann, Building Integrated Photovoltaics New Developments and Trends in Europe,
<http://www.nesea.org/buildings/images/Paper%20Hagemann%20Solar%20Conference%20USA%202001.htm>

Energy Systems Research Unit, University of Strathclyde Glasgow, Building Integration,
http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/99-00/hybrid_PV_FC/building.html

Comité de Liaison Énergies Renouvelables, Germany - Snapshot of Current Practices for BIPV, <http://www.cler.org/predac/overview.html>

Florida Solar Energy Center <http://www.fsec.ucf.edu/pvt/pvbasics/index.htm>

Energy Systems Research Unit http://www.esru.strath.ac.uk/Courseware/Class_16110/#index

BP Statistical review of world energy, June 2004
<http://www.bp.com/subsection.do?categoryId=95&contentId=2006480>

Ψωμάς Σ. Ενέργεια Περιβάλλον και Επιχειρηματικότητα- Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο, Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, Νοέμβριος 2003

<http://www.ekpaa.gr/documents/NCESD-GR-EnergyEnvironmentBusiness.pdf>

Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών <http://www.helapco.gr/>

<http://www.retscreen.net/>

<http://www.enviromission.com.au>

<http://www.solarcentury.co.uk/>

http://www.itdg.org/html/technical_enquiries/docs/solar_pv_energy.pdf

<http://www.solarbuzz.com>

<http://www.pv-uk.org.uk>

<http://www.case.gov.au>

<http://www.iea-pvps.org/>

<http://www.pvportal.com>

<http://www.nrel.gov/ncpv>

<http://www.solstice.crest.org>

<http://www.mysolar.com>

<http://www.wire.ises.org>

<http://science.howstuffworks.com/>

<http://www.retscreen.net/>

<http://rise.org.au/>

<http://www.seps.sk/zp/fond/dieret/solar.htm>

<http://www.greenspec.co.uk/html/design/Pvdesign.html#top>

<http://www.sandia.gov/pv/>

<http://www.pvresources.com/index.php>

<http://www.solarserver.de/index-e.html>

http://www.southwestpv.com/About_SolarEnergy.htm

http://www.spitia.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm

<http://www.sunways.de/en/index.php>

<http://www.heliiodomi.gr/proionta.html>

<http://www.seners.gr/pages/gr/grid.htm#>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (Πηγή: Μοσχάτος Α., Ηλιακή Ενέργεια)

Πίνακες τιμών μέσων θερμοκρασιών ανά ώρα σε °C και ωρών ηλιοφάνειας ανά μήνα για χαρακτηριστικές περιοχές

Αθήνα:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 8,6 | 8,5 | 8,5 | 8,8 | 9,7 | 10,6 | 11,4 | 11,9 | 12,2 | 12,2 | 12,1 | 11,8 | 11,2 | 10,6 | 123,2 |
| Φεβρουάριος | 8,9 | 8,8 | 8,7 | 9,3 | 10,5 | 11,5 | 12,2 | 12,7 | 13 | 13,1 | 13,1 | 12,7 | 12,1 | 11,4 | 138,9 |
| Μάρτιος | 9,9 | 9,8 | 10,2 | 10,8 | 12,5 | 13,3 | 14 | 14,4 | 14,7 | 15 | 14,9 | 14,7 | 14,2 | 13,4 | 180,4 |
| Απρίλιος | 12,6 | 12,8 | 13,8 | 15,1 | 16,1 | 16,8 | 17,4 | 17,8 | 18,2 | 18,4 | 18,3 | 18 | 17,5 | 16,7 | 232,5 |
| Μάιος | 16,7 | 17,5 | 18,9 | 20 | 20,8 | 21,5 | 21,1 | 22,5 | 22,7 | 22,9 | 22,8 | 22,6 | 22,2 | 21,5 | 302,8 |
| Ιούνιος | 20,9 | 21,8 | 23,2 | 24,3 | 25,1 | 25,7 | 26,4 | 26,8 | 27,2 | 27,4 | 27,3 | 27,1 | 26,8 | 25,6 | 334,6 |
| Ιούλιος | 24 | 24,7 | 25,7 | 26,9 | 27,8 | 28,5 | 29,3 | 29,8 | 30,1 | 30,3 | 30,3 | 30 | 29,4 | 28,7 | 372,7 |
| Αύγουστος | 23 | 24,3 | 25 | 26,4 | 27,6 | 28,5 | 29,3 | 29,8 | 30,2 | 30,4 | 30,4 | 30,1 | 29,6 | 28,7 | 356,6 |
| Σεπτέμβριος | 20,4 | 20,5 | 21,4 | 23 | 24,3 | 25,3 | 26 | 26,6 | 27 | 27,1 | 26,9 | 26,4 | 25,8 | 24,8 | 276,5 |
| Οκτώβριος | 16,6 | 16,5 | 17 | 18,2 | 19,5 | 20,5 | 21,2 | 21,8 | 22,1 | 22,1 | 21,9 | 21,3 | 20,5 | 19,7 | 210,9 |
| Νοέμβριος | 13,7 | 13,6 | 13,7 | 14,5 | 15,9 | 17 | 17,7 | 18,2 | 18,4 | 18,5 | 18,2 | 17,6 | 16,9 | 16,2 | 161,8 |
| Δεκέμβριος | 10,5 | 10,5 | 10,4 | 10,8 | 11,8 | 12,9 | 13,6 | 14 | 14,3 | 14,4 | 14,1 | 13,6 | 13 | 12,4 | 127,2 |

Αλιάρτος:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 4,4 | 4,3 | 4,1 | 5 | 6,1 | 7 | 8,1 | 8,8 | 9,3 | 9,7 | 9,6 | 9,1 | 8,2 | 7,5 | 85,9 |
| Φεβρουάριος | 5,7 | 5,4 | 5,3 | 6,6 | 7,9 | 8,9 | 9,3 | 10,8 | 11,3 | 11,7 | 11,6 | 11,1 | 10,3 | 9,3 | 108,5 |
| Μάρτιος | 6,2 | 6,2 | 6,9 | 9 | 10,6 | 11,8 | 13,1 | 14 | 14,4 | 14,7 | 14,5 | 14,1 | 13,2 | 11,9 | 158,5 |
| Απρίλιος | 8,9 | 9,6 | 11,1 | 13 | 14,8 | 16,1 | 17,2 | 18,1 | 18,5 | 18,6 | 18,6 | 18,1 | 17,3 | 16 | 212 |
| Μάιος | 13 | 14,6 | 16,9 | 18,9 | 20,8 | 22 | 23,2 | 24,1 | 24,5 | 24,8 | 24,9 | 24,3 | 23,6 | 22,3 | 286,1 |
| Ιούνιος | 16,9 | 19 | 21,4 | 23,8 | 25,8 | 27,1 | 28,3 | 29,2 | 29,7 | 30 | 30 | 29,6 | 28,7 | 27,6 | 317,3 |
| Ιούλιος | 18,7 | 20,6 | 22,7 | 25,3 | 27,3 | 28,7 | 28,7 | 30,7 | 31,1 | 31,5 | 31,6 | 31,2 | 30,5 | 29,2 | 337,1 |
| Αύγουστος | 17,9 | 19,1 | 21,5 | 24,1 | 26,3 | 27,4 | 28,7 | 29,6 | 30 | 30,3 | 30,2 | 29,9 | 28,8 | 27,5 | 379,1 |
| Σεπτέμβριος | 15,5 | 15,9 | 17,8 | 20,4 | 22,6 | 24 | 25,4 | 26,3 | 26,8 | 27 | 26,7 | 26 | 24,9 | 23,4 | 246,3 |
| Οκτώβριος | 12 | 12 | 12,9 | 15 | 16,9 | 18,2 | 19,6 | 20,4 | 20,8 | 21 | 20,7 | 19,8 | 18,6 | 17,4 | 170,8 |
| Νοέμβριος | 8,7 | 8,6 | 8,7 | 10,3 | 12,1 | 13,5 | 14,9 | 15,7 | 16,2 | 16,4 | 16 | 14,9 | 13,6 | 12,7 | 127,7 |
| Δεκέμβριος | 5,7 | 5,6 | 5,4 | 6,3 | 7,7 | 8,7 | 10 | 10,9 | 11,4 | 11,7 | 11,6 | 10,6 | 9,6 | 9 | 96,6 |

