

**ΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ»**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΠΙΤΙΡΝΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΟΛΥΖΟΣ ΣΕΡΑΦΙΜ**

**ΛΑΡΙΣΑ**  
**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2013 -2014**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κων. Σεραφίμ Πόλυζο για την καθοδήγηση και το υλικό που μου παρείχε καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την υποστήριξη που μου παρείχαν. Επίσης ευχαριστίες θα ήθελε να δώσω στον Διευθύνοντα Σύμβουλο της εταιρίας “Solair Systems” κων. Ανέστη Αναστασιάδη, τον Πρόεδρο της εταιρίας “Future Energy Investment eg” κων. Παντελή Μήτσιου και στον προϊστάμενο μελετών του ΔΕΔΗΕ της περιοχής Λάρισας κων. Αντώνη Αργυρόπουλο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την παρούσα εργασία επιχειρείται να δημιουργηθεί ένα μεθοδολογικό πλαίσιο όσον αφορά την βέλτιστη λύση μιας επένδυσης σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στον ευρύτερο γεωγραφικό χώρο της πόλης της Λάρισας, χωρίς αυτό όμως να σημαίνει ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί και οπουδήποτε αλλού. Τα ερωτήματα που απαντώνται είναι ποια η βέλτιστη κλίση των πάνελ ανάλογα με την τοποθεσία της επένδυσης, ποιο είναι το ιδανικό ποσό που πρέπει να επενδύσω, σε ποια τεχνολογία και πότε να επενδύσω χρονικά.

Γίνεται αρχικά μία αναφορά στα είδη ενέργειας που έχουν χρησιμοποιηθεί από την ανθρωπότητα έως σήμερα και τεκμηριώνεται η αναγκαιότητα χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως η φωτοβολταϊκή η οποία θα μας απασχολήσει σε αυτή την εργασία. Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται μία σύντομη ανασκόπηση της θεωρίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου από φυσικής και ηλεκτρολογικής απόψεως.

Η απόδοση ενός ΦΒ πάρκου και κατά συνέπεια η απόδοση της επένδυσής μας εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων που επιδρούν στο μέγεθος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια στην αποδοτικότητα αυτής. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αξιολογούνται ως προς την απόδοσή τους τα είδη των φωτοβολταϊκών πάνελ που υπάρχουν στο εμπόριο αλλά και αυτά που είναι ακόμη σε ερευνητικό στάδιο. Επίσης ερευνήθηκε ο τρόπος και βαθμός της επίδρασης των τεχνολογικών παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση μιας φωτοβολταϊκής επένδυσης. Αυτοί είναι το υλικό και η τεχνολογία κατασκευής των ΦΒ πλαισίων, η τεχνολογία των μετατροπέων (inverters), οι απώλειες των καλωδίων και τέλος τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιούμε.

Η απόδοση μιας επένδυσης σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, εξαρτάται και από την τοποθεσία όπου πρόκειται αυτή να εγκατασταθεί. Στο τέταρτο κεφάλαιο λοιπόν θα ασχοληθούμε με τους κλιματολογικούς και τοπογραφικούς παράγοντες όπως το υψόμετρο, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ρύποι του περιβάλλοντος κ.λ.π. οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, άρα και της επένδυσης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι οικονομικοί παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση μίας φωτοβολταϊκής επένδυσης. Αυτοί είναι το μέγεθος της ισχύς του φωτοβολταϊκού πάρκου το οποίο αντανακλά στο κεφάλαιο που απαιτείται για την

επένδυση και η οικονομία κλίμακας που μπορούμε να πετύχουμε. Επίσης άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ο τρόπος και η τιμή πώλησης των παραγόμενων Kwh.

Ακολούθως στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται δύο από τους σπουδαιότερους παράγοντες επίδρασης της απόδοσης. Η απόκλιση από τον νότιο προσανατολισμό και η βελτιστοποίηση της κλίσης των panel.

Στο έβδομο κεφάλαιο τίθενται τα ερευνητικά ερωτήματα που θα απασχολήσουν την παρούσα εργασία, αναπτύσσεται η ερευνητική μεθοδολογία, και τέλος κατατίθεται η πρόταση. Στο κεφάλαιο αναπτύσσεται μία εφαρμογή στην περιοχή της Λάρισας για την εύρεση της βέλτιστης τιμής της κλίσης των πάνελ και πως επηρεάζει την απόδοση η απομάκρυνση από αυτή την τιμή. Αποδεικνύουμε κεφάλαιο για πιο ύψος κεφαλαίου και για ποιον εξοπλισμό μεγιστοποιείται η απόδοση της επένδυσης ανάλογα με το μέγεθος της εγκαταστημένης ισχύος. Επίσης με ποιόν τρόπο επιδρούν τα τιμολόγια πώλησης στην κερδοφορία της επένδυσης.

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο ακολουθούν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## **ABSTRACT**

In the present paper attempts to provide a methodological framework for the optimal solution of an investment in PV system power production especially in the wider geographical area of Larissa, without this meaning that it can be applied elsewhere. The questions answered are what the optimal slope of the panel depending on the location of the investment is what the ideal amount to invest is, in which technology and when it's the right time to invest.

We refer to the types of energy used by mankind to date and documented the need to use renewable energy sources and especially photovoltaics which will occupy us in this work. The second chapter offers a brief overview of the theory of the photovoltaic effect of physical and electrical standpoint.

The performance of a PV park and therefore the ROI depends upon a number of factors that affect the size of the generated electricity and therefore the efficiency of this. The third chapter presented and evaluated for their performance types of photovoltaic panels that are commercially available and those that are still at the research stage. Also the method and degree of the effect of technological factors affecting the performance of a photovoltaic coating was investigated. These are the material and manufacturing technology of P\B frames, technology converters (inverters), cable losses and in the end the various materials we use.

The return on an investment in PV system depends on the location where it is to be installed. The fourth chapter will therefore deal with the climatic and topographical factors such as altitude, temperature, humidity, environmental pollutants etc. which affect the performance of a PV system, and hence investment.

The fifth chapter analyzes the economic factors affecting the performance of a PV investment. These are the size of power of the photovoltaic park which reflects the capital needed for investment and economies of scale we can achieve. Also another important factor is the way and the selling price of produced Kwh.

Then the sixth chapter analyzes two of the most important factors effecting performance. The deviation from the south-facing slope of the optimization of the panel.

The seventh chapter lays gown the research questions to be addressed by this thesis develops the research methodology, and finally the motion lays down. The chapter develops an application in Larissa for finding the optimum value of the slope of the panel and how it affects performance removal of this rate. We prove for which amount of capital

and what equipment is maximized ROI depending on the size of the installed power. Also how the sales invoices affect on the profitability of the investment.

Finally the eighth chapter conclusions and recommendations for future research follow.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ...5	
2.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΚΥΨΕΛΗ.....	5
2.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	6
2.3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ.....	9
2.4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	10
2.5. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ-ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ.....	10
2.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ	
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	12
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	12
3.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	13
3.3.ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΠΟΛΥΚΡΙΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	14
3.4. ΑΡΣΕΝΙΚΟΥΧΟ ΓΑΛΛΙΟ (GaAs).....	14
3.5. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΥΛΙΚΑ ΛΕΠΤΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ.....	15
3.5.1. Φωτοβολταϊκές κυψέλες άμορφου πυριτίου.....	15
3.5.2. Φωτοβολταϊκές κυψέλες CdTe και CdS.....	16
3.5.3 Φωτοβολταϊκές κυψέλες CuInSe <sub>2</sub> ή CIGS.....	16
3.6. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΥΤΤΑΡΑ.....	17
3.7. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	17
3.8. ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	17
3.9. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	17
3.10. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ	
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	19
3.11. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΗΣ AC	
ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ.....	19
3.12. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ	
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ.....	19
3.13 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΛΟΓΩ	
ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.....	20

3.14. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ Ή ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΟΙ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	22
4.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	22
4.2.ΕΚΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	24
4.3. ΕΚΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	25
4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	27
4.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	31
4.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	32
4.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	35
5.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	35
5.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΩΛΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ KWh ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	36
5.2.1 Πώληση με εγγυημένες τιμές.....	36
5.2.2. Πώληση με Net-metering.....	38
5.2.3. Πώληση στην απελευθερωμένη αγορά.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ.....	40
6.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΗΛΙΟΥ ΓΗΣ.....	40
6.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΓΗ.....	42
6.3 Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ.....	43



6.4 Η ΗΛΙΑΚΗ ΩΡΑ.....	47
6.5 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	48
6.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ – ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ.....	48
6.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	51
6.7.1 Επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό και σταθερή κλίση πλαισίου.....	52
6.7.2 Επιφάνειες με τυχαίο προσανατολισμό και σταθερή κλίση πλαισίου.....	53
6.8 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ.....	54
6.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ- ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>57</b>
7.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	57
7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΑΡΙΣΑ.....	59
7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	73
7.3.1 Δεδομένα της εργασίας.....	73
7.3.2. Μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης (€/kWp) σε συνάρτηση με την ισχύ.....	75
7.3.3. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 10 kWp.....	77
7.3.4. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 100 kWp.....	81
7.3.5. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 150 kWp.....	84
7.3.6. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 500 kWp.....	88
7.3.7. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 1 MWp.....	91
7.3.8. Συγκεντρωτικά στοιχεία για την Καθαρή Παρούσα Αξία και τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης.....	95
7.3.9. Τιμολόγηση βάση του ΦΕΚ 1103B/02-05-2013.....	97
7.3.10. Οικονομική ανάλυση εφαρμογής του Net Metering.....	103
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>108</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>111</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>115</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Ετήσια αύξηση της κατανάλωσης άνθρακα.....	1
Διάγραμμα 1.2: Ετήσια αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου.....	1
Διάγραμμα 1.3: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά πηγή, με βάση το έργο του Vaclav Smil και την Ετήσια Έκθεση της BP για την περίοδο από το 1965 ως σήμερα.....	3
Διάγραμμα 1.4: Διαχρονική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού.....	3
Διάγραμμα 2.1: Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης (I-V).....	7
Διάγραμμα 2.2: Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύς-τάσης (P-V).....	7
Διάγραμμα 3.1: Επισκόπηση Φ\B κυψελών βάση των υλικών κατασκευής τους.....	13
Διάγραμμα 3.2: Διαχρονική εξέλιξη απόδοσης Φ\B κυψελών σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.....	18
Διάγραμμα 3.3: Ωριαία συνολική ακτινοβολία που λαμβάνεται από σταθερής κλίσης και δύο αξόνων ΦB πάνελ στις 18.06.2003 στην Sanliurfa.....	21
Διάγραμμα 4.1: Μεταβολή χαρακτηριστικής Φ\B σε σχέση με την μεταβολή της ακτινοβολίας.....	22
Διάγραμμα 4.2: Επίδραση της θερμοκρασίας επί της χαρακτηριστικής του Φ/B.....	26
Διάγραμμα 4.3: Επίδραση της αύξηση της πυκνότητας της σκόνης στην ισχύ εξόδου.....	29
Διάγραμμα 4.4: Μεταβολή της χαρακτηριστικής ρεύματος –τάσης μιας μονάδας CPV για διάφορα επίπεδα σκόνης.....	29
Διάγραμμα 4.5: Επίδραση της ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορες πυκνότητες σκόνης στην ισχύ εξόδου του Φ/B.....	30
Διάγραμμα 4.6: Επίδραση διαφόρων κατηγοριών σκόνης στην ισχύ του Φ/B.....	31
Διάγραμμα 4.7: Σχέση μεταξύ τιμών ανάκλασης και γωνίας πρόσπτωσης κρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου.....	32
Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή ηλιακής απόκλισης στην διάρκεια του έτους.....	42
Διάγραμμα 6.2: Ετήσια μεταβολή του ύψους του Ήλιου.....	44
Διάγραμμα 6.3: Συντελεστής διόρθωσης ηλιακού χρόνου.....	47
Διάγραμμα 6.4: Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην εξωτερική ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης.....	50
Διάγραμμα 6.5: Σύγκριση ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη κλίσης στις μηνιαίες βέλτιστες γωνίες, εποχιακά βέλτιστες γωνίες κλίσης και γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια.....	55

Διάγραμμα 7.1: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	61
Διάγραμμα 7.2: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	62
Διάγραμμα 7.3: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	62
Διάγραμμα 7.4: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	63
Διάγραμμα 7.5: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	64
Διάγραμμα 7.6: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	64
Διάγραμμα 7.7: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	65
Διάγραμμα 7.8: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Αύγουστο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	65
Διάγραμμα 7.9: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	66
Διάγραμμα 7.10: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	67
Διάγραμμα 7.11: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	67
Διάγραμμα 7.12: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	68
Διάγραμμα 7.13: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για όλους τους μήνες του έτους στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με κλίση του συλλέκτη.....	68
Διάγραμμα 7.14: Μεταβολή της μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους σε σχέση με διάφορες τιμές της κλίσης του συλλέκτη για την περιοχή της Λάρισας.....	69
Διάγραμμα 7.15: Μεταβολή της μέγιστης μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας στον συλλέκτη για βέλτιστη κλίση ανά μήνα.....	70
Διάγραμμα 7.16: Μεταβολή της βέλτιστης κλίσης συλλέκτη ανά μήνα.....	70

Διάγραμμα 7.17: Μέγιστη ετήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για διάφορες κλίσεις στην περιοχή Λάρισας.....	71
Διάγραμμα 7.18: Μέγιστη χειμερινή εξαμηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον συλλέκτη για διάφορες κλίσεις στην περιοχή Λάρισας.....	72
Διάγραμμα 7.19: Μέγιστη εαρινή εξαμηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον συλλέκτη για διάφορες κλίσεις στην περιοχή Λάρισας.....	72
Διάγραμμα 7.20: Μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης (σε €/kWp) σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης.....	77
Διάγραμμα 7.21: Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.....	78
Διάγραμμα 7.22: Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.....	79
Διάγραμμα 7.23: Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.....	80
Διάγραμμα 7.24: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.....	81
Διάγραμμα 7.25: Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.....	82
Διάγραμμα 7.26: Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.....	83
Διάγραμμα 7.27: Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.....	83
Διάγραμμα 7.28: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.....	84
Διάγραμμα 7.29: Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.....	85
Διάγραμμα 7.30: Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.....	86
Διάγραμμα 7.31: Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.....	87
Διάγραμμα 7.32: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.....	87

Διάγραμμα 7.33: Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.....	88
Διάγραμμα 7.34: Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.....	89
Διάγραμμα 7.35: Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.....	90
Διάγραμμα 7.36: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.....	91
Διάγραμμα 7.37: Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.....	92
Διάγραμμα 7.38: Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.....	93
Διάγραμμα 7.39: Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.....	94
Διάγραμμα 7.40: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.....	94
Διάγραμμα 7.41: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης, για καλή ποιότητα φωτοβολταϊκών πλαισίων και αντιστροφή.....	96
Διάγραμμα 7.42: Καθαρή Παρούσα Αξία ανοιγμένη στο 1 Mwp σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης, για καλή ποιότητα φωτοβολταϊκών πλαισίων και αντιστροφή (No4).....	97
Διάγραμμα 7.43: Μεταβολή της τιμής πώλησης της παραγόμενης Kwh ανάλογα με τον χρόνο σύνδεσης για Φ/Β 10Kwp.....	97
Διάγραμμα 7.44: Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την τιμή πώλησης για εγκατάσταση 10 Kwp.....	98
Διάγραμμα 7.45: Μεταβολή της μέσης ετήσιας ΟΤΣ για μία δεκαετία.....	100
Διάγραμμα 7.46: Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ για εγκατάσταση 100 Kwp.....	101
Διάγραμμα 7.47: Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ για εγκατάσταση 500 Kwp.....	102
Διάγραμμα 7.48: Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ για εγκατάσταση 1 Mwp.....	102

Διάγραμμα 7.49: Αντιπαραβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας σε οικία ετήσιας κατανάλωσης 4.000 Kwh.....	105
Διάγραμμα 7.50: Αντιπαραβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας σε οικία ετήσιας κατανάλωσης 12.000 Kwh.....	106

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	5
Εικόνα 2.2: Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκής κυψέλης.....	6
Εικόνα 3.1: Πλαίσιο μονοκρυσταλικού πυριτίου.....	13
Εικόνα 3.2: Πλαίσιο πολυκρυσταλικού πυριτίου.....	14
Εικόνα 3.3: Πλαίσιο Αρσενικούχου Γαλλίου.....	14
Εικόνα 3.4: Πλαίσιο άμορφου πυριτίου.....	15
Εικόνα 3.5: Πλαίσιο Τελλουριούχου καδμίου.....	16
Εικόνα 3.6: Πλαίσιο Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού.....	16
Εικόνα 4.1: Σκόνη σε Φ/Β πάνελ στην Αίγυπτο.....	28
Εικόνα 4.2: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	33
Εικόνα 6.1: Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο.....	40
Εικόνα 6.2: Επίπεδο εκλειπτικής.....	41
Εικόνα 6.3: Προσδιορισμός θέση στην Γη.....	43
Εικόνα 6.4: Μεταβολή της ημερήσιας τροχιάς του Ήλιου ανάλογα με την εποχή του χρόνου.....	44
Εικόνα 6.5: Ωριαία γωνία.....	45
Εικόνα 6.6: Γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε πάνελ γωνίας $\beta$ ....	46
Εικόνα 6.7: Διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και η αέρια μάζα AM.....	49
Εικόνα 6.8: Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας εντός της γήινης ατμόσφαιρας.....	51

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Βασικά χαρακτηριστικά τυπικών επαγγελματικών μονάδων.....	18
Πίνακας 4.1: Συντελεστής θερμοκρασίας για διάφορες τεχνολογίες Φ/Β.....	27
Πίνακας 4.2: Τιμές συντελεστή ρύπανσης.....	31
Πίνακας 5.1: Εγγυημένες τιμές πώλησης φωτοβολταϊκής ενέργειας.....	37
Πίνακας 7.1: Γεωγραφικές συντεταγμένες της Λάρισας.....	59
Πίνακας 7.2: Κλιματολογικά δεδομένα της Λάρισας.....	60
Πίνακας 7.3: Μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.....	60
Πίνακας 7.4: Συνολική ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε συλλέκτη.....	73
Πίνακας 7.5 : Αποδόσεις των διαφόρων τμημάτων εξοπλισμού μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για τις διάφορες ποιότητες εξοπλισμού.....	74
Πίνακας 7.6 : Αποδόσεις των διαφόρων κατηγοριών εξοπλισμού και περιβάλλοντος ανά εγκατεστημένο Kwp μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με χρήση του προγράμματος PVGIS.....	74
Πίνακας 7.7: Κόστος ΦΒ εγκατάστασης.....	76
Πίνακας 7.8: Συγκεντρωτικά στοιχεία για την καθαρή παρούσα αξία (NPV) και τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR) για όλες τις ποιότητες εξοπλισμού και τις εγκαταστημένες ισχύς.....	95
Πίνακας 7.9: Μέση ετήσια ΟΤΣ.....	99
Πίνακας 7.10: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Kwh/m <sup>2</sup> ) για κλίση πλαισίου 30 <sup>0</sup> στην Λάρισα.....	104
Πίνακας 7.11: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Kwh/Kwp) ανά μήνα και ανά τετράμηνο για την πόλη της Λάρισας από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ισχύος 1 kWp.....	104
Πίνακας 7.12: Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια τετραμήνου μέσης οικία.....	104
Πίνακας 7.13: Παραγόμενη τετραμηνιαία ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β εγκατάσταση 3,4 Kwp στην Λάρισα.....	104
Πίνακας 7.14: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη τετραμηνιαία ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β εγκατάσταση 10 Kwp στην Λάρισα.....	106
Πίνακας 7.15: Σύγκριση επενδύσεων 10 Kwp με διαφορετική τιμολόγηση.....	107



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

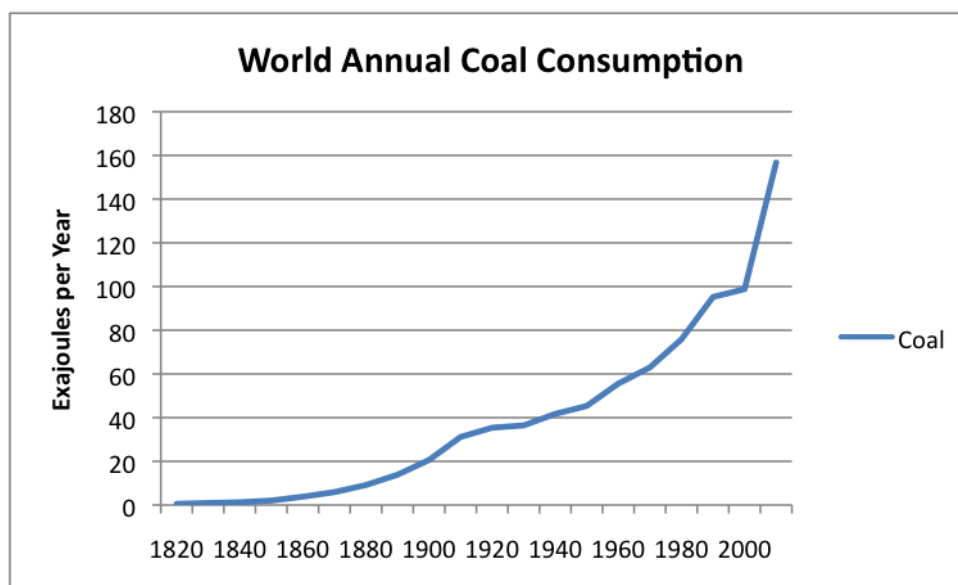
Πίνακας 1: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	115
Πίνακας 2: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	116
Πίνακας 3: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	117
Πίνακας 4: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	118
Πίνακας 5: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	119
Πίνακας 6: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	120
Πίνακας 7: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	121
Πίνακας 8: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Αύγουστο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	122
Πίνακας 9: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	123
Πίνακας 10: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	124
Πίνακας 11: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	125
Πίνακας 12: Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	126
Πίνακας 13: Μέγιστες μέσες μηνιαίες τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη σε σχέση με τη γωνία κλίσης.....	127
Πίνακας 14: Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον συνολικό έτος στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	128
Πίνακας 15: Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για το χειμερινό εξάμηνο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	129
Πίνακας 16: Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για το εαρινό εξάμηνο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.....	130

Πίνακας 17: Τιμή τιμολόγησης της παραγόμενης από φωτοβολταϊκό σύστημα στέγης ενέργειας ανάλογα με την χρόνο σύνδεσής του 10 Kwp.....	131
Πίνακας 18: Τιμές της ΚΠΑ σε σχέση με την τιμή πώλησης.....	131
Πίνακας 19: Τιμές της ΚΠΑ σε σχέση με την τιμή της ΟΤΣ.....	132

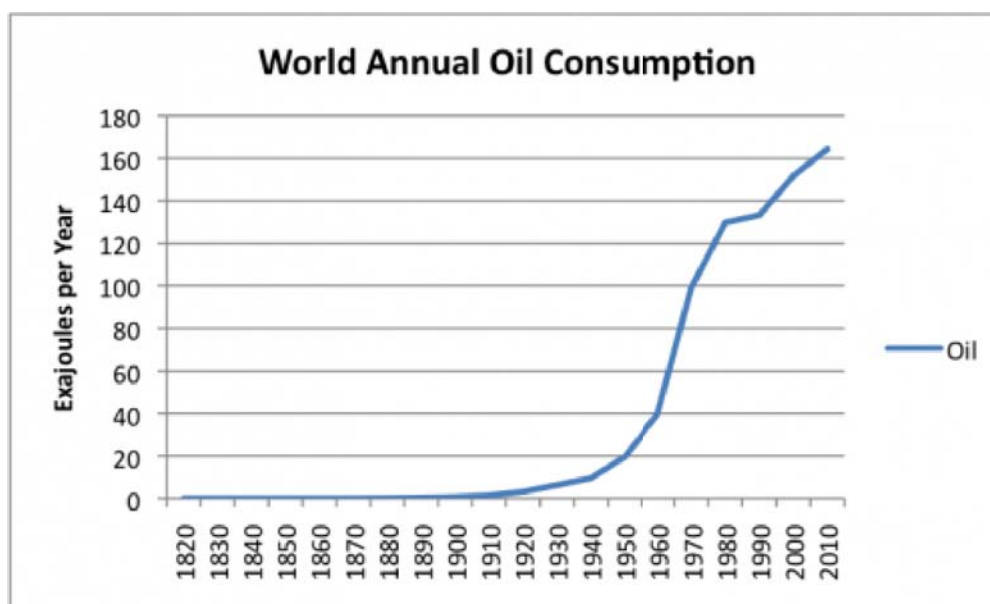
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Ο άνθρωπος στην μέχρι τώρα πορεία του έχει χρησιμοποιήσει την δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου με στόχο την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης του.

Στους πιο πρόσφατους αιώνες, χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον η ενέργεια από καύση ορυκτών καυσίμων και κυρίως κάρβουνου και πετρελαίου. Στα ακόλουθα δύο διαγράμματα φαίνεται στην διάρκεια των ετών η αύξηση της κατανάλωσης των ανωτέρω καυσίμων.



**Διάγραμμα 1.1:** Ετήσια αύξηση της κατανάλωσης άνθρακα. (Site energia.gr)

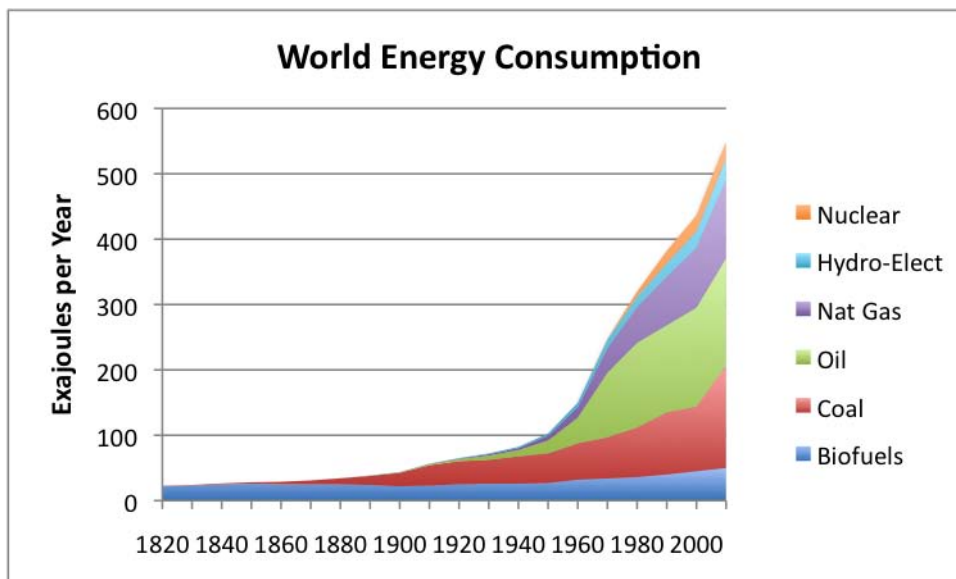


**Διάγραμμα 1.2:** Ετήσια αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου. (Site energia.gr)

Αυτό οφείλονταν στο γεγονός ότι οι συμβατικές μορφές ενέργειας ήταν φθηνότερες και πιο εύκολες στην εκμετάλλευσή τους από τις ανανεώσιμες. Οι συμβατικές μορφές ενέργειας όμως έχουν το μειονέκτημα της καταστροφής του περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της εξόρυξής τους αλλά και κατά την καύση τους με την απελευθέρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα. Για την υπερθέρμανση του πλανήτη και γενικότερα για τις κλιματικές αλλαγές που βιώνουμε υπάρχουν όλο και ισχυρότερες ενδείξεις ότι υπεύθυνες είναι οι εκπομπές ρύπων που εκλύονται από τις ανωτέρω μορφές ενέργειας. Τα αποθέματα του πετρελαίου και των ορυκτών καυσίμων αν και βραχυπρόθεσμα υπάρχουν σε επαρκείς ποσότητες, σε βάθος χρόνου όμως έως έναν αιώνα θα εξαντληθούν. Όσο όμως εξαρτόμαστε από αυτές τις μορφές ενέργειας και όσο αυτές εξαντλούνται τόσο η τιμή τους θα αυξάνει δημιουργώντας σοβαρά οικονομικά προβλήματα στην παγκόσμια οικονομία.

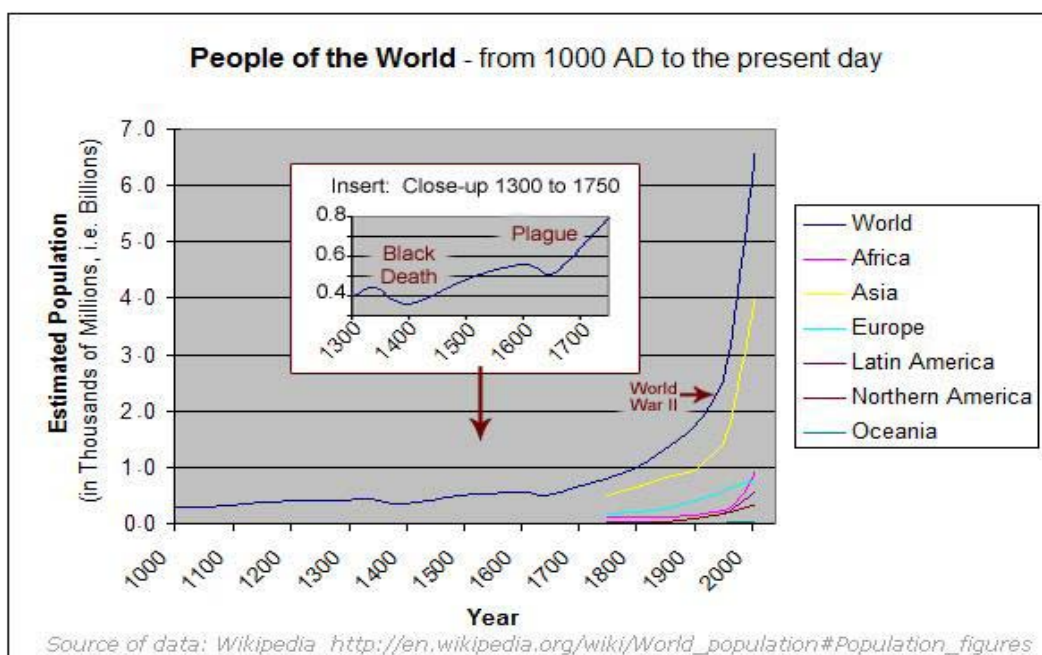
Από το 1945 και μετά εμφανίστηκε η πυρηνική ενέργεια στην οποία βασίστηκαν πολλές ελπίδες για επίλυση του ενεργειακού προβλήματος. Η πυρηνική ενέργεια θεωρήθηκε καθαρή μορφή ενέργειας και κατ' άλλους ακόμη θεωρείται, διότι δεν υπάρχει έλκυση ρύπων στην ατμόσφαιρα. Το κυριότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα όμως είναι η αδυναμία διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων. Επίσης υπάρχει πάντα η πιθανότητα πρόκλησης πυρηνικού ατυχήματος με απρόβλεπτες συνέπειες. Στο παρελθόν είχαμε τέτοια ατυχήματα με κυριότερα εκείνο στον πυρηνικό σταθμό του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ) τον Απρίλιο του 1979, στο Chernobyl της Ουκρανίας το 1986 και το πιο πρόσφατο στην Fukushima της Ιαπωνίας το 2011. Τέλος τα κοιτάσματα του βασικού καυσίμου (Ουράνιο 235) είναι περιορισμένα.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα.



**Διάγραμμα 1.3:** Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά πηγή, με βάση το έργο του Vaclav Smil και την Ετήσια Έκθεση της BP για την περίοδο από το 1965 ως σήμερα. (Site energia.gr).

Αυτό οφείλεται στην οικονομική ανάπτυξη χωρών του τρίτου κόσμου αλλά και στην δημογραφική έκρηξη που συντελείται αυτή την στιγμή στον πλανήτη. Σε λιγότερο από δύο αιώνες ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε από ένα σε 6,5 δισεκατομμύρια ανθρώπους και εκτιμήσεις δείχνουν ότι έως το 2050 ο πληθυσμός της Γης θα ανέλθει στα εννέα δισεκατομμύρια.



**Διάγραμμα 1.4:** Διαχρονική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. (Wikipedia)

Σύμφωνα με την International Energy Agency (IEA) η κατανάλωση σε παγκόσμιο επίπεδο αυξάνεται κατά 2% κατ' έτος.

Όλοι οι ανωτέρω λόγοι μας αναγκάζουν να στραφούμε στην χρήση άλλων μορφών ενέργειας που δεν θα έχουν τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, δηλαδή θα είναι ανεξάντλητες, εύκολα διαθέσιμες, δεν θα ρυπαίνουν και δεν θα καταστρέφουν το περιβάλλον. Τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν καλύπτουν οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας που έχουν πηγή τους τον ήλιο, τον άνεμο, την ενέργεια υδατόπτωσης, την βιομάζα, την γεωθερμία, τις παλίρροιες και τα κύματα των ωκεανών, οι οποίες ονομάζονται Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζεται στην αξιοποίηση της ενέργειας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης μπορούμε να την αξιοποιήσουμε για την θέρμανση νερού και για άλλες οικιακές χρήσεις. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει κερδίσει ευρεία αποδοχή στο θέμα της μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική έχοντας μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως:

- Είναι ανανεώσιμη πηγή και ελεύθερα διαθέσιμη.
- Δεν δημιουργεί ρύπανση στο περιβάλλον.
- Υψηλή αξιοπιστία.
- Ελάχιστη απαίτηση συντήρησης.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Εύκολη επέκταση της υπάρχουσας εγκατάστασης.
- Μεγάλο εύρος παραγόμενης ισχύος από μερικά Watt έως MWatt.

Από την άλλη υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα όπως:

- Υψηλά αρχικό κόστος επένδυσης.
- Απαιτείται η χρήση μεγάλων επιφανειών λόγω της μικρής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Εξάρτηση της παραγόμενης ενέργειας από τις καιρικές συνθήκες.

