

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ ΤΟΥ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ
ΣΑΡΑΝΤΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
Α.Μ 38876

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Κ.Α.ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΑΙΓΑΛΕΩ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

803
M/X

Ε.Ε. ΜΗΧ/ΚΩΝ Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑΣ
ΜΗΧ/ΚΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ
ΠΡΑΜΜΑΣΙΑ ΜΗΧ/ΚΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα διερευνηθεί η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στη στέγη των κτηρίων του ΤΕΙ Πειραιά. Ουσιαστικά γίνεται μια μελέτη ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση στην εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ με τελικό αποτέλεσμα την μέγιστη παραγωγή ενέργειας από την εγκατάσταση.

Αρχικά γίνεται μια μελέτη για την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του ΤΕΙ Πειραιά ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του μεγέθους των κτηρίων από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης η οποία θα χρησιμοποιηθεί μετά για να δούμε το ποσοστό αυτονομίας του ΤΕΙ Πειραιά. Στη συνέχεια παίρνουμε μετρήσεις ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο από τα καταγραφικά μηχανήματα του ΤΕΙ Πειραιά και μέσα από εξισώσεις υπολογίζουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο. Ξέροντας πλέον την ακτινοβολία για κάθε κλίση και εξετάζοντας κάποια σενάρια βρίσκουμε την βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών η οποία θα μας επιφέρει την μέγιστη παραγωγή ενέργειας.

Τέλος, παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις σχετικά με την προοπτική εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στο ΤΕΙ Πειραιά και τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από την παρούσα εργασία.

Λέξεις κλειδιά: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, βέλτιστη κλίση φ/β πάνελ, υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.

ABSTRACT

On the following project we will investigate the installation of a photovoltaic system on the roof of buildings of TEI Piraeus. In fact, there is a search on finding the optimal solution on installation of photovoltaic panels with the final result the biggest production of energy from the installation.

For start, we do a search to valuate the electrical consumption of TEI Piraeus, so that there will be a completed picture for the size of the buildings in terms of energy consumption. Then, we take radiation measurements in the horizontal plane of the recorder of TEI Piraeus and through equations calculate solar radiation on slopes. Knowing now the radiation for each tilt, we considering some scenarios to find the optimal slope of photovoltaic system which will bring us the greatest generation.

Finally, there are some other presentations about the pontential installation of photovoltaic panels and the conclusions that have come up from the present project.

Keywords : photovoltaic systems, optimal slope pv panels, measuring solar radiation on inclined plane .

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Περιεχόμενα	3
Ευρετήριο Εικόνων	4
Ευρετήριο Σχημάτων	5
Ευρετήριο Πινάκων	5
Συμβολισμοί	6
1.Ορισμός του προβλήματος και ενεργειακός προσδιορισμός.....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Ορισμός του προβλήματος.....	7
1.3 Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα	8
1.4 Ενσωματωμένα Φ/Β συστήματα σε στέγες.....	10
2. Παράμετροι εγκατάστασης Φ/Β συστημάτων	14
2.1 Σκίαση	14
2.2 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίων	15
2.3 Απόσταση Φ/Β.....	16
2.4 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Απόδοση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	18
3. Ηλεκτρικές καταναλώσεις ΤΕΙ Πειραιά	20
3.1 Περιγραφή των εγκαταστάσεων του ΤΕΙ Πειραιά.....	20
3.2 Ηλεκτροδότηση του ΤΕΙ Πειραιά	21
3.3 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ	22
4. Ηλιακή ακτινοβολία	27
4.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ακτινοβολία.....	27
4.2 Υπολογισμός ακτινοβολίας.....	29
4.3 Αποτελέσματα ακτινοβολίας και βέλτιστη κλίση φ/β	34
5. Παραγωγή Φ/Β.....	37
5.1 Επιλογή Φ/Β πλαισίων.....	37
5.2 Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας.....	39
5.3 Σενάρια υπολογισμού παραγωγής ενέργειας.....	41
6. Διαστασιολόγηση Φ/Β εγκατάστασης	45
6.1 Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων.....	45
6.2 Αποφυγή σκιάσεων.....	46
6.3 Εισαγωγή Φ/Β	47
6.4 Παραγωγή συστήματος.....	52
6.5 Σύγκριση με PVGIS	52

7. Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	55
8. Βιβλιογραφία.....	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση σε toe.....	8
Εικόνα 1.2: Μερίδιο της συνολικής πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα το 2011.....	9
Εικόνα 1.3: Παράδειγμα φωτοβολταϊκού συστήματος ενσωματωμένο σε πρόσοψη κτιρίου στη Λ. Αλεξάνδρας.....	10
Εικόνα 1.4: Παράδειγμα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού σε πρόσοψη κτιρίου στον Ταύρο-Αθήνα.....	11
Εικόνα 1.5: Σιδηροδρομικός σταθμός Lehrter στο Βερολίνο με Φ/Β πλαίσια με διαφορετική καμπυλότητα και μέγεθος.....	12
Εικόνα 1.6: Ενσωμάτωση Φ/Β σε κεκλιμένη στέγη.....	12
Εικόνα 1.7: Φ/Β πάρκο στις στέγες των κτηρίων της ABB Ελλάδος.....	13
Εικόνα 1.8: Στέγη στη ΒΙ.ΠΕ Ιωαννίνων.....	13
Εικόνα 2.1: Ενδεικτικές απώλειες από την σκίαση.....	15
Εικόνα 2.2: Επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στις απώλειες ακτινοβολίας συγκριτικά με την ετήσια παραγωγή.....	16
Εικόνα 2.3: Διάγραμμα συσχέτισης γωνίας κλίσης $\beta(^{\circ})$ πλαισίων, γωνίας σκίασης $\alpha(^{\circ})$ και του ποσοστού απωλειών f	16
Εικόνα 2.4: Διάγραμμα συσχέτισης γωνίας κλίσης $\beta(^{\circ})$ πλαισίων, γωνίας σκίασης $\alpha(^{\circ})$ και συντελεστή f	17
Εικόνα 2.5: Σύμβολα επιφανειών που σχετίζονται με τη σκίαση.....	18
Εικόνα 3.1: Δορυφορική απεικόνιση του ΤΕΙ Πειραιά.....	20
Εικόνα 3.2: Σχηματική παράσταση δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ Πειραιά.....	21
Εικόνα 3.3: Κάτοψη χώρου κεντρικού σταθμού διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ Πειραιά.....	22
Εικόνα 4.1: Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού πλαισίου.....	27
Εικόνα 4.2: Επίδραση της θερμοκρασίας στην I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού πλαισίου.....	28
Εικόνα 4.3: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στον βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.....	29
Εικόνα 4.4: Πράξεις υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.....	34
Εικόνα 4.5: Πράξεις υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.....	34
Εικόνα 4.6: Μεταβολή μηνιαίας ακτινοβολίας (W/m^2) ανάλογα τη γωνία κλίσης $(^{\circ})$	35
Εικόνα 5.1: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους $25^{\circ}C$	38
Εικόνα 5.2: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές θερμοκρασία του πλαισίου σε σταθερή ακτινοβολία $1.000 W/m^2$	39

Εικόνα 6.1: Εγκαταστάσεις ΤΕΙ Πειραιά στο Google - Earth	45
Εικόνα 6.2: Κτήριο προς μελέτη στο Sketch-Up	46
Εικόνα 6.3 Τελική επιφάνεια χρησιμοποίησης Φ/Β	46
Εικόνα 6.4: Σκιάσεις στην περιοχή προς μελέτη στις 10:00 πμ στις 22/12	47
Εικόνα 6.5: Σκιάσεις στην περιοχή προς μελέτη στις 3:00 μμ στις 22/12	47
Εικόνα 6.6: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων	48
Εικόνα 6.7: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων	49
Εικόνα 6.8: Τοποθετημένα πλαίσια σε κάθετη διάταξη (Portrait) στο κτήριο για 30°	50
Εικόνα 6.9: Τοποθετημένα πλαίσια σε κάθετη οριζόντια διάταξη (Landscape) στο κτήριο για 30°	50
Εικόνα 6.10: Τοποθετημένα πλαίσια σε κάθετη διάταξη (Portrait) στο κτήριο για 55°	51
Εικόνα 6.11: Τοποθετημένα πλαίσια σε οριζόντια διάταξη (Landscape) στο κτήριο για 55°	51
Εικόνα 6.12: Πρόγραμμα υπολογισμού ετήσιας παραγωγής.....	53

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ για τη χρονική περίοδο 2008-2012	22
Σχήμα 3.2: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης για χρονική περίοδο 2008-2012 στο ΤΕΙ Πειραιά.....	23
Σχήμα 3.3: Ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας τον μήνα Ιούνιο την περίοδο 2008-2012	24
Σχήμα 3.4: Ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας τον μήνα Απρίλιο την περίοδο 2008-2012	24
Σχήμα 4.1: Ετήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.....	29
Σχήμα 4.2: Μεταβολή εξίσωσης χρόνου συναρτήσει της ημέρας του έτους.....	30
Σχήμα 4.3: Διορθωτικός συντελεστής λόγω εκκεντρότητας της γης	31
Σχήμα 4.4: Μεταβολή ηλιακής απόκλισης συναρτήσει ημέρας του έτους.....	31
Σχήμα 4.5: Μεταβολή της ετήσιας ακτινοβολίας ανάλογα την γωνία κλίσης των Φ/Β.....	35
Σχήμα 5.1: Μεταβολή της ισχύος ανάλογα την ένταση ακτινοβολίας	40
Σχήμα 5.2: Ετήσια παραγωγή ανά γωνία κλίσης	41
Σχήμα 5.3: Μεταβολή ανηγμένης παραγωγής ενέργειας συναρτήσει της γωνίας κλίσης.....	42
Σχήμα 5.4: Παραγωγή Μαρτίου-Σεπτεμβρίου για 15° και 55°	43
Σχήμα 6.1: Ετήσια παραγωγή.....	52
Σχήμα 6.2: Σύγκριση των αποτελεσμάτων.....	54

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2008.....	25
Πίνακας 3.2: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2009.....	25
Πίνακας 3.3: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2010.....	25
Πίνακας 3.4: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2011.....	26
Πίνακας 3.5: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2012.....	26

Πίνακας 4.1: Βέλτιστη κλίση για κάθε μήνα	36
Πίνακας 4.2: Ακτινοβολία ανά ώρα για το ΤΕΙ Πειραιά ανάλογα τη γωνία κλίσης	36
Πίνακας 5.1: Ετήσια παραγωγή ανάλογα τη γωνία κλίσης του Φ/Β πάνελ	40
Πίνακας 5.2: Βέλτιστη κλίση για κάθε μήνα, κλίση για παραγωγή άνω του 99% της βέλτιστης μηνιαίας παραγωγής και οι κοινές γωνίες κλίσης	42
Πίνακας 5.3: Μηνιαία παραγωγή στη βέλτιστη κλίση κάθε μήνα.....	43
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωμένα αποτελέσματα	52
Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγωγή κάθε εγκατάστασης	52
Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα βέλτιστης εγκατάστασης.....	54

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

b	Πλάτος
d	Απόσταση συστοιχίας
D	Ιουλιανή μέρα του χρόνου
E	Παραγόμενη ενέργεια
E_o	Διορθωτικός συντελεστής λόγω εκκεντρότητας της γης
E_t	Διορθωτική εξίσωση του χρόνου
f	Συντελεστή χρησιμοποίησης επιφάνειας
I	Ολική ακτινοβολία
I_b	Άμεση ακτινοβολία
$I_{b,\beta}$	Άμεση ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο
I_d	Διάχυτη ακτινοβολία
$I_{d,\beta}$	Διάχυτη ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια
I_o	Ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας
I_r	Ανακλώμενη διάχυτη ακτινοβολία
I_s	Διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο
I_β	Ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο
k_d	Ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας
k_t	Δείκτης αιθριότητας
γ_b	Γεωμετρικός παράγοντας
$L_{στ}$	Μεσημβρινός στον οποίο αναφέρεται η τοπική ώρα
L_T	Τοπικός μεσημβρινός
α	Γωνία σκίασης
β	Γωνία κλίσης φ/β
δ	Ηλιακή απόκλιση
θ	Γωνία πρόσπτωσης
θ_z	Ζενιθιακή γωνία
HX	Ηλιακός χρόνος
TX	Τοπικός χρόνος
ω	Ωριαία γωνία απόκλισης του ήλιου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Το ενεργειακό πρόβλημα που έχει προκύψει εδώ και πολλά χρόνια, έχει αρχίσει να γίνεται ολοένα και πιο έντονο. Η κινητοποίηση των οργανισμών και των κυβερνήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο είναι εμφανής και αυξανόμενη, χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικά επιτεύγματα και αποτελέσματα προς την βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας φαίνεται να είναι η πιο ελπιδοφόρα λύση σε παγκόσμιο επίπεδο για την βελτίωση της κατάστασης. Ακόμα περισσότερο, ενισχύεται η ιδέα της χρήσης των ΑΠΕ σε έργα μικρής κλίμακας, ακόμα και ατομικής χρήσης, ώστε μέσω μιας ενεργειακής προσπάθειας να αντιμετωπισθεί, αν δεν είναι πλέον αργά, το περιβαλλοντικό πρόβλημα. Στόχος του ΤΕΙ Πειραιά είναι να συνεισφέρει σ' αυτήν την παγκόσμια προσπάθεια εγκαθιστώντας ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και να δημιουργήσει οφέλη τόσο ατομικά όσο και κοινωνικά.

1.2 Ορισμός του προβλήματος

Η μεγάλη ανάγκη που υπάρχει από την παγκόσμια κοινότητα για ζήτηση ενέργειας γίνεται ολοένα και εντονότερη. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας η παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση θα αυξηθεί κατά 60% περίπου μέχρι το 2030 [1]. Ταυτόχρονα η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις ίδιες εκτιμήσεις θα διπλασιαστεί την ίδια περίοδο. Η μεγάλη αύξηση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και ταυτόχρονα η εξάρτηση της παγκόσμιας οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα θα οδηγήσουν στην εξάντληση των αποθεμάτων στο μέλλον.

Σε λίγα χρόνια, όπως φαίνεται, θα υπάρχει μια αυξανόμενη διαφορά μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ενέργειας. Οι υπάρχοντες πόροι σε φυσικό αέριο και πετρέλαιο δεν θα μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση με συνέπεια οι ενεργειακές τιμές να αυξάνονται και να δημιουργηθεί μεγάλο ενεργειακό πρόβλημα. Το πρόβλημα αυτό καλούνται να το αντιμετωπίσουν η πυρηνική ενέργεια, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ο άνθρακας. Η χρήση του άνθρακα δε θα μπορεί να αυξηθεί σημαντικά διότι έχει ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα από τις εκπομπές του σε διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης στην πυρηνική ενέργεια, παρόλο που είναι η πιο "καθαρή" ενέργεια, υπάρχει μια αρνητική στάση λόγω των σοβαρών ατυχημάτων που μπορούν να προκληθούν αλλά και τη μη ασφαλή διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων.

Για να μην επιδεινωθεί η κατάσταση και οδηγηθούμε είτε σε πολύ άσχημη οικονομική κατάσταση είτε σε πολεμικές συγκρούσεις θα πρέπει η κοινωνία να στραφεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και στην ορθολογική χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η χρήση των ΑΠΕ μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα [2]. Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλουν στην απεξάρτηση από εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Επίσης δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι φιλικές προς τον άνθρωπο. Ακόμα, αποτελούν (μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας) την κατ'

εξοχήν περιβαλλοντικά φιλική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε μείωση των εκπομπών και από άλλους ρυπαντές, όπως είναι π.χ. τα οξείδια του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή, τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, τα αιωρούμενα σωματίδια, κ.α. Επίσης είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία σε εθνικό επίπεδο καθώς επίσης δημιουργούν μεγάλο αριθμό θέσεων εργασίας. Τέλος, μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την πρόωθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, τηλεθέρμανση οικισμών, μικρών πόλεων, κ.λπ. με ατμό/ζεστό νερό που προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση γεωργικής και δασικής βιομάζας, κ.α.).

1.3 Ενεργειακή Κατάσταση στη Ελλάδα

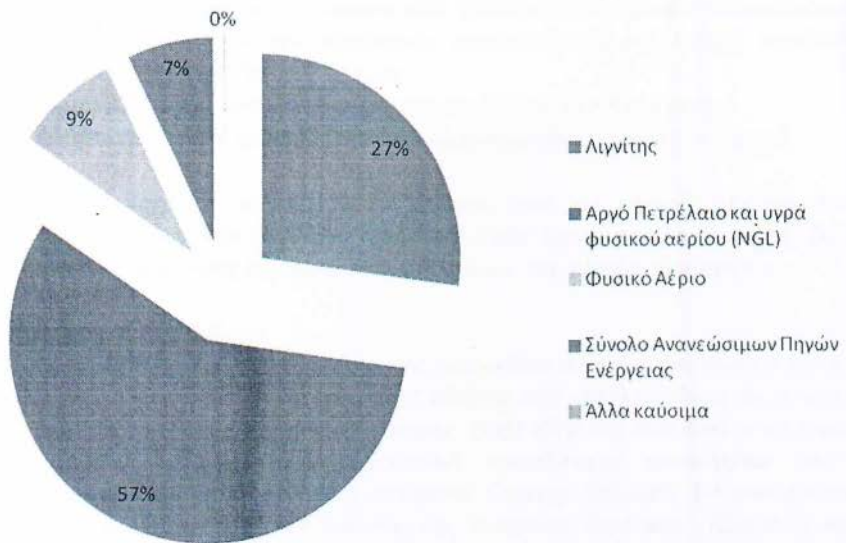
Παρά τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, η χρήση τους στην Ελλάδα είναι ακόμα περιορισμένη και πριν λίγο καιρό άρχισαν να δίνουν κίνητρα στον κόσμο για επένδυση σε ΑΠΕ. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η συνολική κατανάλωση ανά πηγή ενέργειας [3]. Η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης καθώς η κύρια πηγή ενέργειας είναι το πετρέλαιο και ο λιγνίτης. Από το 2010 και μετά άρχισε στην Ελλάδα να περιορίζεται η χρήση του πετρελαίου και λιγνίτη και να αναπτύσσονται οι ΑΠΕ.

Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση σε 1000 toe	Έτος	Αργό Πετρέλαιο και υγρό φυσικού αερίου (NGL)	Λιγνίτης	Υδροηλεκτρική	Αιολική	Ηλιακή Φωτοβολταϊκή Ενέργεια	Γεωθερμική	Στερεή Βιομάζα	Βιοαέριο	Υγρά Βιοκαύσιμα	Ηλιακή Θερμική Ενέργεια
		2004	18827	8646	402	96	0	10	917	36	0
2005	18882	8624	431	109	0	10	957	33	0	101	
2006	19177	8146	504	146	0	11	931	33	45	109	
2007	19407	8398	223	156	0	14	1055	35	85	160	
2008	18226	7994	285	193	0	17	943	34	69	173	
2009	17256	8216	452	219	4	22	847	57	78	182	
2010	18592	7468	643	233	14	25	890	49	143	183	
2011	16264	7670	345	285	52	26	1054	73	106	183	

Εικόνα 1.1: Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση σε toe.

Αντίστοιχα συμπεράσματα βγαίνουν και από την εικόνα 1.2 στην οποία φαίνεται ότι οι ΑΠΕ αποτελούν το 7% της ενεργειακής παραγωγής στην Ελλάδα το 2011 [1].

Ενεργειακό ισοζύγιο Ελλάδας 2011



Εικόνα 1.2: Μερίδιο της συνολικής πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα το 2011.

Από τα παραπάνω κρίνεται απαραίτητη η αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα και γεννήθηκε η ιδέα να εξετασθεί η εγκατάσταση μιας αυτόνομης Φ/Β μονάδας σε ένα κτήριο του ΤΕΙ Πειραιά προκειμένου να μελετηθεί το οικονομικό όφελος του ΤΕΙ από ένα τέτοιο έργο. Μια τέτοια προοπτική θα είχε πολλά οφέλη για το ΤΕΙ.

Το πιο σημαντικό θα ήταν η άμεση οικονομική του ενίσχυση. Το ΤΕΙ, με τη συγκεκριμένη κίνηση, θα μπορούσε να έχει οικονομικό όφελος, κάτι που θα του παρείχε μέχρι ενός βαθμού και οικονομική ανεξαρτησία. Επίσης, η δημιουργία μιας Φ/Β μονάδας σ' ένα από τα κτήρια του ΤΕΙ θα μπορούσε να ωφελήσει εκπαιδευτικά τους σπουδαστές, αλλά και τους καθηγητές. Θα μπορούσαν να γίνονται μετρήσεις και εργαστηριακά μαθήματα στη Φ/Β μονάδα, ώστε οι σπουδαστές να μάθουν και να δουν από κοντά τα οφέλη και τα πλεονεκτήματα της Φ/Β τεχνολογίας, και γενικότερα τα θετικά των ΑΠΕ. Επιλέχθηκε Φ/Β σύστημα διότι είναι εύχρηστα και μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα σε στέγες, είναι αθόρυβα και δεν εκπέμπουν ρύπους, μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας και να λειτουργήσουν συμπληρωματικά, έχουν μικρές απαιτήσεις συντήρησης, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (μεγαλύτερη από 25 χρόνια) και τέλος μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες καταναλώσεις των χρηστών.

1.4 Ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε στέγες

Οι στέγες των κτιρίων αποτελούν μια ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή για ενσωμάτωση Φ/Β. Έτσι υπάρχουν πολλά κτίρια στα οποία έχουν ενσωματωθεί Φ/Β τα οποία είναι είτε διασυνδεδεμένα με το δίκτυο, είτε αυτόνομα. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στο αστικό περιβάλλον διακρίνονται, ανάλογα με την τοποθέτησή τους, σε:

- συστήματα ενσωματωμένα στη στέγη του κτιρίου (σε κεκλιμένη ή επίπεδη στέγη)
- συστήματα ενσωματωμένα στην πρόσοψη κτιρίων (παράθυρα, φωταγωγούς, σκίαστρα)

Τα παρακάτω παραδείγματα παρουσιάζουν κάποιες από τις εφικτές τεχνικά λύσεις ενσωμάτωσης Φ/Β σε κτίρια. Στη σύντομη περιγραφή κάθε έργου περιλαμβάνονται βασικά δεδομένα για τη Φ/Β εγκατάσταση π.χ ισχύς, τύπος πλαισίων, τεχνολογία, περιοχή κ.α.

Πρόσοψη κτιρίου στη Λ. Αλεξάνδρας

Ένα παράδειγμα φωτοβολταϊκού συστήματος ενσωματωμένο σε πρόσοψη κτιρίου είναι της εταιρείας ANKOT, στη Λ. Αλεξάνδρας στο κέντρο της Αθήνας, που ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2009. Το φωτοβολταϊκό σύστημα ονομαστικής ισχύος 19,80 kWp και αναμένεται να παράγει τουλάχιστον 27 MWh το χρόνο. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από 30 φωτοβολταϊκά πλαίσια, 220 Wp έκαστο, της εταιρείας Conergy (PP220P), 60 φωτοβολταϊκά πλαίσια κρυσταλλικού τύπου, 220 Wp έκαστο, της εταιρείας SunPower (220-BLK) και 2 φωτοβολταϊκά πλαίσια SunPower 220-BLK dummies, τα οποία εγκαταστάθηκαν για λόγους ενιαίας αισθητικής και δεν συνδέθηκαν στο σύστημα. Στο σύστημα εγκαταστάθηκαν 3 μετατροπείς Sunny Mini Central 7000HV της SMA καθώς και σύστημα τηλεμετρίας SMA. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια Conergy PP220P στηρίχθηκαν επί της στέγης του κτιρίου με το σύστημα στήριξης Conergy Sun Top III ενώ τα πλαίσια SunPower 220-BLK, τοποθετήθηκαν στην πρόσοψη του κτιρίου, στηριζόμενα απευθείας πάνω σε ειδική μεταλλική κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα.[4]



Εικόνα 1.3: Παράδειγμα φωτοβολταϊκού συστήματος ενσωματωμένο σε πρόσοψη κτιρίου στη Λ. Αλεξάνδρας

Πρόσοψη κτιρίου στο Ταύρο-Αθήνα

Επίσης παράδειγμα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού σε πρόσοψη κτιρίου αποτελεί η ανάπλαση της εργατικής πολυκατοικίας στο Ταύρο – Αθήνα το οποίο απεικονίζεται παρακάτω. Στο συγκεκριμένο έργο έχουν χρησιμοποιηθεί και συνδεθεί μεταξύ τους φωτοβολταϊκές γεννήτριες

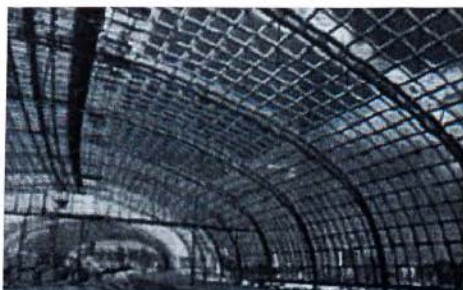
με διαφορετικές διαστάσεις, διαφορετική τάση και ισχύ, δίνοντας έτσι μεγάλη ευκολία στο σχεδιασμό. Το ενσωματωμένο διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στην πολυκατοικία στο Ταύρο είναι ισχύος 11,9 kWp και αποτελείται από 82 φωτοβολταϊκές γεννήτριες ισχύος 100W (24V ανά γεννήτρια) και από 74 φωτοβολταϊκές γεννήτριες ισχύος 50W, των 12V. Οι γεννήτριες είναι της εταιρείας Naps Systems Oy και η διασύνδεση με το δίκτυο έγινε με διασυνδεδεμένους αντιστροφέας της εταιρείας SMA.[4]



Εικόνα 1.4: Παράδειγμα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού σε πρόσοψη κτιρίου στο Ταύρο-Αθήνα

Σιδηροδρομικός σταθμός Lehrter στο Βερολίνο

Στο σιδηροδρομικό σταθμό Lehrter στο Βερολίνο όπου η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών έγινε στη στέγη, όπου τα φωτοβολταϊκά παίζουν το ρόλο της σκεπής υποκαθιστώντας το αντίστοιχο οικοδομικό υλικό (π.χ τα κεραμίδια). Εκεί τα χωρίς πλαίσια φωτοβολταϊκά στοιχεία αντικαθιστούν την υαλοκατασκευή στη διαπερατή οροφή της κεντρικής αίθουσάς και τοποθετούνται σε γραμμική διάταξη πάνω σε πλέγμα από ατσάλι. Η ισχύς τους είναι 189 kWp σε επιφάνεια 1700 m². [4]



Εικόνα 1.5: Σιδηροδρομικός σταθμός Lehrtet στο Βερολίνο με φ/β πλαίσια με διαφορετική καμπυλότητα και μέγεθος.

Islay Columbia Centre στο Ηνωμένο Βασίλειο

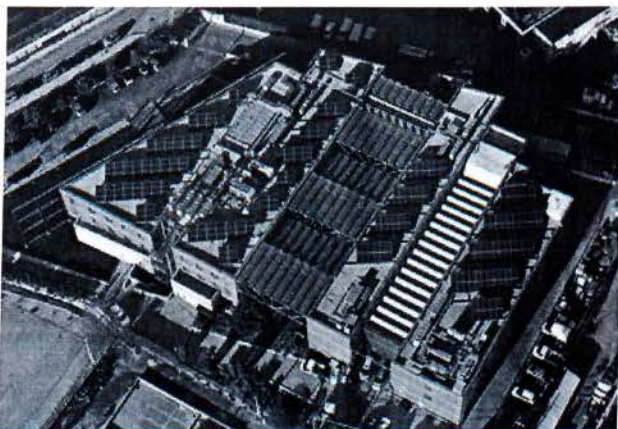
Στο συγκεκριμένο σύστημα τα Φ/Β ενσωματώθηκαν σε κεραμοσκεπή. Το Φ/Β σύστημα περιλαμβάνει 1.644 ηλιακές πλάκες SES Atlantis και η ισχύς του φτάνει τα 19,73kWp. Η ετήσια παραγωγή του συστήματος είναι 8.164 kWh (δεδομένα 2005). [5]



Εικόνα 1.6: Ενσωμάτωση φ/β σε κεκλιμένη στέγη.

Κτίριο της ABB Ελλάδος

Η ABB ολοκλήρωσε την εγκατάσταση Φ/Β πάρκου ισχύος 71,9 kWp στις στέγες των κτιρίων των κεντρικών γραφείων της στη Μεταμόρφωση Αττικής. Το πάρκο αναμένεται να παράγει 89.300 kWh ετησίως που αντιστοιχεί στο 10% περίπου των ετησίων αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια των κτιριακών εγκαταστάσεων της εταιρείας. [6]



Εικόνα 1.7: Φ/β πάρκο στις στέγες των κτηρίων της ABB Ελλάδος

Στέγη στη ΒΙ.ΠΕ. Ιωαννίνων

Στη στέγη της ΒΙ.ΠΕ Ιωαννίνων ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση Φ/Β 74kW. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν δεύτερης γενιάς πολυκρυσταλλικά Φ/β πάνελ Canadian Solar, τριφασικοί μετατροπείς SMA Sunny Tripower και σύστημα στήριξης αλουμινίου της Schletter. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο έργο εγκαταστάθηκε η πρωτοποριακή πλατφόρμα τηλεμετρίας και παρακολούθησης Φ/Β εγκαταστάσεων «SolarEye Platform» η οποία αξιοποιεί προηγμένες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για το γρήγορο εντοπισμό και αξιολόγηση βλαβών, αλλά και την πρόγνωση της εκτιμώμενης συμπεριφοράς της όλης εγκατάστασης σε βάθος χρόνου. Σημαντική θα είναι η συνδρομή του έργου στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς το περιβαλλοντικό όφελος της εγκατάστασης αναμένεται να ξεπεράσει ετησίως τις 100.000KWh «πράσινης» ηλεκτρικής ενέργειας, αποφεύγοντας την έκλυση 70 τόννων CO₂ στην ατμόσφαιρα. [7]



Εικόνα 1.8: Στέγη στη ΒΙ.ΠΕ Ιωαννίνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ






ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Σκίαση

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που λαμβάνουμε υπόψη στη μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών είναι η σκίαση. Η σκίαση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση αλλά και τη διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών. Σε μια εγκατάσταση σκίαση μπορεί να προκαλέσει ένα δέντρο, κάποια κολώνα, ένα κτήριο, κεραιές ή ηλεκτρικά καλώδια, ακόμα και μια συστοιχία Φ/Β στην αμέσως επόμενη.

Η σκίαση ενός Φ/Β πλαισίου ή μέρους αυτού μπορεί να είναι καταστροφική τόσο για το πλαίσιο όσο και για την εγκατάσταση. Όσον αφορά τη σκίαση που μπορεί να δημιουργηθεί σ'ένα πλαίσιο από το αμέσως γειτονικό του σε επόμενη συστοιχία, οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για το πλαίσιο αυτό. Η σκίαση ή η βλάβη μιας και μόνο ηλιακής κυψέλης, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Μια σκιασμένη κυψέλη, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η δίοδος, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις υπόλοιπες κυψέλες, οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν αστοχίες, μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν οι υπόλοιπες ηλιακές κυψέλες του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της.

Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, η σκιασμένη κυψέλη λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός μιας κυψέλης σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της κυψέλης αυτής και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης μιας «κατεστραμμένης» κυψέλης. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο «hot spot» (φαινόμενο θερμής κηλίδας). Η δημιουργία μιας θερμής κηλίδας μειώνει ελάχιστα την ισχύ αιχμής του Φ/Β στοιχείου, αυξάνει όμως την πιθανότητα καταστροφής του κάθε φορά που το στοιχείο σκιάζεται. Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (δίοδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυψελών που είναι συνδεδεμένες σε σειρά, επιτρέποντας έτσι τη χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποια ηλιακή κυψέλη του υστερεί ή καταστραφεί. [8]

Απώλειες από σκίαση			
			
Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

Εικόνα 2.1: Ενδεικτικές απώλειες από την σκίαση

Επίσης μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί θα καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωγη γήρανσή του. Γι' αυτό το λόγο η επιλογή της θέσης των Φ/Β πλαισίων θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δε θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος. Τέλος για την μακρόχρονη λειτουργία του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών.[9]

2.2 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίων

Για να μεγιστοποιήσουμε την ενεργειακή παραγωγή του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εκμεταλλευόμαστε όσο περισσότερο μπορούμε την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Επειδή η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα όσο και με τη μέρα του έτους, για να έχουμε τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας θα πρέπει το πλαίσιο να περιστρέφεται ώστε να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην ακτινοβολία. Επειδή το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων με τον παραπάνω τρόπο είναι μεγάλο επιλέγεται συνήθως σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου. Για την Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°. Επίσης, με γωνίες κλίσης άνω των 10-15° διευκολύνεται ο αποκαθαρισμός των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής. Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού είναι ο οριζοντας προς Νότο, να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια (ανοιχτός οριζοντας). Αυτό συμπεραίνουμε από την εικόνα 2.2 στην οποία

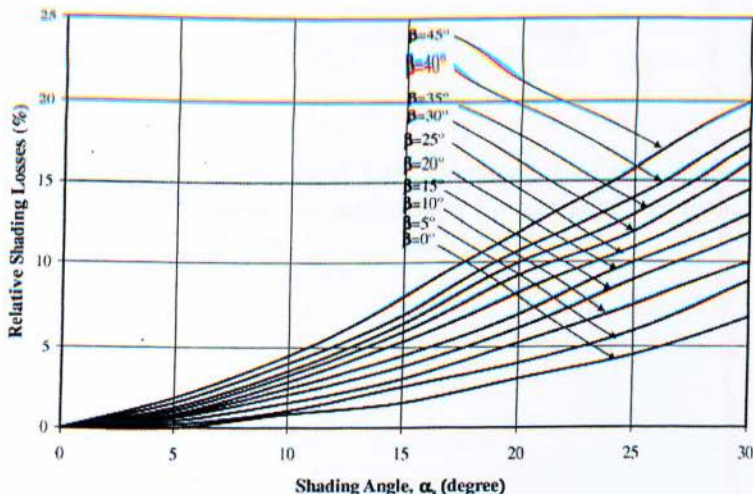
παρουσιάζεται η επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στις απώλειες ακτινοβολίας συγκριτικά με την ετήσια παραγωγή. [10]

Κλίση Φ/Β Πάνελ (μοίρες)	Απώλεια ακτινοβολίας (%) συγκριτικά με το ετήσιο μέγιστο										
	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	90°
90°	41.7	42.5	41.0	41.2	40.3	41.1	41.4	43.5	45.3	48.3	48.3
80°	30.7	30.6	30.6	30.6	31.1	31.9	33.5	35.6	38.2	41.5	41.5
70°	20.6	20.7	20.9	21.5	22.4	23.9	25.9	28.4	31.6	35.3	35.3
60°	12.2	12.4	12.9	13.7	15.1	16.9	19.2	22.2	25.6	29.4	29.4
50°	5.7	6.1	6.5	7.8	9.2	11.2	13.9	16.7	20.1	24.0	24.0
40°	1.6	1.8	2.6	3.6	5.2	7.3	9.6	12.5	15.7	19.3	19.3
30°	0.0	0.1	0.7	1.8	3.2	5.0	7.1	9.6	12.3	15.3	15.3
20°	0.7	0.8	1.3	2.1	3.2	4.6	6.2	8.0	10.1	12.2	12.2
10°	3.8	3.9	4.2	4.6	5.3	6.1	6.9	7.9	9.0	10.1	10.1
0°	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
Αζιμούθιο (μοίρες)	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°	

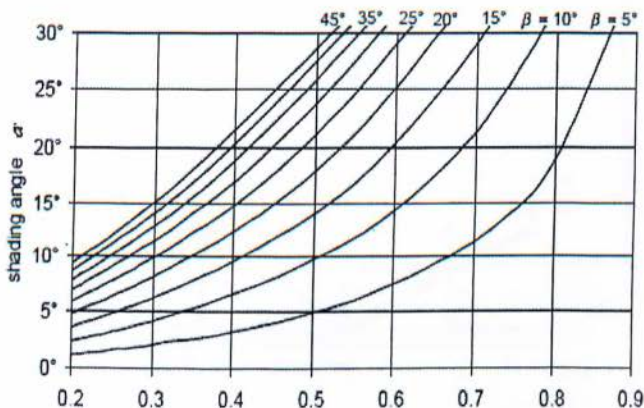
Εικόνα 2.2: Επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στις απώλειες ακτινοβολίας συγκριτικά με την ετήσια παραγωγή.