Αραξός:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 7,5 | 7,4 | 7,4 | 8,7 | 10,7 | 11,9 | 12,6 | 13,1 | 13,1 | 13 | 12,6 | 12,1 | 11 | 10,1 | 128,5 |
| Φεβρουάριος | 8 | 8 | 8,1 | 9,7 | 11,2 | 12 | 13 | 13,4 | 13,5 | 13,7 | 13,5 | 13 | 12 | 11 | 131,8 |
| Μάρτιος | 8,4 | 8,5 | 9,6 | 11,8 | 12,8 | 14 | 14,6 | 15,1 | 15,4 | 15,4 | 15,2 | 14,7 | 13,8 | 12,7 | 185,8 |
| Απρίλιος | 11,3 | 12,3 | 14 | 15,5 | 16,5 | 17,3 | 17,9 | 18,4 | 18,6 | 18,7 | 18,4 | 17,9 | 17,1 | 16,2 | 221,9 |
| Μάιος | 15,1 | 17,3 | 18,9 | 20,1 | 21,1 | 21,8 | 22,5 | 23 | 23,4 | 23,4 | 23,2 | 22,8 | 22 | 20,9 | 283,1 |
| Ιούνιος | 18,8 | 21,1 | 22,6 | 23,7 | 24,5 | 25,3 | 25,8 | 26,3 | 26,6 | 26,7 | 26,6 | 26,2 | 25,4 | 24,5 | 298,1 |
| Ιούλιος | 20,4 | 22,8 | 24,5 | 25,5 | 26,5 | 27,3 | 28 | 28,7 | 29 | 29 | 28,9 | 28,6 | 28 | 26,9 | 343,6 |
| Αύγουστος | 20,4 | 22,2 | 24,5 | 26 | 27,2 | 28,1 | 28,8 | 29,4 | 29,8 | 29,7 | 30 | 29,4 | 28,4 | 27,4 | 338,9 |
| Σεπτέμβριος | 17,8 | 18,7 | 21,1 | 23,3 | 24,7 | 25,9 | 26,6 | 27,1 | 27,3 | 27,4 | 27,1 | 26,1 | 25 | 23,9 | 271,3 |
| Οκτώβριος | 14,3 | 14,6 | 16 | 18,9 | 20,5 | 21,7 | 22,4 | 22,8 | 23 | 23 | 22,5 | 21,6 | 20,2 | 19 | 207,7 |
| Νοέμβριος | 11,5 | 11,5 | 11,9 | 14,4 | 16,4 | 17,6 | 18,5 | 18,7 | 18,8 | 18,6 | 18,1 | 17,2 | 15,7 | 14,5 | 154,6 |
| Δεκέμβριος | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 10,4 | 12,4 | 13,8 | 14,5 | 14,9 | 14,9 | 14,7 | 14,3 | 13,5 | 12,1 | 11,2 | 120,8 |

Ηράκλειο:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 11,2 | 12,2 | 13,3 | 13,9 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 13,9 | 13,4 | 12,8 | 12,2 | 108,8 |
| Φεβρουάριος | 10,9 | 10,8 | 11 | 11,7 | 13 | 14 | 14,7 | 14,9 | 15 | 14,9 | 14,7 | 14,3 | 13,7 | 13 | 128,4 |
| Μάρτιος | 11,4 | 11,4 | 12 | 13,1 | 14,4 | 15,3 | 15,7 | 15,9 | 16 | 16 | 15,8 | 15,5 | 14,9 | 14,3 | 170,3 |
| Απρίλιος | 13,3 | 13,7 | 15,1 | 16,7 | 17,7 | 18,3 | 18,7 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,6 | 18,3 | 17,7 | 17 | 234,5 |
| Μάιος | 16,2 | 17 | 18,9 | 20,1 | 20,9 | 22 | 22,3 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,3 | 22 | 21,5 | 20,8 | 314,3 |
| Ιούνιος | 20,1 | 21,3 | 23,5 | 25 | 25,5 | 25,9 | 26,1 | 26,4 | 26,3 | 26,3 | 26,2 | 25,9 | 25,5 | 24,9 | 353,3 |
| Ιούλιος | 22,4 | 23,4 | 25,3 | 26,7 | 27,2 | 27,5 | 27,8 | 28 | 28,1 | 28,1 | 28 | 27,7 | 27,3 | 26,6 | 384,7 |
| Αύγουστος | 22,7 | 23,2 | 24,7 | 26,2 | 27 | 27,4 | 27,7 | 27,9 | 27,9 | 27,9 | 27,8 | 27,5 | 26,9 | 26,3 | 356,7 |
| Σεπτέμβριος | 20,3 | 20,5 | 21,8 | 23,6 | 24,7 | 25,3 | 25,6 | 25,8 | 25,8 | 25,7 | 25,5 | 25,4 | 24,8 | 23,8 | 285,2 |
| Οκτώβριος | 17,7 | 17,8 | 18,5 | 19,9 | 21,1 | 21,9 | 22,3 | 22,5 | 22,5 | 22,4 | 22 | 21,5 | 20,9 | 20,2 | 197,2 |
| Νοέμβριος | 14,9 | 14,9 | 15,3 | 16,4 | 17,9 | 18,9 | 19,4 | 19,6 | 19,6 | 19,4 | 19,1 | 18,5 | 17,7 | 17 | 161,5 |
| Δεκέμβριος | 12,8 | 12,7 | 12,7 | 13,3 | 14,4 | 15,4 | 15,9 | 16,1 | 16,2 | 16 | 15,7 | 15,2 | 14,5 | 14 | 121,1 |

Θεσσαλονίκη:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 4,1 | 5 | 6,1 | 6,8 | 7,4 | 7,8 | 7,9 | 7,7 | 6,9 | 5,8 | 106,3 |
| Φεβρουάριος | 4 | 3,8 | 3,7 | 4,2 | 5,6 | 7 | 8,1 | 8,8 | 9,5 | 10 | 10,3 | 10,2 | 9,5 | 8,4 | 120,7 |
| Μάρτιος | 5,5 | 5,4 | 5,8 | 7,2 | 8,8 | 10,1 | 11,1 | 11,8 | 12,5 | 13,1 | 13,3 | 13,2 | 12,6 | 11,5 | 152,6 |
| Απρίλιος | 8 | 8,2 | 9,7 | 12 | 13,7 | 15 | 16 | 16,8 | 17,5 | 18 | 18,2 | 17,9 | 17,2 | 16,1 | 209,4 |
| Μάιος | 12,3 | 13,1 | 15,5 | 17,9 | 19,2 | 20,4 | 21,5 | 22,3 | 23,1 | 23,6 | 23,7 | 23,3 | 22,5 | 21,4 | 268,9 |
| Ιούνιος | 16,5 | 17,7 | 20,3 | 22,4 | 23,6 | 24,7 | 25,8 | 26,7 | 27,5 | 28 | 28,2 | 27,9 | 27,2 | 26,1 | 292,8 |
| Ιούλιος | 18,8 | 20,3 | 22,2 | 24,4 | 25,6 | 26,8 | 27,9 | 28,9 | 29,8 | 30,5 | 30,7 | 30,5 | 29,8 | 28,6 | 342,4 |
| Αύγουστος | 18,6 | 18,9 | 21,1 | 23,6 | 25,1 | 26,3 | 27 | 28 | 29,5 | 30,1 | 30,3 | 30 | 29,2 | 28 | 306,1 |
| Σεπτέμβριος | 15,5 | 15,3 | 16,7 | 19,3 | 21,2 | 22 | 23 | 24,4 | 25,3 | 25,9 | 25,9 | 25,7 | 25 | 23,5 | 238,5 |
| Οκτώβριος | 11,8 | 11,6 | 12,1 | 13,8 | 15,8 | 17,3 | 18,3 | 19,1 | 19,7 | 20,1 | 20,3 | 20 | 19,6 | 18,1 | 171,1 |
| Νοέμβριος | 8,4 | 8,2 | 8,3 | 9 | 10,6 | 12,4 | 13,4 | 14,1 | 14,7 | 15 | 15,1 | 14,7 | 13,6 | 12,4 | 119,8 |
| Δεκέμβριος | 4,2 | 4,1 | 4 | 4,3 | 5,4 | 7 | 8,2 | 8,9 | 9,5 | 10 | 10,1 | 9,6 | 8,6 | 7,4 | 100,5 |

Ιεράπετρα:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 11 | 11 | 11,4 | 12,5 | 13,7 | 14,2 | 14,7 | 14,8 | 14,8 | 14,6 | 14,2 | 13,5 | 12,9 | 12,4 | 157,3 |
| Φεβρουάριος | 10,7 | 10,3 | 11,5 | 13,1 | 14,3 | 14,9 | 15,2 | 15,3 | 15,4 | 15,4 | 14,8 | 14,2 | 13,4 | 12,9 | 161,5 |
| Μάρτιος | 10,9 | 11,3 | 12,4 | 13,6 | 14,4 | 14,8 | 15 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 14,8 | 14,3 | 13,6 | 13 | 213,9 |
| Απρίλιος | 13,4 | 15,1 | 16,5 | 17,9 | 18,7 | 19,1 | 19,3 | 19,5 | 19,5 | 19,4 | 19,1 | 18,6 | 17,6 | 16,6 | 243,8 |
| Μάιος | 17,3 | 19,4 | 21 | 22 | 22,6 | 22,9 | 23,2 | 23,4 | 23,3 | 23,2 | 23,1 | 22,7 | 21,9 | 20,7 | 309,2 |
| Ιούνιος | 21,5 | 23,8 | 25,3 | 26,3 | 26,8 | 27,2 | 27,6 | 27,5 | 27,7 | 27,7 | 27,4 | 27,1 | 26,3 | 25 | 359,2 |
| Ιούλιος | 24,1 | 25,3 | 27,4 | 28,5 | 29,2 | 29,7 | 30,1 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30 | 29,3 | 28,5 | 27,2 | 386 |
| Αύγουστος | 24 | 25,3 | 27,1 | 28,2 | 28,4 | 28,3 | 29,9 | 30,1 | 30,1 | 30 | 29,7 | 29,1 | 28 | 26,6 | 369,8 |
| Σεπτέμβριος | 21,4 | 22,4 | 22,9 | 25,9 | 26,8 | 27,5 | 27,7 | 27,8 | 27,9 | 27,6 | 27,1 | 26,3 | 25,1 | 23,8 | 301,6 |
| Οκτώβριος | 18,1 | 18,6 | 20,2 | 21,8 | 22,9 | 23,5 | 23,9 | 24 | 24 | 23,8 | 23,1 | 21,3 | 21,1 | 20,4 | 239 |
| Νοέμβριος | 15 | 15,1 | 16,1 | 17,9 | 19 | 19,6 | 19,9 | 20,1 | 20 | 19,6 | 19,1 | 18,2 | 17,4 | 16,9 | 202,1 |
| Δεκέμβριος | 12,8 | 12,8 | 13,1 | 14,5 | 15,6 | 16,3 | 16,6 | 16,7 | 16,7 | 16,4 | 15,9 | 15,2 | 14,6 | 14,1 | 164,5 |