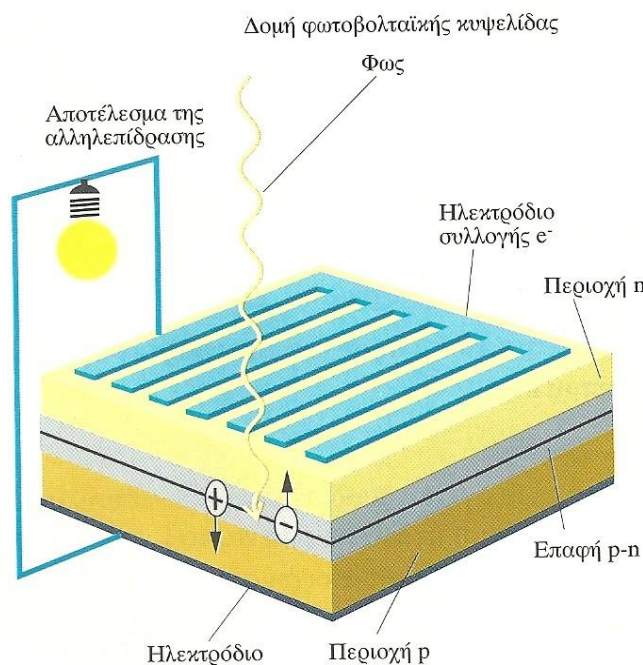
Συνολικά τα πλεονεκτήματα υπερτερούν των μειονεκτημάτων φανερόντας την αναγκαιότητα χρήσης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Γίνονται παγκόσμια ερευνητικές προσπάθειες μείωσης του κόστους των φωτοβολταϊκών και αύξησης του βαθμού απόδοσής τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

### 2.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΚΥΨΕΛΗ

Κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ηλεκτρόνια εκπέμπονται από την ύλη ως αποτέλεσμα της απορρόφησης ενέργειας από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με πολύ μικρό μήκος κύματος, όπως το ορατό ή υπεριώδες φως. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναφέρονται ως φωτοηλεκτρόνια. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει το προσπίπτον φως να έχει επαρκή ποσότητα ενέργειας και το υλικό που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία την κατάλληλη μοριακή δομή. Τέτοιο υλικό είναι για παράδειγμα το πυρίτιο, το οποίο ενώ δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, όταν προστεθούν σ' αυτό προσμίξεις δημιουργούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. (LMco.gr)

Το Φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μία δίοδος ημιαγωγών σε μορφή δίσκου. Οι δίοδοι επαφής είναι ημιαγωγοί n-type και p-type. Οι n-type ημιαγωγοί έχουν προσμίξεις αμέταλλου στοιχείου συνήθως P χάρη στην οποία υπάρχει περίσσια ηλεκτρονίων ενώ οι p-type ημιαγωγοί έχουν προσμίξεις μετάλλου, συνήθως B, με αποτέλεσμα να υπάρχει έλλειψη ηλεκτρονίων και περίσσια οπών.



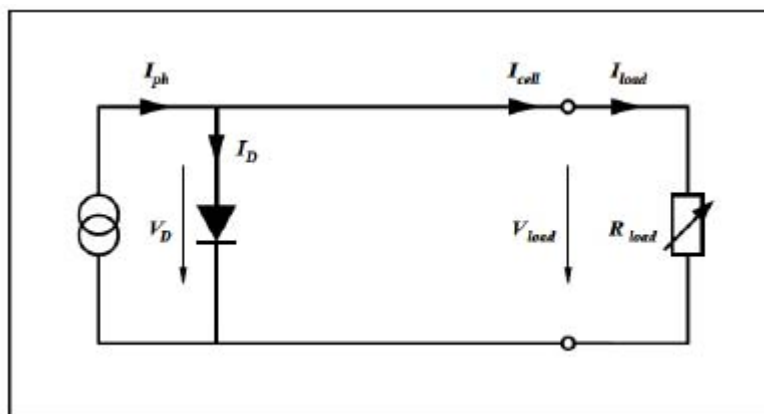
**Εικόνα 2.1:** Φωτοβολταϊκό στοιχείο (Καπλάνης, 2004).

Όταν τώρα συνδέσουμε με αγωγό τους ακροδέκτες των δύο ημιαγωγών και φως πέσει στο στρώμα του ημιαγωγού n (από Si εμποτισμένο με P) που έχει επικαθίσει σε βάση ημιαγωγού p (από Si εμποτισμένο με B), τότε ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα κατά την διεύθυνση από τον ημιαγωγό p προς τον ημιαγωγό n. (Καπλάνης, 2004).

## 2.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ένα απλοποιημένο ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης περιγράφεται στην εικ. 2.2.

Μία ιδανική κυψέλη παρουσιάζεται σαν μία πηγή έντασης όπου το μέγεθος του ρεύματος είναι ανάλογο της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Το φωτόρευμα  $I_{ph}$  παράγεται εσωτερικά στην κυψέλη. Μία δίοδος p-n είναι παράλληλα συνδεδεμένη η οποία διαρρέεται από ρεύμα  $I_D$ . Τέλος ένας αντιστάτης συνδέεται ως φορτίο, διαρρεόμενος από ρεύμα  $I_{cell}=I_{load}$ .



**Εικόνα 2.2:** Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκής κυψέλης. (Δέρβος, 2007)

$$I_L = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV_L}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

Όπου  $I_{cell}=I_{load}$ = το ρεύμα της κυψέλης

$I_{ph}$ = το φωτόρευμα που είναι ανάλογο της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

$I_0$ = το ανάστροφο ρεύμα κόρου της διόδου

$e$ = το φορτίο του ηλεκτρονίου

$k$ =η σταθερά του Boltzmann

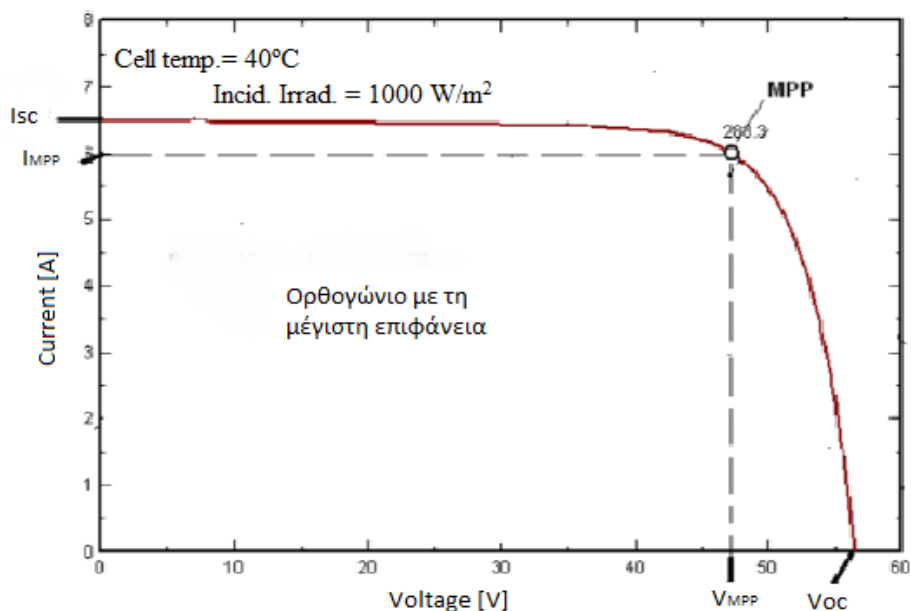
$T$ = η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

$V_L$  = η τάση στα άκρα της διόδου.

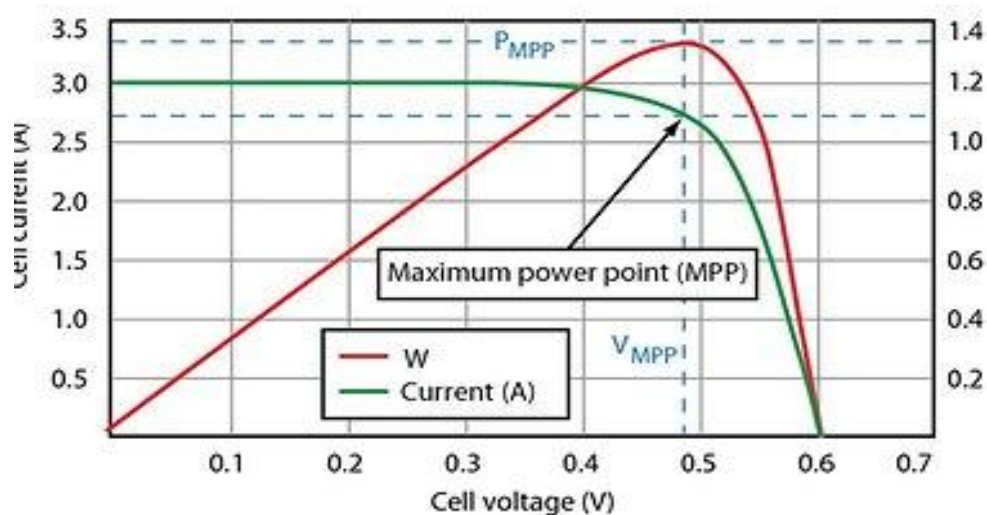


Από την εξ. (2.1) παρατηρούμε ότι η παραγωγή ρεύματος σε μια κυψέλη εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του  $I_{ph}$  και την θερμοκρασία  $T$ .

Στα παρακάτω διαγράμματα παριστάνονται η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης (I-V) και ισχύος-τάσης (P-V) αντίστοιχα.



**Διάγραμμα 2.1:** Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης (I-V). (Site Lmco.gr)



**Διάγραμμα 2.2:** Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος-τάσης (P-V).

Τρία είναι τα χαρακτηριστικά σημεία στις ανωτέρω καμπύλες.

- Σημείο ανοιχτού κυκλώματος

Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος το φωτοβολταϊκό κελί έχει τα άκρα του ανοιχτοκυκλωμένα  $R_L \rightarrow \infty$ . Η τάση που επικρατεί στα άκρα του είναι η τάση ανοιχτού

κυκλώματος. Στην κατάσταση αυτή το ρεύμα και η ισχύς προς το δίκτυο είναι μηδενικά και όλο το παραγόμενο ρεύμα περνά διά μέσου της διόδου. Η τιμή της τάσης της κυψέλης είναι

$$V_{OC} = \frac{KT}{e} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (2.2)$$

- Σημείο βραχυκύκλωσης

Σε συνθήκες βραχυκύκλωσης, δηλαδή  $V=0$  το φωτοβολταϊκό κελί έχει τα άκρα του βραχυκυκλωμένα και ανάμεσα στις δύο όψεις της κυψέλης, το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  παίρνει την μέγιστη τιμή του ίση με το παραγόμενο φωτόρρευμα  $I_{SC}=I_{ph}$ . Στην κατάσταση αυτή η τάση και η ισχύς προς το δίκτυο είναι μηδενικά.

- Σημείο μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP)

Η ισχύς γενικά ορίζεται το γινόμενο της έντασης του ρεύματος  $I$  επί την διαφορά δυναμικού  $V$  και μονάδα μέτρησης είναι το Watt.

$$P=I*V(2.3)$$

Η ισχύς ισούται με το εμβαδό του παραλληλογράμμου όπου έχει πλευρές το  $I, V$ . Το σημείο μέγιστης ισχύος αντιστοιχεί σε σημείο της καμπύλης στη θέση λειτουργίας όπου το γινόμενο του ζεύγους  $I_m, V_m$  γίνεται μέγιστο.

$$P_m=I_m * V_m \quad (2.4)$$

(Δέρβος, 2007)

Ο συντελεστής πλήρωσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου FF ορίζεται ως

$$FF = \frac{I_m * V_m}{I_{SC} * V_{OC}} \quad (2.5)$$

και μας δίνει το μέτρο το πόσο προσεγγίζει την ιδανική συμπεριφορά. Οι τιμές που λαμβάνει είναι από 0 έως 1. Όσο πλησιάζει στην μονάδα ο συντελεστής πλήρωσης τόσο και πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Ισχύς αιχμής  $P_P$  ενός φωτοβολταϊκού είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου. (I.E. Φραγκιαδάκης, 2011).

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες συνήθως επισημαίνονται με την ονομαστική τους ισχύ, πράγμα που σημαίνει ότι η ισχύς μετράται στις πρότυπες συνθήκες δοκιμής, STC. Αυτή ονομάζεται ισχύς αιχμής και υποδηλώνεται ως  $W_p$ . Οι STC συνθήκες λειτουργίας είναι μάλλον ευνοϊκές για τις περισσότερες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών, καθώς η μεν θερμοκρασία μονάδος (25 C) είναι μικρή, η δε ακτινοβολία ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) υψηλή.

Πολλές φορές δίνονται οι καμπύλες και σε συνθήκες NOCT (Normal Operating Cell Temperature), δηλαδή σε κατάσταση λειτουργίας των κελιών σε κανονική θερμοκρασία κελιού. Οι συνθήκες αυτές αντιστοιχούν σε ένταση ακτινοβολίας  $800\text{W}/\text{m}^2$ , θερμοκρασία κελιού  $45\text{-}48^\circ\text{C}$ , θερμοκρασία περιβάλλοντος  $20^\circ\text{C}$ , μάζα αέρα 1,5 και ταχύτητα ανέμου  $1\text{m}/\text{sec}$ . Οι συνθήκες αυτές προσομοιώνουν πιο ρεαλιστικά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών κελιών (Arndt & Puto, 2008).

Διαφορετικές μονάδες, ακόμη και της ίδιας τεχνολογίας, γενικά έχουν διαφορά στην ονομαστική ισχύ και οι ενεργειακές αποδόσεις τους πρέπει να καταστούν συγκρίσιμες σε οποιαδήποτε μελέτη σύγκρισης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της ειδικής απόδοσης ( $\text{kWh} / \text{kWp}$ ). Η συγκεκριμένη απόδοση είναι μια βασική ιδιότητα των φωτοβολταϊκών μονάδων σε μια συγκεκριμένη θέση και μπορεί να είναι ένα σημαντικό επιχείρημα πωλήσεων για τους ανταγωνιζόμενους προμηθευτές φωτοβολταϊκών. (Gottschalg et al, 2013).

Ο συντελεστής απόδοσης  $\eta_c$  είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και ορίζεται από τον λόγο μεταξύ της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος ( $P_{\text{max}}$ ) ενός στοιχείου προς την προσπίπτουσα ένταση (πυκνότητα ισχύος) της ηλιακής ακτινοβολίας επί την επιφάνεια  $A_C$  ενός στοιχείου.

$$\eta_c = \frac{P_{\text{max}}}{A_C * I_T} = \frac{I_m * V_m}{A_C * I_T} = \frac{I_{\text{SC}} * V_{\text{OC}} * \text{FF}}{A_C * I_T} * 100\% \quad (2.6)$$

Ο συντελεστής ισχύος  $\eta_m$  ισούται με το γινόμενο του συντελεστή ισχύος σε πρότυπες συνθήκες επί τους συντελεστές των ενεργειακών απωλειών, που προσδιορίζουν την απόκλιση της απόδοσης από αυτή των πρότυπων συνθηκών. (Φραγκιαδάκης, 2011)

### 2.3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Οι τιμές της τάσης και της ισχύος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σε κανονικές συνθήκες έντασης ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μικρές. Γι' αυτό το λόγο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται σε σειρά για να αποκτήσουμε την επιθυμητή τάση με μία ηλεκτρική έξοδο. Τοποθετούνται σε επίπεδη γυάλινη πλάκα υψηλής διαφάνειας, προσαρμοσμένης σε μεταλλικό πλαίσιο, υψηλής αντοχής, συνήθως από ανοδιωμένο αλουμίνιο. Το πίσω μέρος καλύπτεται από ειδικό πλαστικό για προστασία από την υγρασία. Η τελική κατασκευή διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, κατάλληλες υποδοχές στήριξης και αυξημένη στεγανότητα. Η διάταξη αυτή αποτελεί μία τυπική μονάδα και ονομάζεται Φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Αποτελεί την βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Συνώνυμο με το ΦΒ πλαίσιο είναι και το panel με την διαφορά ότι μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια το ένα δίπλα στο άλλο που είναι σε κοινή συσκευασία και έχουν κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Τα τελευταία όμως χρόνια τείνει να εξομοιωθούν τα πλαίσια με τα panels και αυτό που παράγουν οι εταιρίες ονομάζεται Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module), που διατίθεται σε ποικιλία όσον αφορά την ισχύ του, την τάση και τις διαστάσεις του.

Υπάρχουν δυο τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια με πλαίσιο γυαλιού- ελασμάτων που αποτελούν την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές ΦΒ συστημάτων σε πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο ή σε στέγες κτιρίων και τα ημιπερατά φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι κρυσταλλικά πλαίσια γυαλιού –γυαλιού και επιλέγονται σε περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες.

#### 2.4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ομαδοποιούνται σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινές βάσεις στήριξης. Για λόγους αξιοπιστίας οι ηλεκτρικές συνδέσεις των στοιχείων και των πλαισίων είναι εν παραλλήλω και σε σειρά ώστε εάν μηδενιστεί η παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου να μην μηδενιστεί όλη η παραγωγή, ενώ τα πλαίσια συνδέονται με αυτόν τον τρόπο ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή τάση εξόδου.

Οι συστοιχίες μπορεί να είναι σταθερές, στρεφόμενες γύρω από ένα ή δύο άξονες, και συστοιχίες με ανακλαστήρες ή κάτοπτρα.

#### 2.5. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ-ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ

Η παραγόμενη τάση δεν έχει σταθερή τιμή αλλά μεταβάλλεται γύρω από μία μέση τιμή. Με τους μετατροπείς συνεχούς τάσης σταθεροποιείται η συνεχής τάση πριν εισέλθει στους αντιστροφείς.

Αφού η παραγόμενη συνεχής τάση σταθεροποιηθεί εισέρχεται στον αντιστροφέα ώστε να μετατραπεί από συνεχή σε εναλλασσόμενη κατάλληλη τιμής και συχνότητας για να είναι δυνατή η διασύνδεση στο δίκτυο.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος, οι αναστροφείς μπορεί να είναι μικροί (string inverters) ή κεντρικοί. Οι κεντρικοί ενδείκνυνται κυρίως για δημιουργία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με πλαίσια του ίδιου τύπου που έχουν ταυτόσημο

προσανατολισμό και κλίση. Χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις άνω των 100 kWp και έχουν σχεδιαστεί για εξωτερική χρήση.

## 2.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Η στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται σε βάσεις αλουμινίου ή γαλβανισμένες, που για οικόπεδα τοποθετούνται σε τσιμεντένια θεμέλια ή με πασσαλόπηξη ή σε βιδωτές βάσεις. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα στήριξης πληρούν τις προδιαγραφές DIN 1055, DIN 4113, DIN 18800.

Οι ηλιοστάτες (trackers), είναι βάσεις στήριξης των πλαισίων που ακολουθούν την ημερήσια πορεία του ήλιου αυξάνοντας έτσι την απόδοση αλλά και το κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

#### 3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες στην επιλογή του Φ\Β πλαισίου είναι ο βαθμός απόδοσης του και επιθυμητή είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη τιμή του. Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης ενός ΦΒ πλαισίου που έχει εμβαδόν  $S$  ισούται με το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$  διά της προσπίπτουσας στο πλαίσιο ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας  $P_{HA} * S$ , όπου  $P_{HA}$  είναι η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_{HA} * S} \quad (3.1)$$

και  $\eta_{m,STC}$  ο συντελεστής απόδοσης εάν οι συνθήκες είναι πρότυπες (STC).

Ο συντελεστής απόδοσης  $\eta_m$  μπορεί να αποδοθεί ως γινόμενο του συντελεστή απόδοσης σε πρότυπες συνθήκες επί τους επιμέρους συντελεστές ενεργειακών απωλειών.

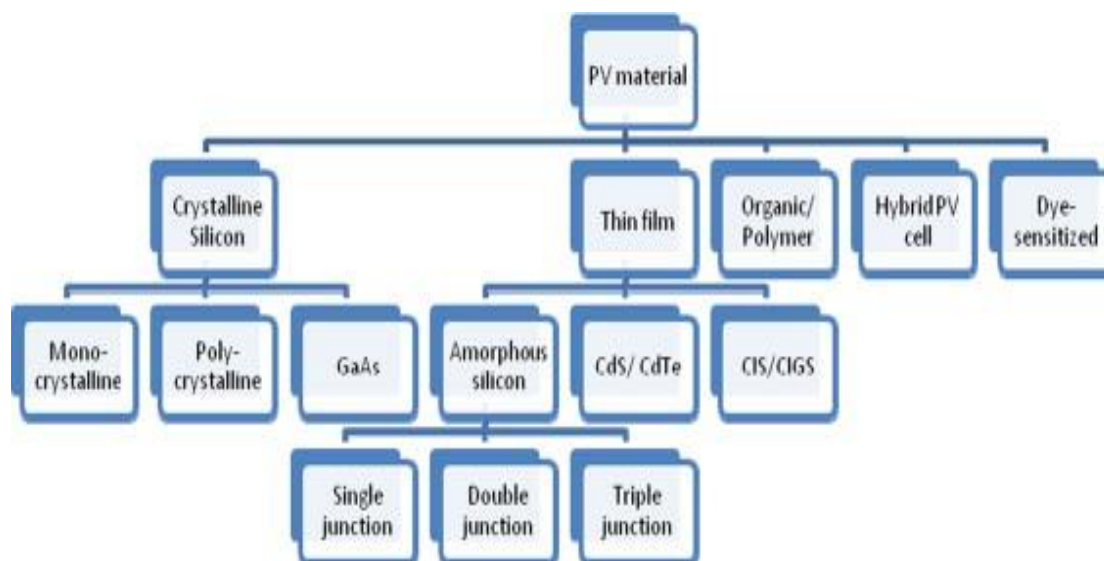
Για να γνωρίζουμε την αποδοτικότητα ενός ΦΒ στοιχείου ή πάνελ κάτω από συγκεκριμένες πρότυπες συνθήκες που αντιπροσωπεύουν τυπικές συνθήκες εκμετάλλευσης, δίνονται γι' αυτές τις συνθήκες οι τιμές των βασικών χαρακτηριστικών του που είναι: η ενεργειακή απόδοση  $\eta$ , ο παράγοντας πλήρωσης FF, το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ , η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{OC}$  και οι καμπύλες P-V, I-V.

Οι τιμές των πρότυπων συνθηκών γνωστές ως STC (Standard Test Conditions), αντιστοιχούν σε ένταση ακτινοβολίας  $1000W/m^2$ , θερμοκρασία κυψέλης  $25^\circ C$  και μάζα αέρα 1,5. (Arndt & Puto, 2008).

Το πυρίτιο είναι το υλικό με το οποίο κυρίως κατασκευάζονται τα ηλιακά κύτταρα λόγω της υψηλής απόδοσής του και της αφθονίας του στη φύση. Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής όμως, γίνονται προσπάθειες να βρεθούν νέες τεχνολογίες ώστε να μειωθεί το κόστος του υλικού για την παραγωγή ηλιακών κυττάρων.

Μέχρι σήμερα, η τεχνολογία λεπτής μεμβράνης (thin film) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κατάλληλο υποκατάστατο (McCann et al, 2001). Μια άλλη λύση για την τεχνολογία thin film είναι η χρήση πολυμερών ή οργανικών υλικών για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών.

Συνολικά μία επισκόπηση των φωτοβολταϊκών κυψελών βάση των υλικών κατασκευής τους δίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



**Διάγραμμα 3.1:** Επισκόπηση Φ\Β κυψελών βάση των υλικών κατασκευής τους (Tyagi et al, 2013).

### 3.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

(SingleCrystalline Silicon, sc-Si )



**Εικόνα 3.1:** Πλαίσιο μονοκρυσταλικού πυριτίου.

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 17% για το πλαίσιο. (Tyagi et al, 2013). Εργαστηριακά έχουν επιτευχτεί μεγαλύτερες αποδόσεις. Η Sunpower ανακοίνωσε μέγιστη απόδοση 24,2% για μία μεγάλη 155 cm<sup>2</sup> κυψέλη. (Makrides et al, 2012). Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνεια.

### 3.3.ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΠΟΛΥΚΡΙΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)



**Εικόνα 3.2:** Πλαίσιο πολυκρυσταλικού πυριτίου.

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Τα mc-Si ΦΒ κύτταρα είναι φθηνότερα σε σύγκριση με sc-Si καθώς παράγονται με λιγότερο περίπλοκη διαδικασία παρασκευής, σε βάρος ελαφρώς της αποδοτικότητάς τους η οποία κυμαίνεται από 11% έως 15%. Τα mc-Si ΦΒ πλαίσια κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς φωτοβολταϊκών. (Makrides et al, 2012)

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%.

### 3.4. ΑΡΣΕΝΙΚΟΥΧΟ ΓΑΛΛΙΟ (GaAs)



**Εικόνα 3.3:** Πλαίσιο Αρσενικούχου Γαλλίου.

Το Γάλλιο (Ga) είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό, ενώ το Αρσενικό (As) είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος. (National Solar Power Research Institute, 1998).



### 3.5. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΥΛΙΚΑ ΛΕΠΤΩΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ (thin film)

Τα στοιχεία thin film δεν έχουν αποδόσεις αντίστοιχες του κρυσταλλικού πυριτίου, άλλα με την τεχνολογία Thin Film παράγονται περισσότερες κιλοβατώρες ενέργειας σε σχέση με τα κρυσταλλικά στοιχεία, ακόμα και σε συνθήκες διάχυτου φωτός. Τα στοιχεία Thin Film μεγάλου εμβαδού αποτελούν οικονομική λύση ειδικότερα για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις της τάξεως του MW όπου το κόστος εγκατάστασης είναι σαφώς μειωμένο. Η τεχνολογία Thin Film επιτυγχάνει σημαντικά μειωμένο αρχικό κόστος επένδυσης και ταχύτερους χρόνους απόσβεσης σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα.

#### 3.5.1. Φωτοβολταϊκές κυψέλες άμορφου πυριτίου. (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)



**Εικόνα 3.4:** Πλαίσιο άμορφου πυριτίου.

Η τεχνολογία λεπτής μεμβράνης άμορφου πυριτίου είναι πολύ δημοφιλής σε σύγκριση με άλλα υλικά όπως CIS/CIGS και CdS/CdTe λόγω της αποτελεσματικότητάς της. (Parida et al, 2011).

Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά) ενώ μειονέκτημα είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα. (Site selasenergy.gr)

### 3.5.2. Φωτοβολταϊκές κυψέλες τελλουριούχου καδμίου (CdTe) και θειούχου καδμίου (CdS)



**Εικόνα 3.5:** Πλαίσιο Τελλουριούχου καδμίου.

Ο υψηλός οπτικός συντελεστής απορρόφησης της τεχνολογίας αυτής επιτρέπει την περαιτέρω απορρόφηση του φωτός από ένα λεπτό στρώμα, καθώς απορροφά πάνω από το 90% των διαθέσιμων φωτονίων σε ένα πάχος 1  $\mu\text{m}$ . (Ferekides et al, 1994). Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή **έλλειψη του Τελλουρίου**.

Η CdTe τεχνολογία μπορεί να παραχθεί σχετικά φτηνά και οι αποδόσεις πάνελ έχουν φθάσει έως 12,8% (Green et al, 2011).

### 3.5.3 Φωτοβολταϊκές κυψέλες δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)



**Εικόνα 3.6:** Πλαίσιο Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού.

Αυτό το υλικό είναι ακόμα στην φάση της ανάπτυξης, δεδομένου ότι είναι μια νέα τεχνολογία. Η απόδοσή του κυμαίνεται από 13% για το πλαίσιο και 20% για την κυψέλη.

### 3.6. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΥΤΤΑΡΑ

Τα πολυμερή υλικά έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως ότι έχουν χαμηλό κόστος, είναι ελαφρά και φιλικά προς το περιβάλλον (Gorter & Reinders, 2012). Το μόνο πρόβλημα είναι ότι έχουν πολύ χαμηλή απόδοση σε σύγκριση με άλλα υλικά με μόλις 4-5% (Chaar et al, 2011). Οι οργανικές ηλιακές κυψέλες είναι μια ακόμα νέα τεχνολογία και βρίσκεται στην φάση της ανάπτυξης. Αν και έχει πολύ χαμηλή απόδοση, περίπου 4-5%, άλλα πλεονεκτήματά της, όπως η μηχανική ευελιξία, η διαθεσιμότητα, το βάρος κλ. έφερε μεγάλο ενδιαφέρον γι' αυτό το υλικό. (Goetzberger et al, 2003)

### 3.7. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Στην Ιαπωνία, η Sanyo Solar έχει αναπτύξει ένα υβριδικό ηλιακό κύτταρο με 21% απόδοση, ονομαζόμενο HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). (Tyagi et al, 2013)

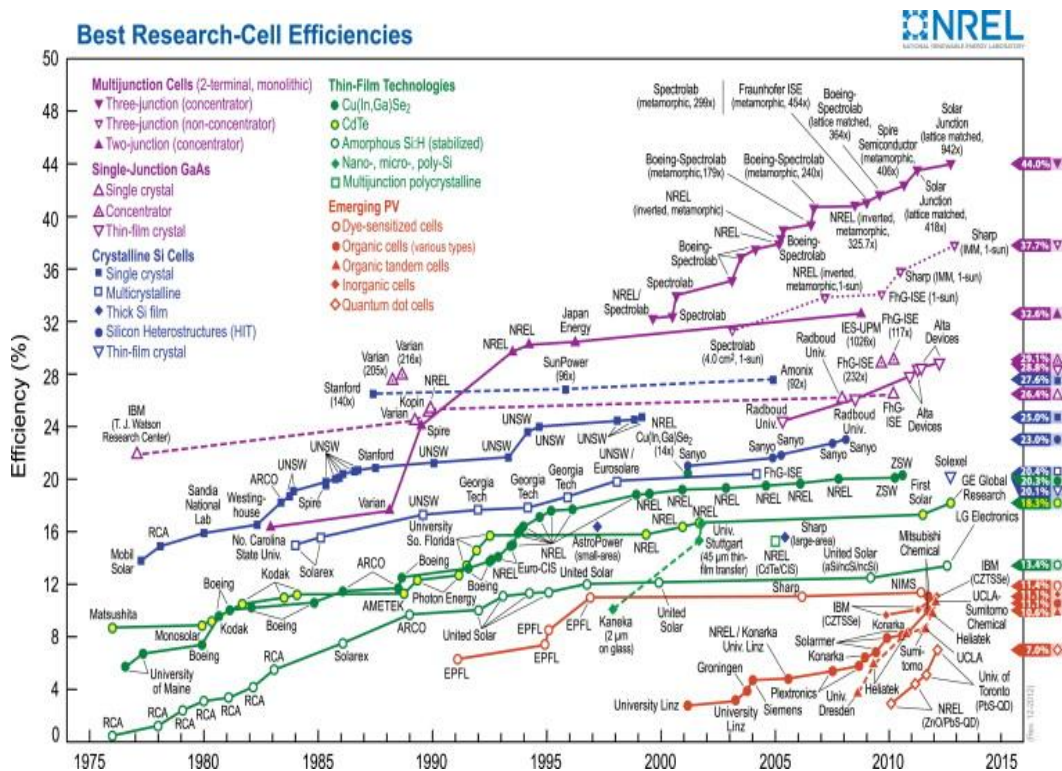
Πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Μειονέκτημα ότι είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

### 3.8. ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζει μελλοντικά, είναι η νανοτεχνολογία η οποία μερικές φορές αναφέρεται και ως "τρίτη γενιά φωτοβολταϊκών".

### 3.9. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται οι αποδοτικότητες και η μεταβολή αυτής των διαφόρων υλικών για τα ηλιακά κύτταρα από το 1975 έως το 2010. Από το σχήμα, παρατηρούμαι ότι η GaAs έχει την υψηλότερη απόδοση μεταξύ όλων των άλλων ηλιακών κυττάρων υλικά με 40,7% απόδοση επιτεύχθηκε το 2010. Τα νέα υλικά για τα ηλιακά κύτταρα, έχουν χαμηλή απόδοση 5,4% μέχρι και το 2010. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα έχουν απόδοση 24,7%, τα πολυκρυσταλλικά 20,3% και αυτά της τεχνολογίας Thin film 19,9% το 2010, αντίστοιχα.



**Διάγραμμα 3.2:** Διαχρονική εξέλιξη απόδοσης Φ\B κυψελών σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας (Sarver et al, 2013).

Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται συγκεντρωτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των τυπικών επαγγελματικών φωτοβολταϊκών μονάδων.

**Πίνακας 3.1:** Βασικά χαρακτηριστικά τυπικών επαγγελματικών μονάδων (Makrides et al, 2012).

Τεχνολογία	Πάχος υλικού (μm)	Περιοχή (m <sup>2</sup> )	Αποδοτικότητα (%)	Έκταση για 1 kWp συστήματος (m <sup>2</sup> )
Mono-c-Si	200	1.4 - 1.7	14 - 20	~ 7
		(τυπική)		
Multi-c-Si	160	1.4 - 1.7	11 - 15	~ 8
		(τυπική)		
		2.5 (έως)		

Τεχνολογία	Πάχος υλικού (μm)	Περιοχή (m <sup>2</sup> )	Αποδοτικότητα (%)	Έκταση για 1 kWp συστήματος (m <sup>2</sup> )
a-Si	1	~ 1.5	4 - 8	~ 15
a-Si/μc-Si	2	~ 1.4	7-9	~ 12
CdTe	~ 1-3	~ 0,6 - 1	10-11	~ 10
CIGS	~ 2	~ 0,6 - 1	7 - 12	~ 10

### 3.10. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Απώλειες δημιουργούνται λόγω της αδυναμίας των σταθμών μετατροπών να λειτουργήσουν στο ακριβές σημείο μέγιστης ισχύος (MPP-Maximum Power Point). Η τιμή του συντελεστή αυτών των απωλειών εκτιμάται περίπου στο 0,995. (Μάρκου, 2009)

Οι συνολικές ηλεκτρικές απώλειες που δημιουργούνται σε κάθε σταθμό μετατροπών αναφέρονται στα αντίστοιχα τεχνικά φυλλάδια.