2.3 Απόσταση φ/β πλαισίων

Για να βρούμε την απόσταση μεταξύ δύο Φ/Β συστοιχιών θα πρέπει να αποφασιστεί ποιο ποσοστό απωλειών είναι επιθυμητό στην εγκατάσταση από τη σκίαση κάποιες μέρες τον Δεκέμβρη όπου οι σκιάσεις παίρνουν το μεγαλύτερο μήκος τους. Από την ακόλουθη εικόνα 2.3 μπορούμε βάση της γωνίας κλίσης των Φ/Β και το επιθυμητό ποσοστό απωλειών να βρούμε την γωνία σκίασης με το οριζόντιο επίπεδο. Για κλίση Φ/Β 30° και απώλειες 12% προκύπτει γωνία σκίασης περίπου $\alpha=25^\circ$. [11]



Εικόνα.2.3 Διάγραμμα συσχέτισης γωνίας κλίσης $\beta(^{\circ})$ πλαισίων, γωνίας σκίασης $\alpha(^{\circ})$ και του ποσοστού απωλειών (%).

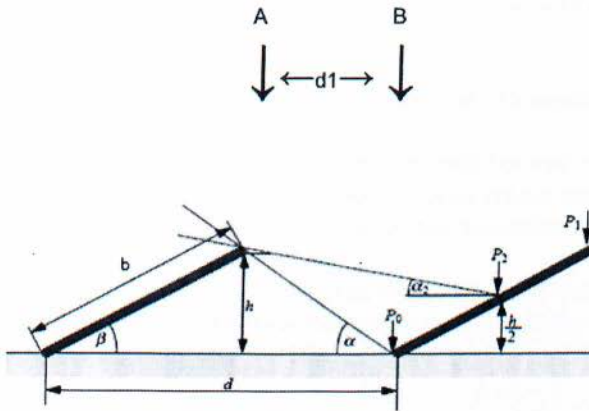


Εικόνα. 2.4 Διάγραμμα συσχέτισης γωνίας κλίσης $\beta(^{\circ})$ πλαίσιων, γωνίας σκίασης $\alpha(^{\circ})$ και συντελεστή f .

Γνωρίζοντας τη γωνία σκίασης και την κλίση των πλαίσιων από την εικόνα 2.4 μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή χρησιμοποίησης επιφάνειας του εδάφους (f). Για γωνία κλίσης Φ/B $\beta=30^{\circ}$ και γωνία σκίασης $\alpha=25^{\circ}$ ο συντελεστής απωλειών είναι περίπου 0,52. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης επιφάνειας (f) ορίζεται ως ο λόγος b/d όπου b το πλάτος της συστοιχίας και d η απόσταση της συστοιχίας από την αμέσως επόμενη. Γνωρίζοντας πλέον το b και το f μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο συστοιχιών. Επομένως έχουμε

$$f = \frac{b}{d} \Rightarrow d = \frac{b}{f} = \frac{1}{0.52} = 1,9\text{m.} \quad (2.1)$$

Η απόσταση d_1 θα ισούται $d_1 = d - b \cdot \cos(\beta) = 1,9 - 1 \cdot 0.86 = 1,04\text{m}$. Η απόσταση αυτή μας καλύπτει στην χειρότερη περίπτωση απώλειες 12% από σκίαση κάποιες μέρες τον Δεκέμβρη ενώ τον υπόλοιπο χρόνο το ποσοστό μειώνεται.



Εικόνα. 2.5 Σύμβολα επιφανειών που σχετίζονται με τη σκίαση.

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β συστημάτων, εκτός από την σκίαση είναι:

1) Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Αυξανόμενη της ηλιακής έντασης έχουμε γραμμική αύξηση του παραγομένου φωτορεύματος και λογαριθμική αύξηση της τάσης της ανοικτοκυκλωμένης φωτοβολταϊκής κυψέλης.

2) Η θερμοκρασία της Φ/Β κυψέλης

Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος μπορεί να μεταβάλλει αξιοσημείωτα την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων του. Έχει μετρηθεί ότι κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος.

Η θερμοκρασία ακόμα επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου και γίνεται καλύτερη απαγωγή θερμότητας όσο η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη. Ως γενικός κανόνας στους υπολογισμούς φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, που επαληθεύεται και από μετρήσεις σε πραγματικές εγκαταστάσεις, λαμβάνεται συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου κατά 30°C από αυτή του περιβάλλοντος [13].

3) Ο συντελεστής γήρανσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα Φ/Β στοιχεία με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν σημάδια φθοράς, τα οποία οδηγούν σε ελάττωση της συνολικής τους ισχύος. Τα σύγχρονα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν

ένα βαθμό μείωσης της απόδοσης τους της τάξης του 0,8% ετησίως (οι κατασκευαστές δηλώνουν ότι εξασφαλίζουν το 80% της αποδοτικότητάς τους μετά την παρέλευση 25ετίας).

4) Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Οι οπτικές απώλειες οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

α) η διαφοροποίηση ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε εργαστηριακές συνθήκες ελέγχου, με μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών ~3%,

β) οι απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας – διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με μέση ετήσια απώλεια ~2%,

γ) η καθαρότητα του πλαισίου με ~1,5% μέση ετήσια απώλεια. Ένας αντιπροσωπευτικός μέσος ετήσιος συντελεστής οπτικών απωλειών κυμαίνεται ανάλογα με την καθαρότητα της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου από 7%~10%.

5) Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού κ.α. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή εύκολα να τη ξεπλύνει. Επομένως είναι σημαντικό όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια περιοχή, που εκτιμάται ότι η ρύπανσή της θα είναι σημαντική να προβλεφθεί στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας (σρ). Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι τελείως καθαρή.[12]

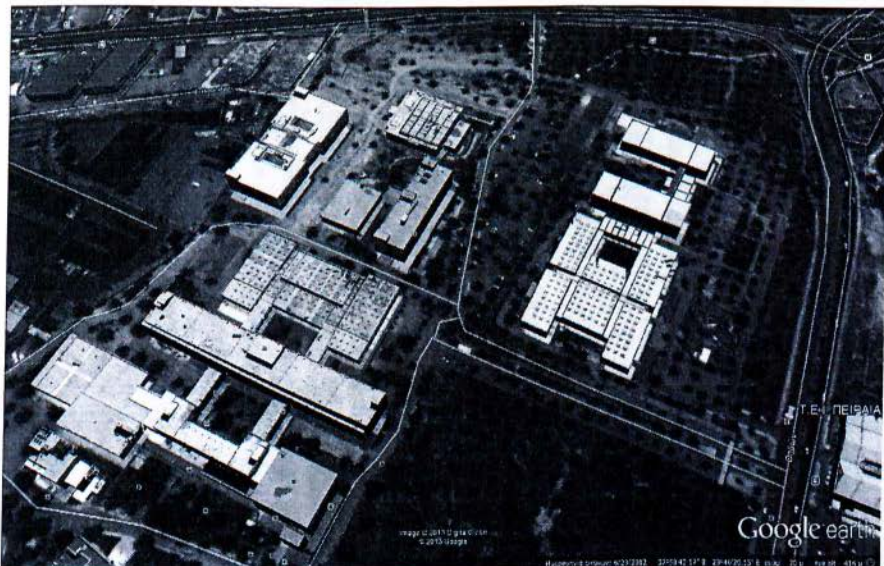
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

3.1 Περιγραφή των εγκαταστάσεων του ΤΕΙ Πειραιά

Οι εγκαταστάσεις του ΤΕΙ Πειραιά βρίσκονται στο Αιγάλεω σε έναν ελαιώνα 100.000 τ.μ στον ευρύτερο χώρο του οποίου στεγαζόταν η Ακαδημία του Πλάτωνα (Εικόνα 3.1). Τα κτήρια του ΤΕΙ έχουν νοτιοδυτικό προσανατολισμό και η οροφή τους είναι επίπεδη με μεγάλη επιφάνεια. Όλα αυτά, συν το γεγονός ότι δεν υπάρχουν στο χώρο ψηλά δέντρα και βουνά που να προκαλούν σκιάσεις, καθιστούν το ΤΕΙ κατάλληλο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που σκοπό θα έχει την μείωση των εξόδων του ΤΕΙ για ηλεκτρισμό.

Για την εγκατάσταση της φωτοβολταϊκής μονάδας επιλέχθηκε το κεντρικό κτήριο Β καθώς διαθέτει κατάλληλη υποδομή για εύκολη πρόσβαση στην οροφή του, η οροφή του έχει μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια και λόγω των αιθουσών εργαστηρίων έχει μεγάλο μέρος των καταναλώσεων.

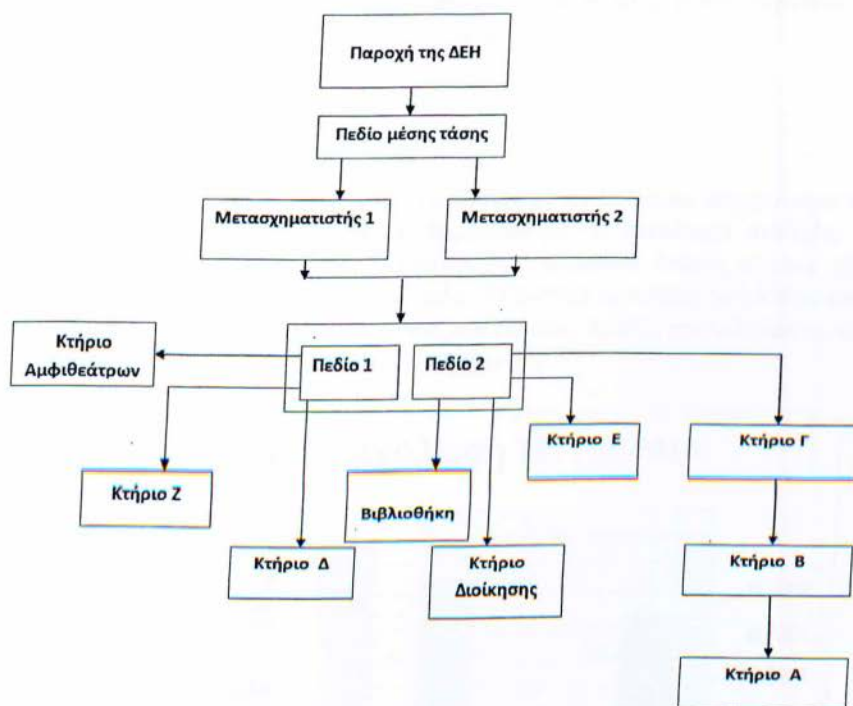


Εικόνα 3.1: Δορυφορική απεικόνιση του ΤΕΙ Πειραιά

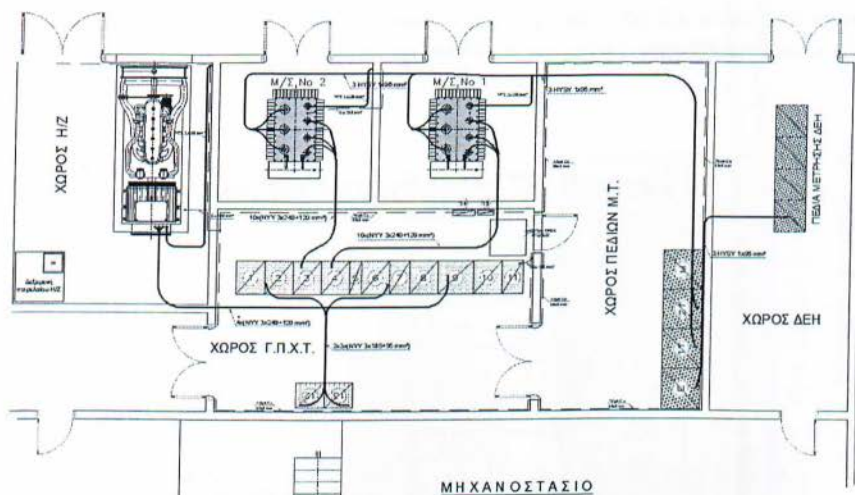
3.2 Ηλεκτροδότηση του ΤΕΙ Πειραιά

Οι εγκαταστάσεις του ΤΕΙ Πειραιά ηλεκτροδοτούνται από το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ μέσω υποσταθμού μέσης τάσης. Ο υποσταθμός περιλαμβάνει δύο τριφασικούς μετασχηματιστές (σύγχρονους, κατασκευής 2006), ισχύος 2000kVA έκαστος, μέσω των οποίων υποβιβάζεται η μέση τάση του δικτύου (20kV) σε χαμηλή τάση (400V), εικόνα 3.2 και εικόνα 3.3. Στη συνέχεια, μέσα στο κτήριο της Τεχνικής Υπηρεσίας πραγματοποιείται διαχωρισμός σε δύο επιμέρους πεδία.

Το Πεδίο 1 τροφοδοτεί με ρεύμα τα κτήρια Ζ και Δ καθώς επίσης και το κτήριο του Αμφιθεάτρου, ενώ από το Πεδίο 2 η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στα υπόλοιπα κτήρια των εγκαταστάσεων. Τα κεντρικά κτήρια των εγκαταστάσεων του ΤΕΙ Πειραιά, τα οποία έχουν επιλεγεί για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος, διαθέτουν δευτερεύον πεδίο υποδομημένο στο κτήριο Γ από το οποίο καλύπτονται οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των κτηρίων Α, Β και Γ.



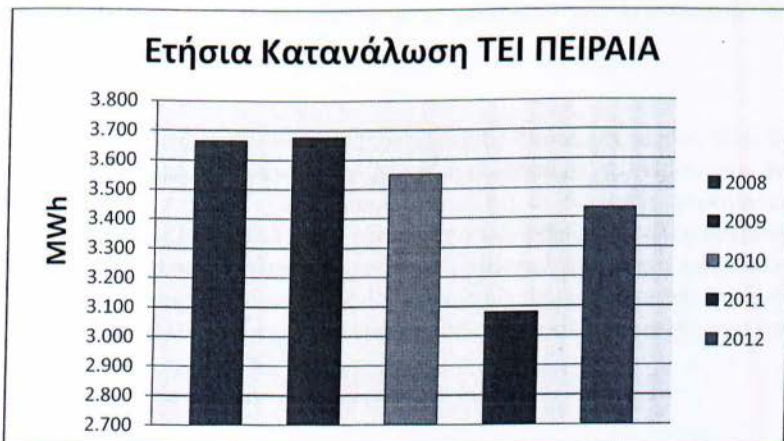
Εικόνα 3.2: Σχηματική παράσταση δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ Πειραιά



Εικόνα 3.3: Κάτοψη χώρου κεντρικού σταθμού διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ Πειραιά

3.3 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Η συμφωνημένη ισχύς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με τη ΔΕΗ είναι σύμφωνα με τα στοιχεία των τιμολογίων χρέωσης ίση με 1600kVA. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται από 200MWh έως 400MWh. Επίσης πήραμε από τη ΔΕΗ όλες τις καταναλώσεις του ΤΕΙ τη χρονική περίοδο 2008-2012 τις οποίες ομαδοποιήσαμε αρχικά σε ωριαίες καταναλώσεις και έπειτα σε μηνιαίες και ετήσιες. Από τα αποτελέσματα προέκυψε η ετήσια κατανάλωση του ΤΕΙ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ για τη χρονική περίοδο 2008-2012.

Όπως φαίνεται στο σχήμα η ετήσια κατανάλωση ξεπερνούσε τις 3,5 MWh ενώ τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια σχετική μείωση στην προσπάθεια να μειώσει το ΤΕΙ τα έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.



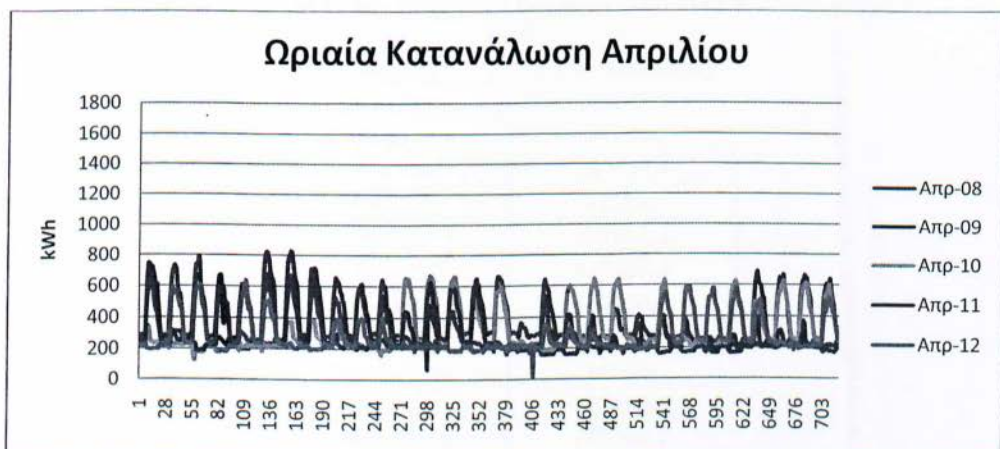
Σχήμα 3.2: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης για χρονική περίοδο 2008-2012 στο ΤΕΙ Πειραιά

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο ΤΕΙ για την χρονική περίοδο 2008-2012. Στο σχήμα φαίνεται η μεγάλη αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω λειτουργίας των ψυκτικών μονάδων του ΤΕΙ. Το ελάχιστο φορτίο ζήτησης είναι περίπου 200kW ενώ υπήρχαν και λίγες διακοπές ηλεκτροδότησης των εγκαταστάσεων. Στις διακοπές ηλεκτροδότησης μπαίνουν σε λειτουργία οι εφεδρικές ηλεκτρογεννήτριες του ΤΕΙ.

Το ΤΕΙ διαθέτει συνολικά τέσσερις ηλεκτρογεννήτριες συνολικής ισχύος 996kW, οι οποίες λειτουργούν με πετρέλαιο και καλύπτουν μέρος των φορτίων σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης. Από το σχήμα 3.2 συμπεραίνουμε ότι οι διακοπές ηλεκτροδότησης ήταν ελάχιστες στην πενταετία 2008-2012 και η αξιοποίηση των εφεδρικών ηλεκτρογεννητριών είναι ελάχιστη. Γι' αυτό το λόγο οι ηλεκτρογεννήτριες μπαίνουν σε ψυχή εφεδρεία, έως ότου ικανοποιήσουν το έλλειμμα φορτίου το οποίο παρουσιάζεται, ενώ υπάρχει σημαντική χρονική καθυστέρηση η οποία πολλές φορές δημιουργεί προβλήματα στις συσκευές που βρίσκονται σε λειτουργία.