Ιωάννινα:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,5 | 3,5 | 4,7 | 5,9 | 6,9 | 7,8 | 7,9 | 8,3 | 7,8 | 6,9 | 6,2 | 93,8 |
| Φεβρουάριος | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,9 | 5,2 | 6,7 | 8 | 8,9 | 9,7 | 9,4 | 9,5 | 9,5 | 8,8 | 7,8 | 97,6 |
| Μάρτιος | 4,9 | 4,8 | 5,2 | 6,7 | 8,4 | 9,9 | 11 | 12,1 | 12,8 | 13 | 13 | 12,8 | 12 | 10,8 | 145,6 |
| Απρίλιος | 7,2 | 7,3 | 8,7 | 10,2 | 11,6 | 13,3 | 14,2 | 15,1 | 15,7 | 15,8 | 15,7 | 15,3 | 14,7 | 13,7 | 177,2 |
| Μάιος | 10,3 | 11,2 | 13,5 | 15,7 | 17,5 | 19,2 | 20,2 | 21 | 21,6 | 21,6 | 21,5 | 21,1 | 20,2 | 18,9 | 244,2 |
| Ιούνιος | 13,7 | 15,3 | 18 | 20,3 | 22,2 | 23,9 | 25,2 | 26,2 | 26,7 | 26,6 | 26,3 | 25,7 | 24,8 | 23,7 | 269,1 |
| Ιούλιος | 15,6 | 16,7 | 19,5 | 22,4 | 23,9 | 26,1 | 27,4 | 28,5 | 29,1 | 29,2 | 29,1 | 28,5 | 27,8 | 26,4 | 319,8 |
| Αύγουστος | 15,5 | 15,8 | 18,5 | 21,5 | 23,7 | 25,5 | 26,9 | 28,1 | 28,8 | 29 | 28,8 | 28,2 | 27,2 | 25,8 | 299 |
| Σεπτέμβριος | 13,2 | 13,1 | 14,5 | 17,1 | 19,3 | 21,1 | 22,5 | 23,7 | 24,4 | 24,6 | 24,4 | 23,9 | 22,8 | 21,2 | 222,6 |
| Οκτώβριος | 9,2 | 9,1 | 9,7 | 11,6 | 13,5 | 15,2 | 16,5 | 17,5 | 18,3 | 18,5 | 18,3 | 17,7 | 16,4 | 15,1 | 179,4 |
| Νοέμβριος | 6,1 | 6 | 6,3 | 6,9 | 8,2 | 9,8 | 10,9 | 12 | 12,9 | 13 | 12,9 | 12 | 11 | 10,2 | 117 |
| Δεκέμβριος | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 2,8 | 3,8 | 5,4 | 6,5 | 7,7 | 8,8 | 9,1 | 9 | 8 | 7,2 | 6,4 | 86,7 |

Καλαμάτα:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 8,2 | 8,1 | 8,1 | 9,4 | 11 | 12,4 | 13,5 | 14,2 | 14,5 | 14,2 | 13,7 | 13,2 | 12,1 | 11,2 | 148,9 |
| Φεβρουάριος | 8,1 | 7,9 | 8 | 9,7 | 11,5 | 13,2 | 13,9 | 14,4 | 14,7 | 14,7 | 14,3 | 13,8 | 12,8 | 11,8 | 142,5 |
| Μάρτιος | 9 | 9,1 | 9,8 | 11,8 | 13,7 | 15,1 | 15,8 | 16,3 | 16,4 | 16,3 | 16 | 15,6 | 14,7 | 13,6 | 193,5 |
| Απρίλιος | 11,3 | 12,1 | 13,3 | 15 | 16,5 | 17,9 | 18,4 | 18,7 | 18,9 | 18,8 | 18,6 | 18 | 17,3 | 16,3 | 199,2 |
| Μάιος | 14,9 | 16,4 | 18,4 | 19,7 | 21 | 22 | 22,5 | 22,8 | 22,9 | 23 | 22,9 | 22,6 | 21,7 | 20,7 | 307,9 |
| Ιούνιος | 18,2 | 20,2 | 22,3 | 23,7 | 25 | 26 | 26,4 | 26,7 | 26,9 | 27,1 | 27,1 | 26,8 | 26 | 24,9 | 344,4 |
| Ιούλιος | 20,7 | 22,3 | 24,4 | 26,1 | 27,5 | 28,6 | 29,1 | 29,3 | 29,6 | 29,9 | 30 | 29,7 | 28,8 | 27,6 | 366,3 |
| Αύγουστος | 20,8 | 22,1 | 23,9 | 25,9 | 27,5 | 29 | 29,6 | 30 | 30,3 | 30,4 | 30,2 | 29,8 | 28,8 | 27,6 | 344,2 |
| Σεπτέμβριος | 18,6 | 19,1 | 20,3 | 22,6 | 24,9 | 26,9 | 27,5 | 27,9 | 28,1 | 27,8 | 27,3 | 26,8 | 25,8 | 24,7 | 272 |
| Οκτώβριος | 15,1 | 15,1 | 15,7 | 18 | 20,5 | 22,6 | 23,4 | 23,8 | 23,9 | 23,4 | 22,8 | 22,2 | 21 | 19,8 | 209,7 |
| Νοέμβριος | 11,7 | 11,6 | 11,8 | 14 | 16,4 | 18,6 | 19,5 | 20,2 | 20,4 | 19,7 | 18,7 | 18 | 16,8 | 15,7 | 176,1 |
| Δεκέμβριος | 9,7 | 9,6 | 9,7 | 11,1 | 12,8 | 14,4 | 15,3 | 15,9 | 16,2 | 15,8 | 15,1 | 14,4 | 13,3 | 12,5 | 122,4 |

Κέρκυρα:

| Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 7,1 | 7 | 6,9 | 7,5 | 9,2 | 11,1 | 11,9 | 12,3 | 12,5 | 12,6 | 12,5 | 12,2 | 11,2 | 10 | 120,4 |
| Φεβρουάριος | 7,5 | 7,4 | 7,3 | 8,5 | 10,2 | 11,5 | 12,1 | 12,4 | 12,6 | 12,1 | 12,6 | 12,4 | 11,9 | 10,9 | 119,4 |
| Μάρτιος | 8,3 | 8,2 | 8,9 | 11 | 12,7 | 13,5 | 14 | 14,4 | 14,7 | 14,8 | 14,7 | 14,4 | 13,9 | 13 | 168 |
| Απρίλιος | 10,4 | 10,8 | 12,6 | 14,7 | 16 | 16,6 | 17,2 | 17,7 | 18 | 18 | 17,9 | 17,6 | 16,9 | 16,1 | 211,9 |
| Μάιος | 13,5 | 15 | 17,5 | 19,5 | 20,4 | 21 | 21,6 | 22,2 | 22,5 | 21,6 | 22,5 | 22,1 | 21,6 | 20,8 | 277,9 |
| Ιούνιος | 17,1 | 18,9 | 21,6 | 23,3 | 24,1 | 24,9 | 25,6 | 26,3 | 26,5 | 26,7 | 26,7 | 26,3 | 25,8 | 25 | 329,6 |
| Ιούλιος | 18,8 | 20,4 | 23,4 | 25,4 | 26,4 | 27,3 | 28,2 | 29 | 29,3 | 29,5 | 29,4 | 29,1 | 28,6 | 27,7 | 371,7 |
| Αύγουστος | 19,3 | 20,1 | 22,8 | 25,8 | 27,1 | 28 | 28,9 | 29,7 | 30 | 30,3 | 30,2 | 29,6 | 29 | 27,9 | 340,5 |
| Σεπτέμβριος | 17,5 | 17,6 | 19,4 | 22,4 | 24,2 | 24,9 | 25,5 | 26,2 | 26,6 | 26,7 | 26,5 | 26,1 | 25,3 | 23,9 | 257,6 |
| Οκτώβριος | 14,4 | 14,2 | 15 | 17,5 | 19,9 | 20,6 | 21 | 21,5 | 21,7 | 21,8 | 21,6 | 21,1 | 20,1 | 18,7 | 198,6 |
| Νοέμβριος | 11,9 | 11,8 | 11,9 | 13,4 | 15,3 | 16,6 | 17,3 | 17,6 | 17,7 | 17,7 | 17,5 | 17 | 15,7 | 14,7 | 134,6 |
| Δεκέμβριος | 8,8 | 8,8 | 8,7 | 9,3 | 10,9 | 12,6 | 13,5 | 13,9 | 14 | 14 | 13,9 | 13,4 | 12,1 | 11,2 | 111,8 |