### 3.11. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΗΣ AC ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ

Η τιμή του συντελεστή απωλειών της καλωδίωσης εξαρτάται από το υλικό των αγωγών, την διατομή τους και το μήκος τους. Η τιμή καθορίζεται από την ηλεκτρολογική μελέτη της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που έχει προηγηθεί και υποβάλλεται μαζί με την προσφορά που θα δοθεί. Οι διατομές των καλωδίων σύνδεσης μεταξύ των πλαισίων της συστοιχίας επιλέγονται τόσο ώστε οι απώλειες να μην ξεπερνούν το 2-3%, οπότε ο συντελεστής απωλειών καλωδίωσης λαμβάνει την τιμή 0,98. (Φραγκιαδάκης, 2011)

### 3.12. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Ο συντελεστής απωλειών λόγω του μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης XT/MT για όσες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις απαιτείται να έχουν, καθορίζεται από τα τεχνικά φυλλάδια

και την χρήση της γνωστής μεθοδολογίας προσδιορισμού των απωλειών χαλκού πυρήνα. Σε γενικές γραμμές η τιμή αυτού του συντελεστή απωλειών μπορεί να εκτιμηθεί στο 0,985. (Μάρκου, 2009)

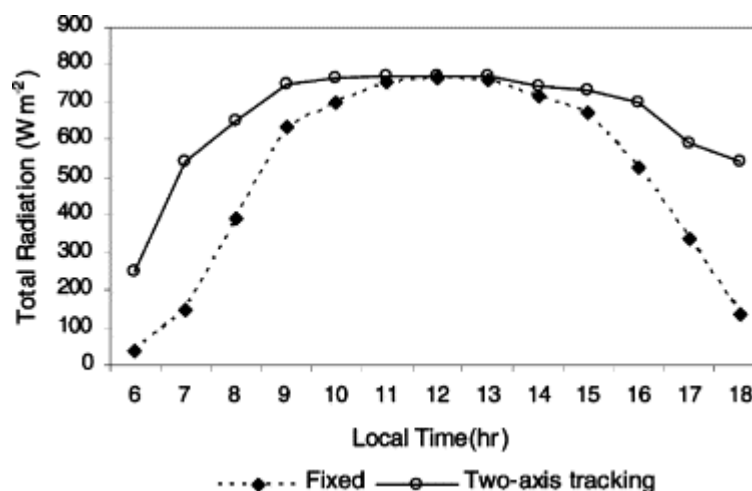
### 3.13 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΛΟΓΩ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην ανομοιογένεια των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών I-V των ΦΒ πλαισίων που αποτελούν την ΦΒ συστοιχία. Αυτές οι διαφορές μπορεί να είναι εκ' κατασκευής ή να προέλθουν εξ' αιτίας της ύπαρξης διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας λόγω της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων στις διάφορες θέσεις των πλαισίων, όπως η διαφορετική θερμοκρασία ή η διαφορετική πυκνότητα ισχύος. Μία τυπική τιμή του συντελεστή ανομοιογένειας συστοιχίας είναι  $\eta_{\text{αναμ}}=0,98$ . (Φραγκιαδάκης, 2011)

### 3.14. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ Ή ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να είναι τοποθετημένα πάνω σε σταθερή ή σε περιστρεφόμενη βάση. Ανάλογα με το είδος του συστήματος, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που αξιοποιείται, είναι διαφορετικό.

Συστήματα περιστρεφόμενων βάσεων υπάρχουν ενός ή δύο αξόνων. Οι βάσεις με έναν άξονα περιστροφής διατηρούν την συλλεκτική επιφάνεια ενός ηλιακού συστήματος σε σταθερή κλίση αλλά με προσανατολισμό ίσο με το ηλιακό αζιμούθιο  $\gamma_s$ . Οι βάσεις με δύο άξονες περιστροφής μετακινούν την συλλεκτική επιφάνεια του συστήματος σε κλίση ( $\beta$ ) ίση με το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ) και με προσανατολισμό ( $\gamma$ ) ίσο με το ηλιακό αζιμούθιο  $\gamma_s$ , δηλαδή έτσι ώστε να ακολουθεί την κίνηση του ηλίου. Στην Ελλάδα, συστήματα περιστρεφόμενων βάσεων ενός άξονα αυξάνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ποσοστό περίπου 23÷25% ως προς την προσπίπτουσα σε σύστημα σταθερής ετήσιας κλίσης, ενώ στην περίπτωση περιστρεφόμενων βάσεων δύο αξόνων η αύξηση ανέρχεται περίπου στο 28÷30% (TOTE, 2010), ενώ οι Vilela κ.α. (Vilela, 2003) έδειξαν ότι η ακτινοβολία που συλλέγεται από το συλλέκτη tracker είναι 19-24% υψηλότερη από εκείνη που συλλέγεται από σταθερής κλίσης σύστημα.



**Διάγραμμα 3.3:** Ωριαία συνολική ακτινοβολία που λαμβάνεται από σταθερής κλίσης και δύο αξόνων ΦΒ πάνελ στις 18.06.2003 στην Sanliurfa (Karica et al, 2004)

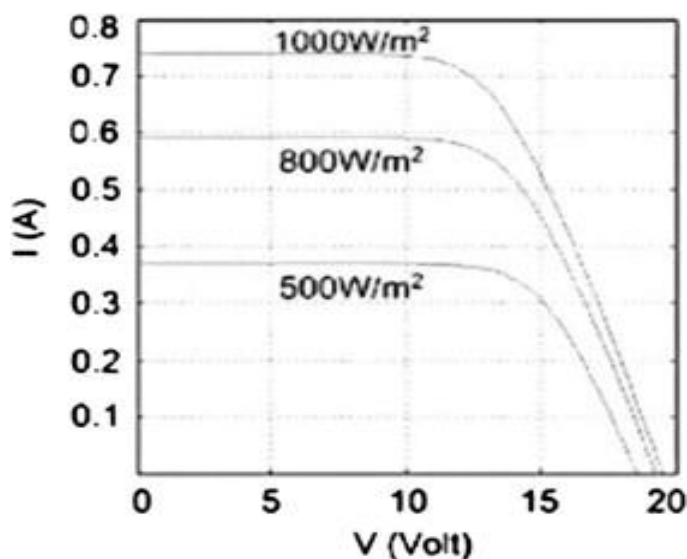
Οι διατάξεις περιστροφής δύο αξόνων έχουν περιορισμένη χρήση, καλύπτοντας περίπου το 30% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος. Η επιλογή βάσης ενός άξονα περιστροφής είναι απλούστερη, φθηνότερη και πιο αξιόπιστη σε σχέση με αυτή των δύο αξόνων. Τέλος η στατική κατασκευή αν και έχει μικρότερο βαθμό εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, αποτελεί την απλούστερη και πιο αξιόπιστη διάταξη. Το κόστος που αφορά τα κινητά μηχανολογικά μέρη, τα ηλεκτρονικά οδήγησης, τον μηχανισμό φρένου για δυνατό άνεμο και τέλος το κόστος συντήρησης, ουσιαστικά, προσεγγίζουν το επιπλέον κόστος πρόσθετων ΦΒ πλαισίων σταθερής συστοιχίας που θα απέδιδαν την επιπλέον ενέργεια που προσφέρει μία κατασκευή κινούμενων μερών. Επίσης εάν προέχει η αξιόπιστία του συστήματος, το στατικό σύστημα αποτελεί την πιο ενδεδειγμένη λύση. (Φραγκιαδάκης, 2011)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΟΙ- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

### 4.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η σημαντικότερη περιβαλλοντική παράμετρος που επηρεάζει τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών είναι η ακτινοβολία. Η τάση λειτουργίας της συσκευής έχει μια λογαριθμική εξάρτηση με την ακτινοβολία, ενώ το ρεύμα έχει γραμμική εξάρτηση. (Makrides et al, 2012)

Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην φωτοβολταϊκή μονάδα, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των φωτονίων που προσπίπτουν σε αυτή. Έτσι σχηματίζονται περισσότερα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπής με αποτέλεσμα να παράγεται περισσότερο ρεύμα και η απόδοση του φωτοβολταϊκού να αυξάνει. (Kumar and Rosen, 2011). Αυτό φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα όπου δίνεται η μεταβολή της χαρακτηριστικής του ΦΒ κυττάρου σε σχέση με την μεταβολή της ακτινοβολίας.



**Διάγραμμα 4.1:** Μεταβολή χαρακτηριστικής  $I \setminus V$  σε σχέση με την μεταβολή της ακτινοβολίας. (Πηγή: Koutroulis et al, 2009)

Για τεχνολογίες εμπορικών φωτοβολταϊκών, η ισχύς εξόδου ακολουθεί στενά το επίπεδο ακτινοβολίας, ενώ για πολλές εμπορικές μονάδες η απόδοσή τους μειώνεται κατά 55-90% από την STC τιμή τους, όταν τα επίπεδα της ακτινοβολίας είναι κάτω των 200 W / m<sup>2</sup> (Makrides et al, 2012). Η συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών στα



διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας έχει συσχετιστεί με τις αντιστάσεις που είναι σε σειρά και παράλληλη σύνδεση. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, η υψηλή αντίσταση σειράς μειώνει τον παράγοντα πλήρωσης (FF), ενώ σε χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία, η χαμηλή αντίσταση παράλληλης σύνδεσης μειώνει τον παράγοντα πλήρωσης (FF) (Randall and Jacot, 2003).

Οι μόνο-c-Si και πολύ-c-Si τεχνολογίες παρουσιάζουν σχεδόν συνεχή βελτίωση της απόδοσης στις ακτινοβολίες εύρους 100 - 1000 W/m<sup>2</sup>. Ορισμένα c-Si κύτταρα βρέθηκε να έχουν υψηλότερες αποδόσεις σε εντάσεις ακτινοβολίας στο εύρος 100 - 1000 W / m<sup>2</sup> από ό, τι σε STC και αυτό αποδίδεται στις επιδράσεις της αντίστασης σειράς. (Reich et al., 2009). Για τεχνολογία c-Si, η απόδοση μειώνεται λογαριθμικά στο εύρος ακτινοβολίας 1 - 100 W/m<sup>2</sup>. Ο συντελεστής πλήρωσης FF παραμένει σχεδόν σταθερός για επίπεδα ακτινοβολίας άνω των 200 W/m<sup>2</sup>, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα ακτινοβολίας μειώνεται. (Makrides et al, 2012).

Η τεχνολογία CdTe thin-film έχει σχετικά καλή επίδοση στις χαμηλές ακτινοβολίες (Heesen et al., 2010) και εμφανίζει σημαντική αύξηση των επιδόσεων σε μέτρια επίπεδα ακτινοβολίας. (Makrides et al, 2012).

Η α-Si τεχνολογία δείχνει να έχει έναν σταθερό συντελεστή πλήρωσης FF σε όλο το φάσμα, ακόμη και κάτω από 200 W/m και αυτό συνεπάγεται μια καλύτερη απόδοση για τις περιοχές με υψηλές συνθήκες διάχυτου φωτός. (Makrides et al, 2012)

Σε σύγκριση που έγινε για διαφορετικές εμπορικές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στη Λευκωσία, Κύπρου, οι α-Si και CdTe τεχνολογίες παρουσίασαν υψηλότερες σχετικές αποδόσεις σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. (Makrides et al, 2012). Η αύξηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής για τις συγκεκριμένες τεχνολογίες μπορεί να φτάσει και το 10% ιδιαίτερα σε τοποθεσίες με υψηλό ποσοστό νέφωσης.

Τέλος ο παράγοντας απωλειών λόγω χαμηλής ακτινοβολίας καθορίζεται και από την ακόλουθη σχέση:

$$\sigma_a = (0,2773 * LIP) + 0,7199 \quad (4.1)$$

Όπου,

$$LIP = \frac{\text{efficiency at low irradiation level } \left(\frac{200W}{m^2}\right)}{\text{efficiency at STC}}$$

Τα δεδομένα για την απόδοση των ΦΒ πλαισίων σε συνθήκες χαμηλής ακτινοβολίας ( $200 \text{ W/m}^2$ ) και σε πρότυπες συνθήκες αναφοράς (Standard Test Conditions, STC) λαμβάνονται από τα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών. (Μάρκου, 2009).

Το συμπέρασμα είναι ότι για τοποθεσίες με συνθήκες ύπαρξης ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας προτιμάται πλαίσιο κρυσταλλικού πυριτίου, ενώ για τοποθεσίες με συχνή νέφωση και συνθήκες διάχυτου φωτός προτιμότερο είναι πλαίσιο τεχνολογίας thin film.

#### 4.2.ΕΚΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η απόδοση των ΦΒ πλαισίων μειώνεται στη διάρκεια της ζωής τους λόγω γενικότερης αλλοίωσης της ΦΒ κυψελίδας ως ενσωματωμένου μέρους του πλαισίου.

Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που σχετίζονται με γνωστούς μηχανισμούς υποβάθμισης περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την υγρασία, την διείσδυση νερού και την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα, οι μηχανισμοί αποικοδόμησης στο επίπεδο των κυττάρων περιλαμβάνουν σταδιακή απώλεια απόδοσης λόγω της γήρανσης του υλικού και την απώλεια της πρόσφυσης των επαφών ή διάβρωσης, το οποίο είναι συνήθως αποτέλεσμα της εισόδου υδρατμών. (Makrides et al, 2012)

Σε επίπεδο συστήματος, η υποβάθμιση περιλαμβάνει όλα τα κύτταρα και τους μηχανισμούς υποβάθμισης της μονάδας και περαιτέρω προκαλείται από την διασύνδεση των μονάδων και την υποβάθμιση των μετατροπέων.

Σε πραγματοποιηθείσες έρευνες εκτεθειμένες sc-Si και mc-Si φωτοβολταϊκές μονάδες σε εξωτερικές συνθήκες λειτουργίας παρουσίασαν μείωση της απόδοσής τους περίπου 0,7% / έτος. (Makrides et al, 2012).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε, αναφέρθηκε ότι οι thin-film μονάδες παρουσίασαν ρυθμούς υποβάθμισης κάπως υψηλότερους από το 1%/έτος. (Makrides et al, 2012).

Διάφορες μελέτες έδειξαν κατά μέσο όρο ποσοστά υποβάθμισης διαφορετικών τεχνολογιών φωτοβολταϊκών 0,7% / έτος, ενώ η αναφερόμενη μέση τιμή τους ήταν 0,5% / έτος, δηλαδή μία αύξηση της γήρανσης 40% σε σχέση με την αναμενόμενη. (Makrides et al, 2012)

Ως μία τυπική μέση τιμή για τον συντελεστή γήρανσης των ΦΒ πλαισίων θα μπορούσε να θεωρηθεί η τιμή  $\eta_{\gamma,m}=0,9$  για το χρονικό διάστημα της εγγύησης τους. (Φραγκιαδάκης, 2011).

Οι κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών (PV) μονάδων παρέχουν εγγύηση για τα προϊόντα τους, εξασφαλίζοντας ότι η απόδοσή τους δεν θα πέσει κάτω από το 80% της αρχικής τους κατά τη διάρκεια της ζωής. Η τρέχουσα διάρκεια ζωής των ΦΒ μονάδων κυμαίνεται από 20 έως 25 χρόνια. Αυτό είναι αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η επίγεια ηλιακή ενέργεια μόνο μέσα στα τελευταία 40 χρόνια αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. (Green ,2005), (Φραγκιαδάκης, 2011).

Λαμβάνοντας τη δυσμενέστερη περίπτωση θα θεωρήσουμε ότι ο συντελεστής γήρανσης είναι 0,9 κατ' έτος.

#### 4.3. ΕΚΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

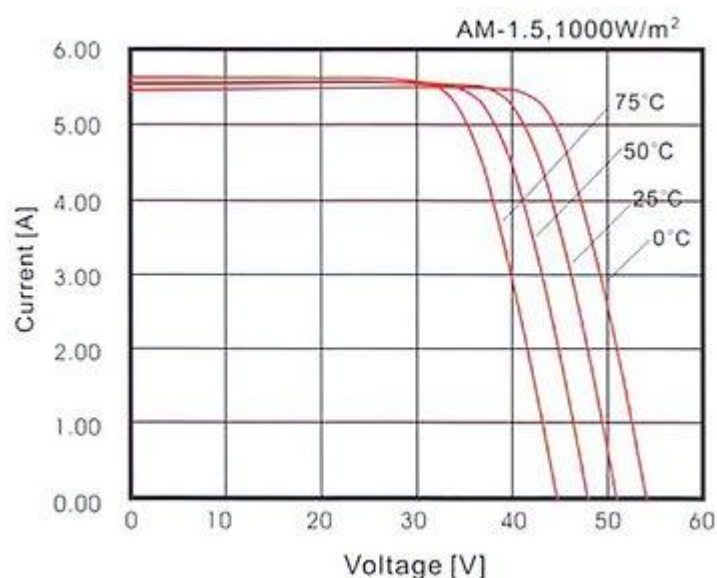
Όταν στα πάνελ προσπέσει ακτινοβολία και τεθούν σε λειτουργία, αυτά αυξάνουν την θερμοκρασία τους περίπου κατά 25°C (Econ,2014). Η θερμοκρασία της αυξάνει λόγω της μετατροπής μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια, δηλαδή λόγω αύξησης της εσωτερικής ενέργειας του υλικού.

Η υψηλότερη θερμοκρασία προκαλεί αύξηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος και μικρότερη παραγόμενη ισχύ λόγω της χαμηλότερης τάσης  $P_{mp}$  ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης και το ρεύμα  $I_{mp}$  παραμένουν σχεδόν αμετάβλητα. Επομένως η βέλτιστη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σε ηλιόλουστες ημέρες με χαμηλές θερμοκρασίες.

Όλοι οι κατασκευαστές πάνελ δίνουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά τις μεταβολές των  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$  και  $P_{mp}$  ανά βαθμό κελσίου. Πχ  $V_{oc}$ : -0,301%/°C ,  $I_{sc}$ : 0,035%/°C,  $P_{mp}$ : -0,431%/°C για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου.

Η παρακολούθηση του σημείου βέλτιστης λειτουργίας γνωστή και ως MPPT (Maximum Power Point Tracking) αναφέρεται στην τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας (τάση - ρεύμα) των φωτοβολταϊκών πάνελ ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ. Η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν στα τεχνικά φυλλάδια τη μέγιστη ισχύ (Maximum Power Point, MPP) στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Σε οποιαδήποτε άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η επίδραση της θερμοκρασίας επί της χαρακτηριστικής του ΦΒ κυττάρου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



**Διάγραμμα 4.2:** Επίδραση της θερμοκρασίας επί της χαρακτηριστικής του Φ/Β. (Ιστοσελίδα, <http://www.lmco.gr/#!/faq/cx4a>)

Η επίδραση της θερμοκρασίας έχει υψηλές επιπτώσεις στο μονοκρυσταλλικό σε σχέση με το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και σε σχέση με τις ηλιακές κυψέλες thin film. Η αποδοτικότητα μειώνεται κατά 15% για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο και 5%, για τα thin film ηλιακά κύτταρα αντίστοιχα. (Kumarl, 2011).

Μελέτες έχουν δείξει ότι η ισχύς των c-Si φωτοβολταϊκών μονάδων μειώνεται κατά περίπου  $-0,45\% / ^\circ\text{K}$  (Makrides et al., 2012).

Οι thin-film τεχνολογίες CdTe και CIGS παρουσιάζουν χαμηλότερους θερμικούς συντελεστές ισχύος σε σύγκριση με τις c-Si τεχνολογίες και στην περίπτωση των CdTe μονάδων ο μετρούμενος θερμικός συντελεστής ισχύος είναι περίπου  $-0,25\% / ^\circ\text{K}$  (Makrides et al., 2012).

Οι a-Si φωτοβολταϊκές μονάδες παρουσιάζουν τον χαμηλότερο θερμικό συντελεστή ισχύος περίπου  $-0,20\% / \text{K}$  (Hegedus, 2006), αλλά η a-Si ΦΒ μονάδα έχει τέτοια θερμική συμπεριφορά, όπου ένας μοναδικός θερμικός συντελεστής ισχύος δεν μπορεί να χαρακτηρίσει εντελώς τη θερμική συμπεριφορά αυτής της τεχνολογίας σε αντίθεση με την περίπτωση των άλλων τεχνολογιών ΦΒ (Makrides et al., 2012). Σε γενικές γραμμές, η ισχύς εξόδου και η απόδοση των CdTe και a-Si μονάδων παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία στην θερμοκρασία από ό, τι οι CIGS και c-Si τεχνολογίες. Ο ακόλουθος

πίνακας συνοψίζει την ισχύ,  $P_{MPP}$ , συντελεστές θερμοκρασίας των εμπορικών τεχνολογιών Φ/Β.

**Πίνακας 4.1:** Συντελεστής θερμοκρασίας για διάφορες τεχνολογίες Φ/Β. (Makrides et al, 2012)

Τεχνολογία ΦΒ Πλαισίου	Ενδεικτικός συντελεστής θερμοκρασίας, για $P_{MPP}$ (% / $^{\circ}\text{K}$ )
Μόνο-c-Si	-0.40
Multi-c-Si	-0.45
a-Si	-0.20
a-Si/ $\mu\text{c-Si}$	-0.26
CIGS	-0.36
CdTe	-0.25

Για την διόρθωση της απόδοσης λόγω υπέρβασης της θερμοκρασίας των  $25^{\circ}\text{C}$  χρησιμοποιείται ο αδιάστατος συντελεστής  $\sigma_{\theta}$  που ορίζεται ως:

$$\sigma_{\theta} = 1 - ((t_0 + 30) - 25) * 0,004 \quad (4.2)$$

Όπου,  $t_0$  είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα. (Γαλανού, 2010)

Η θερμοκρασία ΦΒ πλαισίων ενσωματωμένων σε κτίρια είναι τουλάχιστον  $10-20^{\circ}\text{C}$  μεγαλύτερη σε σχέση με ΦΒ πλαίσια τα οποία είναι τοποθετημένα σε ελεύθερους χώρους, και εξαρτάται από την απόσταση τοποθέτησης των πλαισίων από τους τοίχους ή την στέγη του κτιρίου. (Φραγκιαδάκης, 2011)

#### 4.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η σκόνη επηρεάζει την απόδοση των φωτοβολταϊκών, διότι εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να προσπέσει στα πάνελ.

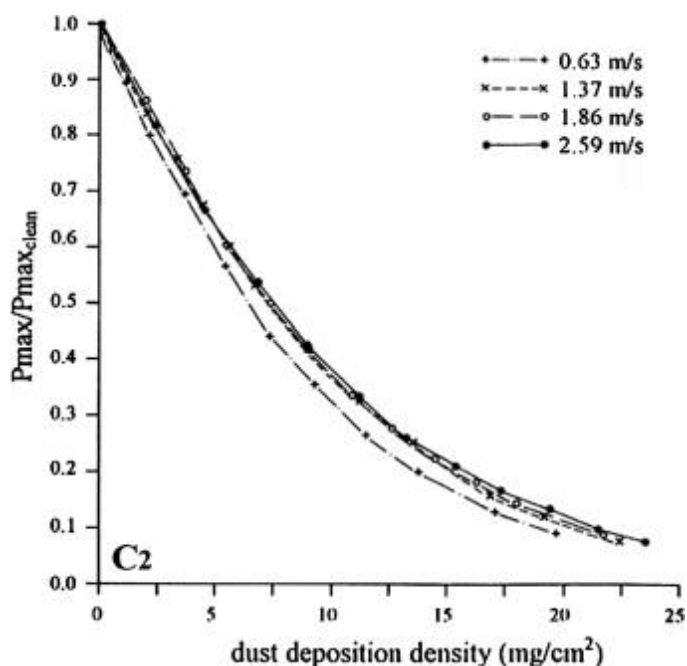


**Εικόνα 4.1:** Σκόνη σε Φ/Β πάνελ στην Αίγυπτο. (Πηγή: Makrides et al, 2012)

Οι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην επιδείνωση των επιδόσεων των φωτοβολταϊκών είναι:

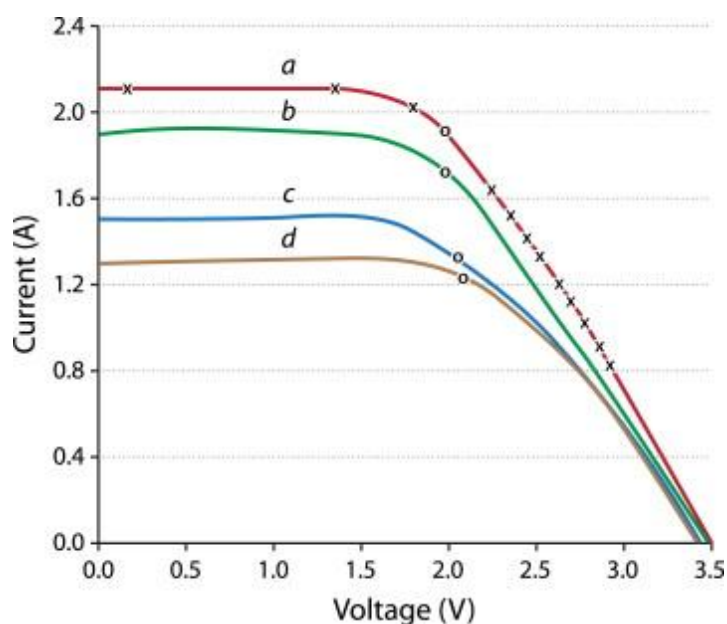
- Το κύριο υλικό της σκόνης δηλαδή η χημική της σύνθεση
- Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων της σκόνης και
- Η πυκνότητα της σκόνης που αποτίθεται σε στρώση επάνω στην επιφάνεια του πάνελ. (El-Shobokshy and Hussein, 1993).

Η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου και της συγκέντρωσης της σκόνης στον αέρα σε σχέση με την απόδοση των φωτοβολταϊκών κυττάρων παριστάνεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου μπορεί να φανεί ότι η ισχύς εξόδου μειώνεται δραστικά με την αύξηση της πυκνότητας της σκόνης.



**Διάγραμμα 4.3:** Επίδραση της αύξησης της πυκνότητας της σκόνης στην ισχύ εξόδου (Goossens, et al, 1999).

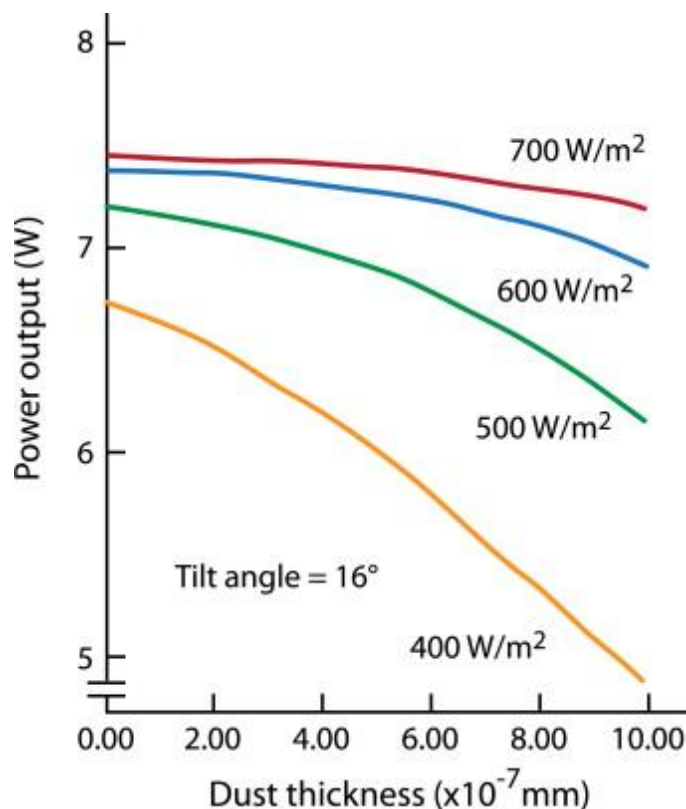
Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η μεταβολή της χαρακτηριστικής ρεύματος –τάσης μιας μονάδας CPV για διάφορα επίπεδα σκόνης στην γυάλινη επιφάνεια του φωτοβολταϊκού: (α) καθόλου σκόνη, (β)  $0,85 \text{ gr/cm}^2$  (γ)  $1,85 \text{ gr/cm}^2$  (δ)  $5,4 \text{ gr/cm}^2$  σκόνη.



**Διάγραμμα 4.4:** Μεταβολή της χαρακτηριστικής ρεύματος –τάσης μιας μονάδας CPV για διάφορα επίπεδα σκόνης (Sarver et al, 2013).

Σε μελέτη που επικεντρώθηκε στις επιπτώσεις της πυκνότητας της σκόνης που εναποτίθεται σε στρώμα, την περιεχόμενη γωνία κλίσης και την ένταση της ηλιακής

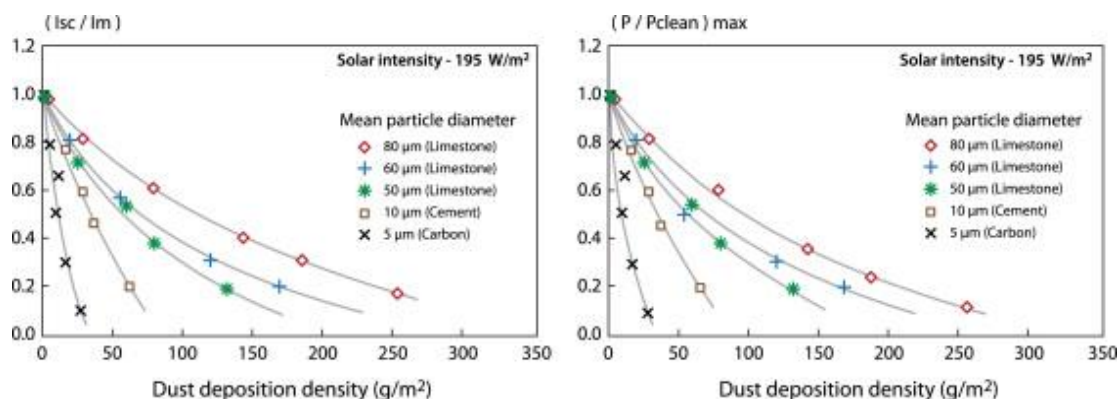
ακτινοβολίας βρέθηκε ότι, καθώς η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται, η υποβάθμιση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού λόγω της συσσώρευσης σκόνης μειώθηκε. Για ένταση ακτινοβολίας  $700 \text{ W/m}^2$  η μείωση της ισχύς εξόδου είναι αμελητέα, ενώ για ένταση ακτινοβολίας  $400 \text{ W/m}^2$  η μείωση ήταν σχεδόν 25% της αρχικής ισχύος εξόδου. (Sarver et al, 2013) Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματά της.



**Διάγραμμα 4.5:** Επίδραση της ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορες πυκνότητες σκόνης στην ισχύ εξόδου του Φ/Β (Sarver et al, 2013).

Όσον αφορά την επίδραση του πάχους της σκόνης στην απόδοση των φωτοβολταϊκών, σε μελέτη των El-Shobokshy and Hussein, (1993) χρησιμοποιήθηκαν διάφορα είδη σκόνης, όπως, ασβεστόλιθος, τσιμέντο και σωματίδια του άνθρακα. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα λεπτά σωματίδια έχουν μεγάλη επίδραση στην απόδοση των φωτοβολταϊκών περισσότερο από την χοντρή σκόνη. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα λεπτά σωματίδια και τα σωματίδια των οικοδομικών υλικών όπως το τσιμέντο και ορισμένα άλλα τα οποία είναι παρόντα στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών επιδεινώνουν σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών κυττάρων μέσω του ρεύματος βραχυκύκλωσης και ισχύς εξόδου όταν εναποτίθενται επάνω στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κυττάρων (Sarver et al, 2013).





**Διάγραμμα 4.6:** Επίδραση διαφόρων κατηγοριών σκόνης στην ισχύ του Φ/Β ( Sarver et al, 2013).

Συμπερασματικά μπορούμε να καταλήξουμε στις ακόλουθες τιμές που μπορεί να λάβει ο συντελεστής ρύπανσης  $\sigma_p$  και τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε στο ακόλουθο της εργασίας:

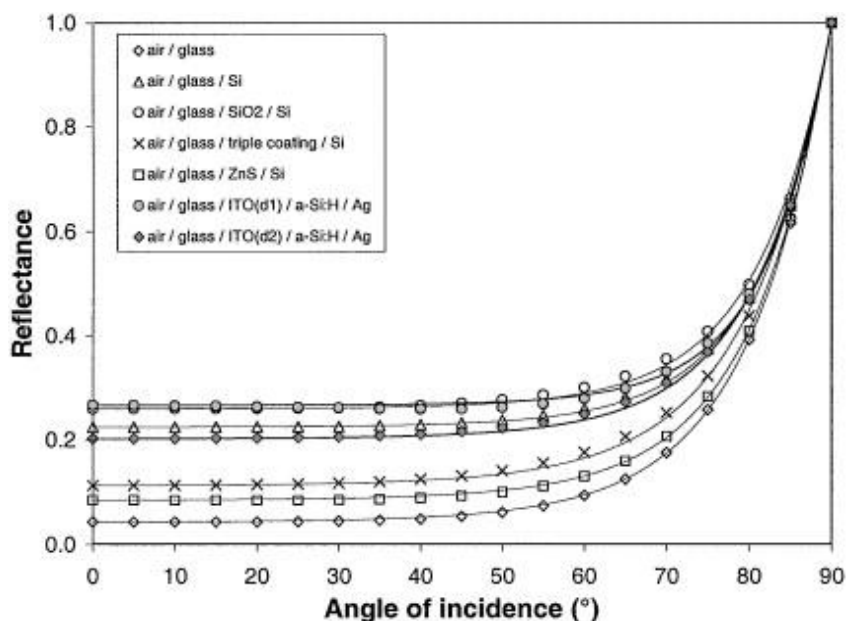
**Πίνακας 4.2:** Τιμές συντελεστή ρύπανσης (Γαλανού, 2010).

Συντελεστής ρύπανσης $\sigma_p$	Ποσότητα ακαθαρσίας
0,95	Πλαίσια που καθαρίζονται συχνά
0,90	Ελαφρώς σκονισμένα πλαίσια
0,80	Πλαίσια οριζόντια και ακάθαρτα

Για πλαίσια που δεν καθαρίζονται, η πρώτη τιμή χαρακτηρίζει τους χειμερινούς μήνες λόγω βροχόπτωσης και κλίσης που αποτρέπει την επικάλυψη σκόνης, ενώ η τελευταία τους θερινούς μήνες λόγω μη βροχόπτωσης και μηδενικής κλίσης. (Γαλανού, 2010)

#### 4.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Η αυξημένη ανακλαστικότητα του ΦΒ πλαισίου ( υαλοπίνακας + αντιανακλαστικό επίστρωμα + υλικό ΦΒ κυψελίδων) σε σχέση με τις πρότυπες συνθήκες λειτουργίας STC οφείλεται στην αυξημένη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλαισίου.