Σχήμα 3.3: Ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το μήνα Ιούνιο την περίοδο 2008-2012.



Σχήμα 3.4: Ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το μήνα Απρίλιο την περίοδο 2008-2012.

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται ο Ιούνιος και ο οποίος είναι ο μήνας με τις μεγαλύτερες ωριαίες καταναλώσεις καθώς το μεγαλύτερο φορτίο ηλεκτρικής κατανάλωσης είναι περίπου 1600kWh ενώ στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ο μήνας Απρίλιος ο οποίος έχει την μικρότερη ωριαία κατανάλωση. Με την προτεινόμενη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα αυξηθεί η αυτονομία του ΤΕΙ λόγω των υψηλών τιμών ηλιακής ακτινοβολίας τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς επίσης θα αντιμετωπίζονται οι διακοπές στην ηλεκτροδότηση.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση του ΤΕΙ για κάθε χρόνο. Με κόκκινα γράμματα ο μήνας με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενώ με πράσινα ο μήνας με τη μικρότερη κατανάλωση (εξαιρείται ο Αύγουστος ο οποίος είναι ο μήνας που το ΤΕΙ υπολειπεται).

Πίνακας 3.1: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2008

2008	
Μήνας	Κατανάλωση(W)
Ιανουάριος	314856,6
Φεβρουάριος	283798,8
Μάρτιος	257682,6
Απρίλιος	241951,2
Μάιος	316246,2
Ιούνιος	416715,6
Ιούλιος	437236,2
Αύγουστος	283117,2
Σεπτέμβριος	373667,4
Οκτώβριος	292098
Νοέμβριος	225477
Δεκέμβριος	221020,2

Πίνακας 3.2: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2009

2009	
Μήνας	Κατανάλωση(W)
Ιανουάριος	293883,6
Φεβρουάριος	281448
Μάρτιος	289883,4
Απρίλιος	222693
Μάιος	297652,2
Ιούνιος	427398,6
Ιούλιος	420730,8
Αύγουστος	269304
Σεπτέμβριος	346671
Οκτώβριος	292493,4
Νοέμβριος	273010,2
Δεκέμβριος	261249,6

Πίνακας 3.3: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2010

2010	
Μήνας	Κατανάλωση(W)
Ιανουάριος	301464
Φεβρουάριος	266596,8
Μάρτιος	296345,4
Απρίλιος	223056,6
Μάιος	301194
Ιούνιος	421992,6
Ιούλιος	366940,2
Αύγουστος	232177,8
Σεπτέμβριος	352588,8

Οκτώβριος	285983,4
Νοέμβριος	256309,8
Δεκέμβριος	245097,6

Πίνακας 3.4: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2011

2011	
Μήνας	Κατανάλωση(W)
Ιανουάριος	283726,2
Φεβρουάριος	246046,2
Μάρτιος	288237,6
Απρίλιος	204576,6
Μάιος	254860,8
Ιούνιος	334065
Ιούλιος	301127,4
Αύγουστος	199458,6
Σεπτέμβριος	213043,2
Οκτώβριος	223561,8
Νοέμβριος	269391
Δεκέμβριος	262117,8

Πίνακας 3.5: Ηλεκτρικές Καταναλώσεις ΤΕΙ 2012

2012	
Μήνας	Κατανάλωση(W)
Ιανουάριος	294926,4
Φεβρουάριος	281488,8
Μάρτιος	271586,4
Απρίλιος	201819,6
Μάιος	251623,8
Ιούνιος	412693,2
Ιούλιος	443238,6
Αύγουστος	214757,4
Σεπτέμβριος	299566,2
Οκτώβριος	307987,2
Νοέμβριος	202860
Δεκέμβριος	256064,4

Από τους παραπάνω πίνακες συμπεραίνουμε ότι οι μήνες με τις μεγαλύτερες καταναλώσεις είναι οι καλοκαιρινοί μήνες, Ιούνιος και Ιούλιος, επειδή γίνεται χρήση των κλιματιστικών, ενώ οι μήνες που έχουν τη μικρότερη κατανάλωση είναι ο Απρίλιος, επειδή τέτοια εποχή το κλίμα είναι ιδανικό και δε χρησιμοποιούνται οι ηλεκτρικές συσκευές για θέρμανση και ψύξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

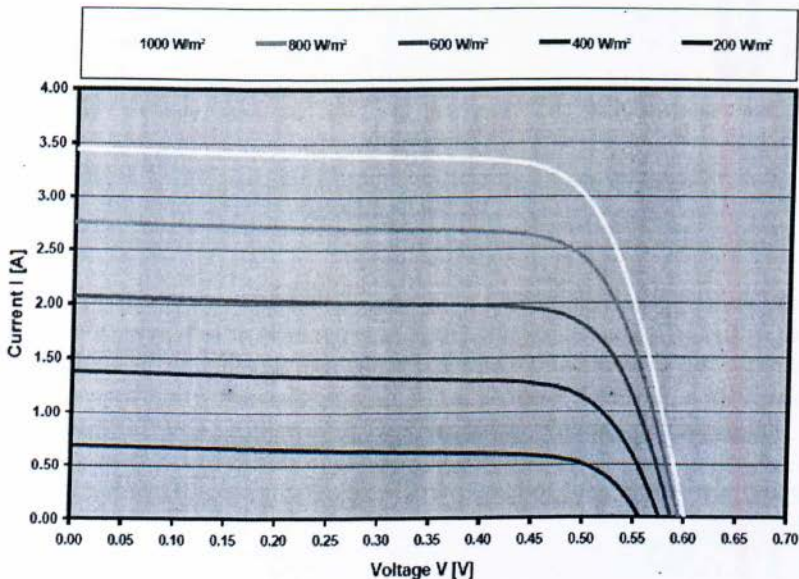
ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

4.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ακτινοβολία

Η γνώση των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής που θα γίνει η εγκατάσταση του συστήματος είναι πάρα πολύ σημαντική, διότι η ηλιοφάνεια, η μέση ημερήσια θερμοκρασία και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικοί παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του Φ/Β συστήματος.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία αποτελούν τους δύο κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας από ένα ηλιακό πλαίσιο.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τη μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής ενός ηλιακού πλαισίου με μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας:

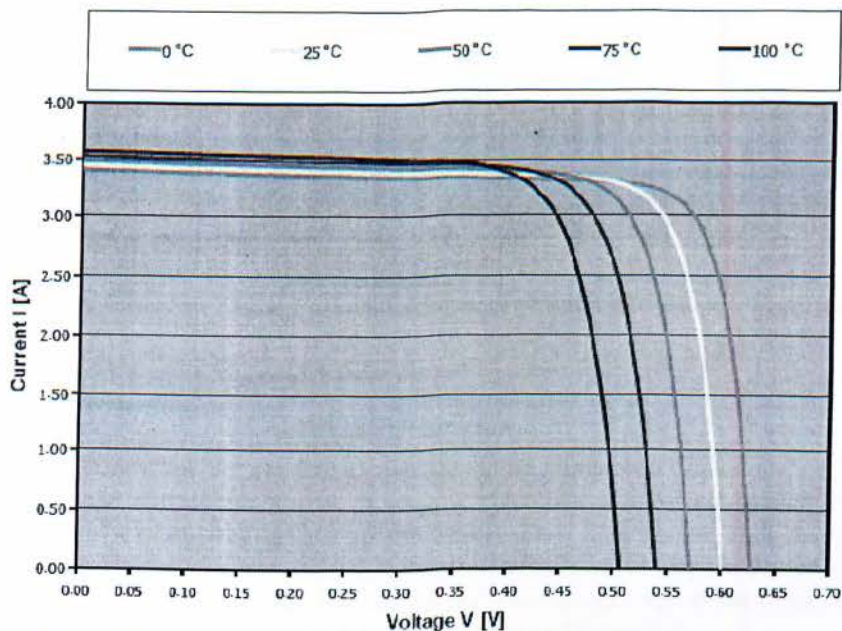


Εικόνα 4.1: Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού πλαισίου

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.1, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά (σχεδόν ανάλογα) στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του πλαισίου ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση

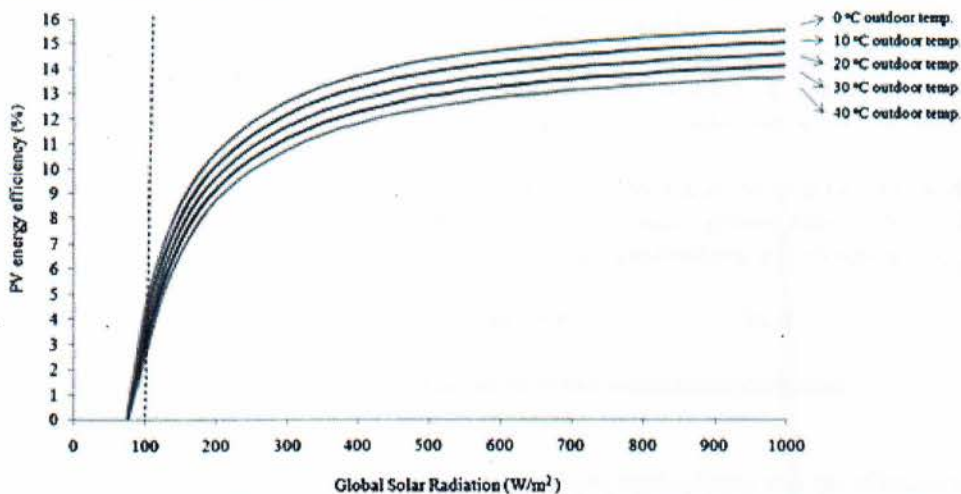
ανάμεσα στην ισχύ του πλαισίου και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες πλαισίου.[13]

Στην εικόνα 4.2 παρουσιάζει την επίδραση της θερμοκρασίας του πλαισίου στην I-V χαρακτηριστική του πλαισίου:



Εικόνα 4.2: Επίδραση της θερμοκρασίας στην I-V χαρακτηριστική ενός Φ/Β πλαισίου

Όπως προκύπτει από την εικόνα 4.2, η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού πλαισίου [13]. Ειδικότερα, η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται σημαντικά με τη μείωση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά. Συνολικά, η ισχύς της ηλιακής κυψέλης μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζει και το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης. Στην εικόνα 4.3 φαίνεται πως επιδρά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.[14]



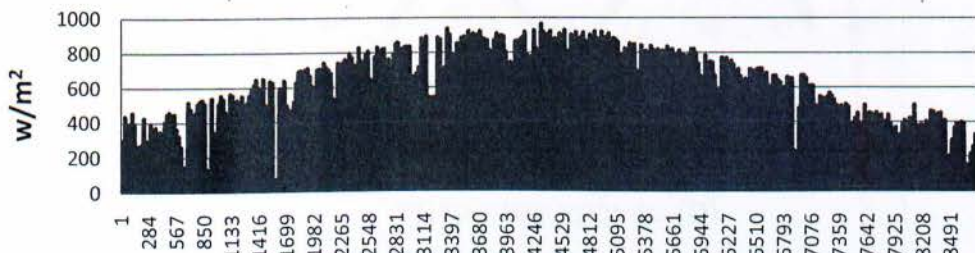
Εικόνα 4.3: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στον βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

4.2 Υπολογισμός ακτινοβολίας

Η ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο σε ετήσια βάση, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου, εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης, καθώς επίσης και από τον προσανατολισμό των πλαισίων ως προς τον ήλιο. Για να εκτιμήσουμε την παραγόμενη ενέργεια, η οποία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τελική απόδοση της εγκατάστασης, θα πρέπει να γνωρίζουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή που γίνεται η μελέτη, δηλαδή το ΤΕΙ Πειραιά.

Χρησιμοποιώντας το καταγραφικό του εργαστηρίου Ήπιες Μορφές Ενέργειας πήραμε τα δεδομένα ενός ολόκληρου έτους, μέσω του προγράμματος Stylitis, και στη συνέχεια δημιουργήσαμε μια ωριαία ετήσια χρονοσειρά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία που καταγράφηκε αφορά την ένταση ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (Σχήμα 4.1).

Ετήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



Σχήμα 4.1: Ετήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.

Για τον υπολογισμό της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο πρέπει να γίνουν κάποιες πράξεις ώστε μέσα από τους υπολογισμούς να εκτιμηθεί η ηλιακή ακτινοβολία

σε κεκλιμένο επίπεδο. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι πράξεις που χρησιμοποιήθηκαν. Η ηλιακή ακτινοβολία που πήραμε από το καταγραφικό αφορά την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Για να βρούμε την ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τη διάχυτη και άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο μέσω γεωμετρικών παραμέτρων.

Για τους απαραίτητους υπολογισμούς των γεωμετρικών παραμέτρων που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται ο ηλιακός χρόνος. Ο τοπικός χρόνος κάθε περιοχής δε συμπίπτει πάντοτε με τον τοπικό χρόνο και ο ηλιακός χρόνος υπολογίζεται από τη σχέση [15]:

$$HX = TX \pm 4 * (L\sigma\tau - L\tau) + Et \quad (4.1)$$

όπου το (+) αναφέρεται στο δυτικό ημισφαίριο και το (-) στο ανατολικό ημισφαίριο

$L_{\sigma\tau}$ = ο μεσημβρινός στον οποίο αναφέρεται η τοπική ώρα

L_{τ} = ο τοπικός μεσημβρινός

E_t = απαραίτητη διορθωτική εξίσωση του χρόνου (σε min) και υπολογίζεται από την εξίσωση του "Watt":

$$E_t = 9,87 \times \eta\mu(2B) - 7,53 \times \sigma\upsilon\nu(B) - 1,5 \times \eta\mu(B) \quad (4.2)$$

όπου

$$B = [360 \times \frac{D-81}{364}] \quad (4.3)$$

D=Ιουλιανή μέρα του χρόνου

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η μεταβολή της διορθωτικής εξίσωσης του χρόνου "E_t" συναρτήσει της ημέρας του έτους.



Σχήμα 4.2: Μεταβολή εξίσωσης χρόνου συναρτήσει της ημέρας του έτους.

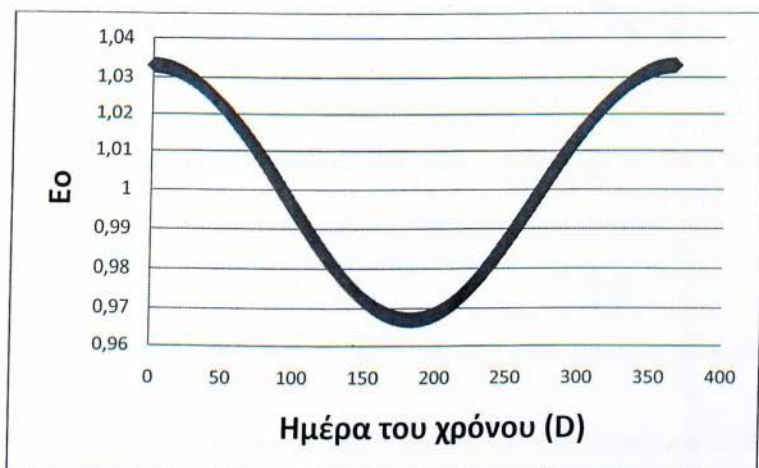
Εφόσον υπολογίσουμε τον ηλιακό χρόνο κάθε ώρας του έτους θα πρέπει ύστερα να υπολογίσουμε την ηλιακή απόκλιση (δ), τον διορθωτικό συντελεστή (E_o) και την ωριαία γωνία απόκλισης του ήλιου (ω) [15].

Λόγω εκκεντρότητας της γης ορίζεται ο διορθωτικός συντελεστής "E₀" ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_0 = 1 + 0,033 \times \sigma\upsilon\nu\left(360 \times \frac{D}{365}\right) \quad (4.4)$$

όπου "D" είναι η Ιουλιανή μέρα του χρόνου.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως μεταβάλλεται ο διορθωτικός συντελεστής λόγω εκκεντρότητας της γης σε συνάρτηση με την ημέρα του χρόνου "D" μετά από εφαρμογή της εξίσωσης (4.4)

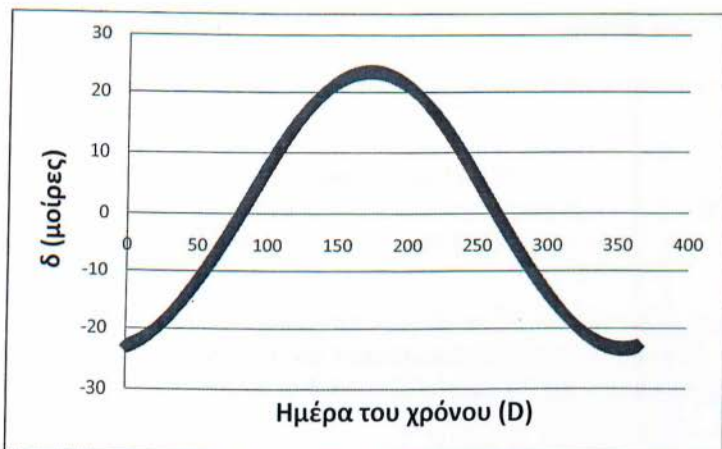


Σχήμα 4.3: Διορθωτικός συντελεστής λόγω εκκεντρότητας της γης

Η ηλιακή απόκλιση η οποία βασίζεται στην ανάλυση του "Cooper" υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23,45 \times \eta\mu\left[360 \times \frac{D+284}{365}\right] \quad (4.5)$$

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλιακής απόκλισης σε συνάρτηση με την ημέρα του χρόνου "D" όπως προκύπτει από την εξίσωση (4.5)



Σχήμα 4.4: Μεταβολή ηλιακής απόκλισης συναρτήσει ημέρας του έτους.

Τέλος, η ωριαία γωνία απόκλισης του ήλιου " ω " υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega = 15^\circ \times (HX - 12:00) \quad (4.6)$$

Η γωνία " ω " μεταβάλλεται κατά 15° ανά ώρα, με αρνητικές τιμές το πρωί, θετικές το απόγευμα και μηδέν κατά τη μεσημβρία.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι γωνία πρόσπτωσης (θ) και η ζενιθιακή γωνία (θ_z) από τις σχέσεις [15]:

$$\sin\theta_z = (\eta\mu\delta \times \eta\mu\varphi) + (\sigma\upsilon\upsilon\delta \times \sigma\upsilon\upsilon\varphi \times \sigma\upsilon\upsilon\omega) \quad (4.7)$$

$$\sin\theta = (\sigma\upsilon\upsilon\delta \times \sigma\upsilon\upsilon\omega \times \sigma\upsilon\upsilon(\varphi - \beta)) + (\eta\mu\delta \times \eta\mu(\varphi - \beta)) \quad (4.8)$$

Αξίζει να διευκρινιστεί ότι " ϕ " είναι το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής, με θετικές τιμές για τις περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου. Για το ΤΕΙ Πειραιά $\phi = 37,9^\circ$.