Κόρινθος:

| Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 7,9 | 7,8 | 7,9 | 8,4 | 9,8 | 10,6 | 11,2 | 11,5 | 11,8 | 11,9 | 11,8 | 11,4 | 10,9 | 10,5 | 109,1 |
| Φεβρουάριος | 8,3 | 8,2 | 8,2 | 9,1 | 10,3 | 11,2 | 11,6 | 12 | 12,4 | 12,5 | 12,6 | 12,2 | 11,7 | 11,1 | 124,4 |
| Μάρτιος | 10,6 | 10,5 | 11,2 | 12,8 | 13,9 | 14,7 | 15,4 | 15,9 | 16 | 16,6 | 16,6 | 16,3 | 15,8 | 15,1 | 179,6 |
| Απρίλιος | 11,7 | 12 | 13,2 | 14,1 | 14,8 | 15,5 | 16,1 | 16,5 | 16,9 | 17,1 | 17 | 16,9 | 16,3 | 15,6 | 210,5 |
| Μάιος | 16 | 16,7 | 18,3 | 19,2 | 20 | 20,9 | 21,8 | 22,5 | 23,1 | 23,3 | 23,2 | 22,9 | 22,4 | 21,7 | 292,4 |
| Ιούνιος | 19,9 | 20,9 | 22,3 | 23 | 23,8 | 24,8 | 25,7 | 26,5 | 27,1 | 27,5 | 27,6 | 27,2 | 26,8 | 26,2 | 321,9 |
| Ιούλιος | 22,1 | 22,9 | 22,5 | 25,2 | 26,1 | 26,6 | 27,8 | 28,6 | 29,2 | 29,6 | 29,8 | 29,6 | 29,1 | 28,4 | 344,4 |
| Αύγουστος | 21,8 | 22,3 | 24 | 25,2 | 26,1 | 27 | 27,8 | 28,5 | 28,9 | 29,4 | 29,5 | 29,2 | 28,7 | 28 | 335,4 |
| Σεπτέμβριος | 19,1 | 19,3 | 21 | 22,3 | 23,5 | 24,4 | 25,1 | 25,8 | 26,4 | 26,5 | 26,4 | 26,3 | 25,5 | 24,7 | 263 |
| Οκτώβριος | 15,4 | 15,4 | 16,4 | 18,1 | 19,2 | 19,9 | 20,5 | 21,2 | 21,4 | 21,5 | 21,5 | 20,9 | 20,3 | 19,7 | 199,3 |
| Νοέμβριος | 12,1 | 12,1 | 12,4 | 13,7 | 15,4 | 16,2 | 16,7 | 17,1 | 17,4 | 17,5 | 17,3 | 16,6 | 16 | 15,2 | 157,4 |
| Δεκέμβριος | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 10,1 | 11,6 | 12,7 | 13,2 | 13,6 | 13,9 | 14 | 13,8 | 13,3 | 12,6 | 12 | 123,7 |

Κόθρηρα:

| Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,6 | 11,1 | 11,5 | 11,7 | 11,8 | 11,8 | 11,6 | 11,5 | 11,1 | 10,7 | 10,6 | 146,1 |
| Φεβρουάριος | 10,3 | 10,4 | 10,5 | 11 | 11,5 | 11,8 | 12,1 | 12,2 | 12,2 | 12,1 | 11,9 | 11,6 | 11,2 | 11 | 138,9 |
| Μάρτιος | 11,1 | 11,1 | 11,6 | 12,4 | 12,8 | 13,2 | 13,4 | 13,5 | 13,5 | 13,4 | 13,3 | 13 | 12,5 | 12,1 | 184,7 |
| Απρίλιος | 13 | 13,3 | 14,1 | 14,8 | 15,2 | 15,5 | 15,7 | 15,8 | 15,9 | 15,7 | 15,5 | 15,2 | 14,8 | 14,3 | 215,2 |
| Μάιος | 17 | 17,8 | 18,9 | 19,6 | 20 | 20,1 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 20,3 | 20 | 19,7 | 19,3 | 18,8 | 299,9 |
| Ιούνιος | 21,1 | 22,2 | 23,5 | 24 | 24,4 | 24,6 | 24,7 | 24,9 | 24,7 | 24,6 | 24,4 | 24,1 | 23,6 | 23 | 350,4 |
| Ιούλιος | 23,1 | 24,1 | 25,4 | 25,9 | 26,4 | 26,6 | 26,8 | 26,9 | 26,8 | 26,6 | 26,4 | 26 | 25,6 | 25 | 364,7 |
| Αύγουστος | 22,8 | 24 | 25,2 | 25,9 | 26,5 | 26,7 | 26,8 | 27 | 26,8 | 26,6 | 26,3 | 25,9 | 25,5 | 24,8 | 345,1 |
| Σεπτέμβριος | 20,7 | 21 | 22,3 | 23,3 | 23,8 | 24,1 | 24,2 | 24,3 | 24,2 | 24,1 | 23,8 | 23,5 | 22,9 | 22,1 | 277,5 |
| Οκτώβριος | 17,2 | 17,3 | 17,9 | 18,9 | 19,4 | 19,7 | 19,8 | 19,9 | 19,8 | 19,7 | 19,4 | 19 | 18,5 | 18,2 | 212,7 |
| Νοέμβριος | 14,3 | 14,3 | 14,5 | 15,3 | 15,9 | 16,2 | 16,4 | 16,4 | 16,5 | 16,3 | 16 | 15,6 | 15,2 | 15,1 | 164,5 |
| Δεκέμβριος | 11,7 | 11,7 | 11,7 | 12,1 | 12,7 | 13 | 13,2 | 13,2 | 13,2 | 13,1 | 13 | 12,7 | 12,3 | 12,2 | 131,1 |

Λαμία:

| Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 5,5 | 5,5 | 5,4 | 5,7 | 6,8 | 7,8 | 8,6 | 9,3 | 9,7 | 9,7 | 9,4 | 8,7 | 7,6 | 7,4 | 103,9 |
| Φεβρουάριος | 6,4 | 6,3 | 6,4 | 7,1 | 8,1 | 9,2 | 10,2 | 10,8 | 11,2 | 11,3 | 11,1 | 10,5 | 9,7 | 8,9 | 105,6 |
| Μάρτιος | 7,9 | 7,8 | 8,1 | 9,5 | 10,8 | 12 | 13,1 | 13,8 | 14,2 | 14,2 | 14 | 13,4 | 12,5 | 11,5 | 169,9 |
| Απρίλιος | 11 | 11,1 | 12,1 | 14,4 | 15,1 | 16,2 | 17,1 | 17,7 | 18,1 | 18,1 | 17,8 | 17,4 | 16,4 | 15,2 | 209,6 |
| Μάιος | 15,9 | 16,1 | 17,6 | 19,6 | 21,3 | 22,7 | 23,6 | 24,2 | 24,5 | 24,4 | 24,1 | 23,2 | 22,4 | 21,3 | 280,9 |
| Ιούνιος | 19,6 | 20,1 | 21,7 | 23,8 | 25,8 | 27,4 | 28,2 | 28,9 | 29,3 | 29,2 | 28,7 | 28 | 27 | 25,8 | 320,8 |
| Ιούλιος | 21,9 | 22,2 | 23,7 | 25,8 | 27,8 | 28,7 | 30,3 | 31 | 31,2 | 31,2 | 30,7 | 29,9 | 29 | 27,8 | 336,3 |
| Αύγουστος | 21,2 | 21,3 | 22,7 | 24,8 | 26,7 | 28,2 | 29,3 | 30 | 30,3 | 30,2 | 29,7 | 28,9 | 27,9 | 26,6 | 321,4 |
| Σεπτέμβριος | 18,2 | 18,2 | 19,2 | 21,1 | 23 | 24,6 | 25,6 | 26,3 | 26,5 | 26,4 | 25,9 | 24,9 | 23,8 | 22,6 | 241,8 |
| Οκτώβριος | 13,7 | 13,6 | 14 | 15,5 | 16,9 | 18,2 | 19,2 | 19,9 | 20 | 20 | 19,6 | 18,8 | 17,5 | 16,6 | 175 |
| Νοέμβριος | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 11,2 | 12,4 | 13,6 | 14,6 | 15,3 | 15,6 | 15,5 | 15 | 13,8 | 12,9 | 12,4 | 143,1 |
| Δεκέμβριος | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 7,5 | 8,7 | 10 | 10,8 | 11,5 | 11,8 | 11,8 | 11,3 | 10,2 | 9,6 | 9,1 | 124 |