**Διάγραμμα 4.7:** Σχέση μεταξύ τιμών ανάκλασης και γωνίας πρόσπτωσης κρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου (Martin et al, 2001).

Για μικρές γωνίες πρόσπτωσης είναι ασήμαντη και αυξάνεται αρκετά για γωνίες μεγαλύτερες των  $60^{\circ}$ . Ο συντελεστής απόκλισης λόγω απωλειών ανάκλασης  $n_R$  εκφράζεται ως

$$n_R = \frac{\tau(\theta)}{\tau(0)} \quad (4.3)$$

Όπου  $\tau(\theta)$  η διαπερατότητα του οπτικού συστήματος για γωνία πρόσπτωσης  $\theta$ , και  $\tau(0)$  η διαπερατότητα για κάθετη πρόσπτωση ακτινοβολίας σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας. Παίρνει τιμή πρακτικά ίση με μονάδα για γωνίες πρόσπτωσης από  $0^{\circ}$  έως  $60^{\circ}$  ενώ ελαττώνεται αρκετά μέχρι τις  $90^{\circ}$ .

Η μηνιαία μέση τιμή των απωλειών λόγω της αυξημένης ανακλαστικότητας, σε σχέση με αυτή των πρότυπων συνθηκών, σε μέσα γεωγραφικά πλάτη, με νότιο προσανατολισμό και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου κυμαίνεται από 2-6%. Η μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών είναι στο επίπεδο του 3% το οποίο και θα κάνουμε αποδεκτό (Φραγκιαδάκης, 2011).

#### 4.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το φως στο παρελθόν θεωρούνταν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ανακαλύφθηκε ότι έχει και σωματιδιακή φύση εκτός από την κυματική. Το στοιχειώδες σωματίδιο φωτός ονομάζεται φωτόνιο και έχει ενέργεια

$$E=h*f \text{ (4.4)}$$

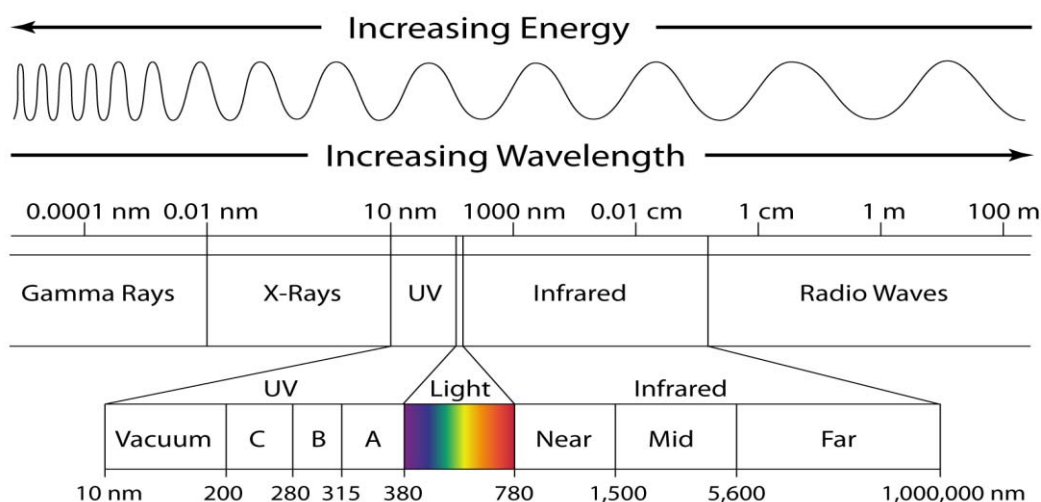
όπου  $h$  η σταθερά του Planck και  $f$  η συχνότητα.

Το μήκος κύματος σχετίζεται με την συχνότητα μέσω της σχέσης

$$c=\lambda*f \text{ (4.5)}$$

όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός.

Σε προβλήματα της μηχανικής της ηλιακής ενέργειας η αντιμετώπιση του φωτός ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα δεν είναι η κατάλληλη. Στις περιπτώσεις φωτοβολταϊκών διεργασιών είναι απαραίτητη η χρήση της κβαντικής μηχανικής. Το φάσμα είναι ένα σύνολο φωτονίων με διαφορετικές ενέργειες το καθένα. Το φως αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα ενεργειών. Το λευκό φως είναι συνήθως ένα μίγμα όλων των ενεργειακών καταστάσεων.



**Εικόνα 4.2:** Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. (Institutional repository of the University of Amsterdam (UvA))

Οι επιπτώσεις του φάσματος της ακτινοβολίας στην απόδοση ενός ΦΒ πάρκου είναι σημαντικές ανάλογα με τη θέση του πάρκου, τις κλιματολογικές συνθήκες και τη φασματική ευαισθησία της κάθε τεχνολογίας φωτοβολταϊκών πάνελ που χρησιμοποιούμε.

Το φασματικό περιεχόμενο μιας τοποθεσίας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το πάχος της ατμόσφαιρας που διανύει η ακτινοβολία (AM), τους υδρατμούς, τα σύννεφα, την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων της ατμόσφαιρας και την ανακλαστικότητα του εδάφους ( Makridis et al, 2012). Κατά την διάρκεια της ημέρας λόγω της κίνησης του ήλιου ή λόγω του υψομέτρου που βρίσκεται το ΦΒ πάρκο, το πάχος της

ατμόσφαιρας που συναντά η ακτινοβολία διαφέρει από αυτό των πρότυπων συνθηκών με AM 1,5. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει διαφοροποίηση του φάσματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Για συνθήκες καθαρού ουρανού το φάσμα είναι συνάρτηση της μάζας του αέρα και της σχετικής υγρασίας. (Gueymard et al., 2002 ).

Τεχνολογίες c-Si και CIGS έχουν μια ευρεία φασματική απόκριση και αυτό επιτρέπει μια μεγάλη φασματική απορρόφηση. Εμφανίζουν ασήμαντη ετήσια ή και μηνιαία μεταβολή δηλαδή μείωση ή και αύξηση , μικρότερη του 1%. (Φραγκιαδάκης, 2011)

Οι τεχνολογίες CdTe και a-Si έχουν στενότερη φασματική απόκριση η οποία κυμαίνεται περίπου μεταξύ 350 - 800 nm και αυτό οδηγεί σε χαμηλότερη απορρόφηση φωτονίων. Μονάδες a-Si έχουν δείξει υψηλότερη ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με το c-Si για ακτινοβολία διάχυτου φωτός και υψηλές γωνίες ανύψωσης του ηλίου ( Makridis et al, 2012). Για ΦΒ πλαίσια στενής φασματικής περιοχής απορρόφησης όπως τα a-Si ή CdTe οι ετήσιες απώλειες είναι σημαντικότερες αλλά δεν ξεπερνούν το 3%. (Μάρκου, 2009). Ο λόγος της φασματικής ηλιακής ακτινοβολίας που διατίθενται για χρήση σε ένα ηλιακό κύτταρο σε σχέση με την ολική ηλιακή ακτινοβολία, για ένα έτος, είναι 5% για τα πολυ-c-Si κύτταρα, και 14% για το a-Si κύτταρα. (Hirata & Tani, 1995 )

#### 4.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ

Η μέση ετήσια επίδραση της διαφοροποίησης της προσπίπτουσας-διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας στην απόδοση προσδιορίζεται σε ~2% (Φραγκιαδάκης, 2011).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ**

### **5.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Τα τελευταία χρόνια το κόστος προμήθειας των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) πάνελ στην Ελλάδα έχει μειωθεί σημαντικά, ακολουθώντας τις διεθνείς τάσεις, συμπαρασύροντας σε μεγάλο ποσοστό και το συνολικό κόστος κατασκευής ενός έργου. Το μερίδιο των επιμέρους κατηγοριών κόστους κατασκευής και ανάπτυξης ενός Φ/Β έργου (πέρα από τα Φ/Β πάνελ), είναι ιδιαίτερα υψηλό και κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 40-65% στο συνολικό κόστος της κατασκευής. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι μεγαλώνοντας την ισχύ της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, έχουμε μείωση του κόστους εγκατάστασης ανά εγκαταστημένο KWr με μία μέση μείωση 37% ανά Kwr ανάμεσα σε εγκατάσταση 10Kwr με μία αντίστοιχη 2Mwr.

(Τσαλέμης, κα, 2012)

Η συντήρηση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης περιλαμβάνει την επιτόπια επιθεώρηση και τη μέτρηση ορισμένων μεγεθών. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται για να εντοπιστεί η ύπαρξη πιθανών προβλημάτων ή αστοχιών τα οποία μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τη ασφάλεια και υγιεινή όσων βρίσκονται στον συγκεκριμένο χώρο όπως η ύπαρξη κομμένων ή φθαρμένων καλωδίων, γειώσεων, κακές επαφές κλπ. Οι έλεγχοι γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα EN62446 και HD384 και περιλαμβάνουν αναλυτικά:

- Πραγματοποίηση ελέγχων μέτρησης της τάσης και της έντασης στην DC πλευρά του κάθε string, και της τάσης, της έντασης και της συχνότητας κάθε AC φάσης.
- Έλεγχο με ειδικό όργανο των γειώσεων όσον αφορά την ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται εντός της εγκατάστασης.
- Έλεγχο με ειδικό όργανο των μονώσεων, από τις AC και DC καλωδιώσεις.
- Έλεγχος στις συσφίξεις των κοχλιών και των βάσεων στήριξης για να εξασφαλιστεί η στατικότητα του έργου.
- Έλεγχος των απαγωγέων υπέρτασης ώστε να εξασφαλίζεται η μη καταστροφή του έργου από ύπαρξη υπερτάσεων όπως η πτώση κεραυνών.
- Έλεγχος της απόδοσης των πάνελ σε σχέση με την ονομαστική. Χρησιμοποιείται ειδικό όργανο το οποίο υπολογίζει την χαρακτηριστική καμπύλη IV των πάνελ και

έτσι συγκρίνοντάς την με την ονομαστική μπορούμε να διαπιστώσουμε αν υπάρχει μείωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού.

- Θερμογράφηση των φωτοβολταϊκών πάνελ με θερμοκάμερα, για τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων στις κυψέλες όπως γήρανση των κυψελών ή στη δομή του πάνελ.

Επίσης επιβάλλεται ο καθαρισμός των πάνελ με τη χρήση ειδικού πλυστικού μηχανήματος, διότι όπως προαναφέρθηκε η επικάλυψη σκόνης, ρύπων, ακαθαρσιών και αλάτων αν είναι κοντά στη θάλασσα μειώνουν την απόδοση έως 15%, αλλά και μπορεί να προξενήσουν τοπική υπερθέρμανση με αποτέλεσμα την δημιουργία βλαβών στις κυψέλες των πάνελ.

Τα ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (σταθερά και μεταβλητά) των Φ/Β πάρκων υπολογίζονται σε 2,5-3,5% του συνολικού κόστους κατασκευής ανάλογα και με τα χαρακτηριστικά του έργου, με την εξαίρεση των οικιακών Φ/Β στις στέγες που θεωρούνται ακόμη μικρότερα. (Τσαλέμης, κα, 2012)

## 5.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΩΛΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚWh ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ.

Οι τρόποι που μπορεί να πωληθεί η παραγόμενη ενέργεια είναι με εγγυημένες τιμές πώλησης (FiTs), με αξιοποίηση της δυνατότητας συμψηφισμού της παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας net-metering, ή τέλος με πώληση στην απελευθερωμένη και ανταγωνιστική αγορά.

### 5.2.1 Πώληση με εγγυημένες τιμές.

Με βάση τις ισχύουσες ρυθμίσεις (Ν.4223/2013, ΦΕΚ 287Α/31-12-2013), αναστέλλεται έως 31 Δεκεμβρίου 2014 η σύναψη Συμβάσεων Σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με το Σύστημα ή το Δίκτυο συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. Αναστέλλεται επίσης έως 31 Δεκεμβρίου 2014 η σύναψη συμβάσεων πώλησης για φωτοβολταϊκούς σταθμούς με τον Λειτουργό της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τον Διαχειριστή του Δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. Από την αναστολή εξαιρούνται οι περιπτώσεις για τις οποίες μέχρι την έναρξη ισχύος του Ν.4152/2013 (9-5-2013) έχει κατατεθεί πλήρης φάκελος για την υπογραφή σύμβασης πώλησης και όσα υπάγονται στο Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών σε Κτιριακές Εγκαταστάσεις (έργα <10

kWp). Η αναστολή σύναψης συμβάσεων σύνδεσης και πώλησης μπορεί να αίρεται πριν από την 31η Δεκεμβρίου 2014 με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής μετά από γνωμοδότηση της ΡΑΕ, εκτιμώντας την πορεία του ελλείμματος του ειδικού Λογαριασμού του άρθρου 40 του Ν.2773/1999 και την επίτευξη των στόχων που καθορίζονται βάσει του άρθρου 1 του Ν. 3468/2006. (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2014)

Με απόφαση του Μαΐου του 2013 (ΥΑΠΕ/Φ1/1288/9011, ΦΕΚ 1103B/02-05-2013), οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας (για όσους αποζημιώνονται με εγγυημένες τιμές πώλησης, FiTs) καθορίζονται ως εξής:

**Πίνακας 5.1:** Εγγυημένες τιμές πώλησης φωτοβολταϊκής ενέργειας (ΦΕΚ 1103B/02-05-2013).

Έτος	Μήνας	Συστήματα επί εδάφους και στέγες >10KWp στο διασυνδεδεμένο σύστημα (€/KWh)		Συστήματα επί εδάφους και στέγες >10KWp στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (€/KWh)	Συστήματα σε οικιακές και εμπορικές στέγες
		>100KWp	<=100 KWp	Ανεξαρτήτως ισχύος	<=10KWp (€/KWh)
2013	Φεβρουάριος	0,095	0,120	0,100	0,125
	Αύγουστος	0,095	0,120	0,100	0,125
2014	Φεβρουάριος	0,090	0,115	0,095	0,120
	Αύγουστος	0,090	0,115	0,095	0,120
Για κάθε έτος ν από το 2015 μΟΤΣν-1= Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1		1,1*μΟΤΣν-1	1,2*μΟΤΣν-1	1,1*μΟΤΣν-1	-4,35% ανά έτος για την περίοδο 2015-Ιούλιο 2017
Διάρκεια σύμβασης		20 έτη			25 έτη

Οι τιμές που καθορίζονται στον ανωτέρω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους.

Οριακή Τιμή Συστήματος είναι η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και είναι η τιμή που εισπράττουν όλοι όσοι εγγέουν ενέργεια στο Σύστημα και πληρώνουν όλοι όσοι ζητούν ενέργεια από το Σύστημα.

Συγκεκριμένα, η Οριακή Τιμή Συστήματος διαμορφώνεται από τον συνδυασμό των προσφορών τιμών και ποσοτήτων που υποβάλλουν κάθε ημέρα οι διαθέσιμες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και του ωριαίου φορτίου ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, που διαμορφώνεται σε καθημερινή βάση από τους καταναλωτές. Οι μονάδες παραγωγής κατατάσσονται αναλόγως των προσφορών τους σε αύξουσα σειρά, ξεκινώντας από την χαμηλότερη προσφερόμενη τιμή για ορισμένη ποσότητα ενέργειας και καταλήγοντας στην υψηλότερη προσφερόμενη τιμή. Στο σημείο, όπου οι προσφερόμενες ποσότητες ενέργειας εξυπηρετούν το ζητούμενο φορτίο, καθορίζεται και η Οριακή Τιμή Συστήματος. Στην ουσία, η Οριακή τιμή του Συστήματος συμπίπτει με την προσφορά της τελευταίας μονάδας που πρέπει να λειτουργήσει για να καλυφθεί η ζήτηση.

Για λόγους προστασίας των καταναλωτών και διαμόρφωσης συνθηκών υγιούς ανταγωνισμού τίθεται διοικητικά ανώτερο όριο ως προς την προσφερόμενη τιμή, το οποίο έχει τεθεί ίσο με 150€/Mwh καθώς και κατώτερο επίπεδο προσφορών, το οποίο είναι το μεταβλητό κόστος της μονάδας, ώστε στις περισσότερες περιπτώσεις οι παραγωγοί να πληρώνονται το κόστος καυσίμου τους. (Ιστοσελίδα, [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/electricity/market/wholesale/price.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/wholesale/price.csp)).

### **5.2.2. Πώληση με Net-metering.**

Το Net metering είναι μια ουσιαστικά νέα πολιτική αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι καταναλωτές που έχουν συνήθως μικρές μονάδες ΑΠΕ όπως ένα φ/β σύστημα ή μια μικρή ανεμογεννήτρια, θα μπορούν να συμψηφίζουν την παραγόμενη με την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Με το Ν.4203/2013 (ΦΕΚ 235Α/1-11-2013) θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα των καταναλωτών να κάνουν χρήση του net-metering. Η παραγόμενη ενέργεια από το σταθμό που εγγέεται στο δίκτυο διανομής συμψηφίζεται σε κάθε κύκλο καταμέτρησης με την καταναλισκόμενη ενέργεια στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού που τροφοδοτεί ο σταθμός. Το πλεόνασμα ενέργειας που προκύπτει από το συμψηφισμό του προηγούμενου εδαφίου διοχετεύεται στο Δίκτυο χωρίς υποχρέωση για οποιαδήποτε



αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό. Με υπουργική απόφαση μπορεί να οριστεί αποζημίωση από τον προμηθευτή υπέρ του αυτοπαραγωγού για ποσοστό του πλεονάσματος ενέργειας που προκύπτει από το συμψηφισμό. Οι σταθμοί του παρόντος άρθρου εξαιρούνται από την αναστολή της αδειοδοτικής διαδικασίας που προαναφέρθηκε. (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2014)

Ιδιαίτερα θετικά αναμένονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του Net Metering στη χώρα μας. Ο καταναλωτής παράγοντας την ενέργεια που χρειάζεται, μειώνει θεαματικά την έκθεση του στις αυξήσεις της τιμής του ρεύματος διότι όσο αυξάνεται η τιμή της kWh, τόσο πιο γρήγορα γίνεται απόσβεση των κεφαλαίων που επενδύθηκαν. Μπορεί να καλύψει νέες ανάγκες του όπως τη θέρμανση αυξάνοντας την κατανάλωσή του σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς αυτό να είναι επώδυνο.

Οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητά τους.

Η εφαρμογή του Net Metering όχι μόνο δεν θα αυξάνει το έλλειμμα του ΛΑΓΗΕ αλλά μπορεί μακροπρόθεσμα να συντελέσει ακόμα και στη μείωσή του διότι ο λειτουργός της αγοράς ΛΑΓΗΕ δεν επιβαρύνεται με πανάκριβες εκροές όπως με την μέθοδο του FiT (Feed in Tariff).

Βοηθά στην ανάπτυξη του κλάδου των φωτοβολταϊκών, διασώζοντας θέσεις εργασίας και δημιουργώντας νέες.

### **5.2.3. Πώληση στην απελευθερωμένη αγορά.**

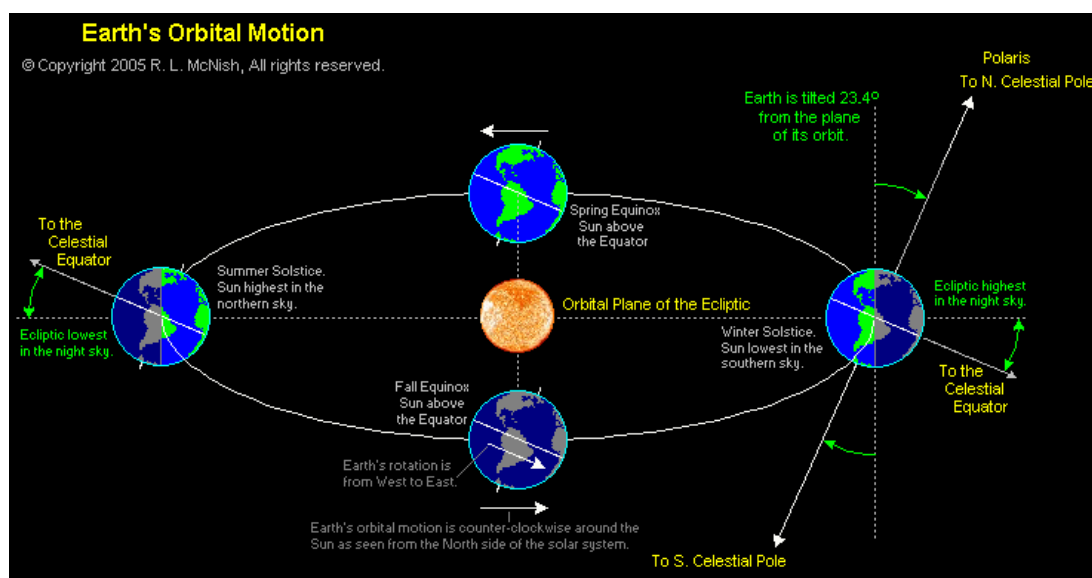
Τέλος υπάρχει η απελευθερωμένη και ανταγωνιστική αγορά, όπου πωλείται η παραγόμενη ενέργεια σε ελεύθερη τιμή βάση προσφοράς και ζήτησης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

### 6.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΗΛΙΟΥ ΓΗΣ

Η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο με περίοδο 365,25 ημέρες σε ελλειπτική τροχιά με μικρή εκκεντρότητα, θεωρώντας τον ήλιο στο κέντρο της έλλειψης. Το επίπεδο που περιέχει αυτήν την τροχιά ονομάζεται ελλειπτικό επίπεδο. Επίσης περιστρέφεται και γύρω από τον άξονά της, ο οποίος ονομάζεται πολικός άξονας με περίοδο 24 ώρες, δηλαδή περιστρέφεται με ένα ρυθμό  $15^0$  ανά ώρα σε σχέση με τον Ήλιο.

Η απόσταση ανάμεσα στην Γη και τον Ήλιο μεταβάλλεται στην διάρκεια του έτους με μικρότερη την  $1,471 \cdot 10^{11}$  m στις 21 Δεκεμβρίου και μεγαλύτερη απόσταση την  $1,521 \cdot 10^{11}$  m στις 21 Ιουνίου.



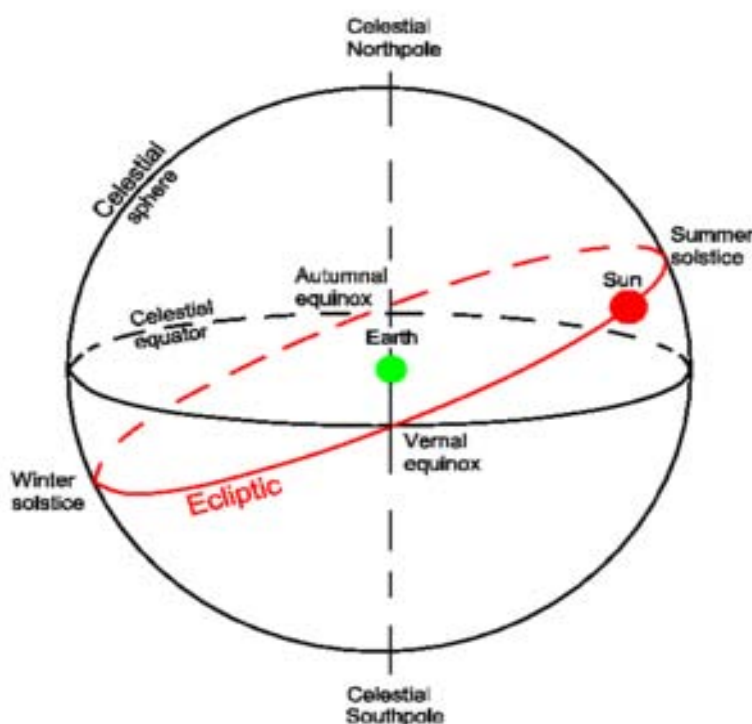
**Εικόνα 6.1:** Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο. (RASC Calgary Centre)

Το επίπεδο που περιέχει την τροχιά της Γης ονομάζεται εκλειπτικό επίπεδο και σχηματίζει με τον πολικό άξονα γωνία ίση με  $23^0,45'$ .

Όμως η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ισημερινού της Γης και της γραμμής που ενώνει το κέντρο της Γης με τον Ήλιο αλλάζει διαρκώς. Η γωνία αυτή ονομάζεται ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ ) και μεταβάλλεται κατά  $0,5^0$  κατά την διάρκεια της ημέρας. Στην διάρκεια μιας ημέρας η τιμή της απόκλισης θεωρείται σταθερή και ίση με την τιμή που λαμβάνει το μεσημέρι. Η απόκλιση ( $\delta$ ) παίρνει την τιμή μηδέν στις 21

Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου όταν και έχουμε την εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία, λαμβάνει την τιμή  $+23,45^{\circ}$  στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και  $-23,45^{\circ}$  στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο) για το βόρειο ημισφαίριο.

Η σχετική θέση του Ήλιου σε σχέση με την Γη παριστάνεται καλύτερα με την ουράνια σφαίρα. Η ουράνια σφαίρα είναι μία σφαίρα με την Γη να βρίσκεται στο κέντρο της όπου ο ισημερινός της Γης τέμνει την ουράνια σφαίρα στον ουράνιο ισημερινό ενώ ο πολικός άξονας της Γης την τέμνει στους ουράνιους πόλους. Έτσι η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο μετατρέπεται σε κίνηση του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα γύρω από την Γη. Ο Ήλιος κινείται πάνω στην ουράνια εκλειπτική η οποία σχηματίζει με το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού μέγιστη γωνία  $23^{\circ},45'$ .

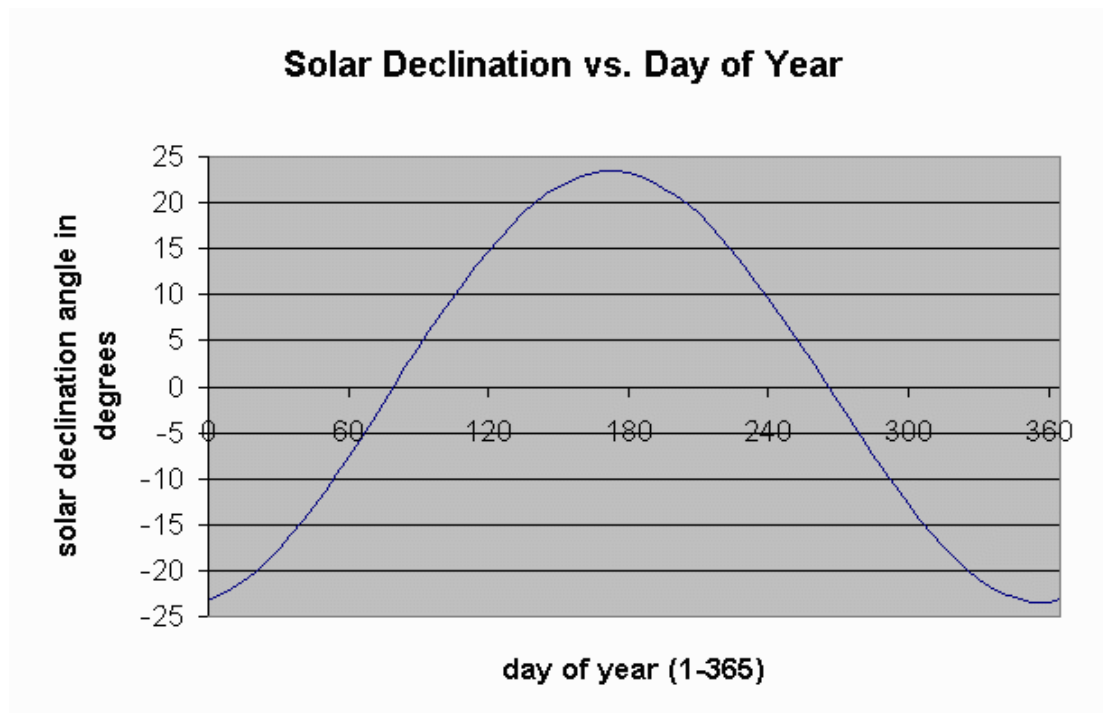


**Εικόνα 6.2:** Επίπεδο εκλειπτικής.

Η τιμή της ηλιακής απόκλισης  $\delta$  για συγκεκριμένη ημέρα του χρόνου  $n$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$\delta = 23,45 * \sin \left[ \frac{360(n + 284)}{365} \right] \quad (6.1)$$

Όπου το  $n$  παίρνει τιμές από 1 έως 365. Με βάση την ανωτέρω σχέση στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλιακής απόκλισης στην διάρκεια του έτους.



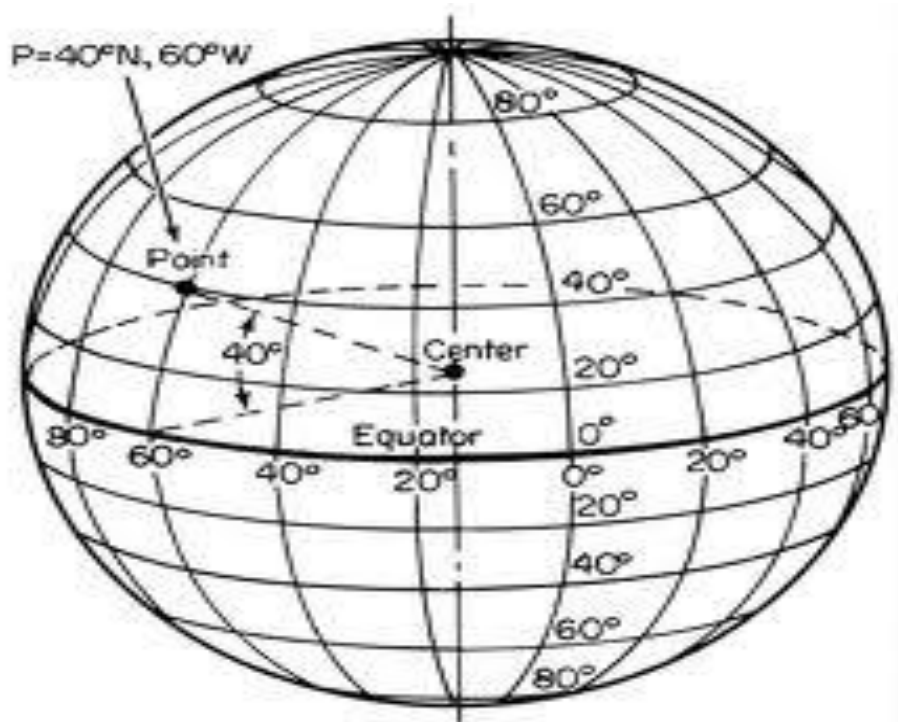
**Διάγραμμα 6.1:** Μεταβολή ηλιακής απόκλισης στην διάρκεια του έτους (Site esrl.noaa.gov).

## 6.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΓΗ

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου επάνω στην Γη γίνεται με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, το γεωγραφικό μήκος ( $\lambda$ ) και το γεωγραφικό πλάτος ( $\varphi$ ).

Γεωγραφικό μήκος ( $\lambda$ ) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται από τον πρώτο μεσημβρινό του Greenwich και τον μεσημβρινό του τόπου. Παίρνει τιμές από  $0^{\circ}$  έως  $-180^{\circ}$  ανατολικά και από  $0^{\circ}$  έως  $+180^{\circ}$  δυτικά του πρώτου μεσημβρινού, έχοντας  $0^{\circ}$  ο πρώτος μεσημβρινός του Greenwich.

Γεωγραφικό πλάτος ( $\varphi$ ) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και την διεύθυνση της κατακόρυφης στον εκάστοτε τόπο. Παίρνει τιμές από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$  βόρεια και από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$  νότια, έχοντας  $0^{\circ}$  ο ισημερινός.



**Εικόνα 6.3:** Προσδιορισμός θέσης στην Γη (Site, 8dimpatras.weebly.com).

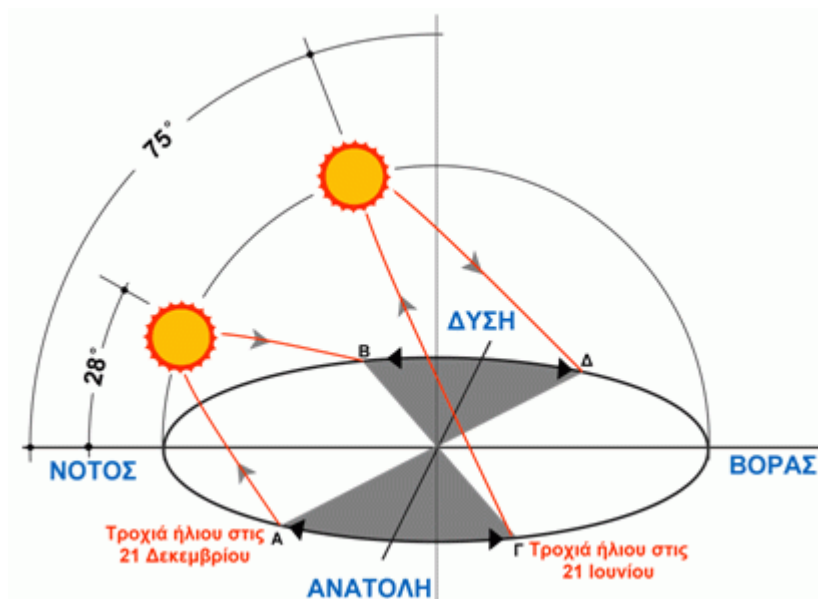
### 6.3 Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Το επίπεδο που εφάπτεται στην σφαίρα της Γης σε έναν συγκεκριμένο τόπο ονομάζεται ορίζοντας. Το σημείο του ουρανού που βρίσκεται επάνω από τον ορίζοντα ενός τόπου ονομάζεται ζενίθ.

Η θέση του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα όπως την βλέπει ένας παρατηρητής επάνω στην Γη προσδιορίζεται από την γωνία ζενίθ ( $\theta_z$ ) και την αζιμούθια γωνία ( $\gamma$ ). Η γωνία ζενίθ ( $\theta_z$ ) ορίζεται από το ζενίθ και την ευθεία που ενώνει τον παρατηρητή με τον Ήλιο.