Έχοντας πλέον προσδιορίσει τις μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν όλες τις γεωμετρικές παραμέτρους για μια δοσμένη οριζόντια επιφάνεια μπορούμε να υπολογίσουμε την άμεση (I_b) και διάχυτη (I_d) ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ώστε στη συνέχεια να μπορούμε να υπολογίσουμε την άμεση ($I_{b,\beta}$) και διάχυτη ($I_{d,\beta}$) ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο [15].

Αρχικά υπολογίζουμε το δείκτη αιθριότητας " k_t " από την εξίσωση:

$$k_t = I/I_0 \quad (4.9)$$

όπου

I = ολική ακτινοβολία

και

$I_0 = G_{sc} \times E_0 \times \sin\theta_z$

" G_{sc} " η ηλιακή σταθερά ίση με 1.367 W/m^2 , E_0 ο διορθωτικός συντελεστής απόστασης γης-ήλιου που δίνεται από την εξίσωση 4.4.

Γνωρίζοντας πλέον το k_t μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας " k_d " το οποίο είναι:

$$\begin{aligned} k_d &= I_d/I = 1 - 0,249 \times k_t && \text{για } k_t < 0,35 \\ k_d &= I_d/I = 1,557 - 1,84 \times k_t && \text{για } 0,35 < k_t < 0,75 \\ k_d &= I_d/I = 0,177 && \text{για } k_t > 0,75 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Εφόσον υπολογίσαμε το δείκτη αιθριότητας " k_t " και το ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας " k_d " ξέρουμε πλέον την ολική ακτινοβολία " I " και διάχυτη ακτινοβολία " I_d " σε οριζόντιο επίπεδο. Αφαιρώντας από την ολική ακτινοβολία τη διάχυτη βρίσκουμε και την άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.

$$I_b = I - I_d \quad (4.11)$$

Η άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο " I_b " συνδέεται με την αντίστοιχη ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο " $I_{b,\beta}$ ", μέσω του γεωμετρικού παράγοντα " r_b " που δίνεται από την εξίσωση [15]:

$$r_b = \frac{\text{συν}\theta}{\text{συν}\theta_z} \quad (4.12)$$

Συνεπώς η άμεση ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο " $I_{b,\beta}$ ", υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{b,\beta} = I_b * r_b \quad (4.13)$$

Ακολούθως για τον προσδιορισμό της διάχυτης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο βάσει των τιμών της διάχυτης και ολικής στο οριζόντιο επίπεδο, χρησιμοποιείται το ιστροπικό μοντέλο. Ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία υπολογίζεται βάσει του ιστροπικού μοντέλου υποθέτοντας ότι η διάχυτη ακτινοβολία είναι ιστροπική. Η ανακλώμενη διάχυτη ακτινοβολία " I_r " υπολογίζεται από την εξίσωση [15]:

$$I_r = 0,5 \times I \times \rho \times (1 - \text{συν}\beta) \quad (4.14)$$

όπου " ρ " είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους. Για έδαφος $\rho=0,2$.

Για την διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο " I_s " υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_s = 0,5 \times I_d \times (1 + \text{συν}\beta) \quad (4.15)$$

Συνεπώς η συνολική διάχυτη ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια " $I_{d,\beta}$ " είναι το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_d, \beta = I_s + I_r \quad (4.16)$$

Συμπερασματικά η ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο υπολογίζεται κατά προσέγγιση από την εξίσωση:

$$I\beta = I_d, \beta + I_b, \beta \quad (4.17)$$

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι πράξεις και οι υπολογισμοί στο Excel για την πρώτη μέρα κάθε μήνα.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Ημέρες	Ώρα	Θ(λου)	ΤΧ(min)	HX	HX	B	Et(min)	δηλιακή απόκλιση	ω(ωριαία φηγεωγραφισυνθ)	Eo	I _s	I _o	β		
14	1	12	1	720	11,5352	692,113	-79,1209	-3,60687	-23,01163673	-6,97172	37,9	0,48079	1,033	1412,1	955,858	
758	1	12	32	720	11,3675	682,051	-48,4615	-13,6686	-17,51649546	-9,48715	37,9	0,55731	1,02812	1405,44	1037,21	
1430	1	12	60	720	11,3778	682,666	-20,7692	-13,0538	-8,293705065	-9,33345	37,9	0,68189	1,01691	1390,11	1159,74	
2174	1	12	91	720	11,5231	691,384	9,89011	-4,3356	4,016824231	-7,1539	37,9	0,82405	1,00014	1367,19	1275,99	
2894	1	12	121	720	11,6442	698,652	39,5604	2,932	14,90088746	-5,337	37,9	0,91721	0,98383	1344,89	1323,19	
3638	1	12	152	720	11,6341	698,046	70,2198	2,32638	22,03962456	-5,48841	37,9	0,95858	0,97144	1327,97	1322,11	
4358	1	12	182	720	11,5366	692,196	99,8901	-3,5245	23,12048412	-6,95112	37,9	0,96158	0,967	1321,89	1313,6	
5102	1	12	213	720	11,4954	689,724	130,549	-5,99562	17,91318797	-7,5689	37,9	0,93323	0,97144	1327,97	1310,66	
5846	1	12	244	720	11,6058	696,346	161,209	0,62573	7,724628908	-5,91357	37,9	0,86033	0,98383	1344,89	1285,17	
6566	1	12	274	720	11,7843	707,056	190,879	11,3365	-4,215526435	-3,23588	37,9	0,74054	1,00014	1367,19	1203,88	
7310	1	12	305	720	11,8692	712,149	221,538	16,429	-15,36341658	-1,96275	37,9	0,59769	1,01691	1390,11	1075,57	
8030	1	12	335	720	11,7598	705,585	251,209	9,86535	-22,10774881	-3,60366	37,9	0,49844	1,0287	1406,23	974,356	
8762																

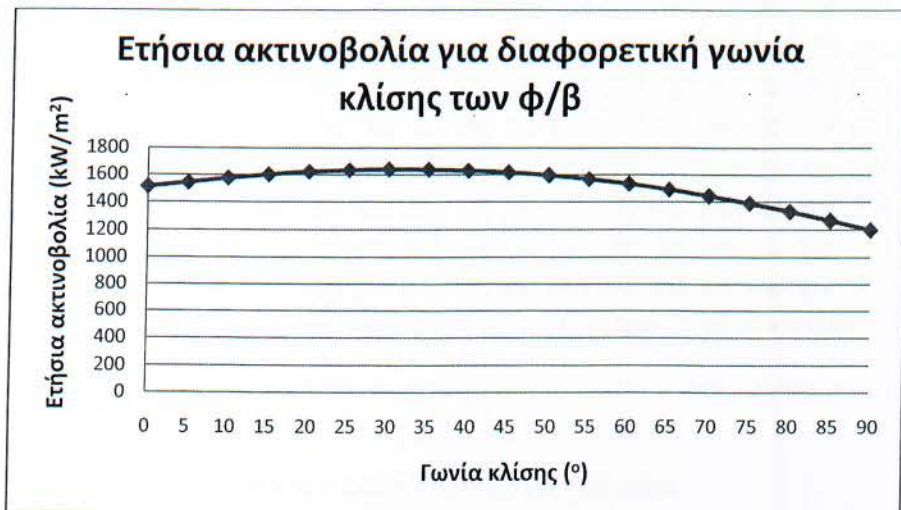
Εικόνα 4.4: Πράξεις υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.

Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
β	συνθ	k _t	k _d	I _{oλ}	I _d (διαχυτή)	I _b (άμεση)	r _b	I _b	I _r	I _t	I _{sp}	I _β
	0,97527	0,6769	0,3115	172,57	53,76	118,82	2,02847	241,019	6,16457	44,1553	50,3198	291,339
	0,98278	0,738	0,19909	173,05	34,45	138,60	1,76342	244,408	6,18159	28,2989	34,4805	278,888
	0,98498	0,83427	0,177	329,71	58,36	271,35	1,4445	391,967	11,7776	47,9354	59,7131	451,681
	0,9531	0,93329	0,177	452,82	80,15	372,67	1,15661	431,032	16,1752	65,8334	82,0086	513,041
	0,8869	0,98386	0,177	814,03	144,08	669,95	0,96696	647,817	29,0783	118,35	147,428	795,245
	0,82352	0,99559	0,177	459,28	81,29	377,99	0,8591	324,733	16,4062	66,7737	83,1799	407,913
	0,81033	0,99373	0,177	855,15	151,36	703,79	0,84271	593,089	30,5471	124,328	154,875	747,964
	0,8578	0,98697	0,177	832,98	147,44	685,54	0,91918	630,138	29,7552	121,105	150,86	780,998
	0,93558	0,95559	0,177	791,47	140,09	651,38	1,08747	708,352	28,2722	115,069	143,341	851,693
	0,98899	0,88055	0,177	684,88	121,22	563,66	1,3355	752,767	24,4649	99,5728	124,038	876,805
	0,99783	0,77373	0,177	527,08	93,29	433,79	1,66947	724,199	18,8281	76,6311	95,4592	819,658
	0,98299	0,69289	0,28209	335,62	94,67	240,95	1,97215	475,181	11,9888	77,7654	89,7542	564,935

Εικόνα 4.5: Πράξεις υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.

4.3 Αποτελέσματα ακτινοβολίας και βέλτιστη κλίση ϕ/β

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίστηκε η ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο από 5° έως 90° . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τη γωνία κλίσης των ϕ/β πάνελ.



Σχήμα 4.5: Μεταβολή της ετήσιας ακτινοβολίας για διαφορετική γωνία κλίσης των ϕ/β .

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι την περισσότερη ακτινοβολία την έχουμε για γωνία κλίσης 30° . Οι υπολογισμοί επαληθεύουν την εικόνα 2.2 στην οποία φαίνεται ότι η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, για την Ελλάδα είναι οι 30° .

Παρακάτω παρατηρούμε πως μεταβάλλεται η μηνιαία ακτινοβολία ανάλογα με την γωνία κλίσης του ϕ/β πάνελ.

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Ιανουάριος	64425,3	65768,6	69882,6	73476,3	76782,8	79736,8	82346,8	84600,2	86511,6	88022,9	89151,1	89890,9	90238,6	90192,6	89752,9	88921,2	87700,8	86097,2	84117,3
Φεβρουάριος	83845	85593,2	90033,3	94138,1	97806	100944	103488	105557	107142	108236	108835	108935	108535	107638	106245	104363	101999	99163,9	95868,8
Μάρτιος	116338	118764	120254	123599	126416	127368	128837	129816	130289	130185	129513	128329	126641	124507	121880	118818	115311	111383	107052
Απρίλιος	141185	144128	146045	147414	148227	148481	148176	147347	146032	144115	141663	138687	135204	131323	126790	121904	116603	110964	105046
Μάιος	154574	157797	158293	158207	157541	156298	154461	152204	149491	146249	142498	138253	133537	128353	122814	117060	111047	104750	98242,8
Ιούνιος	189838	193796	193350	192017	189799	186711	182768	178014	172856	167012	160423	153125	145158	136566	127782	118861	109476	99678,7	90422
Ιούλιος	199977	204147	204226	203215	201217	198244	194313	189446	183854	177831	170964	163288	154847	145685	135891	125945	115759	105108	94299,6
Αύγουστος	171514	175090	176877	177884	178073	177492	176071	173792	170809	167209	162850	157755	151952	145471	137334	129546	121253	112666	103782
Σεπτέμβριος	145409	148441	152066	155616	158430	160432	161609	162025	161757	160774	159094	156666	153525	149710	145200	138972	131876	124099	116750
Οκτώβριος	93166,1	95108,6	99071,2	102594	105657	108271	110423	112100	113296	114002	114217	113939	113168	111908	110164	107938	105248	102107	98532,2
Νοέμβριος	83461,7	85201,8	90847,9	95745,2	100111	104019	107515	110509	112986	114934	116345	117211	117528	117294	116511	115181	113311	110908	107985
Δεκέμβριος	67458,7	68865,2	73918	78610,4	82927,7	86852,3	90364,1	93445,5	96081,1	98258,1	99965,8	101196	101943	102203	101974	101258	100057	98377,3	96226,2

Εικόνα 4.6: Μεταβολή μηνιαίας ακτινοβολίας(W/m^2) ανάλογα με τη γωνία κλίσης($^{\circ}$).

Από τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας στον οποίο παρουσιάζεται η βέλτιστη κλίση για κάθε μήνα.

Πίνακας 4.1:Βέλτιστη κλίση για κάθε μήνα

Μήνας	Βέλτιστη κλίση($^{\circ}$)
Ιανουάριος	60
Φεβρουάριος	55
Μάρτιος	40
Απρίλιος	25
Μάιος	10
Ιούνιος	5
Ιούλιος	10
Αύγουστος	20
Σεπτέμβριος	35
Οκτώβριος	50
Νοέμβριος	60
Δεκέμβριος	65

Επίσης στον παρακάτω πίνακα φαίνεται για ποια γωνία κλίσης έχουμε την καλύτερη ακτινοβολία ανά ώρα. Με κόκκινο χρώμα επισημαίνεται η γωνία κλίσης με τον καλύτερο συντελεστή φορτίου.

Πίνακας 4.2: Ακτινοβολία ανά ώρα για το ΤΕΙ Πειραιά ανάλογα τη γωνία κλίσης.

$\beta(^{\circ})$	$kW/m^2/h$
0	0,17251

5	0,176107
10	0,179779
15	0,182936
20	0,185273
25	0,186627
30	0,187254
35	0,187084
40	0,186199
45	0,184569
50	0,182137
55	0,178913
60	0,174917
65	0,170178
70	0,16465
75	0,158535
80	0,151785
85	0,144441
90	0,136795

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

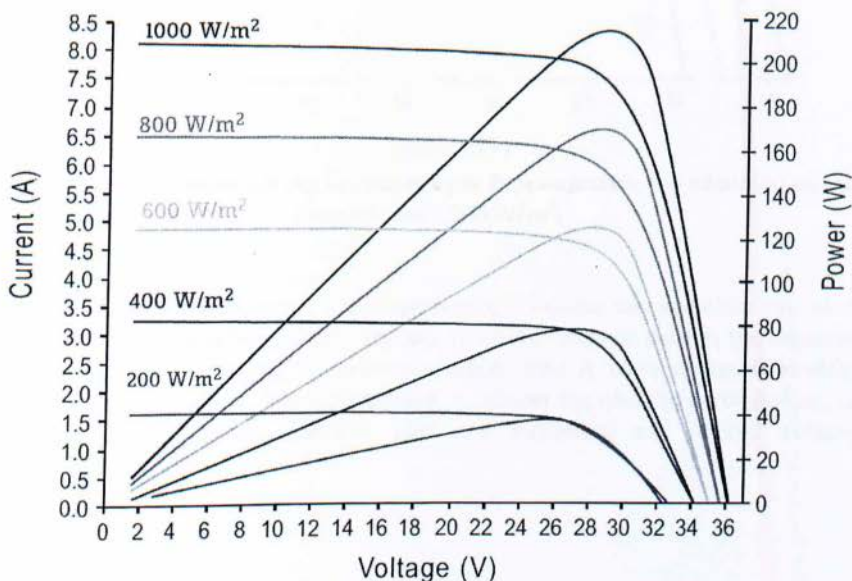
ΠΑΡΑΓΩΓΗ Φ/Β

5.1 Επιλογή Φ/Β πλαισίων

Η επιλογή των πλαισίων που θα τοποθετηθούν, έχει να κάνει κυρίως με τον τύπο και την ισχύ αυτών. Σημαντικό κριτήριο επιλογής των πλαισίων είχε να κάνει η ύπαρξή του στις βάσεις δεδομένων του προγράμματος SketchUp, του οποίου έγινε χρήση. Η αναζήτηση των βάσεων δεδομένων έγινε για πάνελ μεγάλης ισχύος των 230 W, για να υπάρξει μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Όσον αφορά τον τύπο, δηλαδή την τεχνολογία των πλαισίων, αναζητήθηκαν πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η μειωμένη τους απόδοση σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αντισταθμίζεται από τη χαμηλότερη τιμή τους. Μετά από αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων επιλέχθηκαν τα Φ/Β πλαίσια της εταιρίας Siliken και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο SLK60P6L, το οποίο πληρούσε όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές.

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α παρατίθεται φυλλάδιο με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, καθώς και στοιχεία για την εταιρία που το κατασκευάζει. Στη συνέχεια, ακολουθούν γραφικές παραστάσεις στις οποίες φαίνεται πώς επιδρά η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία στη χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης του συγκεκριμένου μοντέλου.

Στην εικόνα 5.1 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές I-V και η ισχύς για διάφορες τιμές της προσιπτούσας ακτινοβολίας υπό σταθερή θερμοκρασία 25°C.



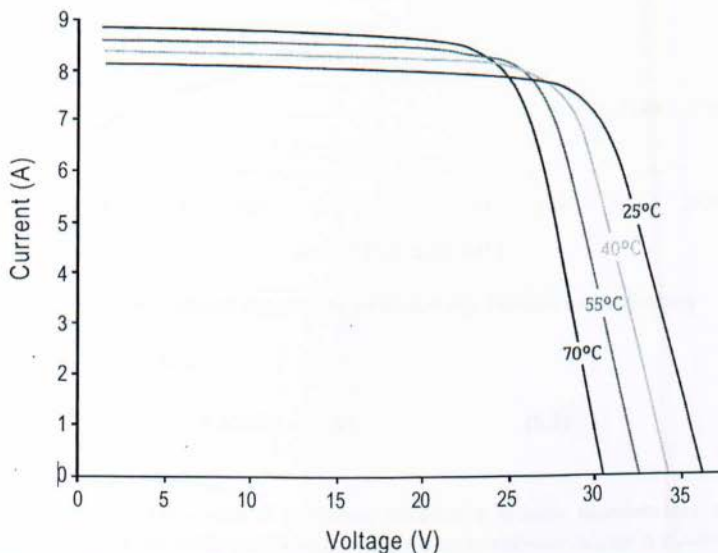
Εικόνα 5.1: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της προσιπτούσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους 25°C.