Λάρισσα:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 3 | 4,5 | 5,8 | 7 | 7,9 | 8,5 | 8,8 | 8,7 | 8,4 | 7 | 6 | 89,4 |
| Φεβρουάριος | 3,6 | 3,4 | 3,5 | 4,9 | 6,5 | 7,9 | 9,3 | 10 | 10,5 | 11 | 11 | 10,5 | 9,4 | 7,9 | 109,7 |
| Μάρτιος | 4,4 | 4,4 | 5,3 | 7,9 | 9,8 | 11,3 | 12,4 | 13,4 | 14 | 14,3 | 14,2 | 13,8 | 12,5 | 10,8 | 159,1 |
| Απρίλιος | 7,2 | 7,8 | 9,6 | 12 | 14 | 15,3 | 16,5 | 17,3 | 17,9 | 18,2 | 18,1 | 17,7 | 16,6 | 15 | 213,1 |
| Μάιος | 11,9 | 13,4 | 15,7 | 18,3 | 20,2 | 21,6 | 22,8 | 24,2 | 24,4 | 24,5 | 24,4 | 23,7 | 22,5 | 20,9 | 279,8 |
| Ιούνιος | 16,3 | 18,5 | 20,8 | 23,4 | 25,3 | 26,9 | 28,1 | 29 | 29,5 | 29,8 | 29,6 | 29,1 | 27,9 | 26,4 | 300,2 |
| Ιούλιος | 18,6 | 20,4 | 22,7 | 25,3 | 27,2 | 28,5 | 29,8 | 30,7 | 31,4 | 31,9 | 31,8 | 31,2 | 30,2 | 28,6 | 333,1 |
| Αύγουστος | 17,9 | 18,2 | 21,1 | 23,8 | 26 | 27,4 | 28,8 | 29,8 | 30,3 | 30,8 | 30,6 | 29,9 | 28,6 | 26,8 | 322,5 |
| Σεπτέμβριος | 15,1 | 15,2 | 16,8 | 19,6 | 21,9 | 23,5 | 25 | 25,9 | 26,5 | 26,8 | 26,6 | 25,9 | 24,9 | 22,4 | 243,6 |
| Οκτώβριος | 10,7 | 10,8 | 11,8 | 14,1 | 16,1 | 17,5 | 18,9 | 19,8 | 20,2 | 20,4 | 10 | 19,3 | 17,5 | 16,2 | 176 |
| Νοέμβριος | 6,6 | 6,3 | 6,5 | 8,5 | 10,5 | 12 | 13,4 | 14,4 | 14,9 | 15,2 | 15,1 | 14,2 | 12,3 | 11,2 | 140,6 |
| Δεκέμβριος | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 3,6 | 5,7 | 6,7 | 8,1 | 9,2 | 9,9 | 10,2 | 10,1 | 9,3 | 7,8 | 6,8 | 95,9 |

Λήμνος:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,7 | 8,4 | 8,8 | 9,1 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,1 | 8,8 | 7,3 | 7,9 | 82 |
| Φεβρουάριος | 7,7 | 7,6 | 8 | 8,7 | 9,4 | 9,8 | 10,1 | 10,2 | 10,3 | 10,3 | 10,2 | 9,9 | 9,4 | 8,9 | 110,7 |
| Μάρτιος | 8,5 | 8,7 | 9,4 | 10,5 | 11 | 11,4 | 11,8 | 12 | 12,1 | 12,1 | 12,1 | 11,9 | 11,3 | 10,7 | 162,1 |
| Απρίλιος | 11,5 | 12,4 | 13,6 | 14,6 | 15 | 15,4 | 15,7 | 16 | 16,1 | 16,2 | 16,1 | 15,9 | 15,3 | 14,4 | 221,7 |
| Μάιος | 15,9 | 17,4 | 18,4 | 19,3 | 19,8 | 20,1 | 20,5 | 20,8 | 20,8 | 21 | 21 | 20,8 | 20,1 | 19,2 | 294,4 |
| Ιούνιος | 20,1 | 21,7 | 22,7 | 23,6 | 24,1 | 24,4 | 24,8 | 25,1 | 25,2 | 25,4 | 25,4 | 25,2 | 24,5 | 23,6 | 326,7 |
| Ιούλιος | 22 | 23,5 | 24,5 | 25,5 | 26 | 26,3 | 26,8 | 27,2 | 27,3 | 27,5 | 27,5 | 27,3 | 26,7 | 27,8 | 344,7 |
| Αύγουστος | 21,8 | 23 | 24,1 | 25,1 | 25,7 | 26,1 | 26,6 | 27 | 27,2 | 27,3 | 27,2 | 27 | 26,5 | 25,3 | 338,4 |
| Σεπτέμβριος | 18,5 | 19,4 | 20,6 | 22 | 22,7 | 23,1 | 23,5 | 23,8 | 24 | 24,1 | 24 | 23,6 | 22,7 | 21,7 | 264,9 |
| Οκτώβριος | 15 | 15,1 | 16,1 | 17,6 | 18,2 | 18,5 | 18,9 | 19,1 | 19,2 | 19,1 | 18,8 | 18,4 | 17,5 | 16,9 | 197,8 |
| Νοέμβριος | 12,6 | 12,6 | 12,9 | 14,2 | 14,9 | 15,3 | 15,6 | 15,7 | 15,7 | 15,6 | 15,2 | 14,7 | 14 | 13,6 | 127,6 |
| Δεκέμβριος | 9,1 | 9,1 | 9,2 | 10 | 10,8 | 11,3 | 11,6 | 11,7 | 11,7 | 11,6 | 11,3 | 10,8 | 10,2 | 10 | 94,6 |

Μεθώνη:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 9,9 | 9,8 | 9,7 | 10,5 | 11,8 | 12,6 | 13,1 | 13,4 | 13,5 | 13,5 | 13,2 | 12,8 | 12,2 | 11,6 | 121,3 |
| Φεβρουάριος | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 11 | 12,2 | 13 | 13,5 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,6 | 13,3 | 12,7 | 12,2 | 129,3 |
| Μάρτιος | 10,9 | 10,9 | 11,6 | 12,9 | 13,9 | 14,4 | 14,8 | 15 | 15,1 | 15,1 | 15 | 14,7 | 14,2 | 13,5 | 183,9 |
| Απρίλιος | 13,1 | 13,5 | 14,6 | 15,6 | 16,2 | 16,9 | 17 | 17,3 | 17,4 | 17,3 | 17,2 | 16,9 | 16,4 | 15,7 | 199,7 |
| Μάιος | 16 | 17,1 | 18,4 | 19,1 | 19,7 | 20 | 20,5 | 20,8 | 20,9 | 20,9 | 19,3 | 20,5 | 19,9 | 19,2 | 290,8 |
| Ιούνιος | 19,7 | 20,9 | 21,9 | 22,5 | 23 | 23,5 | 23,7 | 24,3 | 24,3 | 24,4 | 24,3 | 24 | 23,5 | 22,7 | 326,1 |
| Ιούλιος | 21,8 | 22,8 | 23,9 | 24,7 | 25,3 | 25,8 | 26,2 | 26,5 | 26,7 | 26,7 | 26,7 | 26,4 | 25,9 | 25,2 | 354,1 |
| Αύγουστος | 22,4 | 23,5 | 24,8 | 25,9 | 26,6 | 27 | 27,3 | 27,6 | 27,8 | 27,9 | 27,7 | 27,4 | 26,8 | 25,9 | 331,6 |
| Σεπτέμβριος | 20,4 | 21 | 22,4 | 24 | 24,9 | 25,4 | 25,8 | 26 | 26,2 | 26,2 | 26 | 25,6 | 24,8 | 24,1 | 264,9 |
| Οκτώβριος | 16,8 | 16,8 | 17,6 | 19,6 | 21 | 21,7 | 22 | 22,2 | 22,3 | 22,1 | 21,9 | 21,4 | 20,6 | 20 | 210,9 |
| Νοέμβριος | 14,2 | 14,2 | 14,4 | 15,8 | 17,3 | 18,1 | 18,5 | 18,7 | 18,5 | 18,6 | 18,3 | 17,8 | 17,1 | 16,4 | 164,6 |
| Δεκέμβριος | 11,9 | 11,8 | 11,8 | 12,6 | 13,8 | 14,7 | 15,1 | 15,3 | 15,4 | 15,3 | 14,9 | 14,5 | 13,9 | 13,3 | 119,8 |