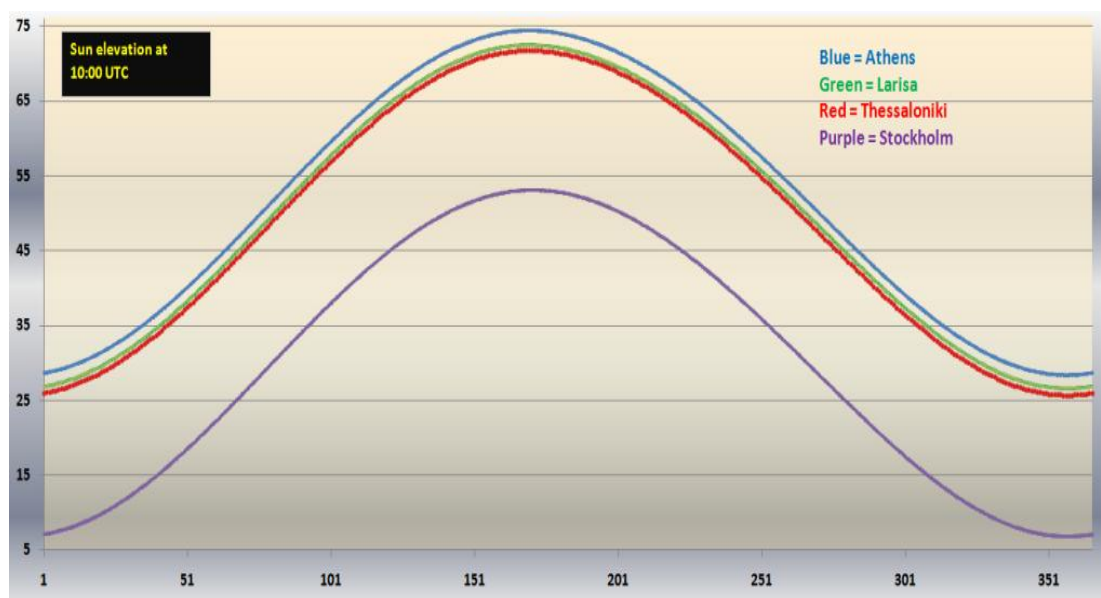
Η γωνία ύψος του Ήλιου ( $\alpha$ ) σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας παρατηρητή-Ήλιου και του επιπέδου του ορίζοντα. Είναι συμπληρωματική γωνία της ζενίθιας γωνίας και η μεταξύ τους σχέση ορίζεται ως  $\alpha = 90^\circ - \theta_z$ .

Η ημερήσια τροχιά του ήλιου κατά το καλοκαίρι και τον χειμώνα παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα όπου και φαίνεται η μεταβολή της γωνίας ύψους του ήλιου από  $28^\circ$  στις 21 Δεκεμβρίου στις  $75^\circ$  στις 21 Ιουνίου για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος.



**Εικόνα 6.4:** Μεταβολή της ημερήσιας τροχιάς του Ήλιου ανάλογα με την εποχή του χρόνου (Ιστοσελίδα, [www.energotech.gr](http://www.energotech.gr)).

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η ετήσια μεταβολή του ύψους του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι για διάφορες πόλεις ανάμεσά τους και η Λάρισα.



**Διάγραμμα 6.2:** Ετήσια μεταβολή του ύψους του Ήλιου (Site, [bobby-e4.blogspot.com](http://bobby-e4.blogspot.com)).

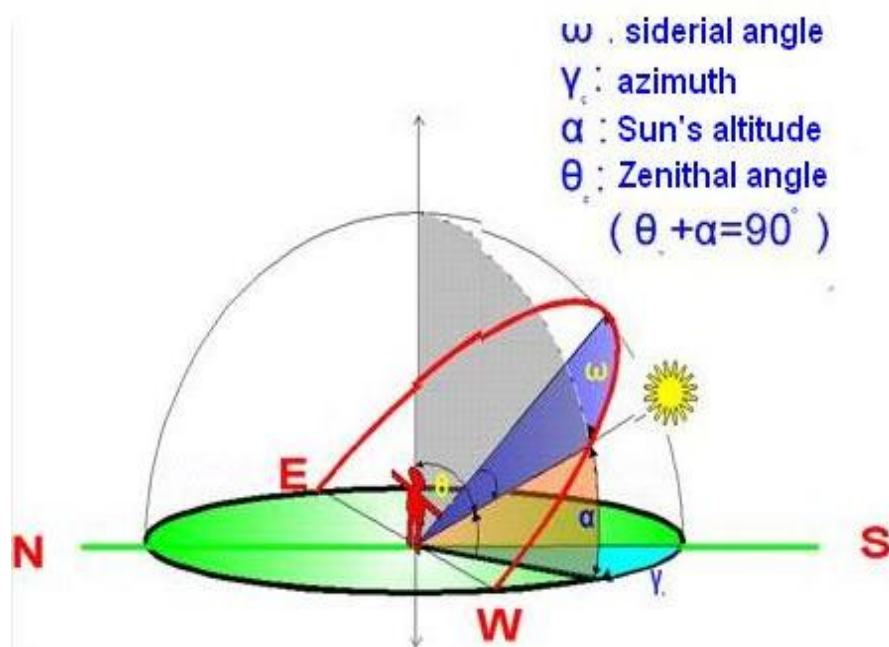
Η αζιμούθια γωνία ( $\gamma_s$ ) σχηματίζεται από την προβολή της ευθείας που ενώνει τον παρατηρητή με τον Ήλιο επάνω στο επίπεδο του ορίζοντα και την ευθεία του νότου. Χαρακτηριστικές τιμές της αζιμούθιας γωνίας είναι:  $\gamma_s=0^0$  στον νότο,  $\gamma_s=+90^0$  στη δύση,  $\gamma_s=-90^0$  στην ανατολή.

Κατά την διάρκεια της ημέρας η ζενιθιακή και η αζιμούθια γωνία μεταβάλλονται συνεχώς.

Η θέση του Ήλιου ανά πάσα στιγμή επάνω στην ουράνια σφαίρα ορίζεται από την ωριαία γωνία ( $\omega$ ). Αυτή ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει ο μεσημβρινός που περνά από τον παρατηρητή, δηλαδή στην περίπτωσή μας από την εγκατάσταση με τον μεσημβρινό που βρίσκεται ο Ήλιος κάθε στιγμή. Η Γη περιστρέφεται με ρυθμό  $15^\circ/h=0,25^\circ/\text{min}$ , οπότε και η ωριαία γωνία μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό. Το ηλιακό μεσημέρι η ωριαία γωνία  $\omega=0^\circ$ , για τις ώρες μετά μεσημβρίας η γωνία είναι θετική  $\omega>0$  και τέλος για προ μεσημβρίας είναι αρνητική  $\omega<0$ . Ο τύπος υπολογισμού της ωριαίας γωνίας είναι

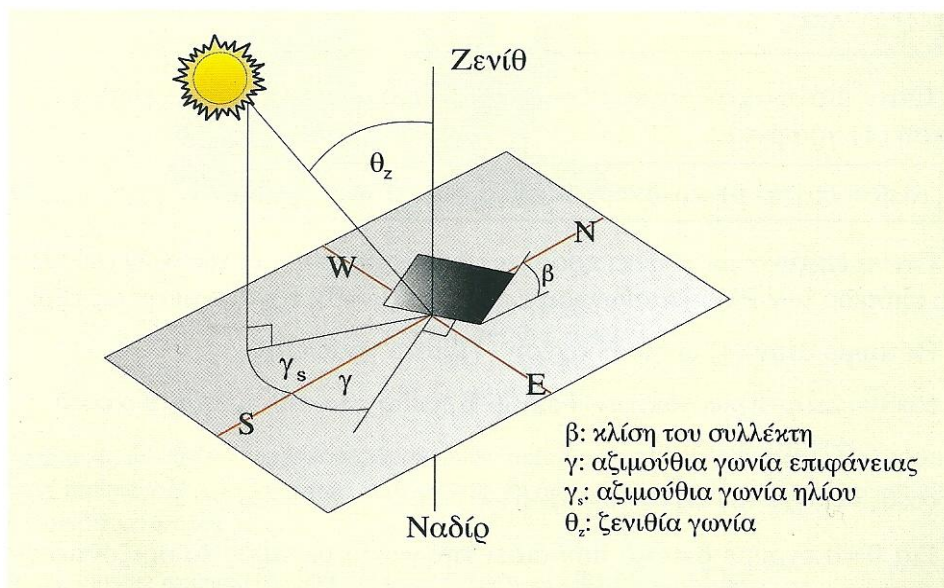
$$\omega=0,25*(\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}) \quad (6.2)$$

Ακολουθώς παρατηρούμε τον παρατηρητή σε συνδυασμό με όλες τις προαναφερθείσες γωνίες.



**Εικόνα 6.5:** Ωριαία γωνία (Site, forums.parallax.com).





**Εικόνα 6.6:** Γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε πάνελ γωνίας β (Καπλάνης, 2004).

Η γωνία πρόσπτωσης ( $\theta$ ) της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας επάνω σε επίπεδο με γωνία κλίσης ( $\beta$ ) ως προς το οριζόντιο επίπεδο όπως είναι ένα panel φωτοβολταϊκού με κλίση και χρησιμοποιώντας τις γωνίες που προαναφέρθηκαν δίνεται από την εξίσωση:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \quad (6.3)$$

Όταν έχουμε οριζόντια επιφάνεια  $\beta=0$  τότε η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται ίση με την ζενιθία γωνία  $\theta=\theta_z$  και για νότιο προσανατολισμό  $\gamma=0$  η εξ. (6.3) γίνεται

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta \quad (6.4)$$

Η ηλιακή αζιμουθιακή γωνία  $\gamma_s$  υπολογίζεται από την σχέση

$$\gamma_s = \frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\sin\theta_z} \quad (6.5)$$

Για επιφάνεια προσανατολισμένη στον νότο η γωνία  $\gamma=0$  και η εξ. (6.3) γίνεται τότε

$$\cos\theta = \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta \quad (6.6)$$

Η γωνία κλίσης των PV πλαισίων ( $\beta$ ) για να έχουμε κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας των ακτίνων του ήλιου το ηλιακό μεσημέρι ( $\omega=0$ ), είναι

$$\beta = \varphi - \delta \quad (6.7)$$

Η ωριαία γωνία δύσης ( $\omega_{sf}$ ) ή ανατολής του ήλιου ( $\omega_{sr}$ ) για οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται θέτοντας  $\theta_z=90^\circ$  ή  $\alpha=0^\circ$  στην εξ. (6.4) και παίρνουμε:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (6.8)$$



ενώ για κεκλιμένο επίπεδο συλλέκτη παίρνουμε:

$$\omega'_{sc} = \min(\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan \delta)) \quad (6.9)$$

Η ωριαία γωνία ανατολής έχει την ίδια απόλυτη τιμή με την ωριαία γωνία δύσης, αλλά αντίθετο πρόσημο λόγω αντιστροφής του συνημίτονου.

Οι συνολικές θεωρητικές ώρες ηλιοφάνειας (N) μεταξύ ανατολής και δύσης, υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$N = \frac{[\omega_{sf} - (-\omega_{st})]}{\frac{15^\circ}{h}} = \frac{2\omega_s}{\frac{15^\circ}{h}} \quad (6.10)$$

Καθώς μεταβάλλεται η θέση του ήλιου στην ουράνια σφαίρα κατά την διάρκεια της ημέρας και την περίοδο του έτους, επηρεάζεται και η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της έντασης

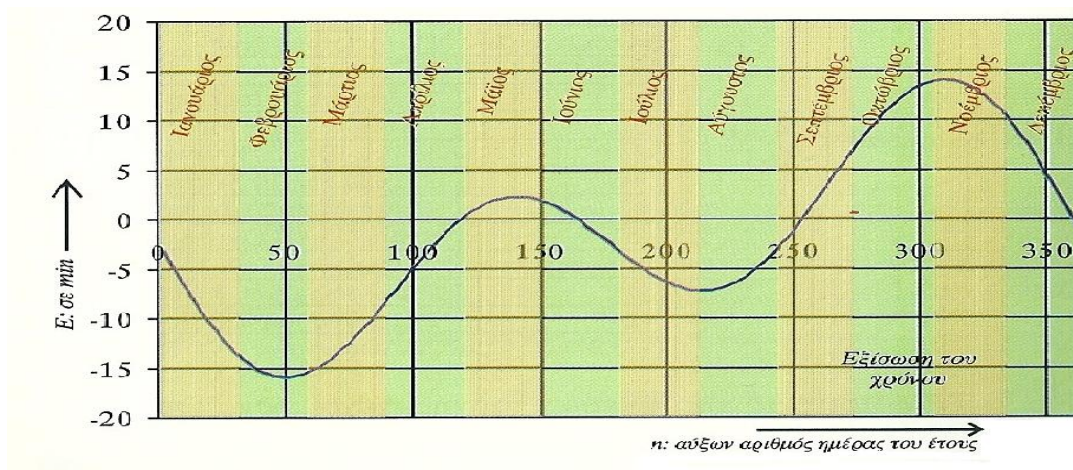
#### 6.4 Η ΗΛΙΑΚΗ ΩΡΑ

Στις μελέτες είναι απαραίτητο να κάνουμε τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς στον Ηλιακό χρόνο. Ο χρόνος που έχει αναφορά τον ήλιο δεν συμπίπτει με την τοπική ώρα. Για τον υπολογισμό της λαμβάνουμε υπ' όψιν διορθώσεις για διαφορετικές θέσεις στη Γη, καθώς και παρεκκλίσεις που προέρχονται από την τροχιά της Γης.

$$HX(h) = TX(h) + E + 4(L_{st} - L_{loc}) \quad (6.11)$$

Όπου  $L_{st}$  είναι ο κεντρικός μεσημβρινός για την ώρα τοπικής ζώνης, το  $L_{loc}$  είναι το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας και E είναι η εξίσωση του χρόνου. Η εξίσωση του χρόνου E είναι ένας συντελεστής διόρθωσης που αποδίδει τις ενδεχόμενες αποκλίσεις σε λεπτά μεταξύ της ηλιακής και της τοπικής ώρας. (Δέρβος, 2007)

Προσδιορίζεται από το ακόλουθο διάγραμμα:



**Διάγραμμα 6.3:** Συντελεστής διόρθωσης ηλιακού χρόνου (Καπλάνης, 2004).

Από την γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι ο διορθωτικός συντελεστής είναι μηδέν τέσσερις φορές τον χρόνο δηλαδή ο ήλιος μεσουρανή την αναμενόμενη ώρα.

## 6.5 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ένταση φωτισμού ή ακτινοβολία ή πυκνότητα ενέργειας είναι η ενέργεια του φωτός που προσπίπτει στον συλλέκτη και υπολογίζεται ως ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και μετριέται σε  $W/m^2$ . (Δέρβος, 2007)

Ο ήλιος αποτελείται από θερμή αέρια ύλη η οποία υπόκεινται σε συνεχή πυρηνική σύντηξη. Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται με την ηλιακή ακτινοβολία. Η έντασή της εκτός της ατμόσφαιρας της γης είναι σχεδόν σταθερή κατά την διάρκεια του έτους. Οι όποιες αλλαγές στην τιμή της δημιουργούνται εξ' αιτίας της μεταβολής της απόστασης Γης Ήλιου και είναι αμελητέες. Στις περισσότερες τεχνολογικές εφαρμογές δεχόμαστε ότι η ποσότητα ενέργειας που λαμβάνουμε από τον ήλιο ανά μονάδα χρόνου που φτάνει κάθετα στην διεύθυνση της ακτινοβολίας σε μοναδιαία επιφάνεια ονομάζεται ηλιακή σταθερά ( $G_{sc}$ ) και ισούται με  $1367w/m^2$ .

Εκτός ατμόσφαιρας περίπου το 7% της ακτινοβολίας βρίσκεται στην υπεριώδη περιοχή, το 47% στο ορατό φάσμα και το 46% στην υπέρυθη περιοχή.

## 6.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ - ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ

Η ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με την ζενίθ γωνία  $\theta_z$  που προσπίπτει διατρέχει και διαφορετικό μήκος διαδρομής στην ατμόσφαιρα. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της γωνίας τόσο μικρότερο είναι και το μήκος της διαδρομής που ακολουθεί με αποτέλεσμα να συναντά και μικρότερη αέρια μάζα. Έχει οριστεί ένα μέγεθος με το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η φαινόμενη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και το μήκος που ακολουθεί, η αέρια μάζα AM.

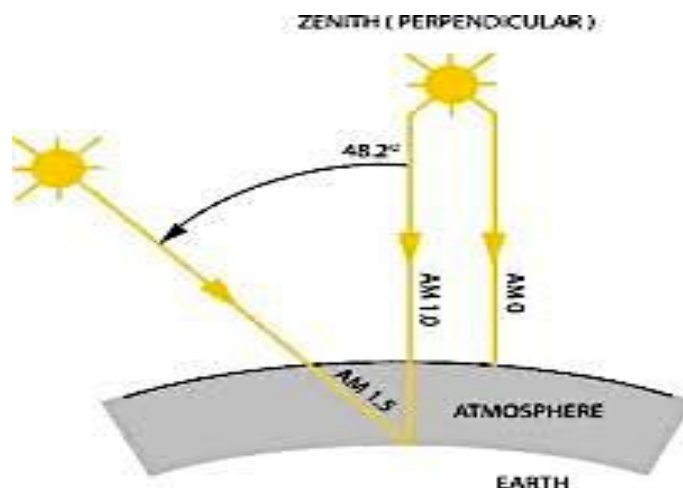
$$AM = \frac{1}{\cos(\theta_z)} \quad (6.12)$$

όπου  $\theta_z$  είναι η ζενίθ γωνία. Στην εξ (6.12) δεν ελήφθει υπ' όψιν η καμπυλότητα της Γης.

Η AM0 είναι η ακτινοβολία στο διάστημα ή σε μηδέν ατμόσφαιρα.

Η AM1 είναι η ακτινοβολία του Ήλιου με ζενίθ γωνία μηδέν.

Η AM1,5 αποτελεί ένα τυπικό ηλιακό φάσμα στην επιφάνεια της Γης μια ηλιόλουστη ημέρα και χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τους ηλιακούς συλλέκτες.

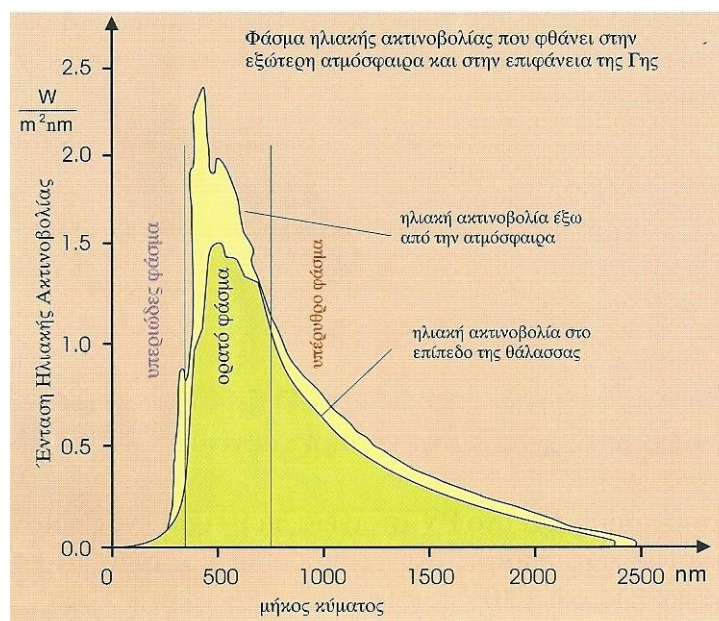


**Εικόνα 6.7:** Διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και η αέρια μάζα AM (Λειβαδά, 2011).

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέλθει στην ατμόσφαιρα της Γης λαμβάνουν χώρα τρεις μηχανισμοί: η απορρόφηση, η σκέδαση και η ανάκλαση.

- Η απορρόφηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο απορροφάται ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και μετατροπή της σε θερμότητα και επανεκπομπή της σε ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος. Η υπεριώδη ακτινοβολία απορροφάται από το όζον και η υπέρυθη από τους υδρατμούς.
- Σκέδαση είναι η αλλαγή της κατεύθυνσης διάδοσης της ακτινοβολίας και οφείλεται στην ύπαρξη των μορίων του αέρα των υδρατμών και της σκόνης. Η σκέδαση εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.
- Ανάκλαση είναι η αλλαγή κατεύθυνσης διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας όταν προσπέσει σε διεπιφάνεια. Είναι ανεξάρτητη από το μήκος κύματος.

Το αποτέλεσμα που επιφέρουν η σκέδαση και η ανάκλαση είναι το φάσμα που διατίθεται για εφαρμογές στη γη να βρίσκεται ανάμεσα στα  $0,29\mu\text{m}$  και  $2,5\mu\text{m}$ .



**Διάγραμμα 6.4:** Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην εξωτερική ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης (Καπλάνης, 2004).

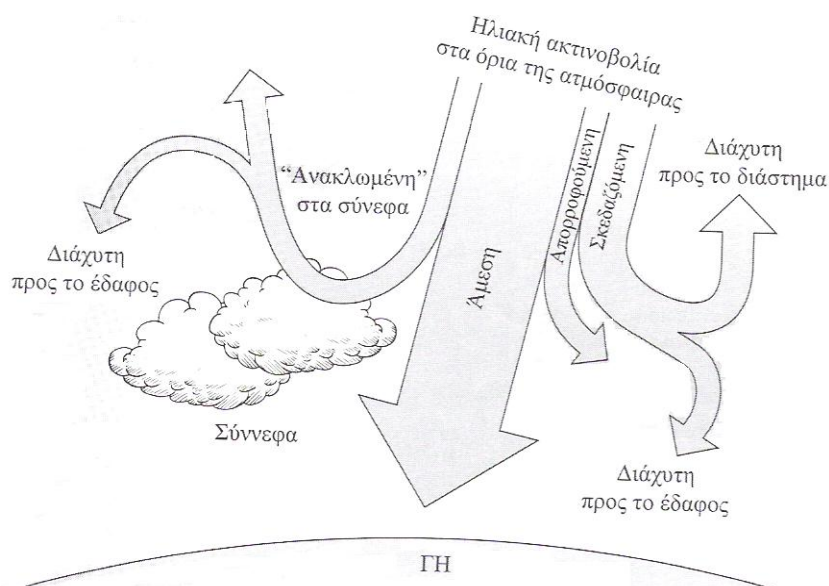
Λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία, όταν αυτή φθάνει στην Γη αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

- Την άμεση συνιστώσα που είναι συνήθως λιγότερη από 60% της συνολικής,
- Την συνιστώσα διάχυσης η οποία είναι ακτινοβολία όπου έχει προηγουμένως σκεδαστεί και ανακλαστεί σε σωματίδια και υδρατμούς που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα
- Την ανακλώμενη από το έδαφος συνιστώσα ή albedo.

Η συνιστώσα διάχυσης συναποτελείται από τρεις συνιστώσες:

- Κοντά στον ήλιο,
- Στο οριζόντιο επίπεδο
- Στο υπόλοιπο του ουρανού.

Στις περισσότερες εφαρμογές για τον προσανατολισμό του συλλέκτη λαμβάνεται υπ' όψιν η άμεση συνιστώσα. (Δέρβος, 2007)



**Εικόνα 6.8:** Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας εντός της γήινης ατμόσφαιρας (Δέρβος, 2007).

Η άμεση ακτινοβολία εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ ), το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ), το υψόμετρο του τόπου ( $h$ ), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει ( $\beta$ ), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της. (Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, 2010)

## 6.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Ο ιδανικός αζιμουθιακός προσανατολισμός για το ΦΒ πλαίσιο είναι ο νότιος. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένες επιφάνειες με σταθερό ή τυχαίο προσανατολισμό υπολογίζεται με θεωρητικά και εμπειρικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί

και βασίζονται κυρίως σε μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο της υπό μελέτη περιοχής. Στα μοντέλα αυτά συνυπολογίζονται και γεωμετρικοί παράγοντες που σχετίζονται με την τροχιά του ήλιου, την περιοχή και την εποχή του χρόνου. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια είναι συνάρτηση της κλίσης της επιφάνειας, του προσανατολισμού της και της περιοχής εγκατάστασης (γεωγραφικό πλάτος και μήκος). Σημαντική επίσης παράμετρος είναι η καθαρότητα του ορίζοντα και τα τυχόν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια που υπάρχουν γύρω από την επιφάνεια πρόσπτωσης.

### 6.7.1 Επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό και σταθερή κλίση πλαισίου

Η μέση ολική μηνιαία  $H_T$  ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mo})$ ) σε κεκλιμένο επίπεδο με νότιο υπολογισμό, υπολογίζεται βάση του ισοτροπικού μοντέλου των Liu, Jordan & Klein (TOTEE, 2010) από την ακόλουθη σχέση:

$$H = (H_T - H_d) * R_b + 0,5 * H_d * (1 + \cos\beta) + 0,5 * \rho * H_T * (1 - \cos\beta) \quad (6.13)$$

όπου,

$\rho$ , είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους.

$\beta$ , είναι η κλίση της επιφάνειας,

$H_T$ , είναι η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την υπό μελέτη περιοχή,

$H_d$ , είναι η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την υπό μελέτη περιοχή.

και  $R_b$ , είναι μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας για νότιο προσανατολισμό (αζιμούθιο  $\gamma=0$ ).

Η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (Collares-Pereira, et al, 1979) η οποία είναι ο λόγος της διάχυτης προς την ολική μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο.

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}_T} = 0.755 + 0.00653 * (\omega_{ss} - 90) - [0.505 + 0.004555 * (\omega_{ss} - 90)] * \cos(115\bar{k}_t - 103) \quad (6.14)$$

όπου,

$\omega_s$ , η ωριαία γωνία δύσης για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα στην υπό μελέτη περιοχή και  $k_t$  ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας της περιοχής. Αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\bar{k}_t = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}_0} \quad (6.15)$$

όπου  $H_0$  είναι η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mo})$ ) σε οριζόντιο επίπεδο στο όριο της ατμόσφαιρας.

Ο μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας  $R_b$ , είναι ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς την άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R_b = \frac{[\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{ss}) + \frac{\pi}{180} \omega_{ss} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)]}{[\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{ss}) + \frac{\pi}{180} \omega_{ss} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)]} \quad (6.16)$$

όπου,

$\omega_{ss}$ , είναι η ωριαία γωνία δύσης της κεκλιμένης επιφάνειας για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα στην υπό μελέτη περιοχή και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\omega_{ss} = \min\{\cos^{-1}(-\tan(\varphi) \tan(\delta)), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan(\delta))\} \quad (6.17)$$

όπου

$\varphi$ , είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής,

$\delta$ , η ηλιακή απόκλιση την μέση αντιπροσωπευτική μέρα του μήνα

και  $\beta$ , η κλίση της επιφάνειας

Εφαρμόζοντας τις πιο πάνω σχέσεις υπολογίζεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό, για διάφορες κλίσεις  $\beta$  συλλεκτών. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε καθαρό οριζόντιο χωρίς εμπόδια. Εάν υπάρχουν εμπόδια που δημιουργούν σκιάσεις η προσπίπτουσα ακτινοβολία μειώνεται. (TOTEE, 2010)

### 6.7.2 Επιφάνειες με τυχαίο προσανατολισμό και σταθερή κλίση πλαισίου

Για κεκλιμένους συλλέκτες με τυχαίο προσανατολισμό, δηλαδή με αζιμούθιο  $\gamma \neq 0$ , η προσπίπτουσα μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mo})$ ) υπολογίζεται με την εξίσωση 6.1 όπου ο μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας  $R_b$  τώρα είναι ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη με τυχαίο προσανατολισμό  $\gamma \neq 0$  προς την άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$R_b = \frac{\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\beta) \cdot (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \cdot \frac{\pi}{180} - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \cdot \frac{\pi}{180} + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cdot \cos(\beta) \cdot (\sin(\omega_{ss}) - \sin(\omega_{sr})) + \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot (\sin(\omega_{ss}) - \sin(\omega_{sr})) + \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot (\sin(\omega_{ss}) - \sin(\omega_{sr}))}{2 \cdot [\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{ss}) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\omega_{sr})]} \quad (6.18)$$

όπου,



$\omega_{sr}$ , είναι η ωριαία γωνία ανατολής του ήλιου επί της κεκλιμένης επιφάνειας συλλέκτη με τυχαίο προσανατολισμό και  $\omega_{ss}$ , είναι η ωριαία γωνία δύσης του ήλιου και υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\omega_{sr} = \min \left\{ \cos^{-1} \left( -\tan(\varphi) * \tan(\delta) \right), \cos^{-1} \left( \frac{A * B + \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)}}{A^2 + 1} \right) \right\} \quad (6.19)$$

$$\omega_{ss} = \min \left\{ \cos^{-1} \left( -\tan(\varphi) * \tan(\delta) \right), \cos^{-1} \left( \frac{A * B - \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)}}{A^2 + 1} \right) \right\} \quad (6.20)$$

οι οποίες ισχύουν για επιφάνειες με δυτικό προσανατολισμό, δηλαδή αζιμούθιο από 0 μέχρι και  $+90^0$ . Για  $\gamma > 90^0$  οι σχέσεις δεν δίνουν σωστά αποτελέσματα.

Για επιφάνειες με ανατολικό προσανατολισμό, οι σχέσεις είναι οι ακόλουθες

$$\omega_{sr} = \min \left\{ \cos^{-1} \left( -\tan(\varphi) * \tan(\delta) \right), \cos^{-1} \left( \frac{A * B - \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)}}{A^2 + 1} \right) \right\} \quad (6.21)$$

$$\omega_{ss} = \min \left\{ \cos^{-1} \left( -\tan(\varphi) * \tan(\delta) \right), \cos^{-1} \left( \frac{A * B + \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)}}{A^2 + 1} \right) \right\} \quad (6.22)$$

δηλαδή για αζιμούθιο από 0 έως  $-90^0$ . Για  $\gamma < -90^0$  οι σχέσεις δεν δίνουν σωστά αποτελέσματα.

Όπου

$$A = \frac{\cos(\varphi)}{\sin(\gamma) * \tan(\beta)} + \frac{\sin(\varphi)}{\tan(\gamma)} \quad (6.23)$$

$$B = \tan(\delta) * \left[ \frac{\cos(\varphi)}{\tan(\gamma)} - \frac{\sin(\varphi)}{\sin(\gamma) * \tan(\beta)} \right] \quad (6.24)$$

(TOTEE, 2010)

## 6.8 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ

Για μικρά φωτοβολταϊκά πάρκα με σταθερή κλίση πλαισίου, συνήθως δεν υπολογίζεται η βέλτιστη γωνία κλίσης αλλά γίνεται εφαρμογή προσεγγιστικής σχέσης.. Η βασική αρχή όλων των προσεγγιστικών σχέσεων είναι ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος  $\varphi$  της περιοχής εγκατάστασης συν πλην κάποια γωνία. Για το βόρειο ημισφαίριο παραδείγματα τέτοιων προσεγγιστικών σχέσεων είναι η σχέση:

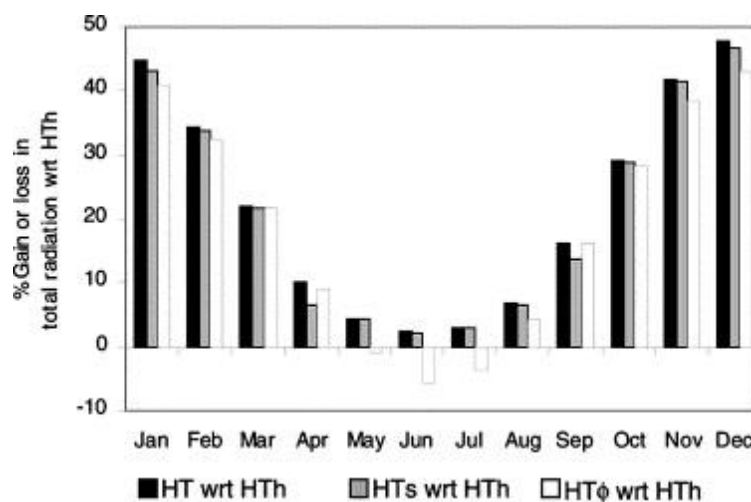
- $\beta = 0,764 * \varphi + 2,14^0$  (Chang, 2009) που ισχύει για  $\varphi \leq 65^0$ ,
- $\beta_{\beta\epsilon\lambda\tau} = \varphi - (5^0 \div 10^0)$  (Φραγκιαδάκης, 2011),
- $S_{opt} = \Phi \pm 15^0$  (Lunde, 1980),
- $S_{opt} = (\varphi + 15^0 C) \pm 15^0$  (Duffie & Beckman, 1982),



- $S_{opt} = \Phi \pm 8^\circ$  (Lewis, 1987).

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια επιφάνεια με σταθερή βάση, μπορεί να αυξηθεί (4÷ 6%) με την μηνιαία μεταβολή της κλίσης ( $\beta$ ) ανά μήνα ή ανά εποχή. Για την Ελλάδα, η μεταβολή της κλίση ενός ηλιακού συστήματος σε εποχική βάση, αυξάνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά περίπου 5% ως προς την προσπίπτουσα σε σύστημα σταθερής ετήσιας κλίσης, ενώ η μεταβολή της κλίσης σε μηνιαία βάση ισούται με 6%. (TOTEE, 2010).

Σε ανάλυση που διεξήχθη (Karica et al, 2004) για να προσδιοριστεί το % κέρδος ή ζημία στην ηλιακή ακτινοβολία συγκρίνοντας την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από επιφάνεια που έχει κλίση ίση με τις μηνιαίες βέλτιστες γωνίες κλίσεις ( $HT_{opt}$ ), τις εποχιακές βέλτιστες κλίσεις ( $HT_s$ ) (που είναι οι μέσοι όροι για τις τέσσερις μηνιαίες βέλτιστες γωνίες) και γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $HT_\phi$ ) σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια ( $HT_h$ ), γωνία κλίσης είναι ίση με μηδέν τα αποτελέσματα έδειξαν μια αύξηση στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από επιφάνεια τοποθετημένη στη μηνιαία βέλτιστη γωνία κλίσης βρίσκεται στην περιοχή από 2,4 έως 47,7% (μέσος όρος 21,8% για ολόκληρο το έτος).