Με τη μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παρατηρείται σημαντική μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sc}) και της παραγόμενης ισχύος. Αντίθετα η τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) μετατοπίζεται ελαφρά.

I_{sc} : το ρεύμα βραχυκύκλωσης στην έξοδο του πλαισίου για τάση εξόδου $V=0$.

V_{oc} : η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που είναι η τάση για ρεύμα $I=0$

Στην εικόνα 5.2 φαίνεται πως μεταβάλλονται οι χαρακτηριστικές I-V ανάλογα με τη θερμοκρασία του πλαισίου για σταθερή ακτινοβολία 1.000 W/m^2 .



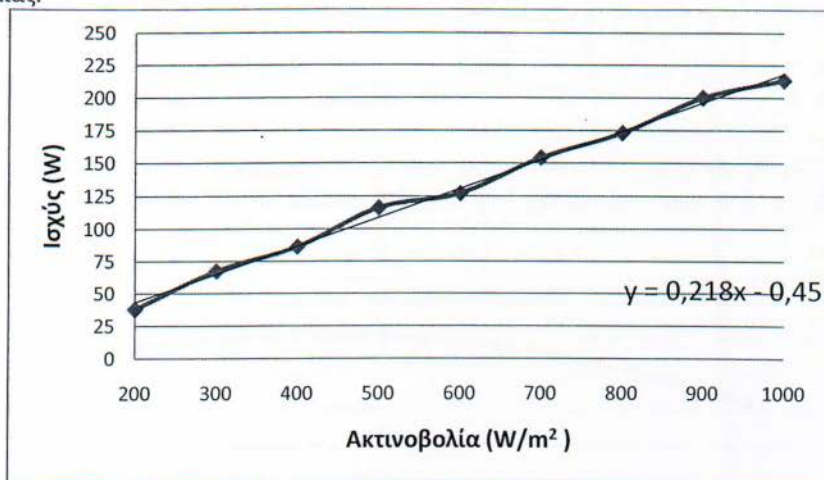
Εικόνα 5.2: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές θερμοκρασίας του πλαισίου σε σταθερή ακτινοβολία 1.000 W/m^2 .

Παρατηρείται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυψελών του πλαισίου, υπάρχει μετατόπιση του σημείου μέγιστης ισχύος, που αντιστοιχεί σε μείωση της παραγόμενης ισχύος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται ελαφρά, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος μειώνεται περισσότερο αισθητά. Συμπερασματικά, η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του πλαισίου, κάτι που συμβαίνει και με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του.

5.2 Παραγωγή Ενέργειας

Για να υπολογίσουμε την παραγωγή της ενέργειας από το συγκεκριμένο Φ/Β πάνελ χρησιμοποιήσαμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες I-V και ισχύος και υπολογίστηκε στο Excel η εξίσωση που θα μας δώσει την παραγωγή ενέργειας βάση της ακτινοβολίας.

Στο σχήμα 6.1 φαίνεται η μεταβολή της ισχύος του Φ/Β πάνελ ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας.



Σχήμα 5.1: Μεταβολή της ισχύος ανάλογα την ένταση ακτινοβολίας.

Η εξίσωση που προκύπτει είναι

$$y = 0.2183x - 0.45 \quad (5.1)$$

όπου x = η ένταση της ακτινοβολίας.

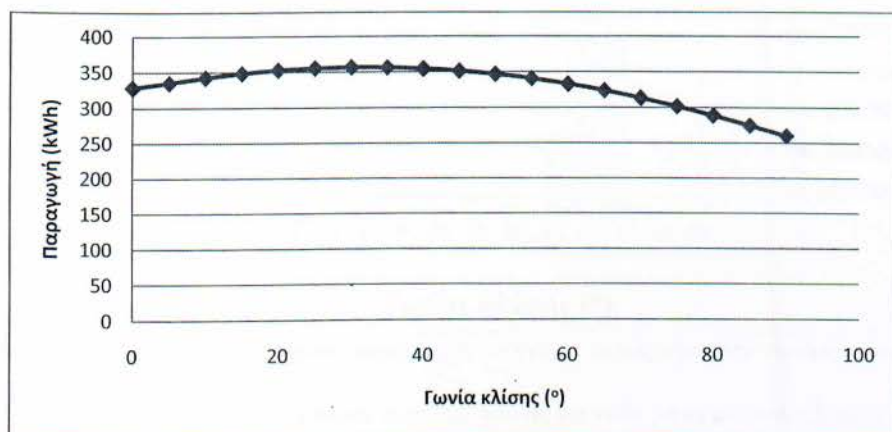
Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ο επόμενος πίνακας ο οποίος παρουσιάζει την ετήσια παραγωγή του Φ/Β πάνελ για κάθε γωνία κλίσης. Με κόκκινο παρουσιάζεται η γωνία κλίσης με την μεγαλύτερη παραγωγή.

Πίνακας 5.1: Ετήσια παραγωγή ανάλογα τη γωνία κλίσης του φ/β πάνελ.

Μοίρες	Παραγωγή(kWh)
0	328,1
5	334,9
10	342,0
15	348,0
20	352,5
25	355,1
30	
35	355,9
40	354,2
45	351,1
50	346,5

55	340,3
60	332,7
65	323,6
70	313,0
75	301,3
80	288,4
85	274,4
90	259,8

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.2 για την περιοχή του ΤΕΙ Πειραιά τη μεγαλύτερη παραγωγή την έχουμε για γωνία κλίσης 30° ενώ για γωνία άνω των 60° η παραγωγή ελαττώνεται αρκετά.



Σχήμα 5.2: Ετήσια παραγωγή ανά γωνία κλίσης.

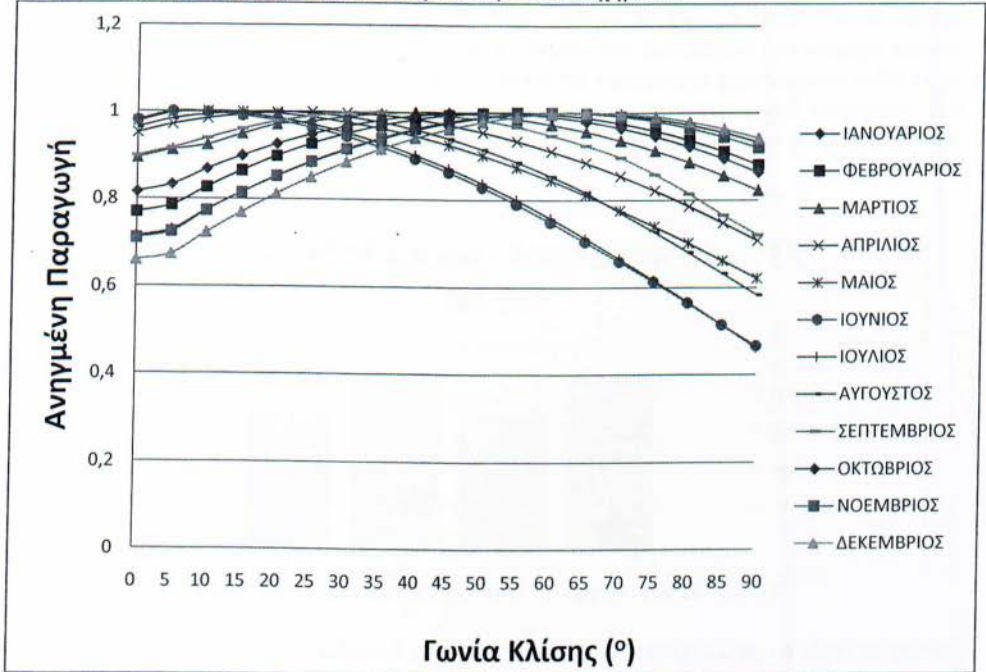
5.3 Σενάρια υπολογισμού παραγωγής ενέργειας

Σε αυτό το σημείο θα υπολογίσουμε την παραγωγή του φ/β πάνελ για 3 διαφορετικά σενάρια. Στο πρώτο σενάριο θα υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή ενέργειας για σταθερή κλίση 30° . Επιλέχθηκαν οι 30° διότι είναι η κλίση με τη μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Στο δεύτερο σενάριο θα υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή μεταβάλλοντας τη γωνία κλίσης μια φορά το χρόνο. Τέλος, στο τρίτο σενάριο, θα υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή στο βέλτιστο ημείο κλίσης για κάθε μήνα.

Για το πρώτο σενάριο (σταθερή γωνία κλίσης 30°) η ετήσια παραγωγή ενέργειας μας είναι γνωστή από τον πίνακα 6.1. Συνεπώς η ετήσια παραγωγή ενέργειας για σταθερή κλίση 30° είναι

$$E_{30^\circ} = 356,3 \text{ kWh.}$$

Για το δεύτερο σενάριο υπολογίστηκε η μεταβολή της ανηγμένης παραγωγής ενέργειας συναρτήσει της γωνίας κλίσης η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3



Σχήμα 5.3: Μεταβολή ανηγμένης παραγωγής ενέργειας συναρτήσει της γωνίας κλίσης.

Από το παραπάνω διάγραμμα βρέθηκαν οι γωνίες κλίσης για κάθε μήνα οι οποίες δίνουν πάνω από 99% της βέλτιστης μηνιαίας παραγωγής οι οποίες παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα καθώς και η βέλτιστη γωνία κλίσης για κάθε μήνα.

Πίνακας 5.2: Βέλτιστη κλίση για κάθε μήνα, κλίση για παραγωγή άνω του 99% της βέλτιστης μηνιαίας παραγωγής και οι κοινές γωνίες κλίσης.

Μήνας	Μοίρες	Βέλτιστη	Κοινές
Ιανουάριος	55-65	60	55
Φεβρουάριος	45-60	55	55
Μάρτιος	35-50	40	-
Απρίλιος	15-35	25	15
Μάιος	5-20	10	15
Ιούνιος	5-15	5	15
Ιούλιος	5-15	10	15
Αύγουστος	10-25	20	15
Σεπτέμβριος	25-45	35	-
Οκτώβριος	40-60	50	55
Νοέμβριος	55-70	60	55
Δεκέμβριος	55-75	65	55

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι οι κοινές γωνίες κλίσης είναι 15° και 55° . Επομένως ο υπολογισμός της ετήσιας ενέργειας για το δεύτερο σενάριο θα γίνει με εναλλαγή της γωνίας κλίσης από τις 15° στις 55° . Επίσης για τους μήνες Μάρτιο και Σεπτέμβριο δεν υπάρχει κάποια από τις προαναφερθείσες κοινές γωνίες κλίσης οπότε θα εξετάσουμε μεμονωμένα κάθε μήνα για να βρούμε σε ποια από τις δύο κλίσεις έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την παραγωγή του Μαρτίου και του Σεπτεμβρίου για κλίση 15° και 55° .



Σχήμα 5.4: Παραγωγή Μαρτίου-Σεπτεμβρίου για 15° και 55° .

Παρατηρούμε ότι είναι πιο αποδοτικό οι μήνες Μάρτιος και Σεπτέμβριος να είναι σε γωνία κλίσης 55° καθώς παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραγωγή.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η ετήσια παραγωγή του Φ/Β πάνελ για το δεύτερο σενάριο είναι

$$E_{15^\circ, 55^\circ} = 368,2 \text{ kWh.}$$

Για το τρίτο και τελευταίο σενάριο υπολογίσαμε την παραγωγή αλλάζοντας την γωνία κλίσης κάθε μήνα στην βέλτιστη κλίση του. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η μηνιαία παραγωγή κάθε μήνα και η βέλτιστη γωνία κλίσης του.

Πίνακας 5.3: Μηνιαία παραγωγή στη βέλτιστη κλίση κάθε μήνα.

Μήνας	Παραγωγή (kWh)	Βέλτιστη Κλίση ($^\circ$)
Ιανουάριος	19,6	60
Φεβρουάριος	23,7	55
Μάρτιος	28,3	40
Απρίλιος	32,3	25
Μάιος	34,4	10
Ιούνιος	42,1	5
Ιούλιος	44,4	10

Αύγουστος	38,7	20
Σεπτέμβριος	35,2	35
Οκτώβριος	24,8	50
Νοέμβριος	25,5	60
Δεκέμβριος	22,2	65

Βάση του παραπάνω πίνακα η ετήσια παραγωγή του φ/β πλαισίου εκτιμάται να είναι:

$$E_{\text{βελ. κλίση}} = 370,1 \text{ kWh.}$$

Εξετάζοντας τα τρία σενάρια συμπεραίνουμε ότι η διαφορά της παραγωγής εναλλάσσοντας την κλίση του πλαισίου στη βέλτιστη κάθε μήνα σε σχέση με την αλλαγή της κλίσης μια φορά το χρόνο είναι πολύ μικρή και σε συνδυασμό με το κόστος και την πολυπλοκότητα της εγκατάστασης καθιστά πολύ δύσκολη την εφαρμογή του. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσουμε πιο από τα δύο σενάρια (α ή β) θα εφαρμόσουμε ώστε να έχουμε τη μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από ένα σύστημα αποτελούμενο από Φ/Β πλαίσια του ίδιου τύπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Διαστασιολόγηση φ/β εγκατάστασης

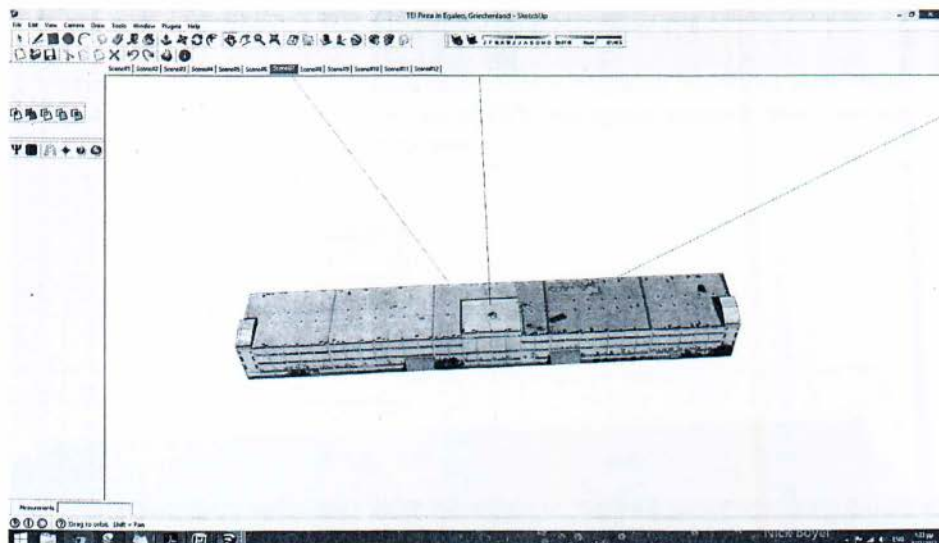
6.1 Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων

Η χωροθέτηση των πλαισίων στην ταράτσα ή στο δώμα κάποιου κτιρίου απαιτεί την γνώση του χώρου όπου θα γίνει η εγκατάσταση, τη γνώση των κανονισμών χωροθέτησης σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και τη μελέτη για την αποφυγή της σκίασης μεταξύ των διαδοχικών σειρών των πανέλων. Το σημαντικότερο που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη στη μελέτη χωροθέτησης είναι η απόσταση της μιας Φ/Β συστοιχίας από την αμέσως επόμενη ώστε να αποφεύγεται η σκίαση τους και να επιτρέπεται η πρόσβαση σε αυτά για τις απαραίτητες λειτουργίες συντήρησης και ελέγχου των πλαισίων. Στη συγκεκριμένη μελέτη δε θα ασχοληθούμε με θέματα νομοθεσίας. Θα εξετάσουμε αν στην ταράτσα του κτηρίου Β, όπου θα τοποθετηθούν τα Φ/Β, είναι καλύτερα να τα τοποθετήσουμε με σταθερή κλίση 30° ή αν έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή αλλάζοντας την κλίση τους μια φορά το χρόνο από τις 15° στις 55° .

Σε αυτό το σημείο έγινε χρήση του προγράμματος SketchUp στο οποίο "μεταφέραμε" μέσω Google-earth το κτήριο Β στο οποίο θα γίνει η μελέτη (Εικόνα 6.1). Επίσης στην εικόνα 6.2 φαίνεται το κτήριο Β μέσα στο πρόγραμμα του SketchUp.



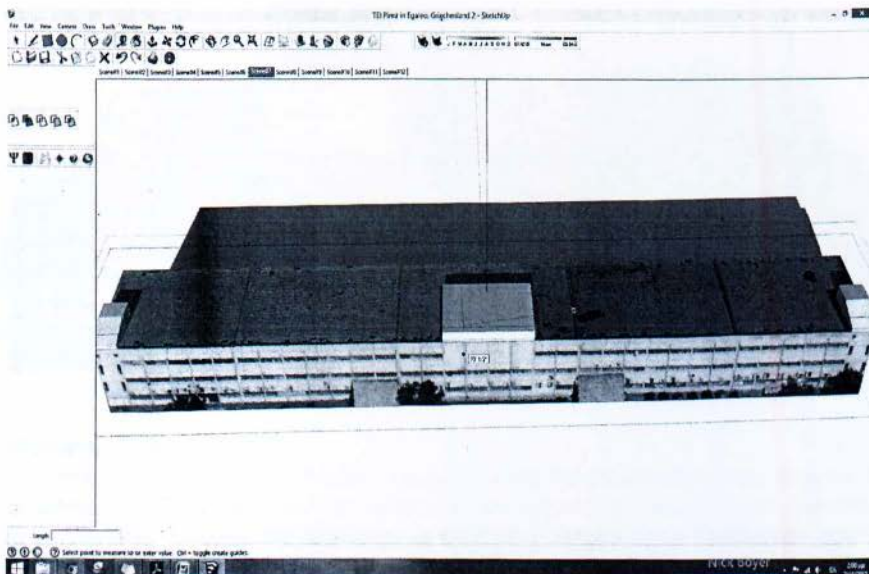
Εικόνα 6.1: Εγκαταστάσεις ΤΕΙ Πειραιά στο Google-Earth.



Εικόνα 6.2: Κτήριο προς μελέτη στο SketchUp.