Μουτλίγη:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 8,4 | 8,3 | 8,3 | 9,2 | 9,8 | 10,1 | 10,3 | 10,6 | 10,7 | 10,9 | 10,8 | 10,1 | 9,6 | 9,4 | 102,8 |
| Φεβρουάριος | 8,2 | 8,7 | 8,9 | 9,7 | 10,2 | 10,6 | 10,9 | 11,2 | 11,5 | 11,6 | 11,6 | 11,3 | 10,6 | 10,2 | 116 |
| Μάρτιος | 9,6 | 9,8 | 10,6 | 11,2 | 11,6 | 12,1 | 12,6 | 13,1 | 13,4 | 13,6 | 13,7 | 13,5 | 12,9 | 12,1 | 161,3 |
| Απρίλιος | 12,5 | 13,4 | 14,4 | 15 | 15,4 | 16,1 | 16,8 | 17,4 | 17,8 | 18 | 17,9 | 17,6 | 17 | 15,9 | 213,3 |
| Μάιος | 16,7 | 18,1 | 18,7 | 19,2 | 19,8 | 20,8 | 21,4 | 22,2 | 22,6 | 22,8 | 22,8 | 22,5 | 22 | 21,2 | 305,1 |
| Ιούνιος | 21 | 22,1 | 22,6 | 23,1 | 23,9 | 24,7 | 25,6 | 26,4 | 26,9 | 27,1 | 27,1 | 26,8 | 26,4 | 25,6 | 343,8 |
| Ιούλιος | 22,5 | 23,6 | 24,1 | 24,6 | 25,6 | 26,5 | 27,5 | 28,2 | 28,8 | 29,1 | 29,2 | 28,9 | 28,3 | 27,4 | 382,7 |
| Αύγουστος | 22 | 23 | 23,6 | 24,2 | 25,1 | 26 | 27,2 | 28 | 28,6 | 28,9 | 28,9 | 28,5 | 28 | 26,8 | 357,1 |
| Σεπτέμβριος | 19,2 | 20,1 | 21,1 | 21,6 | 22,3 | 23 | 23,9 | 24,7 | 25,3 | 25,7 | 25,7 | 25,4 | 24,4 | 23,6 | 284,6 |
| Οκτώβριος | 15,9 | 16,1 | 17,2 | 18 | 18,5 | 19,1 | 19,7 | 20,2 | 20,6 | 20,7 | 20,7 | 20,1 | 19,2 | 18,5 | 207 |
| Νοέμβριος | 13,3 | 13,3 | 13,9 | 14,9 | 15,4 | 15,8 | 16,1 | 16,5 | 16,8 | 16,8 | 16,6 | 15,6 | 15 | 14,8 | 146,7 |
| Δεκέμβριος | 10,3 | 10,2 | 10,3 | 11,1 | 11,6 | 12 | 12,2 | 12,5 | 12,6 | 12,7 | 12,5 | 11,8 | 11,5 | 11,4 | 111,2 |

Νάξος:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,8 | 12,6 | 12,9 | 13,1 | 13,2 | 13,3 | 13,2 | 13 | 12,8 | 12,4 | 12,1 | 101,3 |
| Φεβρουάριος | 11,5 | 11,5 | 11,6 | 12,4 | 13 | 13,4 | 13,5 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 13,5 | 13,3 | 12,9 | 12,5 | 118,3 |
| Μάρτιος | 12,1 | 12,1 | 12,6 | 13,6 | 14,1 | 14,3 | 14,6 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,6 | 14,3 | 14 | 13,6 | 167,5 |
| Απρίλιος | 13,8 | 14,3 | 15,4 | 16,1 | 16,5 | 16,8 | 17,1 | 17,2 | 17,3 | 17,2 | 17,1 | 16,9 | 16,4 | 16 | 215,5 |
| Μάιος | 17,1 | 18,1 | 19,1 | 19,6 | 20 | 20,3 | 20,6 | 20,7 | 20,8 | 20,8 | 20,7 | 20,5 | 20,2 | 19,7 | 285,8 |
| Ιούνιος | 20,8 | 21,8 | 22,7 | 23,3 | 23,6 | 23,9 | 24,2 | 24,4 | 24,5 | 24,5 | 24,4 | 24,3 | 23,9 | 23,5 | 319,5 |
| Ιούλιος | 22,8 | 23,4 | 24,1 | 24,6 | 25 | 25,2 | 25,5 | 25,7 | 25,8 | 25,8 | 25,7 | 25,6 | 25,3 | 25 | 340,8 |
| Αύγουστος | 22,6 | 22,9 | 23,5 | 24 | 24,3 | 24,6 | 24,8 | 25 | 25,1 | 25,2 | 25,1 | 24,9 | 24,7 | 24,4 | 327,4 |
| Σεπτέμβριος | 20,9 | 21,1 | 21,8 | 22,5 | 22,8 | 23,1 | 23,4 | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 23,4 | 23,1 | 22,7 | 22,4 | 273,8 |
| Οκτώβριος | 17,6 | 17,8 | 18,3 | 19,2 | 19,5 | 19,8 | 20 | 20,1 | 20,1 | 20,1 | 19,9 | 19,6 | 19,2 | 19 | 206,3 |
| Νοέμβριος | 14,8 | 14,8 | 15 | 15,9 | 16,6 | 16,9 | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,1 | 16,9 | 16,5 | 16,1 | 15,9 | 156 |
| Δεκέμβριος | 12,6 | 12,7 | 12,7 | 13,3 | 13,9 | 14,3 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,4 | 14,2 | 13,9 | 13,5 | 13,3 | 117,8 |

Ρόδος:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 9,8 | 9,8 | 10 | 10,8 | 11,9 | 12,8 | 13,1 | 13,2 | 13,5 | 13,4 | 13,1 | 12,6 | 11,8 | 11,3 | 135,7 |
| Φεβρουάριος | 10,4 | 10,4 | 10,8 | 11,9 | 12,8 | 13,5 | 13,9 | 14,2 | 14,3 | 14,3 | 14,1 | 13,7 | 13 | 12,3 | 142 |
| Μάρτιος | 11,9 | 11,9 | 12,9 | 14,3 | 15,4 | 16 | 16,3 | 16,6 | 16,9 | 16,9 | 16,7 | 16,2 | 15,5 | 14,4 | 206 |
| Απρίλιος | 13,8 | 14 | 14,7 | 16,1 | 17 | 17,7 | 18,2 | 18,6 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 18,4 | 17,9 | 17,2 | 246,7 |
| Μάιος | 16,5 | 17,1 | 18,6 | 20 | 20,9 | 21,5 | 22,1 | 22,4 | 22,7 | 22,8 | 22,7 | 22,3 | 21,8 | 21 | 314,5 |
| Ιούνιος | 20,5 | 21,1 | 22,5 | 24,1 | 24,7 | 25,5 | 26,3 | 26,9 | 27,1 | 27,5 | 27,2 | 27 | 26,4 | 25,8 | 355,5 |
| Ιούλιος | 22,9 | 23,3 | 24,5 | 25,8 | 26,7 | 27,4 | 28,3 | 28,6 | 29 | 29,3 | 29,3 | 29 | 28,6 | 27,9 | 387,1 |
| Αύγουστος | 23,1 | 23,3 | 24,1 | 25,6 | 26,6 | 27,2 | 28,1 | 28,5 | 28,7 | 29 | 28,9 | 28,7 | 28,2 | 27,5 | 373,3 |
| Σεπτέμβριος | 20,9 | 20,9 | 21,6 | 23,2 | 24,4 | 25,2 | 25,8 | 26,1 | 26,3 | 26,6 | 26,6 | 26,2 | 25,5 | 24,5 | 313,3 |
| Οκτώβριος | 18,3 | 18,4 | 19,2 | 20,8 | 22,1 | 22,8 | 23,2 | 23,4 | 23,7 | 23,8 | 23,5 | 22,8 | 21,8 | 20,9 | 239,6 |
| Νοέμβριος | 14,6 | 14,6 | 15 | 16,5 | 17,7 | 18,2 | 18,8 | 19,1 | 19,1 | 19 | 18,5 | 17,8 | 16,9 | 16,2 | 184,4 |
| Δεκέμβριος | 11,9 | 11,8 | 11,9 | 12,7 | 14,1 | 14,9 | 15,2 | 15,5 | 15,4 | 15,4 | 15 | 14,2 | 13,4 | 13 | 142,1 |

Σάμος:

| Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,7 | 10,6 | 11,1 | 11,6 | 11,9 | 11,9 | 12 | 11,8 | 11,3 | 10,8 | 10,5 | 129,3 |
| Φεβρουάριος | 9,7 | 9,6 | 9,8 | 10,5 | 11,2 | 11,7 | 12,2 | 12,4 | 12,6 | 12,7 | 12,6 | 12,3 | 11,7 | 11,3 | 139,2 |
| Μάρτιος | 10,6 | 10,8 | 11,4 | 12,2 | 12,9 | 13,4 | 13,9 | 14,3 | 14,5 | 14,5 | 14,4 | 14,1 | 13,5 | 12,9 | 182,9 |
| Απρίλιος | 13,4 | 14 | 14,8 | 15,6 | 16,4 | 16,8 | 17,3 | 17,7 | 17,7 | 17,7 | 17,6 | 17,3 | 16,7 | 15,9 | 224,6 |
| Μάιος | 16,9 | 17,9 | 18,8 | 19,6 | 20,3 | 20,7 | 21,3 | 21,6 | 21,7 | 21,9 | 21,8 | 21,5 | 20,9 | 20,1 | 299,3 |
| Ιούνιος | 20,7 | 21,7 | 22,6 | 23,4 | 24,1 | 24,7 | 25,3 | 25,8 | 26,1 | 26,3 | 26,2 | 26 | 25,4 | 24,6 | 348,7 |
| Ιούλιος | 22,5 | 23,3 | 24,1 | 25 | 25,8 | 26,5 | 27,3 | 27,8 | 28,1 | 28,3 | 28,3 | 28,1 | 27,7 | 26,9 | 377,6 |
| Αύγουστος | 22,3 | 22,7 | 23,5 | 24,4 | 25,2 | 26 | 26,8 | 27,4 | 27,7 | 28 | 28 | 27,6 | 27,1 | 26,3 | 356,3 |
| Σεπτέμβριος | 19,8 | 20,2 | 21 | 22 | 22,9 | 23,6 | 24,1 | 24,8 | 25,1 | 25,3 | 25,1 | 24,7 | 24 | 23,2 | 300,5 |
| Οκτώβριος | 17 | 17,1 | 18 | 19 | 19,8 | 20,3 | 20,8 | 21,2 | 21,3 | 21,4 | 21,2 | 20,6 | 19,8 | 19,3 | 230,6 |
| Νοέμβριος | 14,4 | 14,4 | 14,8 | 15,7 | 16,5 | 17 | 17,5 | 17,7 | 17,8 | 17,7 | 17,4 | 16,7 | 16,2 | 15,8 | 168,4 |
| Δεκέμβριος | 11,2 | 11,1 | 11,2 | 11,8 | 12,5 | 13 | 13,3 | 13,6 | 13,7 | 13,7 | 13,5 | 12,9 | 12,5 | 12,3 | 122,4 |