**Διάγραμμα 6.5:** Σύγκριση ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη κλίσης στις μηνιαίες βέλτιστες γωνίες, εποχιακά βέλτιστες γωνίες κλίσης και γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια (Karica et al, 2004).

## 6.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν N ΦΒ πλαίσια επί ένα χρονικό διάστημα δίνεται από την σχέση:

$$E_{m\Pi} = E_{HA} * N * S_n * \eta_n * \sigma_\alpha * \sigma_\kappa * \sigma_\mu \quad (6.25)$$

Όπου

$E_{HA}$ : η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

$S_n$ : επιφάνεια πλαισίου

$n_n$ : βαθμός απόδοσης πλαισίου ο οποίος ισούται:  $n_n = n_{stc} * \sigma_\gamma * \sigma_\rho * \sigma_\theta * \sigma_\delta$

$n_{stc}$ =βαθμός απόδοσης πλαισίου για πρότυπες συνθήκες ελέγχου

$\sigma_\gamma$ - $\sigma_\rho$ - $\sigma_\theta$ - $\sigma_\delta$ : συντελεστές γήρανσης-θερμοκρασίας-διόδου-ρύπανσης

$\sigma_\alpha$ - $\sigma_\kappa$ - $\sigma_\mu$ : συντελεστές ανομοιογένειας-καλωδιώσεων-απωλειών μεταφοράς

(ΠΣΤΕ, “Τεχνικά”, 2010)

Επίσης μπορούμε να προσθέσουμε επιπλέον τους παράγοντες της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην απόδοση του πλαισίου, της ανακλαστικότητας των πλαισίων, της μείωσης απόδοσης λόγω διαφοροποίησης του φάσματος και λόγω πόλωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. (Φραγκιαδάκης,2011)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ- ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

### 7.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το παρόν κεφάλαιο είναι το σημαντικότερο αυτής της εργασίας διότι προτείνεται και εφαρμόζεται η ερευνητική μεθοδολογία. Με την παρούσα εργασία καταβάλλεται προσπάθεια να ερευνηθούν και να απαντηθούν διάφορα ερωτήματα που προκύπτουν κατά την διάρκεια της δημιουργίας και της αξιολόγησης ενός επενδυτικού σχεδίου σε φωτοβολταϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως

1. Από ποιους τεχνολογικούς, περιβαλλοντικούς, τοπογραφικούς, μετεωρολογικούς παράγοντες εξαρτάται η απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και σε ποιόν βαθμό επιδρά ο καθένας σε αυτήν.
2. Τι μορφές επένδυσης σε αυτό τον τομέα μπορώ να κάνω σήμερα, ποιες στο άμεσο μέλλον και ποια είναι η πλέον επικερδής.
3. Πότε με συμφέρει χρονικά να επενδύσω.
4. Ποια είναι η οικονομική απόδοση της επένδυσής μου σε συνάρτηση με το διαθέσιμο κεφάλαιο.
5. Η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας, το συνολικό κόστος εγκατάστασης, τα έξοδα συντήρησης σε συνδυασμό με καθαρά μεγέθη της οικονομίας (π.χ. επιτόκιο, πληθωρισμός) πως επηρεάζουν τη βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης,
6. Πως μεταβάλλεται το κόστος της επένδυσης σε σχέση με το μέγεθός της.
7. Εάν αυξήσω για συγκεκριμένη και σταθερή κάθε φορά εγκατεστημένη ισχύ (kWp) το διαθέσιμο κεφάλαιο (δηλαδή θα επενδύσω σε εξοπλισμό καλύτερης ποιότητας- ηλεκτρικής απόδοσης) θα έχω αντίστοιχη αύξηση και της οικονομικής απόδοσης της επένδυσης ή όχι.

Ο σκοπός της παρούσης ερευνητικής εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την τεχνικοοικονομική αξιολόγηση των επενδύσεων στην φωτοβολταϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να είναι έτσι δομημένη ώστε μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα για οποιαδήποτε τοποθεσία, χρονική στιγμή και μέγεθος επένδυσης και ποιότητα εξοπλισμού.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην στενή γεωγραφική περιοχή της Λάρισας με εναλλακτική δυνατότητα τοποθέτησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε αγροτικό και

αστικό περιβάλλον, για χρήση εγκαταστάσεων με ισχύς των 10, 100, 150, 500 και 1000 kWp και τέλος για λειτουργία πέντε διαφορετικών κατηγοριών εξοπλισμού.

1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια μέτριας ποιότητας με αντιστροφέα μέτριας ποιότητας.
2. Φωτοβολταϊκά πλαίσια μέτριας ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας.
3. Φωτοβολταϊκά πλαίσια καλής ποιότητας με αντιστροφέα μέτριας ποιότητας.
4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια καλής ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας.
5. Φωτοβολταϊκά πλαίσια άριστης ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε από πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές. Για τις ανάγκες της έρευνας έγινε συλλογή δευτερογενών δεδομένων με βιβλιογραφική επισκόπηση στην υπάρχουσα ελληνόφωνη και ξενόγλωσση βιβλιογραφία, όπου αναδείχθηκε η σημασία και τη βαρύτητα που έχει η ποιότητα του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί και ειδικότερα η ποιότητα των δομοστοιχείων (ή φωτοβολταϊκών πανέλων), ο αντιστροφέας του συστήματος, τα ηλεκτρολογικά μέρη του όπως καλώδια, πίνακες. Κατόπιν ερευνήθηκε ο τρόπος και το μέγεθος της επίδρασης στην απόδοση της επένδυσης της θέσης εγκατάστασης καθοριζόμενη από το ηλιακό δυναμικό της, από το εάν πρόκειται για αστικό ή αγροτικό περιβάλλον, το υψόμετρό της και γενικότερα το μικροκλίμα της. Ακολούθησε η εύρεση των επιπτώσεων στην απόδοση της επένδυσης, της βέλτιστης κλίσης και του προσανατολισμού του φωτοβολταϊκού συστήματος. Καταγράφηκε επίσης το θεσμικό και οικονομικό πλαίσιο της συγκεκριμένης μορφής επένδυσης.

Τα πρωτογενή στοιχεία συλλεχθήκαν μέσω της πραγματοποίησης ημιδομημένων συνεντεύξεων. Υπήρξε μία συνέντευξη με τον Πρόεδρο της εταιρίας “Future Energy Investment” και δύο ημιδομημένες συνεντεύξεις με τον Διευθύνοντα Σύμβουλο της εταιρίας “Solair Systems” αντίστοιχα. Και οι δύο εταιρίες δραστηριοποιούνται στον χώρο της κατασκευής και συντήρησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στον Ελλαδικό χώρο. Επίσης πραγματοποιήθηκε μία ημιδομημένη συνέντευξη με τον προϊστάμενο μελετών του ΔΕΔΗΕ της περιοχής Λάρισας. Οι συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν για την δημιουργία πληροφόρησης και λήψης πρωτογενών δεδομένων όσον αφορά την αγορά ηλεκτρισμού φωτοβολταϊκής ενέργειας. Τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν σε θέματα κόστους, και μεγέθους των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, ποιότητας, τύπων και αξιοπιστίας του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, ενημέρωση σε θέματα τιμολόγησης της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού κ.λπ. Οι συνεντεύξεις συμβάλλανε στην καλύτερη διερεύνηση κατανόηση και εμπάθυνση του θέματος. Ήταν περισσότερες της μίας για να

υπάρχει διασταύρωση, επαλήθευση και επιβεβαίωση των λαμβανόμενων πρωτογενών δεδομένων, αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τον βαθμό αξιοπιστίας. Οι ερωτήσεις που τεθήκαν ήταν κλειστού και ανοιχτού τύπου. Στην διάρκεια των συνεντεύξεων ανάλογα με την πορεία της συζήτησης δημιουργήθηκαν και νέες ερωτήσεις. Οι συνεντεύξεις ολοκληρώθηκαν όταν είχε επέλθει κορεσμός στην συλλογή των δεδομένων (Saunders et al, 2000).

Ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν ανωτέρω με απώτερο σκοπό την δημιουργία συμπερασμάτων και κατ' επέκταση νέας γνώσης. Για την επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε ο μαθηματικός λογισμός και το θεωρητικό ισοτροπικό μοντέλο των Liu, Jordan & Klein με εργαλείο το πρόγραμμα PVIG για την πρόβλεψη της παραγωγής σε προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα. Η στατιστική επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων μέσω της συγκριτικής ανάλυσης αυτών με χρήση της Καθαρής Παρούσας Αξίας και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης των υπό μελέτη επενδύσεων έγινε με εργαλείο το MS Excel της Microsoft Office.

Ακολουθεί η μελέτη περίπτωσης διότι είναι αυτή που μπορεί να περιγράψει με κατανοητό τρόπο το δημιουργημένο μεθοδολογικό πλαίσιο.

## 7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΑΡΙΣΑ

Εφαρμόζοντας τα ανωτέρω για Φωτοβολταϊκό πάρκο στην περιοχή της Λάρισας θα υπολογίσουμε την βέλτιστη γωνία κλίσης των ΦΒ πλαισίων για κάθε μήνα του έτους.

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής της Λάρισας που ακολουθούν προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό μέτρησης της ΕΜΥ που βρίσκεται στην τοποθεσία:

**Πίνακας 7.1:** Γεωγραφικές συντεταγμένες της Λάρισας.

Πόλη	Νομός	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Υψόμετρο Βαρομέτρου (m)
Λάρισα	Λάρισας	39 <sup>0</sup> 39'	22 <sup>0</sup> 27'	73,6

**Πίνακας 7.2:** Κλιματολογικά δεδομένα της Λάρισας.

Μήνας	Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ωρου [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τη διάρκεια ημέρας [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Μέση μηνιαία σχετική υγρασία [%]	Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου [m/s]	Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ( $\text{Kwh/m}^2\text{-mo}$ )
Ιαν	5,2	6,6	79,8	1,2	55,1
Φεβ	6,8	8,4	75,0	1,5	71,4
Μορτ	9,5	11,1	72,6	1,7	112,1
Απρ	14,0	15,7	68,1	1,6	151,1
Μάι	19,7	21,5	61,3	1,6	190,9
Ιουν	25,2	27,0	48,8	2,0	210,8
Ιουλ	37,3	29,1	46,3	2,1	215,8
Αυγ	26,3	28,2	49,9	1,9	194,3
Σεπ	21,9	23,9	58,7	1,7	145,9
Οκτ	16,3	18,1	69,8	1,4	97,8
Νοεμ	10,9	12,4	79,2	1,0	61,2
Δεκ	6,5	7,9	82,0	0,9	47,8

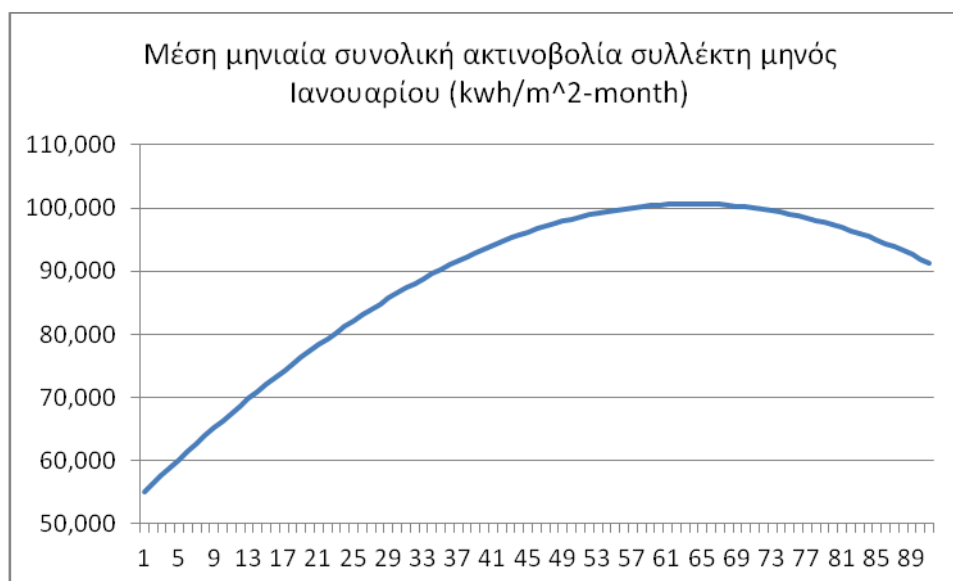
**Πίνακας 7.3:** Μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.

Μήνας	Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο	Μέση αντιπροσωπευτική ημέρα μήνα (η)
Ιανουάριος	55,1	17
Φεβρουάριος	71,4	47
Μάρτιος	112,1	75
Απρίλιος	151,1	105
Μάιος	190,9	135
Ιούνιος	210,8	162
Ιούλιος	215,8	198
Αύγουστος	194,3	228

Μήνας	Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο	Μέση αντιπροσωπευτική ημέρα μήνα (η)
Σεπτέμβριος	145,9	258
Οκτώβριος	97,8	289
Νοέμβριος	61,2	320
Δεκέμβριος	47,8	351

Με εφαρμογή του ιστροπικού μοντέλου των Liu, Jordan (Duffie A John., et al, 1962) & Klein (Duffie A John., et al, 1977) για την μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του εκάστοτε μήνα, με νότιο προσανατολισμό  $\gamma=0$ , με γεωγραφικό πλάτος  $\phi=39^{\circ}39'$  και θεωρώντας συντελεστή ανάκλασης  $\rho=2$  που αντιστοιχεί στον περιβάλλοντα χώρο υπολογίζουμε την μέση ηλιακή ακτινοβολία για κλίσεις συλλεκτών από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ .

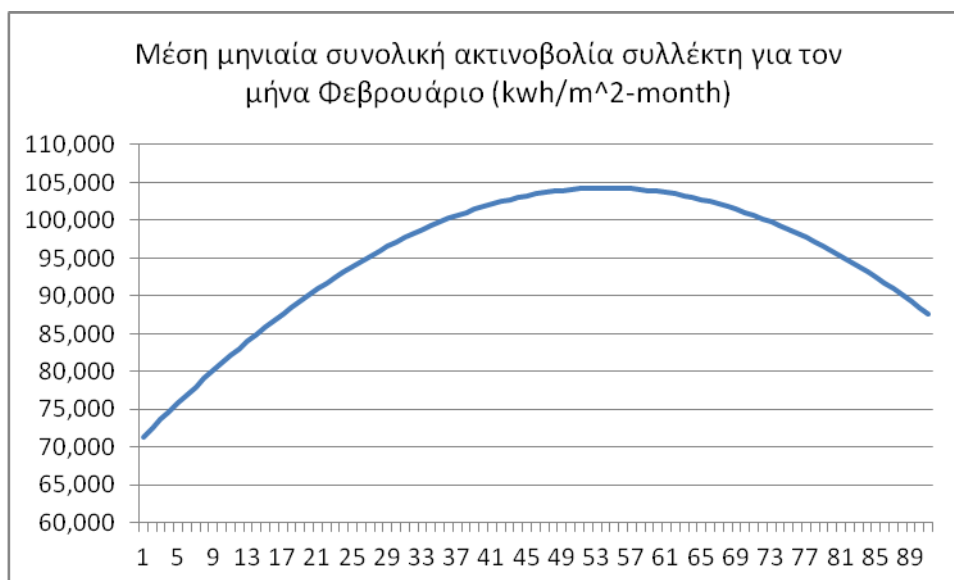
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 1 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Ιανουαρίου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ .



**Διάγραμμα 7.1:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Ιανουάριο είναι  $100,670 \text{ Kwh/m}^2$  όταν η κλίση του πλαισίου  $\beta$  είναι  $63^{\circ}$ .

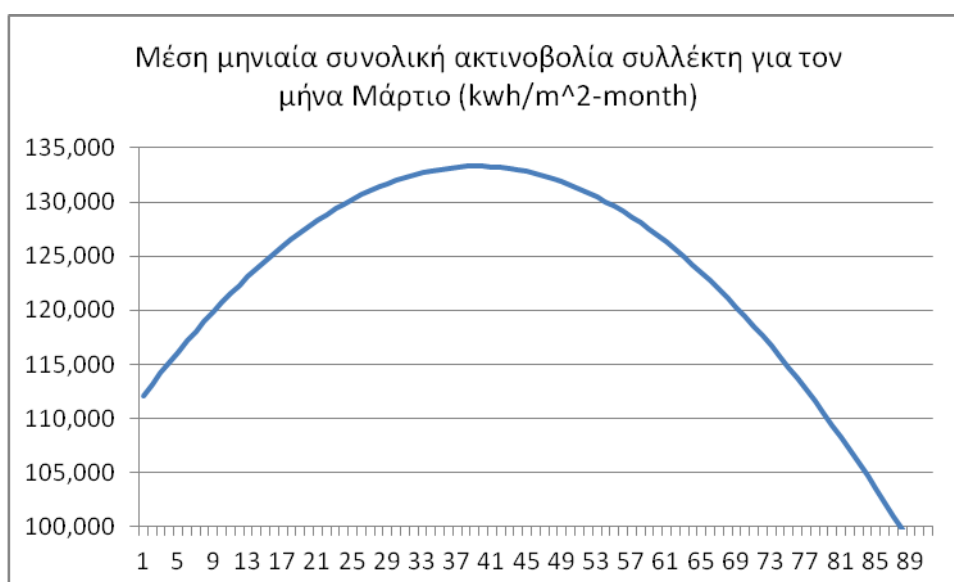
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 2 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Φεβρουαρίου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ .



**Διάγραμμα 7.2:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Φεβρουάριο είναι 104,277 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 53<sup>0</sup>.

Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 3 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Μαρτίου για κλίσεις συλλέκτη από 0<sup>0</sup> έως 90<sup>0</sup>.

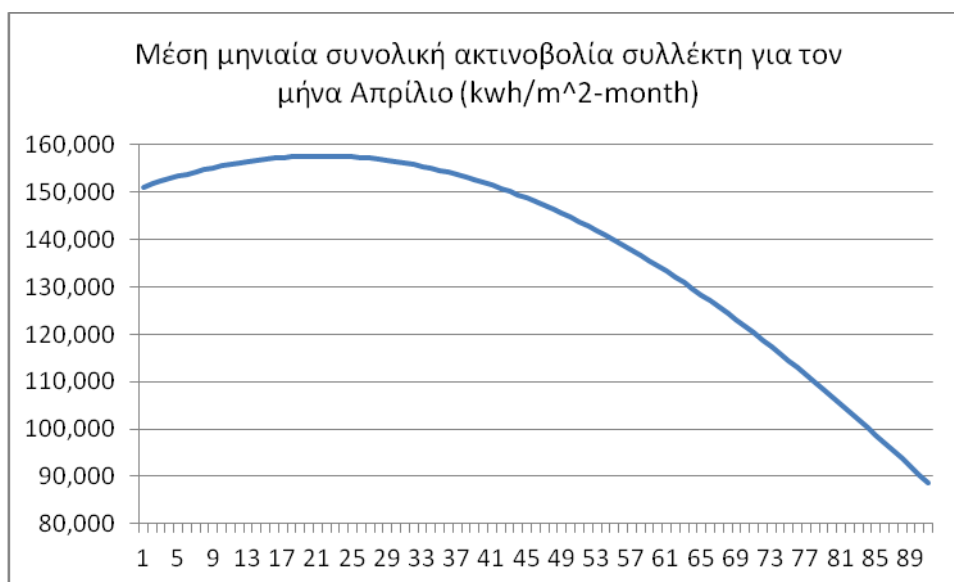


**Διάγραμμα 7.3:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.



Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Μάρτιο είναι 133,301 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 38<sup>0</sup>.

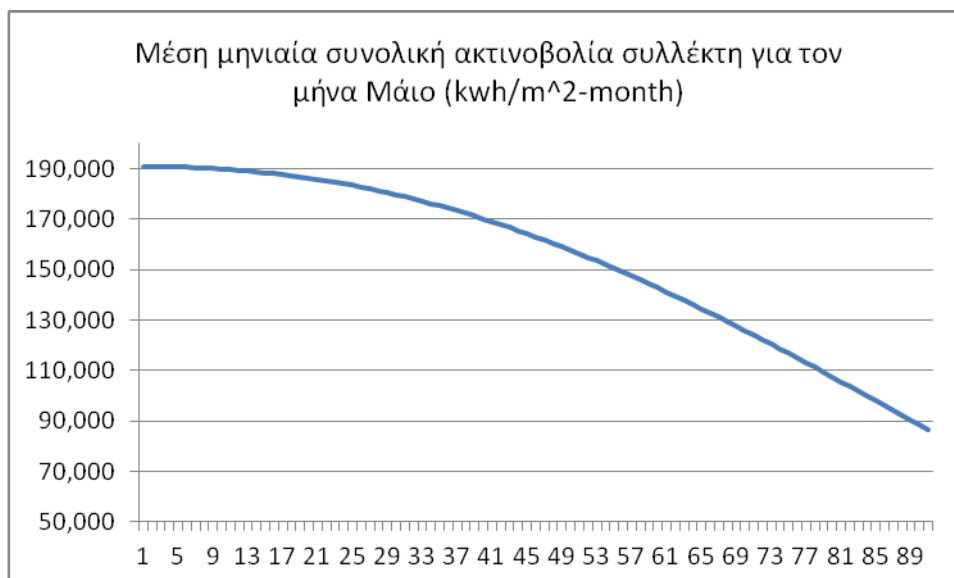
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 4 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Απριλίου για κλίσεις συλλέκτη από 0<sup>0</sup> έως 90<sup>0</sup>.



**Διάγραμμα 7.4:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Απρίλιο είναι 157,625 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 20<sup>0</sup>.

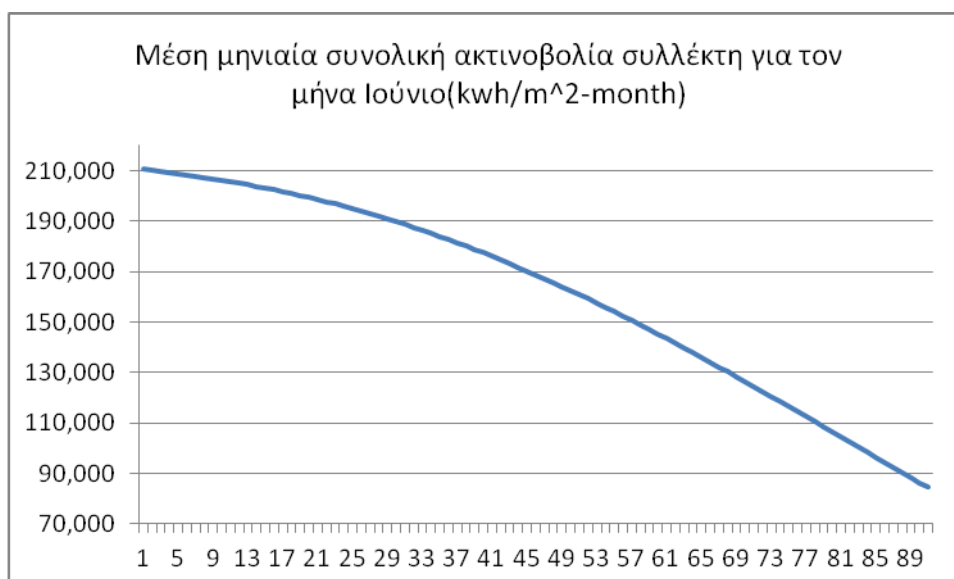
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 5 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Μαΐου για κλίσεις συλλέκτη από 0<sup>0</sup> έως 90<sup>0</sup>.



**Διάγραμμα 7.5:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Μάιο είναι 190,900 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 0°.

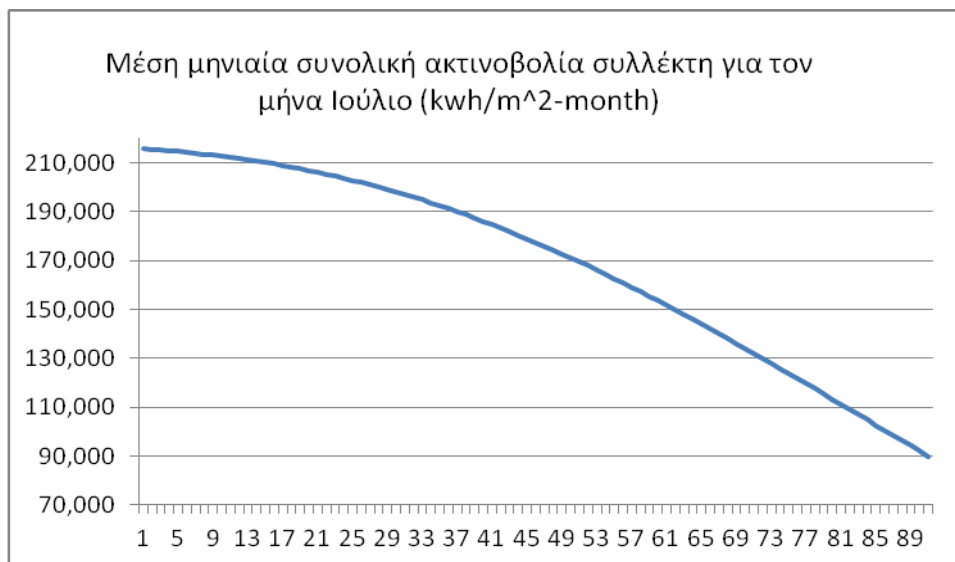
Ακολουθώς παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 6 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Ιουνίου για κλίσεις συλλέκτη από 0° έως 90°.



**Διάγραμμα 7.6:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Ιούνιο είναι 210,800 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 0°.

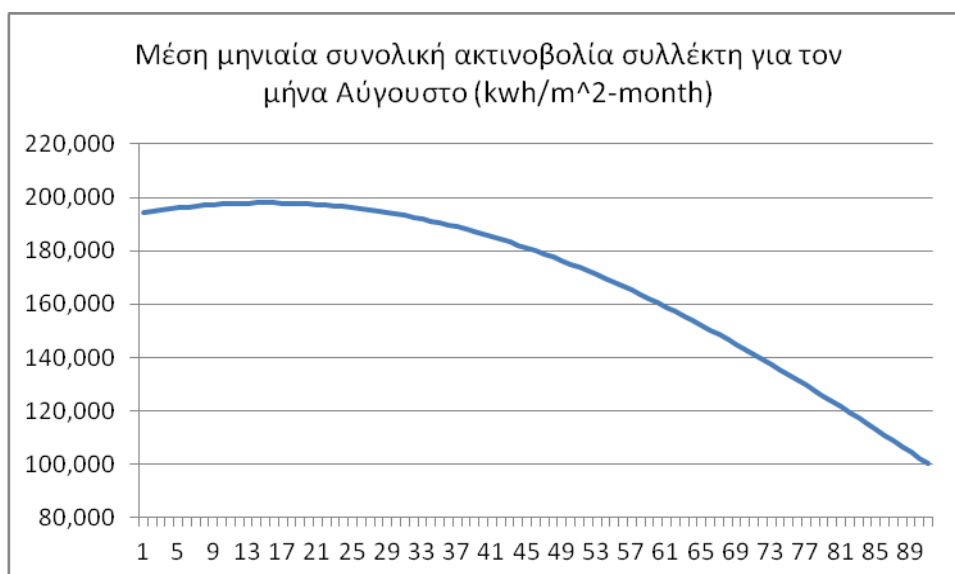
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 7 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Ιουλίου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ .



**Διάγραμμα 7.7:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Ιούλιο είναι  $215,800 \text{ Kwh/m}^2$  όταν η κλίση του πλαισίου  $\beta$  είναι  $0^{\circ}$ .

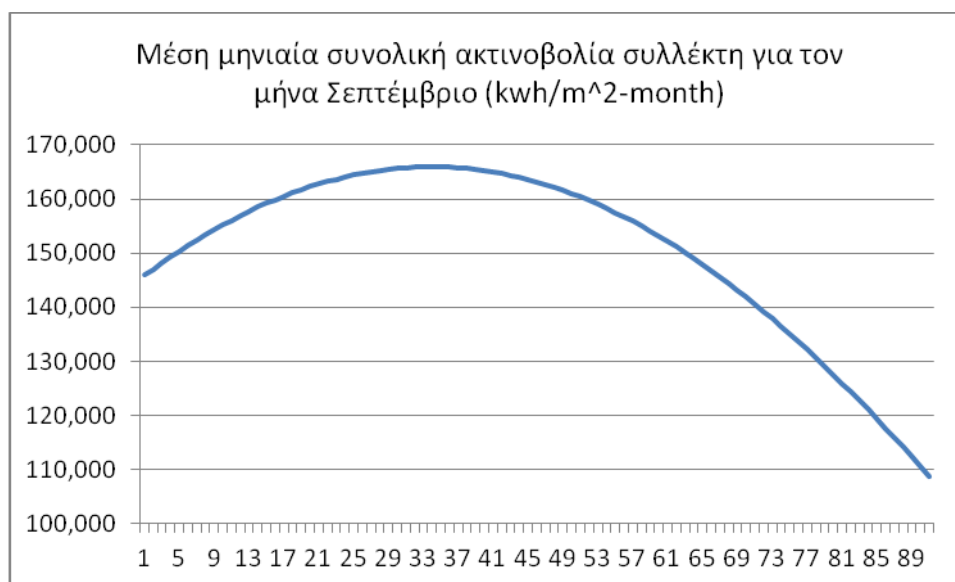
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 8 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Αυγούστου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ .



**Διάγραμμα 7.8:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Αύγουστο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Αύγουστο είναι  $197,935 \text{ Kwh/m}^2$  όταν η κλίση του πλαισίου  $\beta$  είναι  $14^\circ$ .

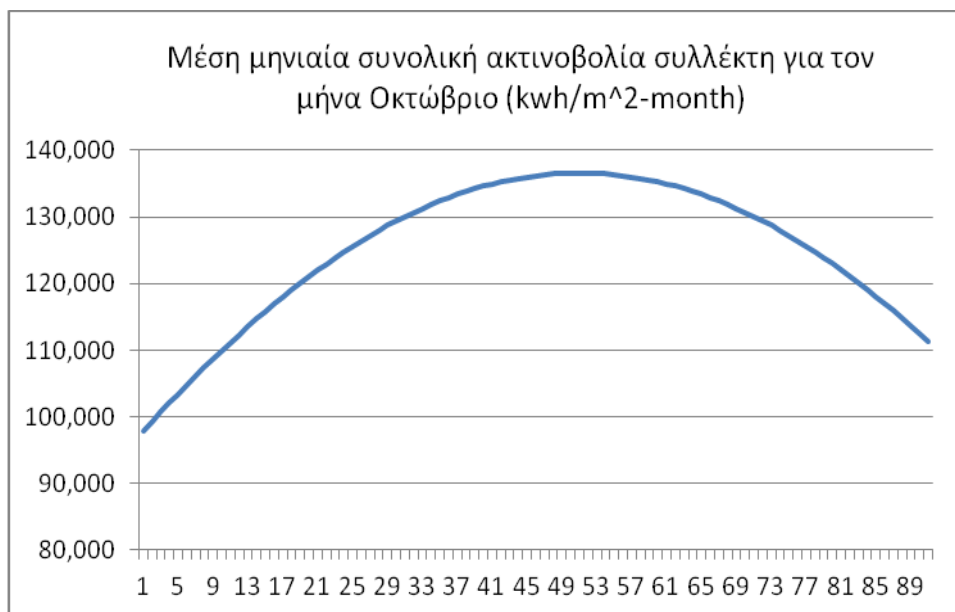
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 9 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Σεπτεμβρίου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ .



**Διάγραμμα 7.9:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Σεπτέμβριο είναι  $165,927 \text{ Kwh/m}^2$  όταν η κλίση του πλαισίου  $\beta$  είναι  $33^\circ$ .

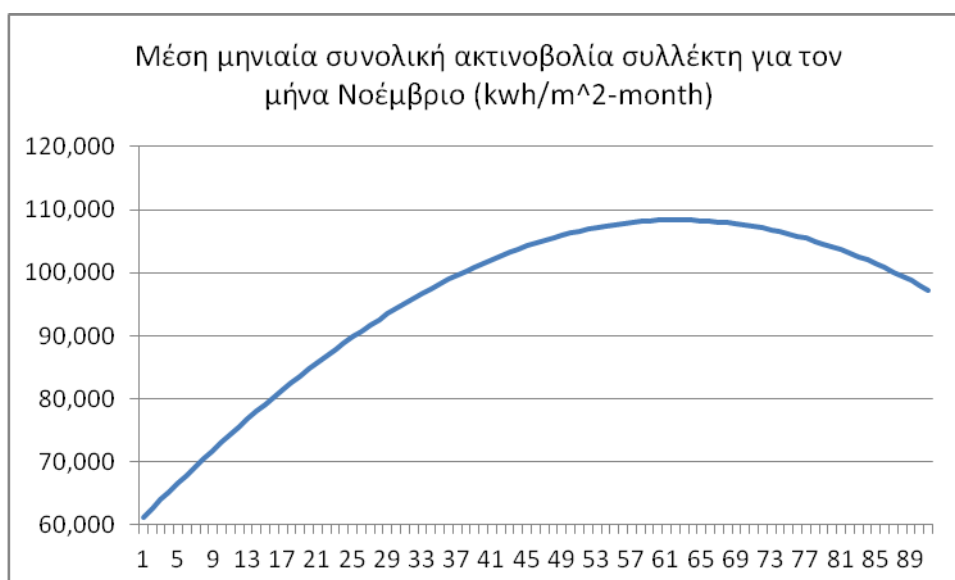
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 10 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Οκτωβρίου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ .



**Διάγραμμα 7.10:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Οκτώβριο είναι 136,608 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 50<sup>0</sup>.