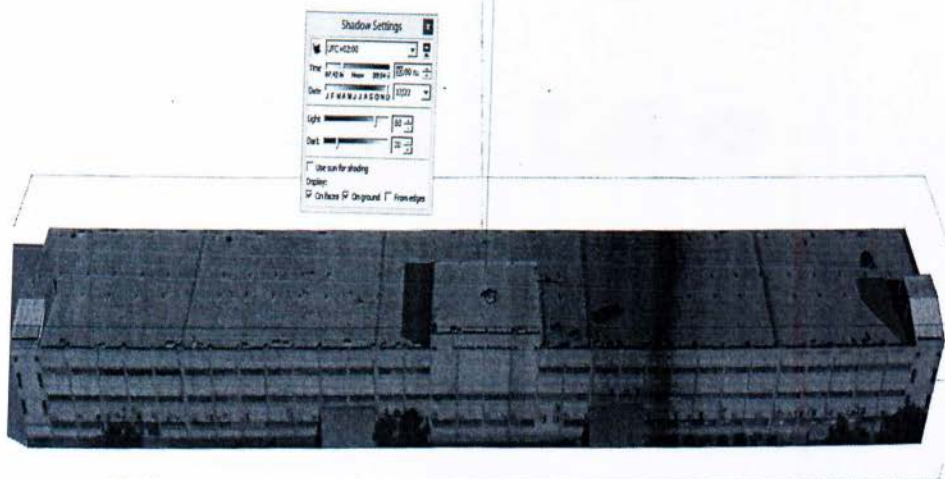
6.2 Αποφυγή σκιάσεων

Στη συνέχεια, επειδή στη στέγη του κτηρίου υπάρχουν κατασκευές οι οποίες προκαλούν σκιάσεις πολλές ώρες μέσα στο χρόνο, και περιμετρικά του κτηρίου υπάρχει στηθαίο, απομονώθηκαν τα σημεία αυτά και η τελική επιφάνεια στην οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν Φ/Β φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

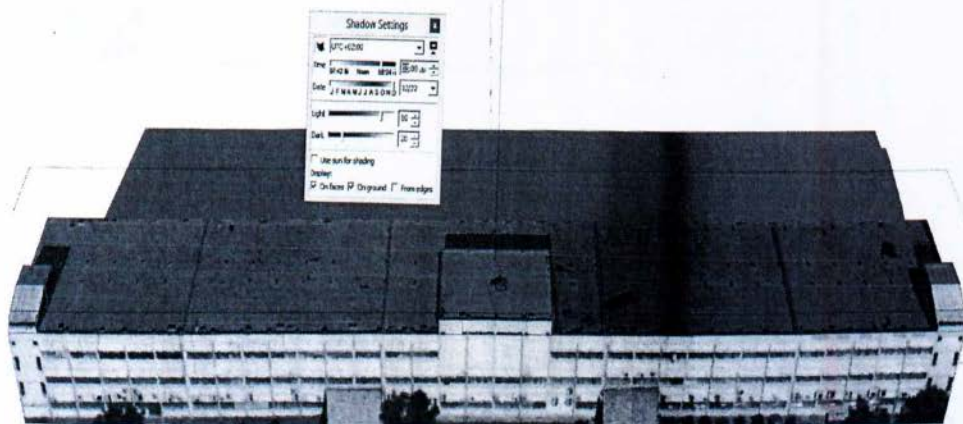


Εικόνα 6.3 Τελική επιφάνεια χρησιμοποίησης Φ/Β.

Επίσης στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η σκίαση της περιοχής που θα εγκατασταθούν τα Φ/Β σε διαφορετικές ώρες της ημέρας για τις 22/12 που έχουμε χειμερινό ηλιοστάσιο και οι σκιάσεις παίρνουν το μεγαλύτερο μήκος τους.



Εικόνα 6.4: Σκιάσεις στην περιοχή προς μελέτη στις 9:00πμ στις 22/12.



Εικόνα 6.5: Σκιάσεις στην περιοχή προς μελέτη στις 3:00μμ στις 22/12.

6.3 Εισαγωγή φ/β

Ξέροντας πλέον την διατεθειμένη περιοχή η οποία δεν επηρεάζεται από σκιάσεις θα χρησιμοποιήσουμε το plug-in Skelion του SketchUp με το οποίο μπορούμε να εισάγουμε Φ/Β στην επιλεγμένη περιοχή. Με βάση τα σενάρια που κάναμε στην παράγραφο 5.3 θα εξετάσουμε ποια λύση έχει μεγαλύτερη παραγωγή τοποθετώντας Φ/Β πλαίσια, είτε σε

οριζόντια διάταξη (landscape), είτε σε κάθετη (portrait), με κλίση στις 30° και 55° . Εφόσον τοποθετήσουμε τα Φ/Β πλαίσια θα μετρήσουμε τον αριθμό των πλαισίων και θα υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή ενέργειας.

Επιλέγουμε την περιοχή στην οποία θέλουμε να εισάγουμε Φ/Β πλαίσια και στη συνέχεια πατάμε στο "Insert >olar Components". Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το παράθυρο που θα εισάγουμε τα δεδομένα μας.

Orientation

- Azimuth (Ψ): 180 Tilt(Σ): 30
 Tilt (Σ): 30 ($\Psi = \Psi_{face}$)
 Relative tilt (Σ_r): 0 ($\Psi = \Psi_{face}$) ($\Sigma_r = 0 \rightarrow$ coplanar)



Component



Length: 1.24 1/2"
 Width: 1.22" (Siliken SLK60P6L 236)
 Thickness: 1 1/2" (Edit general list in .../Plugins/_skellion/dimension_modules.csv)
 Power (W): 235.0
 Weight (Kg): 19.0

Load your own component:

Create custom component:



Space between panels [S]: 0"



Portrait



Landscape



Stack components: 1

Stack space [K]: 1 1/2"




Rows alignment:

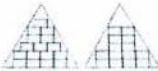
Εικόνα 6.6: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων.

Στο σημείο "Orientation" επιλέγουμε τα πλαίσια να τοποθετηθούν σε αζιμούθιο (Azimuth) 180° , δηλαδή να είναι στραμμένα προς το νότο και κλίση (Tilt) 30° .

Στην περιοχή "Component" γίνεται η επιλογή των Φ/Β πλαισίων. Υπάρχει λίστα με διάφορες εταιρίες και τύπους Φ/Β πλαισίων καθώς και η δυνατότητα να δημιουργήσει ο καθένας το δικό του πλαίσιο. Επίσης φαίνονται οι διαστάσεις του πλαισίου, το βάρος του και η ισχύς του. Εμείς επιλέξαμε πλαίσια της Siliken και συγκεκριμένα το SLK60P6L του οποίου τα χαρακτηριστικά βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Στο επόμενο σημείο μπορούμε να επιλέξουμε αν θέλουμε να πλαίσια να είναι σε οριζόντια διάταξη (landscape) ή σε κάθετη διάταξη (Portrait) καθώς και την απόσταση του κάθε πλαισίου από το διπλανό του. Η εισαγωγή των δεδομένων συνεχίζεται όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.7.




Stack components:
 Stack space [K]:



Rows alignment:

Pitch



Model's date: Year: Month: Day:
 Solstice sunset: Sun Dec 22 17:04:48 UTC 2002
 Solstice sunrise: Sun Dec 22 07:42:41 UTC 2002

Pitch = Shadow + X -> Extra space X = (Shadow = component's width when coplanar lanscape)

Pitch at solstice Noon: Sun Dec 22 12:23:44 UTC 2002

Worst pitch of:

Solstice Noon+Δ: Sun Dec 22 14:23:44 UTC 2002 Δ = hours (can be decimal)

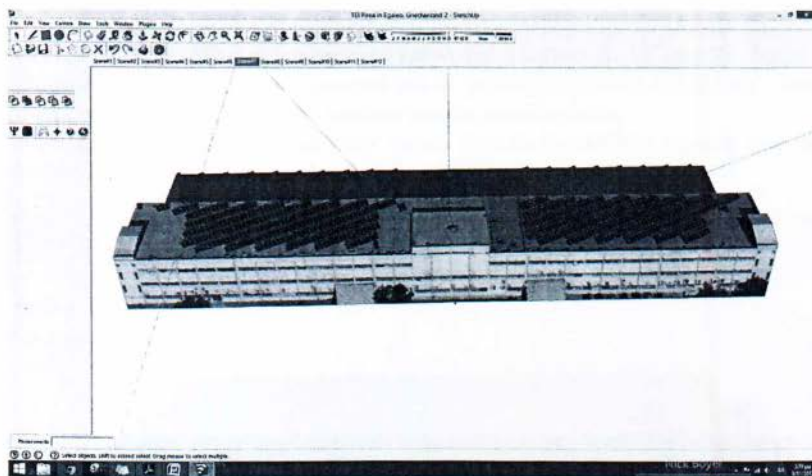
Solstice Noon-Δ: Sun Dec 22 10:23:44 UTC 2002

Your own times: Hours : Minuts (Model's date) : <- -> :

Your own pitch:

Εικόνα 6.7: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων.

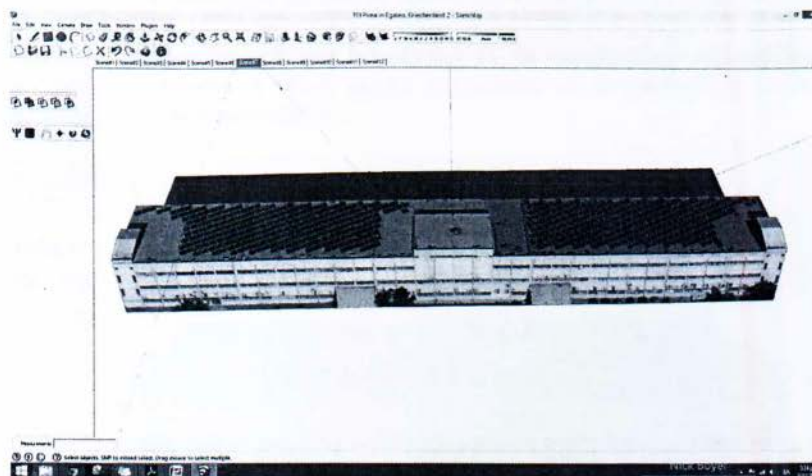
Σε αυτό το σημείο μπορούμε να επιλέξουμε την απόσταση που θα έχει η μια συστοιχία από την αμέσως επόμενη. Επιλέγουμε κάθε φορά το χειρότερο διάστημα για σκίαση στις 22/12, που έχουμε τις μεγαλύτερες σκιάσεις, ± 2 ώρες από το ηλιακό μεσημέρι. Στη συνέχεια επιλέγουμε το κουμπί "Continue" και τα πλαίσια τοποθετούνται στο κτήριο μας. Στην εικόνα 6.8 φαίνεται η τελική μορφή του κτηρίου μας με τα πλαίσια τοποθετημένα σε κάθετη διάταξη (Portrait) και κλίση 30° .



Εικόνα 6.8: Τοποθετημένα πλαίσια σε κάθετη διάταξη (Portrait) στο κτήριο για 30° .

Με τις συγκεκριμένες επιλογές στην στέγη του κτηρίου τοποθετούνται 486 πλαίσια.

Στη συνέχεια ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία, αυτή τη φορά όμως για πλαίσια σε οριζόντια διάταξη (Landscape). Στην εικόνα 6.9 φαίνεται η τελική μορφή του κτηρίου για οριζόντια διάταξη πλαισίων (Landscape) και κλίση των πάνελ 30° .

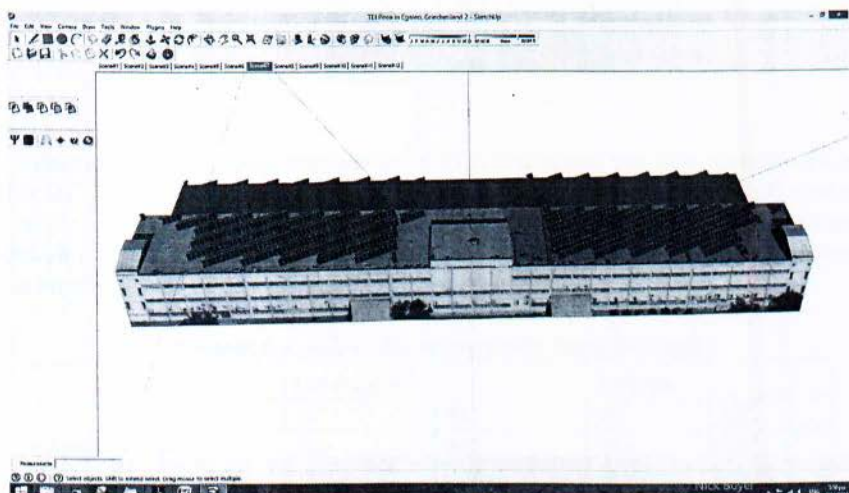


Εικόνα 6.9: Τοποθετημένα πλαίσια σε κάθετη οριζόντια διάταξη (Landscape) στο κτήριο για 30° .

Σε αυτή την περίπτωση τοποθετούνται 509 πλαίσια.

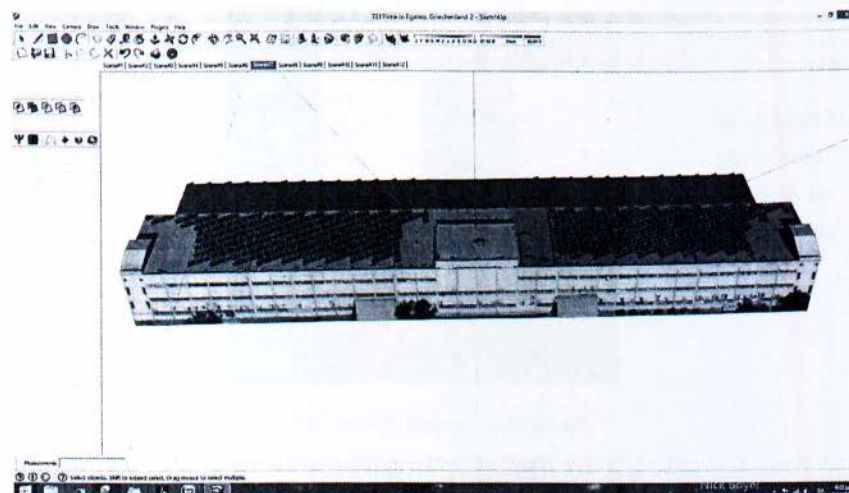
Έπειτα, κάναμε την ίδια διαδικασία ώστε να υπολογίσουμε πόσα πλαίσια θα μπορούν να εγκατασταθούν αλλάζοντας μια φορά το χρόνο την κλίση από τις 15° στις 55° . Για να γίνει αυτό θα πρέπει να γίνουν οι υπολογισμοί για τη μεγαλύτερη κλίση, δηλαδή 55° , διότι θα είναι συγκεκριμένος ο αριθμός των πλασιών που θα τοποθετηθούν.

Έτσι προκύπτει και βλέπουμε στην εικόνα 6.10 ότι για κάθετη διάταξη στις 55° θα τοποθετηθούν 426 πλαίσια.



Εικόνα 6.10: Τοποθετημένα πλαίσια σε κάθετη διάταξη (Portrait) στο κτήριο για 55° .

Τέλος, για πλαίσια σε οριζόντια διάταξη στις 55° θα τοποθετηθούν 428 Φ/Β πλαίσια. Στην εικόνα 6.11 φαίνεται η τελική μορφή του κτηρίου αν τοποθετήσουμε πλαίσια σε οριζόντια διάταξη (Landscape) στις 55° .



Εικόνα 6.11: Τοποθετημένα πλαίσια σε οριζόντια διάταξη (Landscape) στο κτήριο για 55° .

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα παραπάνω αποτελέσματα.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωμένα αποτελέσματα

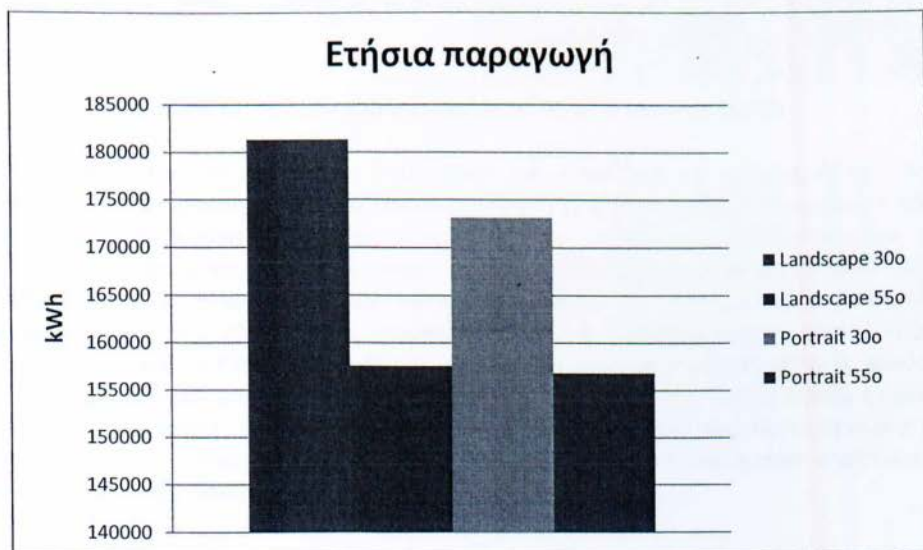
	Landscape		Portrait	
Γωνία κλίσης (°)	30	55	30	55
Αριθμός πλαισίων	509	428	486	426

6.4 Παραγωγή συστήματος

Έχοντας υπολογίσει στην παράγραφο 5.3 την παραγωγή του ενός πλαισίου για κλίση 30° και 55° και έχοντας βρει πόσα πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν σε κάθε περίπτωση στη στέγη του κτηρίου από την παράγραφο 6.3 μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε την παραγωγή για κάθε περίπτωση. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας στον οποίο φαίνεται η ετήσια παραγωγή και η εγκατεστημένη ισχύς της εγκατάστασης.

Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγωγή κάθε εγκατάστασης

	Landscape		Portrait	
	30°	55°	30°	55°
Αριθμός Πάνελ	509	428	486	426
Ισχύς (kW)	119,6	100,6	114,2	100,1



Σχήμα 6.1: Ετήσια παραγωγή

Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι τη μεγαλύτερη παραγωγή θα την έχουμε αν τοποθετήσουμε τα Φ/Β πλαίσια σε οριζόντια διάταξη(Landscape) σε σταθερή κλίση 30°.