Σέρρες:

| Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 1,4 | 1,2 | 0,9 | 1,1 | 2,4 | 4,3 | 5 | 5,9 | 7,5 | 7,1 | 7,2 | 6,7 | 5,9 | 5,1 | 101,5 |
| Φεβρουάριος | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,6 | 3,6 | 5,9 | 6,9 | 7,9 | 9,3 | 9,4 | 9,4 | 9,2 | 8,5 | 7,5 | 108 |
| Μάρτιος | 5,4 | 5,1 | 5,2 | 6 | 7,2 | 9,3 | 10,2 | 11,1 | 12,3 | 12,5 | 12,5 | 12,1 | 11,4 | 10,2 | 157,8 |
| Απρίλιος | 10 | 9,7 | 11,1 | 12,8 | 14,5 | 16,9 | 17,8 | 18,9 | 20 | 20,2 | 20,2 | 19,3 | 18,4 | 17 | 198,8 |
| Μάιος | 13,9 | 14 | 15,8 | 17 | 18,4 | 20,9 | 21,4 | 22,5 | 24 | 23,9 | 23,7 | 23 | 22,1 | 20,9 | 260,2 |
| Ιούνιος | 17,2 | 17,6 | 19,9 | 21,4 | 23 | 25,2 | 26,1 | 27 | 28,1 | 28,1 | 27,9 | 27,5 | 26,7 | 25,6 | 293 |
| Ιούλιος | 20,4 | 20,5 | 22,6 | 24,5 | 26,2 | 28,5 | 29,7 | 30,8 | 32,1 | 32,1 | 32,3 | 31,8 | 31 | 29,7 | 321,3 |
| Αύγουστος | 19,6 | 19,4 | 21,1 | 23,4 | 25,6 | 28,2 | 29,5 | 30,6 | 31,9 | 32,2 | 32 | 31,6 | 30,8 | 29,3 | 307,9 |
| Σεπτέμβριος | 15,5 | 15,3 | 16,7 | 18,4 | 20,7 | 23,8 | 25,1 | 26,3 | 27,8 | 28 | 28,1 | 27,6 | 26,1 | 21,1 | 235,5 |
| Οκτώβριος | 9,6 | 9,2 | 9,8 | 11,5 | 13,8 | 16,4 | 17,5 | 18,8 | 19,9 | 20 | 20 | 19,1 | 17,7 | 16,2 | 172,6 |
| Νοέμβριος | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 5,4 | 6,7 | 8,3 | 9,5 | 10,6 | 11,6 | 11,6 | 11,4 | 10,8 | 9,6 | 8,8 | 128 |
| Δεκέμβριος | 1,6 | 1,2 | 1 | 1,5 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8,1 | 8,1 | 7,9 | 7,2 | 6,3 | 5,5 | 110,9 |

Σητεία:

| Μήνες \ Ωρες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|--------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 10,3 | 10,9 | 11 | 12,4 | 13,6 | 14,2 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,3 | 13,9 | 13,3 | 12,5 | 12,1 | 112,6 |
| Φεβρουάριος | 10,9 | 10,9 | 11,4 | 13,8 | 14,2 | 14,7 | 14,9 | 15,1 | 15 | 14,8 | 14,5 | 14 | 13,2 | 12,5 | 129,2 |
| Μάρτιος | 11,6 | 11,9 | 13,1 | 15,4 | 15,5 | 16 | 16,2 | 16,5 | 16,5 | 16,3 | 15,9 | 15,5 | 14,7 | 13,8 | 182,5 |
| Απρίλιος | 13,5 | 14,8 | 16,5 | 17,8 | 18,4 | 18,8 | 19,2 | 19,3 | 19,4 | 19,1 | 18,8 | 18,3 | 17,4 | 16,5 | 229,2 |
| Μάιος | 16,5 | 18,6 | 20,6 | 21,6 | 22,1 | 22,4 | 22,7 | 22,9 | 23 | 22,8 | 22,6 | 22,2 | 21,5 | 20,2 | 309,3 |
| Ιούνιος | 20,8 | 23,1 | 24,6 | 25,4 | 25,9 | 26,1 | 26,4 | 26,6 | 26,6 | 26,6 | 26,4 | 26 | 25,4 | 24,3 | 348,8 |
| Ιούλιος | 23,1 | 24,7 | 26,1 | 26,8 | 27,3 | 27,6 | 27,9 | 28 | 28,1 | 28,1 | 27,7 | 27,6 | 26,9 | 25,9 | 376,3 |
| Αύγουστος | 23 | 24,3 | 25,9 | 26,8 | 27,4 | 27,7 | 28,5 | 28,1 | 28,1 | 28,1 | 27,8 | 27,3 | 26,5 | 25,5 | 348,4 |
| Σεπτέμβριος | 20,6 | 21,5 | 23,3 | 24,8 | 25,3 | 25,7 | 26 | 26,1 | 26,1 | 25,8 | 25,5 | 24,8 | 24 | 23 | 282,6 |
| Οκτώβριος | 17,8 | 18,1 | 19,6 | 21,5 | 22,2 | 22,5 | 22,9 | 23 | 22,9 | 22,7 | 22,1 | 21,4 | 20,5 | 19,7 | 200,3 |
| Νοέμβριος | 15 | 15,1 | 16 | 17,9 | 19,3 | 19,8 | 20 | 20 | 20 | 19,5 | 19 | 17,9 | 17,2 | 16,7 | 166,1 |
| Δεκέμβριος | 12,8 | 12,8 | 13 | 14,4 | 15,6 | 16,1 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,1 | 15,5 | 14,7 | 13,6 | 13,7 | 118,7 |

Σκύρος:

| Μήνες \ Ωρες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|--------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| Ιανουάριος | 9,3 | 9,2 | 9,2 | 9,8 | 10,8 | 11,4 | 11,1 | 11,3 | 11,3 | 11,1 | 11,2 | 10,7 | 10,1 | 9,9 | 77 |
| Φεβρουάριος | 9,7 | 9,6 | 9,8 | 10,5 | 11,1 | 11,6 | 11,8 | 11,9 | 12 | 11,9 | 11,7 | 11,6 | 11,1 | 10,5 | 100,8 |
| Μάρτιος | 10,2 | 10,5 | 10,5 | 11,9 | 12,4 | 12,7 | 13 | 13,3 | 13,3 | 13,5 | 13,3 | 13 | 12,5 | 11,9 | 140,8 |
| Απρίλιος | 11,9 | 12,7 | 13,7 | 14,5 | 15 | 15,4 | 15,7 | 15,7 | 15,8 | 15,8 | 15,7 | 15,4 | 15 | 14,2 | 214 |
| Μάιος | 16,5 | 18,1 | 19,2 | 19,8 | 20,3 | 20,6 | 20,8 | 21,1 | 21,2 | 21,3 | 21,1 | 21 | 20,7 | 19,9 | 300 |
| Ιούνιος | 20,8 | 22,3 | 23,2 | 23,8 | 24,2 | 24,3 | 24,7 | 24,7 | 24,8 | 24,9 | 25 | 24,8 | 24,6 | 24 | 337,9 |
| Ιούλιος | 22,7 | 24,1 | 25 | 25,5 | 25,9 | 26,1 | 26,4 | 26,6 | 26,7 | 26,9 | 26,9 | 26,8 | 26,6 | 25,9 | 363,6 |
| Αύγουστος | 22,3 | 23,4 | 24,3 | 24,8 | 25,2 | 25,3 | 25,9 | 26,2 | 26,3 | 26,5 | 26,4 | 26,3 | 25,9 | 25,2 | 341,5 |
| Σεπτέμβριος | 19,7 | 20,4 | 21,7 | 22,5 | 23 | 23,3 | 23,6 | 23,7 | 23,8 | 23,7 | 23,7 | 23,4 | 23,3 | 21,9 | 260,6 |
| Οκτώβριος | 16,9 | 17 | 17,7 | 18,8 | 19,3 | 19,7 | 19,9 | 20,1 | 20 | 19,8 | 19,6 | 19,2 | 18,5 | 18,1 | 180,8 |
| Νοέμβριος | 14 | 13,9 | 14,2 | 15,4 | 16,2 | 16,4 | 16,7 | 16,9 | 16,9 | 16,6 | 16,4 | 16,3 | 15,1 | 14,8 | 124,1 |
| Δεκέμβριος | 10,8 | 10,9 | 10,9 | 11,5 | 12,2 | 12,6 | 12,7 | 12,8 | 12,9 | 12,8 | 12,6 | 12 | 11,5 | 11,3 | 92,5 |