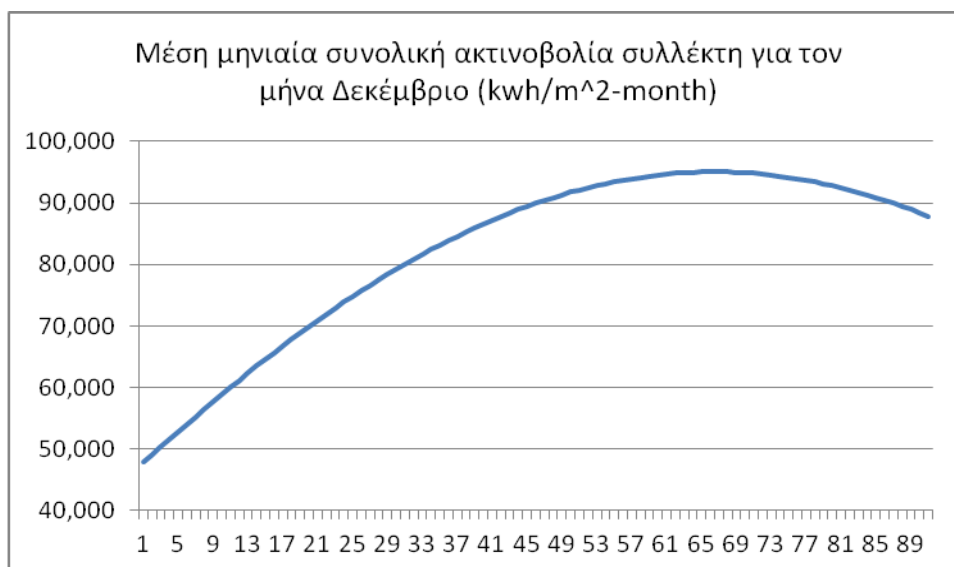
Ακολουθώς παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 11 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Νοεμβρίου για κλίσεις συλλέκτη από 0<sup>0</sup> έως 90<sup>0</sup>.



**Διάγραμμα 7.11:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Νοέμβριο είναι 108,373 Kwh/m<sup>2</sup> όταν η κλίση του πλαισίου β είναι 61<sup>0</sup>.

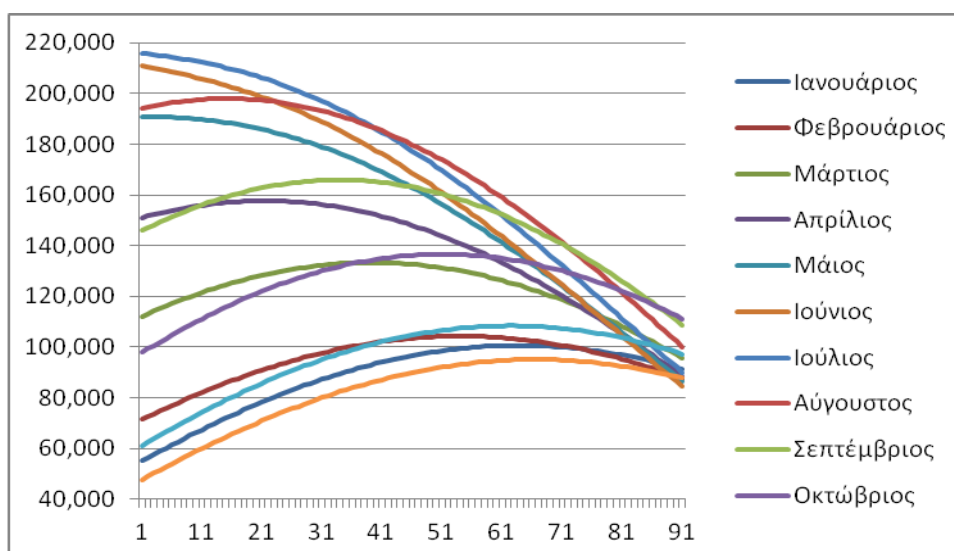
Ακολούθως παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακας 12 τα αποτελέσματα και δίνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης μηνιαίας συνολικής ακτινοβολίας του μηνός Δεκεμβρίου για κλίσεις συλλέκτη από  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ .



**Διάγραμμα 7.12:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

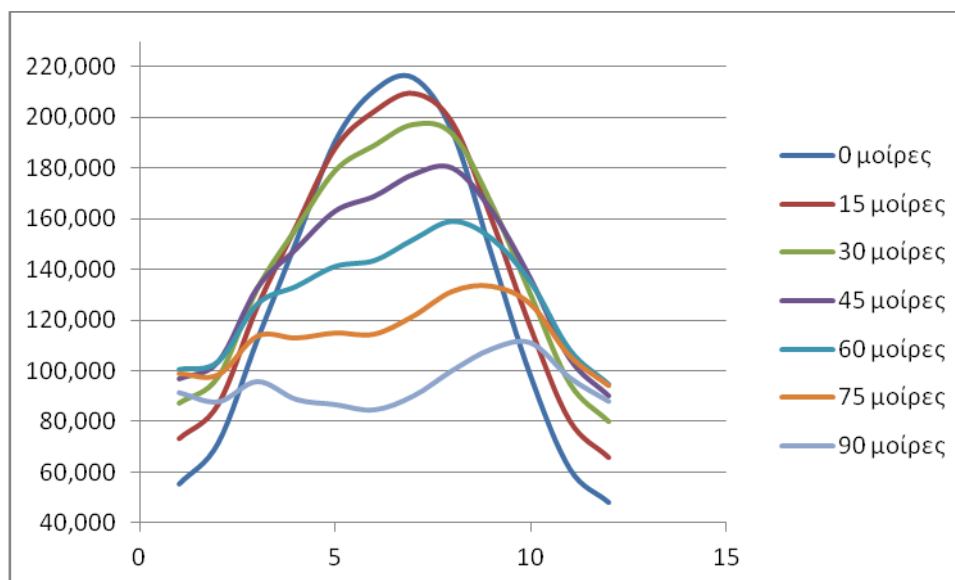
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για τον μήνα Δεκέμβριο είναι  $95,066 \text{ Kwh/m}^2$  όταν η κλίση του πλαισίου β είναι  $65^{\circ}$ .

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η μεταβολή της μέσης συνολικής μηνιαίας ακτινοβολίας του συλλέκτη σε σχέση με την κλίση του συγκεντρωτικά για όλους τους μήνες μαζί.



**Διάγραμμα 7.13:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για όλους τους μήνες του έτους στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με κλίση του συλλέκτη.

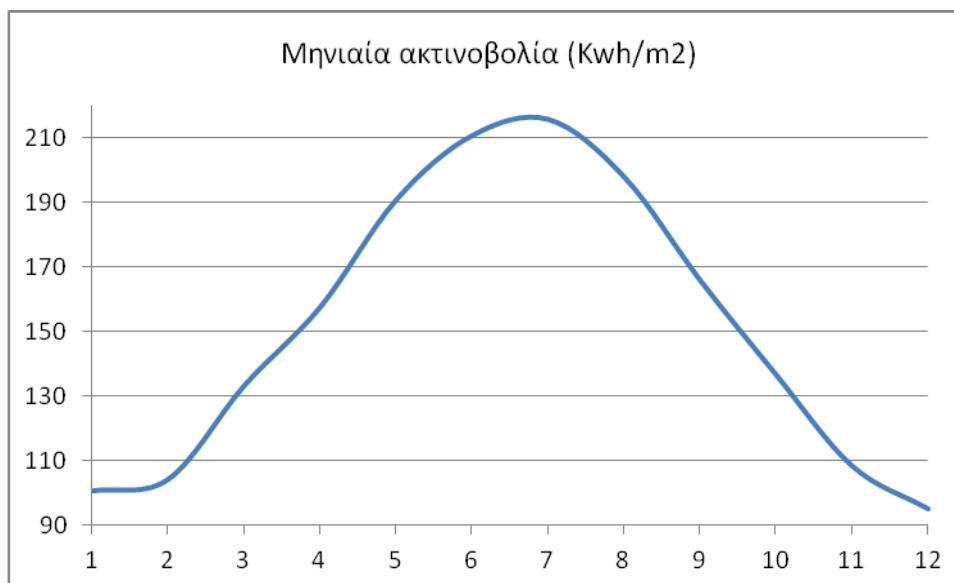
Ακολούθως η μεταβολή της μέσης μηνιαίας ενέργειας της ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους σε σχέση με διάφορες τιμές της κλίσης του συλλέκτη για την περιοχή της Λάρισας παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα. Η καμπύλη που περικλείει το μεγαλύτερο εμβαδό έχει την βέλτιστη κλίση.



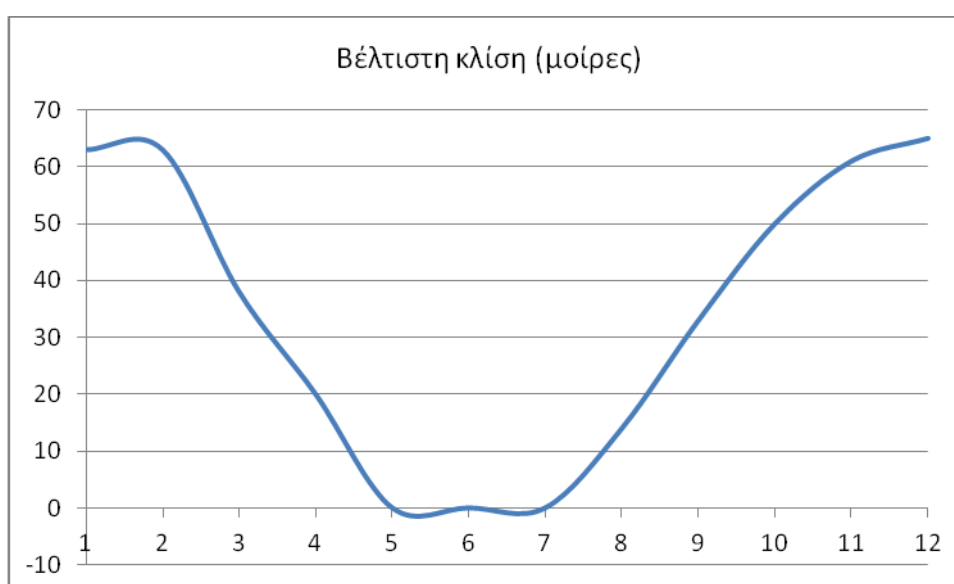
**Διάγραμμα 7.14:** Μεταβολή της μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους σε σχέση με διάφορες τιμές της κλίσης του συλλέκτη για την περιοχή της Λάρισας.

Συγκεντρωτικά οι μέγιστες μέσες μηνιαίες τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη σε σχέση με τη γωνία κλίσης φαίνονται στο παράρτημα πίνακα 13.

Στα ακόλουθα σχήματα παριστάνονται η μεταβολή της μέγιστης μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας στον συλλέκτη για βέλτιστη κλίση και η μεταβολή της βέλτιστης κλίσης συλλέκτη ανά μήνα βάση του ανωτέρω πίνακα.



**Διάγραμμα 7.15:** Μεταβολή της μέγιστης μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας στον συλλέκτη για βέλτιστη κλίση ανά μήνα.



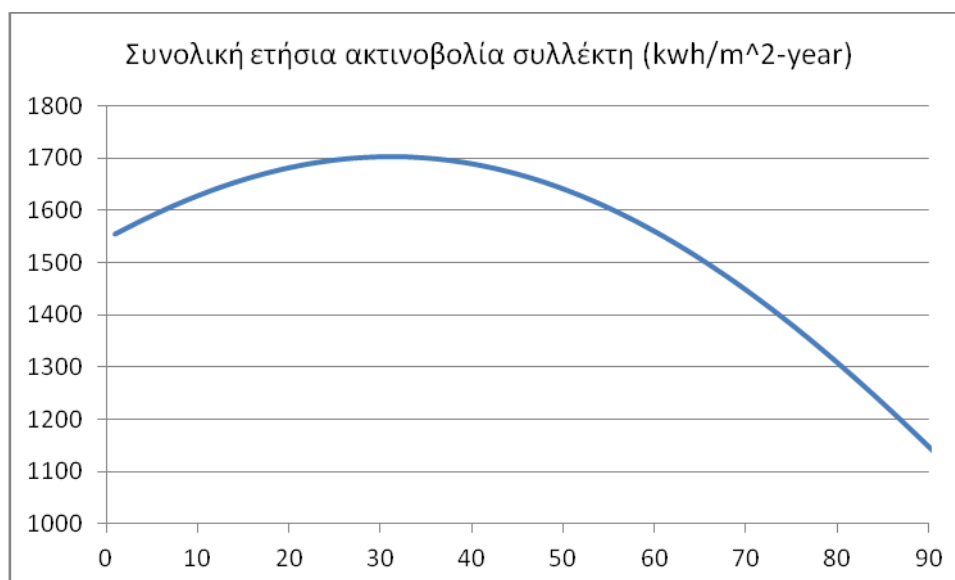
**Διάγραμμα 7.16:** Μεταβολή της βέλτιστης κλίσης συλλέκτη ανά μήνα.

Για να έχουμε την μέγιστη δυνατή πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη, θα πρέπει να υπάρχει αλλαγή της κλίσης των πλαισίων κάθε μήνα με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί. Όμως για ΦΒ πάρκο με σταθερές βάσεις συλλεκτών, η βέλτιστη γωνία κλίσης θα είναι σταθερή για όλο το έτος, και υπολογίζεται αθροίζοντας τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτινοβολίες από όλους τους μήνες για κάθε γωνία κλίσης από τις  $0^{\circ}$  έως τις  $90^{\circ}$  και λαμβάνοντας την μεγαλύτερη απόδοση.

Από το παράρτημα πίνακα 14 για ετήσια σταθερή κλίση συλλέκτη παρατηρούμαι ότι η βέλτιστη τιμή της είναι  $30^{\circ}$  και η ετήσια συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας είναι 1.702,440



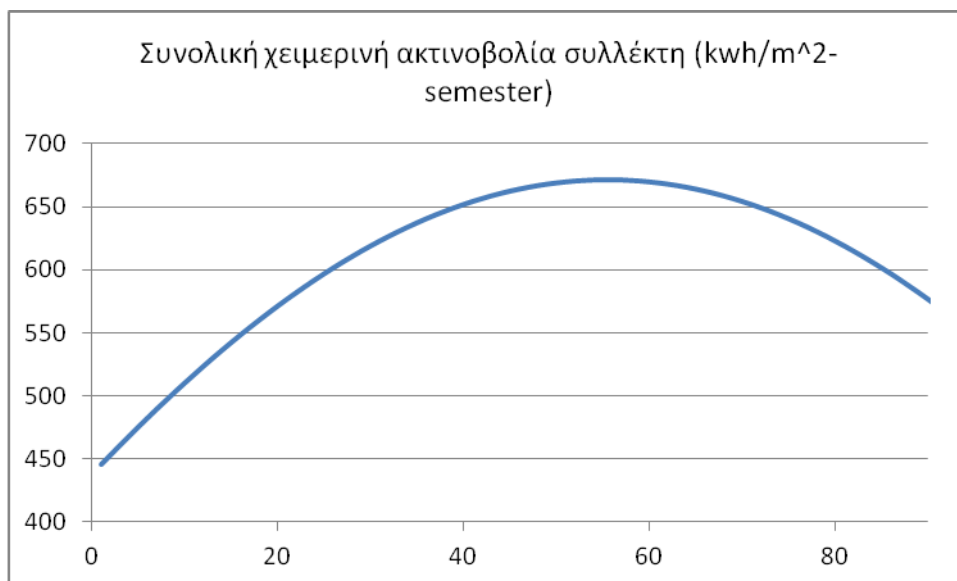
$\text{kWh/m}^2$ . Παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα η μεταβολή της συνολικής ετήσιας ακτινοβολίας συλλέκτη για διάφορες σταθερές κλίσεις κατ' έτος από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ .



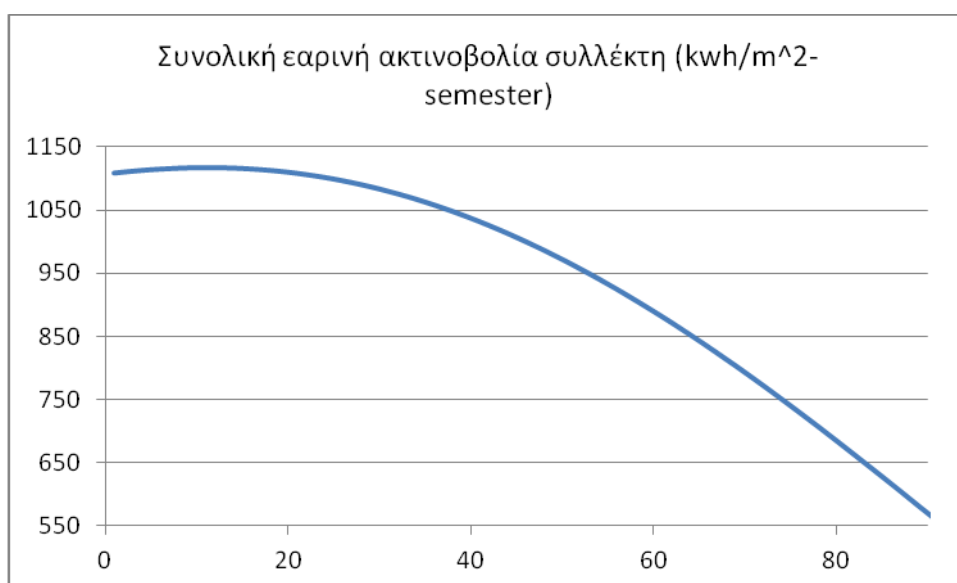
**Διάγραμμα 7.17:** Μέγιστη ετήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη για διάφορες κλίσεις στην περιοχή Λάρισας.

Όταν έχουμε βάσεις στήριξης με δυνατότητα αλλαγής της κλίσης των πάνελ χρησιμοποιώντας χειροκίνητο μηχανισμό, συνήθως οι αλλαγές αυτές στη διάρκεια του έτους γίνονται δύο με τρεις φορές. Στην περίπτωση που προβλεφθεί αλλαγή της κλίσης ανά εξάμηνο, τότε αυτή θα γίνει την 1<sup>η</sup> Απριλίου και την 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου λόγω ότι είναι πλησιέστερα στην ισημερία. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιήσαμε ανωτέρω, υπολογίζουμε την εξαμηνιαία ακτινοβολία που λαμβάνει ηλιακός συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει της κλίσης του και παρουσιάζεται στο παράρτημα πίν. 15 για την χειμερινή προσπίπτουσα ακτινοβολία και στον πίν. 16 για την εαρινή.

Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα της μεταβολής της συνολικής χειμερινής και εαρινής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη σε σχέση με την κλίση του.



**Διάγραμμα 7.18:** Μέγιστη χειμερινή εξαμηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον συλλέκτη για διάφορες κλίσεις στην περιοχή Λάρισας.



**Διάγραμμα 7.19:** Μέγιστη εαρινή εξαμηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον συλλέκτη για διάφορες κλίσεις στην περιοχή Λάρισας.

Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον συλλέκτη με εξαμηνιαία εναλλαγή κλίσης είναι: 1.788,332 kWh/m<sup>2</sup> με βέλτιστη χειμερινή κλίση τις 54<sup>0</sup> και εαρινή τις 13<sup>0</sup>.

Ακολουθεί πίνακας με τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτινοβολίες βάση των τριών ανωτέρω σεναρίων.

**Πίνακας 7.4:** Συνολική ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε συλλέκτη.

	Μέγιστη συνολική ηλιακή ακτινοβολία συλλέκτη (kwh/m <sup>2</sup> )	Ποσοστιαία διαφορά ως προς σταθερή κλίση
Ετήσια σταθερή βέλτιστη κλίση	1702,440	-
Εξαμηνιαία εναλλαγή βέλτιστη κλίσης	1788,332	5%
Μηνιαία εναλλαγή βέλτιστη κλίσης	1817,283	7%

Παρατηρούμε ότι με εξαμηνιαία αλλαγή κλίσεων συλλεκτών, έχουμε 5% περισσότερη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με ετήσια σταθερή κλίση, ενώ με μηνιαία αλλαγή κλίσης έχουμε 7% αντίστοιχα.

### 7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ ΣΕ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### 7.3.1 Δεδομένα της εργασίας

Για τις ανάγκες της εργασίας θεωρούνται 5 διαφορετικές ποιότητες εξοπλισμού, που παρουσιάζονται παρακάτω κατά σειρά αύξουσας ηλεκτρικής απόδοσης.

1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια μέτριας ποιότητας με αντιστροφέα μέτριας ποιότητας.
2. Φωτοβολταϊκά πλαίσια μέτριας ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας.
3. Φωτοβολταϊκά πλαίσια καλής ποιότητας με αντιστροφέα μέτριας ποιότητας.
4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια καλής ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας.
5. Φωτοβολταϊκά πλαίσια άριστης ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα διάφορα τμήματα του εξοπλισμού που απαρτίζουν μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση καθώς και ο βαθμός απόδοσής τους.

**Πίνακας 7.5 :** Αποδόσεις των διαφόρων τμημάτων εξοπλισμού μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για τις διάφορες ποιότητες εξοπλισμού.

Ποιότητα	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>	5 <sup>η</sup>
Απόδοση					
Απόδοση πλαισίων	12%	12%	15%	15%	18%
Απόδοση αντιστροφών	97%	99%	97%	99%	99%
Απώλειες καλωδιώσεων, ηλεκτρολογικού υλικού κλπ	12%	10%	12%	10%	10%

Στην παρούσα εργασία μελετώνται χαρακτηριστικές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με ισχύς 10, 100, 150, 500 και 1000 kWp. Οι εγκαταστάσεις των 10 Kw είναι σε στέγες, σε αστικό και αγροτικό περιβάλλον, ενώ οι υπόλοιπες είναι σε αγροτικό περιβάλλον. Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή της Λάρισας σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PVGIS της ΕΕ. Βάση του προγράμματος για την περιοχή της Λάρισας παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με το είδος της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας.

**Πίνακας 7.6 :** Αποδόσεις των διαφόρων κατηγοριών εξοπλισμού και περιβάλλοντος ανά εγκατεστημένο Kw μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με χρήση του προγράμματος PVGIS.

Ποιότητα εξοπλισμού	Αστικό περιβάλλον (kWh/kWp)	Αγροτικό περιβάλλον (kWh/kWp)	Απώλειες καλωδιώσεων, inverters κλπ
Φωτοβολταϊκά πλαίσια μέτριας ποιότητας με αντιστροφέα μέτριας ποιότητας. Νο1	1331	1398	14%
Φωτοβολταϊκά πλαίσια μέτριας ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας. Νο2	1391	1461	10%
Φωτοβολταϊκά πλαίσια καλής ποιότητας με αντιστροφέα μέτριας ποιότητας. Νο3	1460	1533	14%

Ποιότητα εξοπλισμού	Αστικό περιβάλλον (kWh/kWp)	Αγροτικό περιβάλλον (kWh/kWp)	Απώλειες καλωδιώσεων, inverters κλπ
Φωτοβολταϊκά πλαίσια καλής ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας. Νο4	1520	1596	10%
Φωτοβολταϊκά πλαίσια άριστης ποιότητας με αντιστροφέα καλής ποιότητας. Νο5	1533	1610	14%

Η οικονομική αξιολόγηση της απόδοσης των διαφόρων μορφών επενδύσεων θα γίνει με την χρήση της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR). Με την Καθαρά Παρούσα Αξία υπολογίζουμε την αξία κάθε καθαρής χρηματοροής στον παρόν χρόνο αφού καθοριστεί ένα επιτόκιο το οποίο εκφράζει το ελάχιστο αναμενόμενο κέρδος. Στην συνέχεια συγκρίνονται μεταξύ τους τα αλγεβρικά αθροίσματα των παρουσών αξιών των διαφόρων λύσεων. Οικονομικότερη είναι η επένδυση που παρουσιάζει την μεγαλύτερη Καθαρά Παρούσα Αξία, ενώ εάν είναι αρνητική, τότε η επένδυση απορρίπτεται. Ο Εσωτερικός Βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία του επενδυτικού προγράμματος. Σε περίπτωση αντικρουόμενων μηνυμάτων των δύο ανωτέρω δεικτών υπερισχύει η Καθαρά Παρούσα Αξία. (Πολύζος, 2011).

### 7.3.2. Μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης (€/kWp) σε συνάρτηση με την ισχύ.

Το κόστος υλοποίησης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης προκύπτει σύμφωνα με τα τιμολόγια της αγοράς και αποτελείται από το:

- Κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Κόστος αντιστροφέα.
- Κόστος θεμελιώσεων και βάσεων στήριξης.
- Κόστος καλωδίων.
- Εργατικό κόστος.
- Κόστος προετοιμασίας φακέλου.

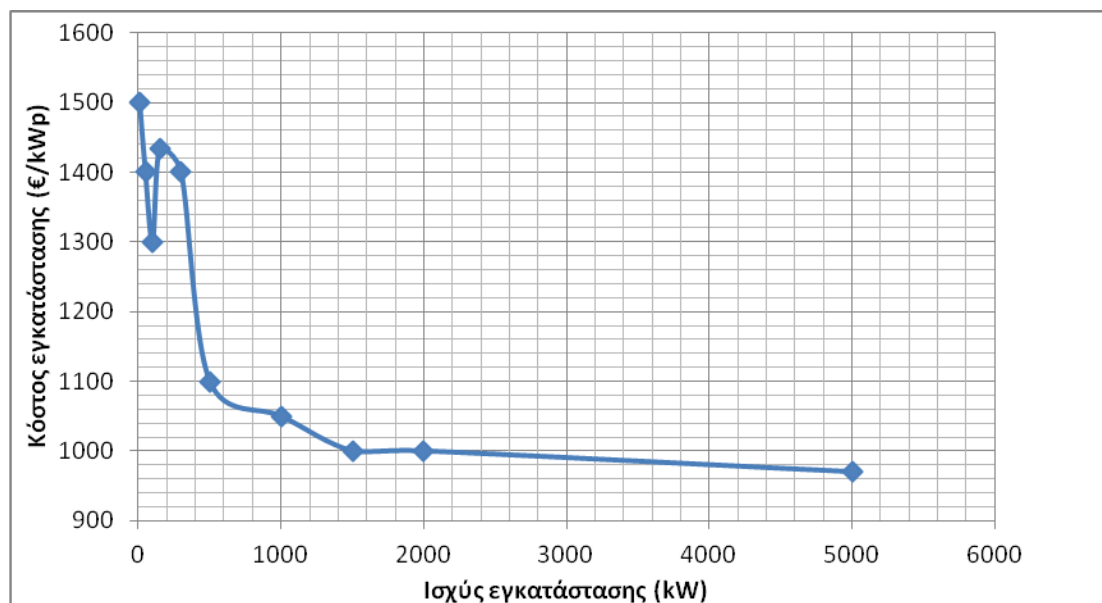
Ανάλογα με το μέγεθος του φωτοβολταϊκού πάρκου, το συνολικό κόστος του αλλάζει και στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται τα πιο χαρακτηριστικά μεγέθη πάρκων που κατασκευάζονται και τα αντίστοιχα κόστη εγκατάστασής τους.

Τα οικονομικά στοιχεία που παρουσιάζονται προέρχονται από έρευνα της αγοράς και υπόκεινται σε μεταβολές με κύριο χαρακτηριστικό την συνεχή πτωτική πορεία των τιμών.

**Πίνακας 7.7:** Κόστος ΦΒ εγκατάστασης.

Μέγεθος εγκατάστασης.	Κόστος εγκατάστασης	Κόστος εγκατάστασης /Εγκαταστημένη ισχύς
10 KWp	15.000 €	1.500 €/KWp
50 KWp	70.000 €	1.400 €/KWp
100 KWp	130.000 €	1.300 €/KWp
150 KWp	215.000 €	1.433 €/KWp
300 KWp	420.000 €	1.400 €/KWp
500 KWp	550.000 €	1.100 €/KWp
1 MWp	1.050.000 €	1.050 €/KWp
1,5 MWp	1.500.000 €	1.000 €/KWp
2 MWp	2.000.000 €	1.000 €/KWp
5 MWp	4.850.000 €	970 €/KWp

Το μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης (σε €/kWp) σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης βάση του ανωτέρω πίνακα παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

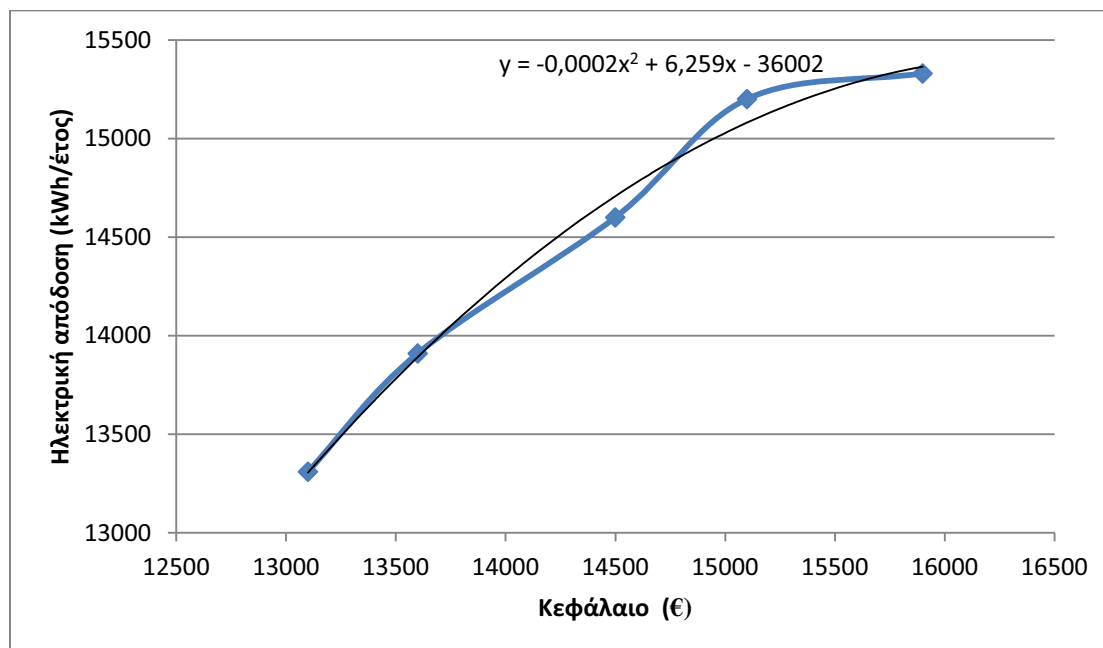


**Διάγραμμα 7.20:** Μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης (σε €/kWp) σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης.

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι το μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης μειώνεται με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος, πράγμα που είναι λογικό σύμφωνα με την οικονομία κλίμακας. Υπάρχει όμως μία απότομη και απροσδόκητη αύξηση του μοναδιαίου κόστους εγκατάστασης, στην τιμή των 150kWp. Αυτό συμβαίνει διότι από τα 150 kWp και μετά είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός υποσταθμού για την εγκατάσταση πράγμα που αυξάνει το κόστος σε σχέση π.χ. με τα 140 kWp που δεν χρειάζεται υποσταθμός. Έτσι, εύκολα παρατηρείται πως δεν είναι οικονομικά συμφέρουσες οι εγκαταστάσεις που είναι λίγο μεγαλύτερες από 150 kWp. Στις εγκαταστάσεις άνω των 150 Kwp η ισχύς της εγκατάστασης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο υποσταθμός να μην έχει αρνητικό οικονομικό αντίκτυπο στην επένδυση.

### 7.3.3. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 10 kWp (Αστικό και αγροτικό περιβάλλον)

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με μπλε γραμμή η ηλεκτρική απόδοση της εγκατάστασης σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη γραμμή προκύπτει από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού και είναι η καμπύλη εκείνη που προσεγγίζει με τον πλέον βέλτιστο τρόπο το φαινόμενο που μελετάται βάσει των δεδομένων.



**Διάγραμμα 7.21:** Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.

Η ηλεκτρική παραγωγή προέκυψε από τον ηλιακό χάρτη της Ελλάδος με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος PVGIS της Ε.Ε. για την περιοχή της Λάρισας. Το κόστος εγκατάστασης προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας
- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

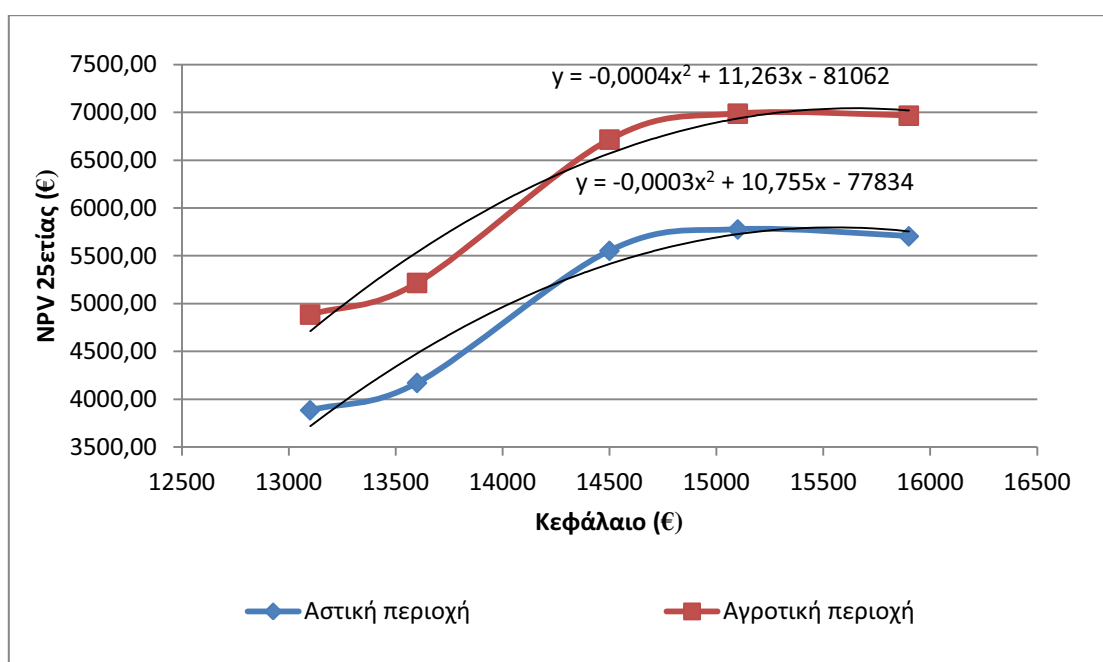
Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης ελήφθησαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Οι ρύποι του αστικού περιβάλλοντος μειώνουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά 5%
- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 10 kWp είναι 0,125 €/kWh
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι:
  - 1,5 % για τα πλαίσια μέτριας ποιότητας.
  - 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
  - 0,5 % για τα πλαίσια άριστης ποιότητας.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.