6.5 Σύγκριση με PVGIS

Για να έχουμε μια καλύτερη άποψη όσον αφορά στα αποτελέσματα της εργασίας τα συγκρίνουμε και με άλλο πρόγραμμα. Ένα εύκολο και γρήγορο στη χρήση πρόγραμμα είναι το PVGIS το οποίο βρίσκεται στην διαδικτυακή σελίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης [16], φωτογραφία του οποίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, there are navigation links and a search bar. The main area is divided into a map on the left and a configuration panel on the right. The configuration panel is titled "Performance of Grid-connected PV" and includes the following settings:

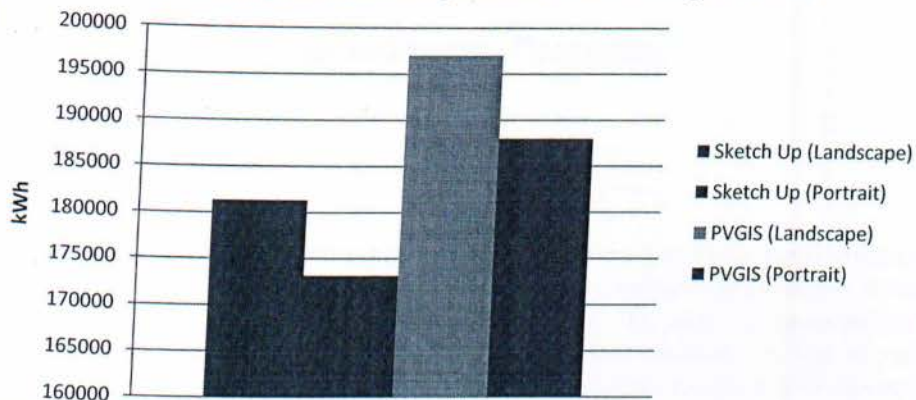
- Radiation database:** Climate-SAF PVGIS
- PV technology:** Crystalline silicon
- Installed peak PV power:** 119.5 kWp
- Estimated system losses [0;100]:** 10 %
- Fixed mounting options:**
 - Mounting position:** Free-standing
 - Slope [0;90]:** 30 ° Optimize slope
 - Azimuth [-180;180]:** 0 ° Also optimize azimuth
- Tracking options:**
 - Vertical axis Slope [0;90] 0 ° Optimize
 - Inclined axis Slope [0;90] 0 ° Optimize
 - 2-axis tracking
- Horizon file:** Επιλογή αρχείου Δεν έχει επιλεγεί κανένα αρχείο
- Output options:**
 - Show graphs Show horizon
 - Web page Text file PDF

A "Calculate" button is located at the bottom of the configuration panel.

Εικόνα 6.12: Πρόγραμμα υπολογισμού ετήσιας παραγωγής Φ/Β.

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα επιλέγουμε την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται το κτήριο στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την παραγωγή. Στη συνέχεια από τη δεξιά στήλη επιλέγουμε τα δεδομένα της εγκατάστασης δηλαδή την τεχνολογία του Φ/Β πλαισίου, την ισχύ της εγκατάστασης, απώλειες λόγω σκίασης, απώλειες θερμοκρασίας κτλ, μέρος τοποθέτησης Φ/Β πλαισίων, γωνία κλίσης, αζιμουθίο, αν υπάρχει κάποιο σύστημα παρακολούθησης του ήλιου. Τέλος πατώντας το κουμπί Calculate υπολογίζει την ετήσια παραγωγή. Επίσης το PVGIS υπολογίζει την παραγωγή μόνο σε σταθερή κλίση γι' αυτό θα συγκρίνουμε τις τιμές μας μόνο για την σταθερή κλίση των 30° που ούτως ή άλλως έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή. Συμπληρώνοντας την ισχύ του συστήματος μας, τη γωνία κλίσης και βάζοντας ένα μικρό ποσοστό απωλειών προκύπτει ο παρακάτω πίνακας στον οποίο γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα δύο προγράμματα.

Σύγκριση αποτελεσμάτων SketchUp-PVGIS



Διαφορά: 8%

Σχήμα 6.2: Σύγκριση των αποτελεσμάτων

Οι τιμές των αποτελεσμάτων δεν έχουν μεγάλες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η τελική επιλογή για την εγκατάστασή μας η οποία θα μας επιφέρει τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας.

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα βέλτιστης εγκατάστασης

Διάταξη φ/β	Οριζόντια (Landscape)
Κλίση φ/β(°)	30°
Αριθμός Πανελ	509
Ισχύς εγκατάστασης (kW)	119,6
CF	17,30%
Ετήσια Παραγωγή MWh	181,3
Ενεργειακή κάλυψη	5,30%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Συμπεράσματα- Προτάσεις

Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εξετάστηκε η ενεργειακή συνεισφορά μιας εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων στη στέγη του ΤΕΙ Πειραιά ώστε να μπορέσουμε να καλύψουμε μέρος των αναγκών του ΤΕΙ. Υπολογίσαμε τις ηλεκτρικές καταναλώσεις του ΤΕΙ ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ενεργειακή κάλυψη που θα παρείχε η Φ/Β εγκατάσταση. Έχοντας πάρει τις μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο από το εργαστήριο των Ήπιων Μορφών Ενέργειας του ΤΕΙ υπολογίσαμε μέσα από μαθηματικό μοντέλο την ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο. Στη συνέχεια βρήκαμε σε ποια κλίση θα έχουμε τη μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας και εξετάσαμε διαφορετικά σενάρια ώστε να βρούμε την βέλτιστη επιλογή για να έχουμε τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας.

Τελικά καταλήξαμε ότι η επιλογή που θα μας δώσει την μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας είναι να τοποθετηθούν 509 Φ/Β πάνελ στη στέγη του κτηρίου Β, σε οριζόντια διάταξη (landscape) και σε κλίση 30°. Με αυτά τα χαρακτηριστικά η εγκατάστασή μας θα έχει 120 kW ισχύ, ενώ η ετήσια παραγωγή ενέργειας θα είναι περίπου 181 MWh η οποία μας καλύπτει μόνο το 5,3 % των ετήσιων αναγκών για ηλεκτρισμό του ΤΕΙ. Στην παρούσα εργασία δεν εξετάσαμε καθόλου την εγκατάσταση με κάποιο σύστημα αποθήκευσης διότι θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη ο χώρος που απαιτείται για μια τέτοια εγκατάσταση για την τοποθέτηση των μπαταριών καθώς επίσης και το κόστος επένδυσης.

Με μια τέτοια εγκατάσταση το ΤΕΙ θα συνεισφέρει στην προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης θα μπορέσει να παρέχει ρεύμα σε ευαίσθητες εργαστηριακές συσκευές. Ακόμα, με τη συγκεκριμένη εγκατάσταση το ΤΕΙ θα εξοικονομήσει πάνω από 18.000 € το χρόνο. Τέλος, το ΤΕΙ θα ωφελήσει εκπαιδευτικά σπουδαστές και καθηγητές καθώς θα γίνονται μετρήσεις και εργαστηριακά μαθήματα στη Φ/Β μονάδα, ώστε οι σπουδαστές να μάθουν και να δουν από κοντά τα οφέλη και τα πλεονεκτήματα της Φ/Β τεχνολογίας, και γενικότερα τα θετικά των ΑΠΕ.

Προτάσεις

Σαν προτάσεις για περαιτέρω ανάλυση στα πλαίσια κάποιας άλλης διπλωματικής εργασίας θα μπορούσαν να εξετασθούν:

- Επέκταση του φ/β συστήματος σε όλα τα κτήρια του ΤΕΙ Πειραιά και υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας και της ενεργειακής κάλυψης στις ανάγκες του ΤΕΙ Πειραιά.
- Μελέτη για ενεργειακή κάλυψη στις ανάγκες μόνο του Β κτηρίου του ΤΕΙ Πειραιά όπου θα είναι εγκατεστημένο το φ/β σύστημα.

- Σχεδιασμός χωροθέτησης και υπολογισμός απόδοσης φ/β μονάδας με σύστημα περιστρεφόμενων βάσεων.
- Μελέτη του συστήματος σε συνδυασμό με συσσωρευτές

Βιβλιογραφία

1. Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια, Ενεργειακά Ισοζύγια.
2. ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ,Εταιρία που δραστηριοποιείται στο χώρο των ΑΠΕ
<http://www.terna-energy.com/el/company/The-Sector/>
3. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια <http://195.251.42.2/cgi-bin/nisehist.sh> , Ενεργειακά Ισοζύγια.
4. Κωνσταντίνα Α. Μπαμπαλή,Αθήνα 2011,Διπλωματική εργασία με τίτλο Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις σε Κτίρια, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών.
- 5.Εργασία του Department of Trade and Industry (DTI), με θέμα "LARGE-SCALE BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS FIELD TRIAL", UK 2004.
- 6.Περιοδικό Building Green, Άρθρο με θέμα "Φωτοβολταϊκό πάρκο στις στέγες των κτιρίων της ABB Ελλάδος", Φεβρουάριος 2012. <http://buildinggreen.gr>
7. Ενδεικτικό Έργο εταιρίας ENGAIA στη ΒΙ.ΠΕ Ιωαννίνων <http://www.engaia.gr/#>
8. Ιάσων Α. Ρουτσολιάς,Αθήνα 2008,Διπλωματική Εργασία με θέμα "Επίδραση Σκίασης και Ρύπανσης στην Ενεργειακή Απόδοση Φωτοβολταϊκού Σταθμού", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών.
9. KB ENERGY Ltd,Εταιρία κατασκευής φ/β συστημάτων
http://kbenergy.blogspot.gr/2011/01/blog-post_29.html
10. Γρηγόριος Τσίγκλος Μηχανολόγος/Ενεργειακός Μηχανικός MEng, MSc, Διαδुकτικακό Άρθρο με θέμα "Φωτοβολταϊκά: απώλειες απόδοσης στην Αθήνα λόγω κλίσης και προσανατολισμού"
<http://www.econews.gr/2012/05/17/fotovoltaiika-klisi-prosanatolismos-apodosi/>
- 11.Κουτελισάκης Ηλίας, Αθήνα 2012, Διπλωματική Εργασία με τίτλο "Καθορισμός παραγόντων που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ σε φ/β πάρκο 80kWp", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών.
12. Ιάσων Α. Ρουτσολιάς,Αθήνα 2008,Διπλωματική Εργασία με θέμα "Επίδραση Σκίασης και Ρύπανσης στην Ενεργειακή Απόδοση Φωτοβολταϊκού Σταθμού", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών.

-
13. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2011, Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων.
14. Περιοδικό "International Journal of Hydrogen Energy", August 2011, Angelo Basile, Bin Zhu, Adolfo Iulianelli and Viviana Cigolotti.
15. Ιωάννης Κ. Καδέλλης, Κοσμάς Α. Καββαδίας, 2001, Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.
16. EUROPEAN UNION, European Commission, Join Research Center, Institute of Energy and Transport , PV-GIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

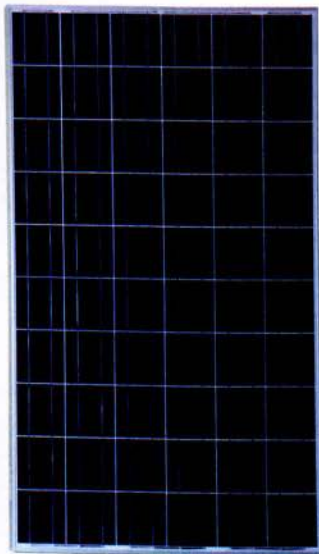
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

SLK60P6L SLV/WHT 220 W - 255 W

Poly-Crystalline Solar Modules

Real World Tested • Globally Trusted

siliken



- **Manufactured in Ontario, Canada**
- **Positive Power Tolerance +3/0 %**
- **10 Year Workmanship Warranty**
- **25 Year Linear Power Guarantee**
- **Outstanding Low-Light Performance**
- **UL and TÜV Certified**
- **High Performance Modules with Efficiency up to 15.7%**
- **MC4 or compatible connectors**



The Siliken module is rated first by Photon Laboratory for long term energy production. It generates 5.9% more power than the average value of all the modules studied and 12.4% more than the minimum value recorded.

Why Siliken?

- We have been manufacturing in Europe for 10 years and in USA for 4 years.
- Our global success has established a solid foundation to service the long-term needs of the solar industry.
- With over 300 MW installed worldwide, we have built a respected brand by consistently providing a quality product with proven performance.
- Our investment in R&D illustrates our commitment to reduce costs and improve efficiencies.



Siliken Reliability

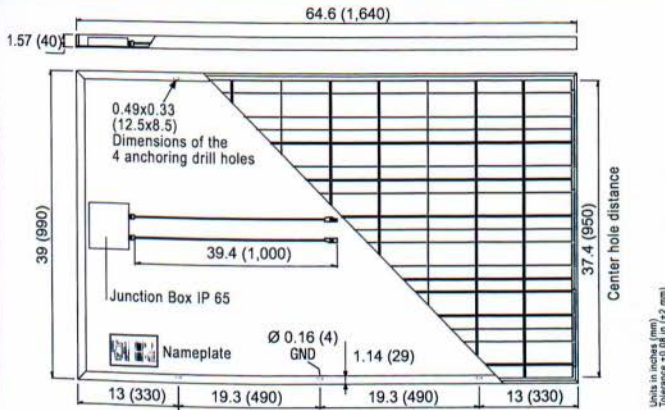
Siliken modules are certified according to UL and TÜV standards. The high quality and reliability ensure the prompt return of investment for any PV installation, including residential, commercial or utility scale.

Each module goes through testing phases, including strict power production verification and resistance tests in radiation simulators. With innovative products and solutions successfully implemented around the world, Siliken is a recognized global leader in solar power.

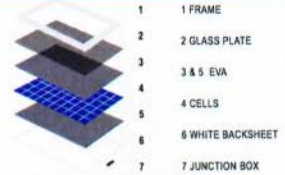


SLK60P6L SLV/WHT 220 W - 255 W

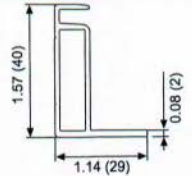
Poly-Crystalline Solar Modules



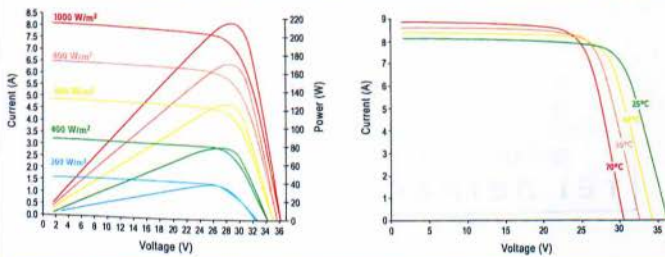
Construction Characteristics



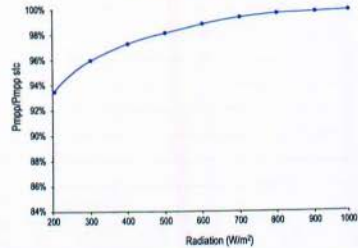
Frame Cross Section



SLK60PEL - 225W I-V and Pmax characteristics with a variety of radiation levels at 77°F (25°C) SLK60PEL - 225W I-V characteristics with a variety of cell temperatures at 92.94W/m² (1,000 W/m²)



Weak light performance at Pmp 77°F (25°C) — Siliken module's average



Mechanical Data

Dimensions (LxWxD)	64.6 x 39 x 1.57 in (1640 x 990 x 40 mm)
Weight	41.9 lbs (19 kg)
Output Cables	RHW-2 asymmetrical length cable 39.4 in (1 m) Multi-Contact connectors (MCA)
Junction Box	IP-65 rated with bypass diodes
Frame	Anodized aluminum of 15 micrometers of thickness type 6063 T6
Front Glass	0.125 in (3.2 mm) low iron tempered glass with high transmissivity
Solar Cells	60 Poly-crystalline cells 6 x 6 in (156 x 156 mm)

Electrical Data

	P _{mp} (W)	220	225	230	235	240	245	250*	255*
Maximum power at STC (+3/0 %)	P _{mp} (W)	220	225	230	235	240	245	250*	255*
Efficiency at STC	η (%)	13.6	13.9	14.2	14.5	14.8	15.1	15.4	15.7
Power per Unit Area	P _{mp} (Wp/Sq Ft)	12.6	12.9	13.2	13.4	13.7	14.0	14.3	14.6
Voltage at Maximum Power	V _{mp} (V)	29.2	29.3	29.5	29.5	29.6	29.6	29.8	29.8
Current at Maximum Power	I _{mp} (A)	7.54	7.68	7.79	7.97	8.12	8.27	8.39	8.56
Open Circuit Voltage	V _{oc} (V)	36.7	36.8	36.9	36.9	37.0	37.0	37.1	37.1
Short Circuit Current	I _{sc} (A)	8.10	8.20	8.32	8.47	8.61	8.75	8.91	9.02
Maximum Voltage UL	V _{max} (V) UL	600							
Temperature Coefficient of Pmp	T _p P _{mp} (%/°C)	-0.43							
Temperature Coefficient of Voc/Vmp	T _v V _{oc} /T _v V _{mp} (%/°C)	-0.358 / -0.500							
Temperature Coefficient of Isc/Imp	T _i I _{sc} /T _i I _{mp} (%/°C)	+0.062 / +0.030							
Normal Operating Cell Temperature	NOCT (°F)(°C)	114.8±3.2 (46±2)							
Series Fuse Rating	A	15							
Bypass Diodes	A / V	15 / 40							
Reverse current test	A	15							

Values at Standard Test Conditions STC: Irradiance 92.94 W/m² (1,000 W/m²), Air Mass AM 1.5 and cell temperature 77°F (25°C)

* Subject to availability.

WARNING: Read the instruction manual carefully before using this product. NOTE: Siliken Canada reserves the right to modify this product without prior notice

Siliken Canada · 1 Yonge Street, Suite 1801 · Toronto ON M5E 1W7 Canada · Tel.: +1 (416) 214-3655 · Fax: +1 (416) 369-0515 · www.siliken.com

Certifications

UL Listed	UL 1703
Fire Rating	Class C
TÜV Certified	IEC 61215 / IEC 61730 / 61701 Salt Mist Corrosion
EC Declaration of conformity (CE Mark)	
CEC (California Energy Commission) Program Registered	
FSEC (Florida Solar Energy Center) PV Module Certification	
MCS Mark (Microgeneration Certification Scheme)	

Test Operating Conditions

Temperature	-40 °F to +185 °F (-40 °C to +85 °C)
Static Load	50 psf (2400 Pa)
Max Load	112.8 psf (5400 Pa)
Impact Resistance	Halstone impact Ø1 in at 52 mph (Ø25 mm at 23 m/s)

Product Warranty

10 year limited warranty on materials and workmanship

25 Year Linear Power Guarantee

Year 1: 97% of rated output
Years 2-25: 0.7% p.a. reduction