Τυρπώκι:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 9,2 | 9 | 9,2 | 10,8 | 12,6 | 13,5 | 14,5 | 14,7 | 14,7 | 14,5 | 14,1 | 13,7 | 12,7 | 11,9 | 146,4 |
| Φεβρουάριος | 9,4 | 9,3 | 9,7 | 12 | 13,9 | 14,7 | 15,2 | 15,3 | 15,4 | 15,2 | 14,9 | 14,9 | 13,5 | 12,6 | 152,3 |
| Μάρτιος | 9,7 | 9,7 | 11,1 | 14 | 15,5 | 16,1 | 16,5 | 16,6 | 16,6 | 16,5 | 16,2 | 15,8 | 14,9 | 13,9 | 218,4 |
| Απρίλιος | 11,8 | 12,7 | 14,8 | 17,4 | 18,5 | 18,8 | 18,7 | 18,8 | 18,9 | 18,7 | 18,9 | 18,6 | 17,6 | 16,7 | 234,8 |
| Μάιος | 15,6 | 18,1 | 20,2 | 22,3 | 22,6 | 22,9 | 23,2 | 23,4 | 23,3 | 23,4 | 23,2 | 22,8 | 22,1 | 21 | 304,5 |
| Ιούνιος | 19,8 | 22,5 | 24,6 | 26,1 | 26,3 | 26,4 | 26,9 | 27,1 | 27,2 | 27,1 | 26,9 | 26,5 | 25,8 | 24,9 | 351,7 |
| Ιούλιος | 21,6 | 24 | 26,3 | 28,1 | 28,6 | 28,9 | 29,6 | 29,8 | 29,9 | 29,9 | 29,6 | 29,2 | 28,3 | 27,3 | 376,7 |
| Αύγουστος | 21,4 | 23 | 25,3 | 28 | 28,7 | 29 | 29,6 | 29,9 | 29,9 | 29,8 | 29,5 | 28,9 | 28 | 26,8 | 374,2 |
| Σεπτέμβριος | 19 | 20 | 22,2 | 25,7 | 26,8 | 27 | 27,4 | 27,6 | 27,6 | 27,5 | 27,2 | 26,5 | 25,3 | 24,2 | 296,4 |
| Οκτώβριος | 15,8 | 16,1 | 17,6 | 20,9 | 22,6 | 23 | 23,4 | 23,5 | 23,5 | 23,2 | 22,8 | 22,1 | 20,9 | 20 | 235,7 |
| Νοέμβριος | 12,4 | 12,3 | 13 | 15,9 | 18 | 18,9 | 19,5 | 19,6 | 19,6 | 19,3 | 18,8 | 18,1 | 16,9 | 16,1 | 186,9 |
| Δεκέμβριος | 10,4 | 10,3 | 10,5 | 12,4 | 14,3 | 15,4 | 16,2 | 16,3 | 16,4 | 16,1 | 15,7 | 15,1 | 13,9 | 13,3 | 150,7 |

Χανιά:

| Ωρες Μήνες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Ωρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 10,6 | 10,6 | 10,6 | 11,5 | 12,7 | 13,7 | 14,3 | 14,4 | 14,5 | 14,4 | 14,1 | 13,4 | 12,5 | 11,9 | 111,7 |
| Φεβρουάριος | 10,6 | 10,5 | 10,7 | 11,9 | 13,4 | 14,3 | 13,9 | 15,2 | 15,1 | 15 | 15 | 14,3 | 13,3 | 12,5 | 128,9 |
| Μάρτιος | 11,2 | 11,3 | 11,8 | 13,6 | 14,7 | 15,4 | 15,9 | 16,1 | 16,1 | 16 | 15,8 | 15,4 | 14,6 | 13,6 | 174,4 |
| Απρίλιος | 13,2 | 13,7 | 15,1 | 16,9 | 17,9 | 18,5 | 19 | 19,2 | 19,2 | 19,1 | 18,8 | 18,4 | 17,5 | 16,3 | 228,5 |
| Μάιος | 116,4 | 17,6 | 19,6 | 21,3 | 22,2 | 22,6 | 23 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 22,9 | 22,5 | 21,8 | 20,7 | 314,2 |
| Ιούνιος | 20,3 | 21,9 | 24,2 | 25,7 | 26,4 | 26,7 | 26,9 | 27 | 27 | 27,7 | 27 | 26,6 | 26 | 25 | 367,8 |
| Ιούλιος | 22,3 | 23,6 | 26,1 | 27,8 | 28,5 | 28,7 | 29 | 29,1 | 29,1 | 29,2 | 29,7 | 28,8 | 28,2 | 27,2 | 391,7 |
| Αύγουστος | 22,5 | 23,2 | 25,4 | 27,7 | 28,6 | 28,9 | 29,2 | 29,4 | 29,3 | 29,4 | 29,2 | 28,9 | 28 | 26,9 | 368,4 |
| Σεπτέμβριος | 19,9 | 20,3 | 21,6 | 24,1 | 25,4 | 25,8 | 26,2 | 26,4 | 26,3 | 26,2 | 25,9 | 25,3 | 24,3 | 23,2 | 276,3 |
| Οκτώβριος | 17,3 | 17,4 | 18,1 | 20,3 | 21,6 | 22,1 | 22,5 | 22,7 | 22,6 | 22,6 | 22,2 | 21,6 | 20,4 | 19,5 | 183,8 |
| Νοέμβριος | 15,1 | 15,1 | 15,3 | 16,9 | 18,7 | 19,5 | 20 | 20 | 19,9 | 19,9 | 19,5 | 18,7 | 17,5 | 16,8 | 157,7 |
| Δεκέμβριος | 12,5 | 11,9 | 12,5 | 13,5 | 14,9 | 15,8 | 16,3 | 16,3 | 16,3 | 16,4 | 16 | 15,2 | 14,1 | 13,6 | 115,4 |

Χίος:

| Μήνες Όρες | 5 με 6 | 6 με 7 | 7 με 8 | 8 με 9 | 9 με 10 | 10 με 11 | 11 με 12 | 12 με 13 | 13 με 14 | 14 με 15 | 15 με 16 | 16 με 17 | 17 με 18 | 18 με 19 | Όρες ηλιοφάνειας |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|
| Ιανουάριος | 8,6 | 8,5 | 8,6 | 9,4 | 10,3 | 10,9 | 11,2 | 11,4 | 11,4 | 11,3 | 11,1 | 10,7 | 10,1 | 9,7 | 107,7 |
| Φεβρουάριος | 9,1 | 9 | 9,3 | 10,3 | 11 | 11,5 | 11,8 | 12 | 12,1 | 12,1 | 11,8 | 11,5 | 10,8 | 10,4 | 119,8 |
| Μάρτιος | 9,5 | 9,8 | 10,6 | 11,9 | 12,6 | 13,1 | 13,6 | 13,7 | 13,8 | 13,9 | 13,8 | 13,4 | 12,7 | 12 | 176,3 |
| Απρίλιος | 12 | 13 | 14,5 | 15,8 | 16,4 | 16,8 | 17,2 | 17,4 | 17,5 | 17,6 | 17,4 | 16,9 | 16,2 | 15,2 | 225,4 |
| Μάιος | 16,2 | 18,1 | 19,4 | 20,2 | 20,8 | 21,3 | 21,9 | 22,3 | 22,4 | 22,6 | 22,4 | 22,1 | 21,3 | 20,3 | 318,6 |
| Ιούνιος | 20,1 | 22,1 | 23,3 | 24,1 | 24,7 | 25,2 | 25,8 | 26,3 | 26,6 | 26,9 | 26,9 | 26,6 | 25,8 | 24,9 | 359,3 |
| Ιούλιος | 22,8 | 24,3 | 25,1 | 25,9 | 26,5 | 27 | 27,9 | 28,5 | 28,9 | 29,2 | 29,5 | 29,3 | 28,8 | 27,7 | 391,3 |
| Αύγουστος | 21,9 | 23,1 | 24,3 | 25,2 | 25,8 | 26,4 | 27,1 | 27,8 | 28,2 | 28,7 | 28,7 | 28,4 | 27,9 | 26,7 | 367,3 |
| Σεπτέμβριος | 19,1 | 19,8 | 21,3 | 22,7 | 23,2 | 23,7 | 24,3 | 24,8 | 25,2 | 25,4 | 25,4 | 25,1 | 24,2 | 23,1 | 293,8 |
| Οκτώβριος | 15,7 | 16 | 17,3 | 19 | 19,6 | 20 | 20,5 | 20,6 | 20,7 | 20,7 | 20,5 | 19,9 | 19,1 | 18,3 | 222,5 |
| Νοέμβριος | 13,2 | 13,2 | 13,7 | 15,3 | 16,2 | 16,7 | 17 | 17,1 | 17,2 | 17 | 16,6 | 15,9 | 15,1 | 14,6 | 153,5 |
| Δεκέμβριος | 10 | 9,9 | 10 | 11,1 | 12 | 12,5 | 12,8 | 12,9 | 12,9 | 12,8 | 12,5 | 11,8 | 11,3 | 11 | 118,7 |