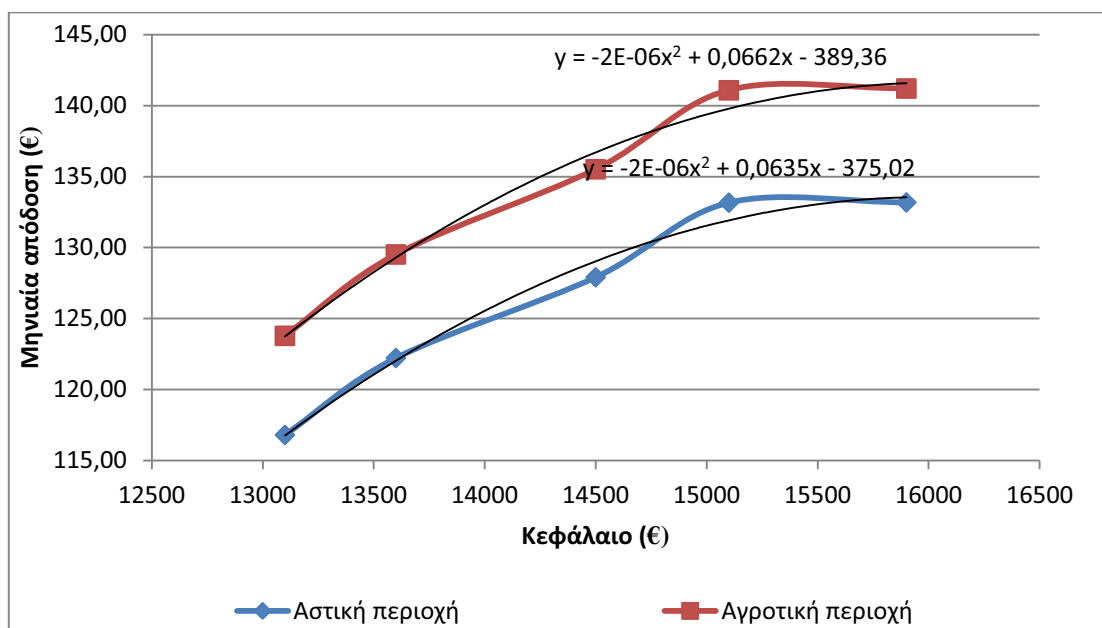
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 25 χρόνια.
- Ετήσιος πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο για αγροτική και για αστική περιοχή μαζί με τις καμπύλες της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.22:** Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσεως του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το μηνιαίο εισόδημα σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο για αγροτική και αστική περιοχή μαζί με τις καμπύλες της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.

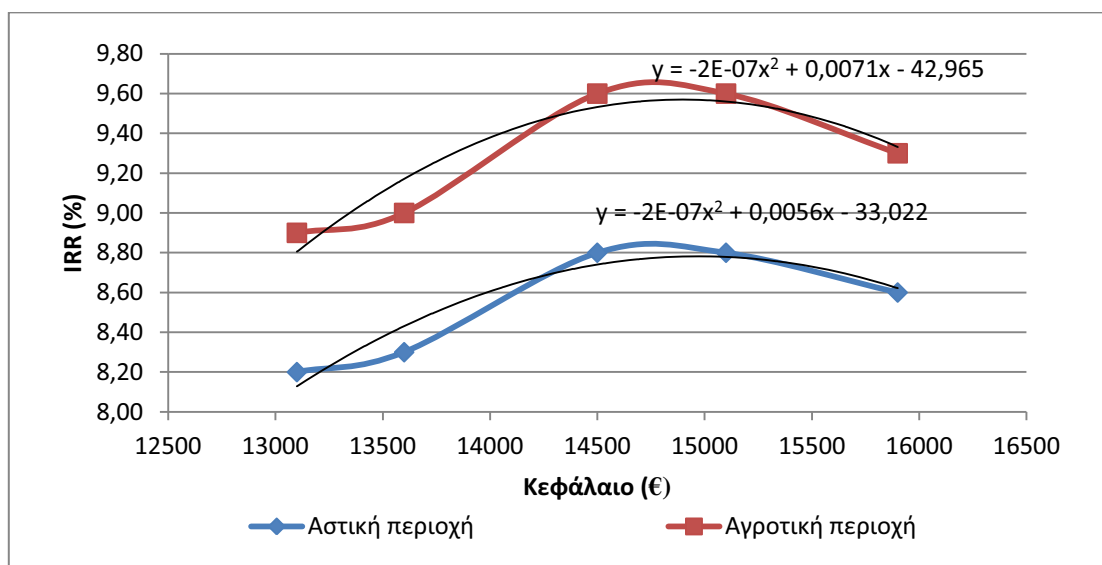


**Διάγραμμα 7.23:** Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.

Στο αγροτικό περιβάλλον το μηνιαίο εισόδημα και η NPV είναι μεγαλύτερα σε σχέση με το αστικό περιβάλλον, κάτι αναμενόμενο διότι στο αστικό περιβάλλον υπάρχουν λόγω κυκλοφοριακού φόρτου, καυστήρων κ.λπ. περισσότεροι ρύποι οι οποίοι επικάθονται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, με αποτέλεσμα την μείωση της ηλεκτρικής τους απόδοσης και κατ' επέκταση της οικονομικής απόδοσης της επένδυσης.

Για την υψηλότερη ποιότητα εξοπλισμού Νο5 έχουμε πτώση της NPV, ενώ η καμπύλη της μηνιαίας απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό. Ενώ αυξάνεται το επενδυμένο κεφάλαιο τα μηνιαία κέρδη παραμένουν σχεδόν σταθερά. Το συμπέρασμα είναι ότι δεν συμφέρει η επένδυση στην πιο ακριβή τεχνολογία διότι τα οικονομικά οφέλη δεν είναι τα αντίστοιχα.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και τις καμπύλες της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολώνυμο δευτέρου βαθμού.



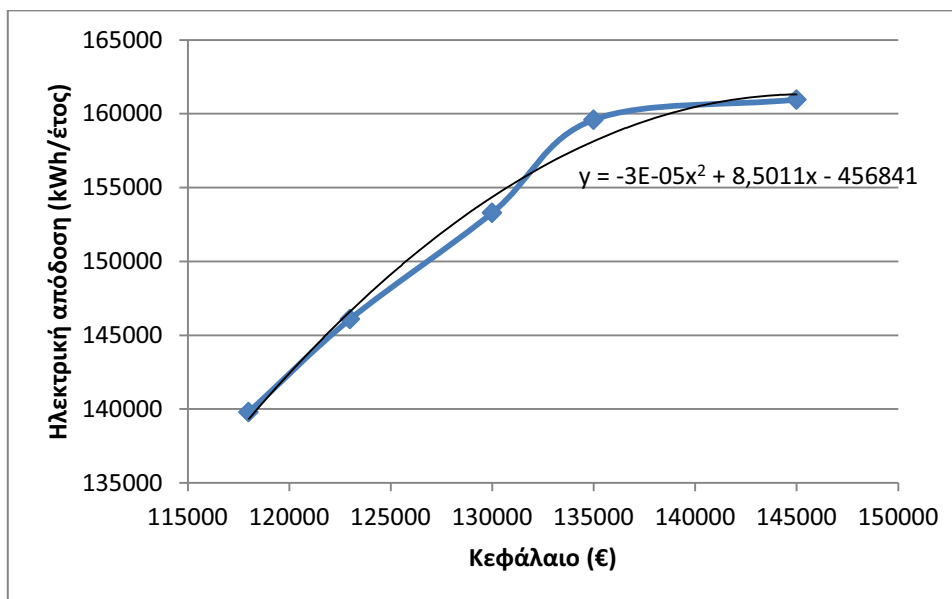
**Διάγραμμα 7.24:** Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 10 kWp.

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) μειώνεται για την βέλτιστη ποιότητα εξοπλισμού.

Συνολικά από τα ανωτέρω διαγράμματα η ποιότητα εξοπλισμού Νο4 (καλής ποιότητας πλαίσια-καλός αναστροφέας) είναι η βέλτιστη οικονομικά λύση.

#### 7.3.4. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 100 kWp (Αγροτική περιοχή)

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε γραμμή η ηλεκτρική απόδοση σε συνάρτηση του επενδυμένου κεφαλαίου. Η μαύρη γραμμή είναι η καμπύλη που προσεγγίζει με το βέλτιστο τρόπο το φαινόμενο που μελετάται και προκύπτει από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού. Παρατηρείται ότι από κάποια τιμή κεφαλαίου ενώ αυξάνεται το επενδυμένο κεφάλαιο, η ηλεκτρική απόδοση παραμένει σταθερή, δηλαδή η καμπύλη της ηλεκτρικής απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό.



**Διάγραμμα 7.25:** Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.

Η ηλεκτρική παραγωγή προέκυψε από τον ηλιακό χάρτη της Ελλάδος με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος PVGIS της Ε.Ε. για την περιοχή της Λάρισας. Το κόστος εγκατάστασης προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

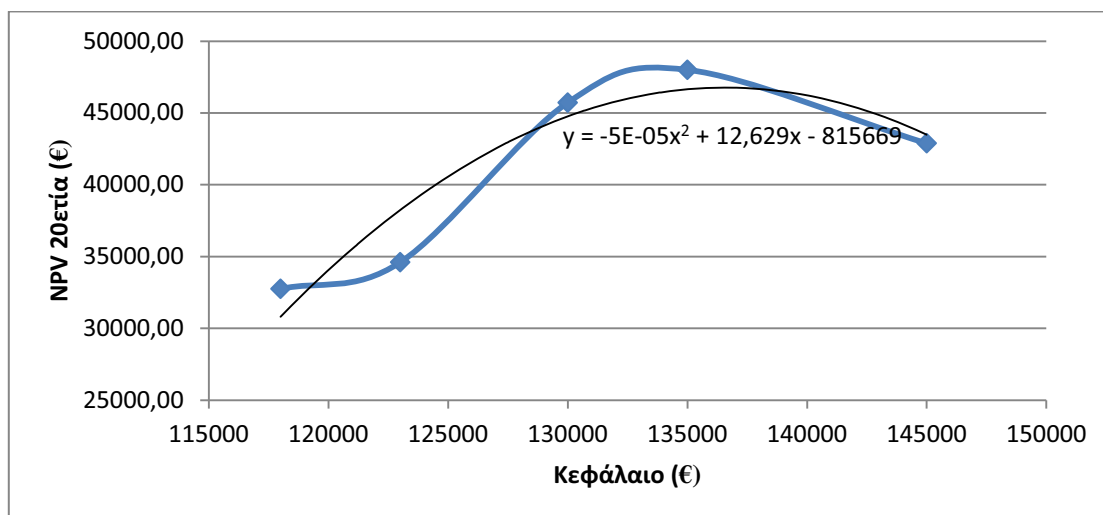
- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας
- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης ελήφθησαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 100 kWp είναι 0,115 €/kWh
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι:
  - 1,5 % για τα πλαίσια μέτριας ποιότητας.
  - 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
  - 0,5 % για τα πλαίσια άριστης ποιότητας.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 20 χρόνια
- Πληθωρισμός 1%

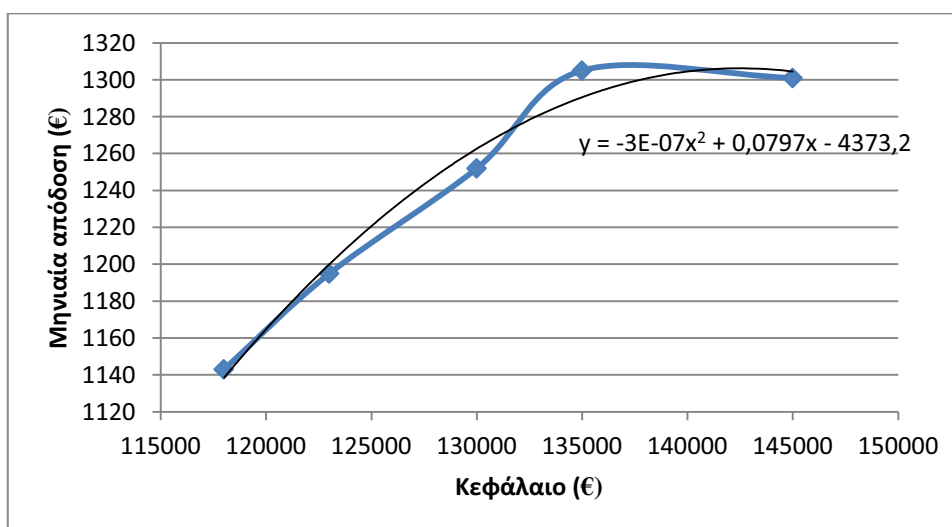
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε γραμμή η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Με την μαύρη καμπύλη παριστάνεται η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.26:** Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσεως του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.

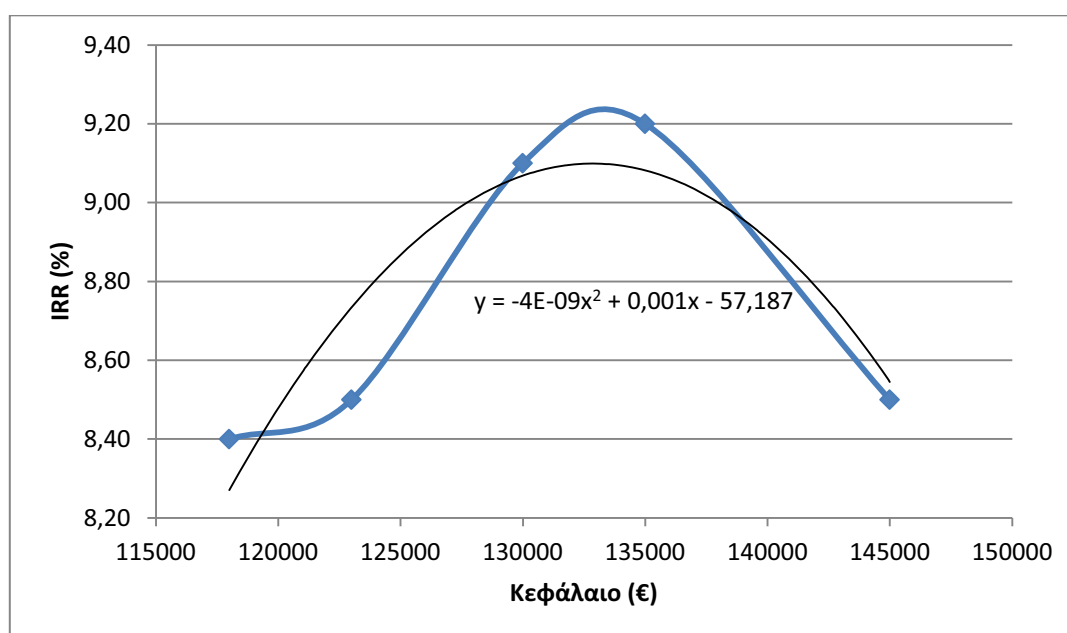
Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε καμπύλη η μεταβολή του μηνιαίου εισοδήματος σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη γραμμή είναι η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.27:** Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσεως του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.

Από τα ανωτέρω παρατηρείται ότι στην υψηλότερη ποιότητα εξοπλισμού έχουμε πτώση της ΚΠΑ και η καμπύλη της μηνιαίας απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό ή μικρή κάθοδο. Συνεπώς, και σε αυτήν την περίπτωση δεν συμφέρει να επενδύσουμε στην ακριβότερη τεχνολογία εξοπλισμού διότι τα οικονομικά οφέλη δεν είναι αντίστοιχα.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε καμπύλη ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και με την μαύρη η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.28:** Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσεως του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 100 kWp.

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR μειώνεται για την βέλτιστη ποιότητα εξοπλισμού.

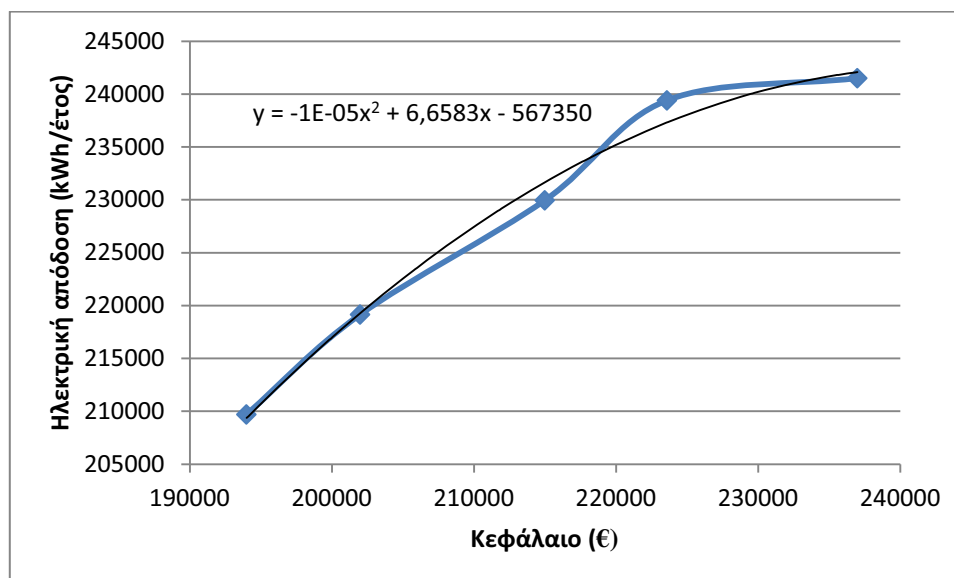
Σαν τελικό συμπέρασμα διαπιστώνεται ότι η ποιότητα εξοπλισμού Νο4 (καλής ποιότητας πλαίσια-καλός αναστροφέας) είναι η βέλτιστη οικονομικά λύση.

### 7.3.5. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 150 kWp (Αγροτική περιοχή)

Η κατηγορία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων των 150 kWp και άνω έχουν το χαρακτηριστικό της απαίτησης κατασκευής υποσταθμού, πράγμα που αυξάνει το κόστος της εγκατάστασης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα με την μπλε καμπύλη παρουσιάζεται η ηλεκτρική απόδοση σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη καμπύλη προκύπτει από τη μέθοδο

των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού. Η καμπύλη της ηλεκτρικής απόδοσης και εδώ παρουσιάζει κορεσμό, δηλαδή παρατηρείται ότι ενώ αυξάνεται το επενδυμένο κεφάλαιο, μετά από κάποια τιμή η ηλεκτρική απόδοση παραμένει σταθερή.



**Διάγραμμα 7.29:** Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.

Η ηλεκτρική παραγωγή προέκυψε από τον ηλιακό χάρτη της Ελλάδος με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος PVGIS της Ε.Ε. για την περιοχή της Λάρισας. Το κόστος εγκατάστασης προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

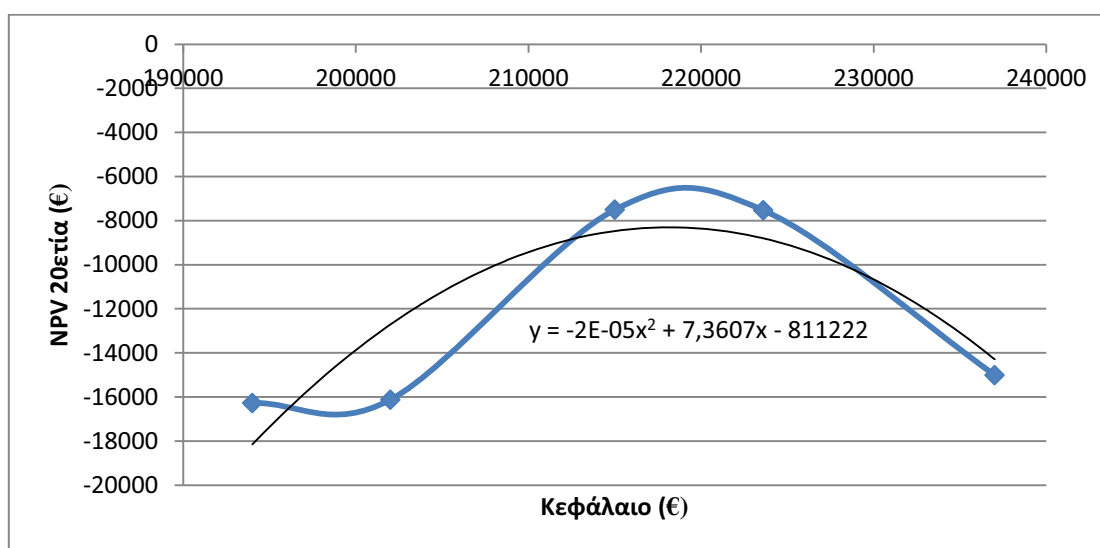
- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας
- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 150 kWp είναι 0,095 €/kWh
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι:
  - 1,5 % για τα πλαίσια μέτριας ποιότητας.
  - 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
  - 0,5 % για τα πλαίσια άριστης ποιότητας.

- Επιτόκιο αναγωγής 5%.
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 20 χρόνια
- Πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

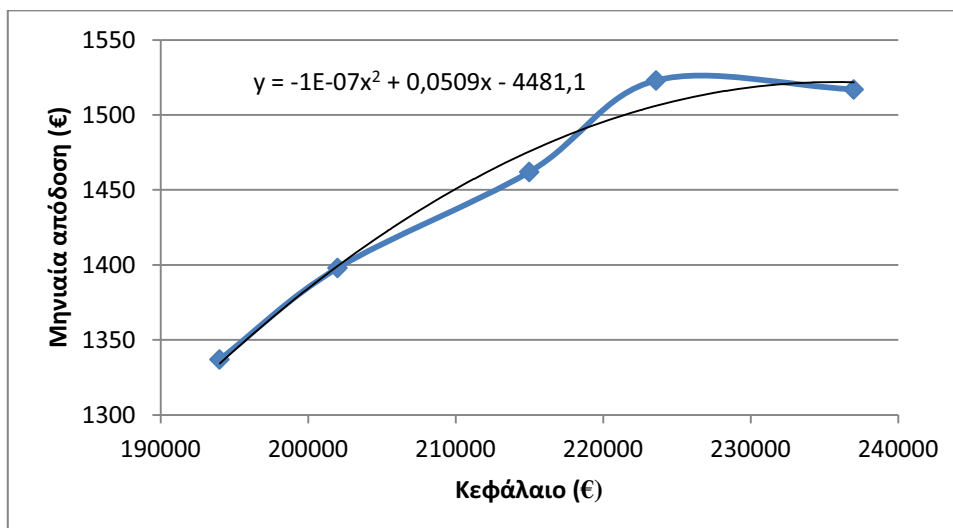
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε καμπύλη η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη καμπύλη είναι της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.30:** Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε καμπύλη το μηνιαίο εισόδημα σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη καμπύλη είναι της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.

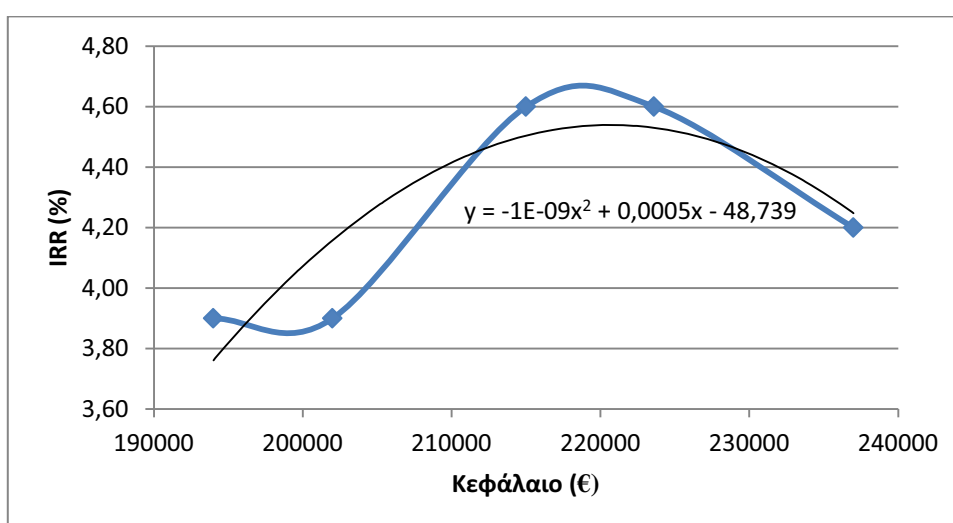




**Διάγραμμα 7.31:** Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσεως του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.

Παρατηρείται από το διάγραμμα 7.30 ότι η ΚΠΑ είναι αρνητική για όλες τις ποιότητες του εξοπλισμού, ενώ από το διάγραμμα 7.31 η καμπύλη της μηνιαίας απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό, δηλαδή ενώ αυξάνεται το επενδυμένο κεφάλαιο τα μηνιαία κέρδη παραμένουν σχεδόν σταθερά, ή μειώνονται λίγο. Συνεπώς, και σε αυτήν την περίπτωση δεν συμφέρει να επενδύσουμε στην ακριβότερη τεχνολογία εξοπλισμού διότι τα οικονομικά οφέλη δεν είναι αντίστοιχα.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



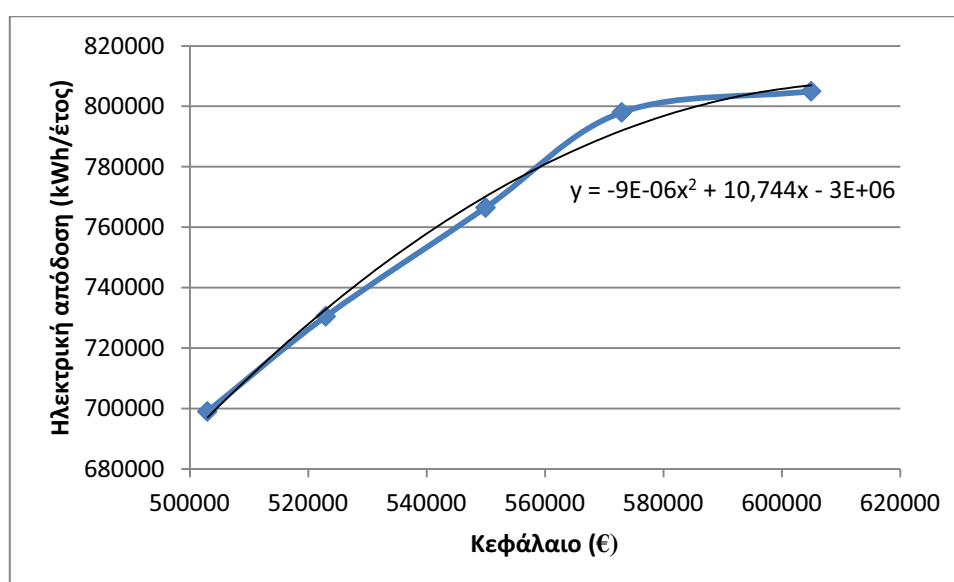
**Διάγραμμα 7.32:** Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσεως του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 150 kWp.

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR ελαττώνεται για την βέλτιστη ποιότητα εξοπλισμού. Σαν συμπέρασμα και εδώ η ποιότητα εξοπλισμού Νο4 (καλής ποιότητας πλαίσια-καλός αναστροφέας) είναι η βέλτιστη οικονομικά λύση.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ισχύος 150 kWp είναι οικονομικά ασύμφορη λόγω της απαίτησης κατασκευής υποσταθμού που ανεβάζει το κόστος κατασκευής. Σε περίπτωση επένδυσης σε αυτή την τάξη εγκαταστημένης ισχύς, για να καταστεί συμφέρουσα η επένδυση θα πρέπει να μειωθεί λίγο η εγκαταστημένη ισχύς ώστε να αποφευχθεί η κατασκευή του υποσταθμού.

### 7.3.6. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 500 kWp (Αγροτική περιοχή)

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε καμπύλη η ηλεκτρική απόδοση σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη γραμμή είναι η καμπύλη που προκύπτει από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού. Η καμπύλη της ηλεκτρικής απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό, όπως παρατηρείται διότι μετά από κάποια τιμή κεφαλαίου, όσο και να αυξάνει αυτό η ηλεκτρική απόδοση παραμένει σταθερή.



**Διάγραμμα 7.33:** Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.

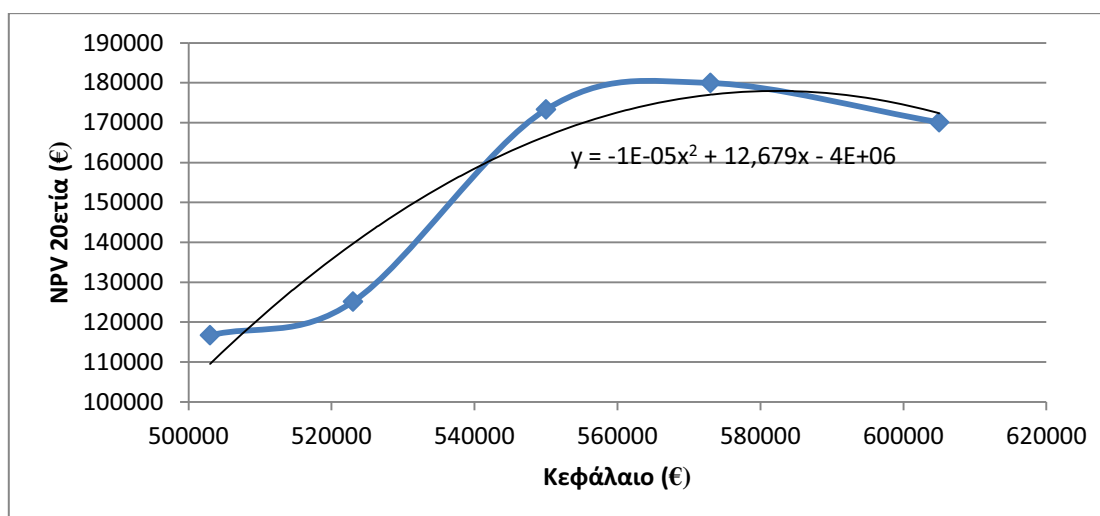
Η ηλεκτρική παραγωγή προέκυψε από τον ηλιακό χάρτη της Ελλάδος με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος PVGIS της Ε.Ε. για την περιοχή της Λάρισας. Το κόστος εγκατάστασης προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας
- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

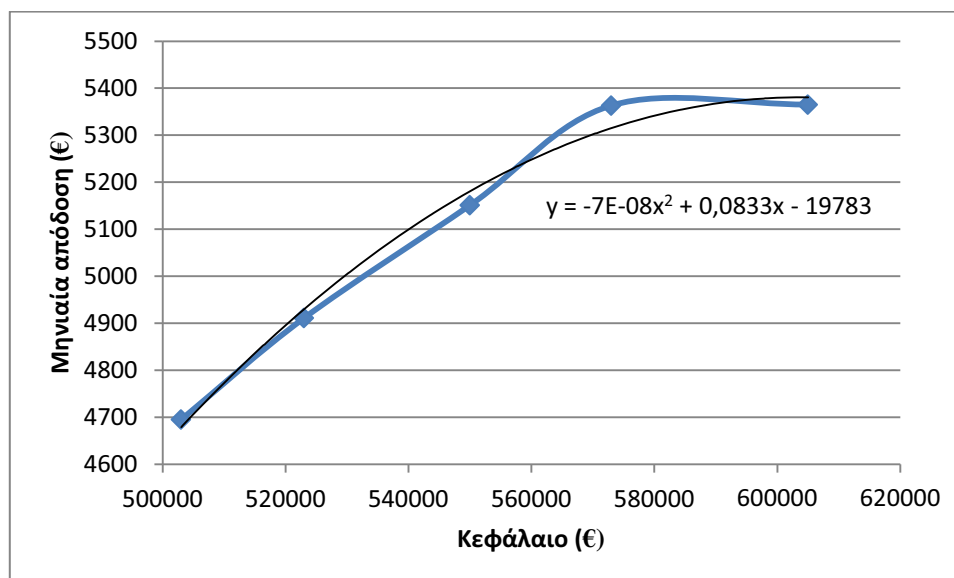
- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 500 kWp είναι 0,095 €/kWh
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι:
  - 1,5 % για τα πλαίσια μέτριας ποιότητας.
  - 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
  - 0,5 % για τα πλαίσια άριστης ποιότητας.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 20 χρόνια
- Πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται με την μπλε καμπύλη η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Η μαύρη καμπύλη είναι της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.34:** Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.

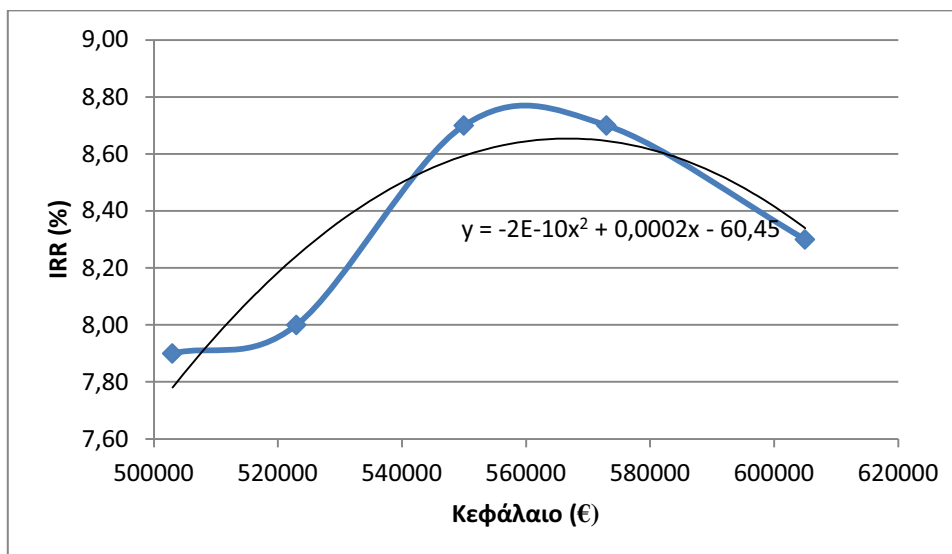
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μηνιαία απόδοση σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.35:** Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.

Από τα ανωτέρω διαγράμματα παρατηρείται ότι στην υψηλότερη ποιότητα εξοπλισμού έχουμε πτώση της ΚΠΑ. Η καμπύλη της μηνιαίας απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό, δηλαδή εάν αυξηθεί το επενδυμένο κεφάλαιο η μηνιαία απόδοση θα παραμείνει σταθερή. Το συμπέρασμα και εδώ είναι ότι δεν συμφέρει να επενδύσουμε στην ακριβότερη τεχνολογία διότι τα οικονομικά οφέλη δεν είναι αντίστοιχα.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



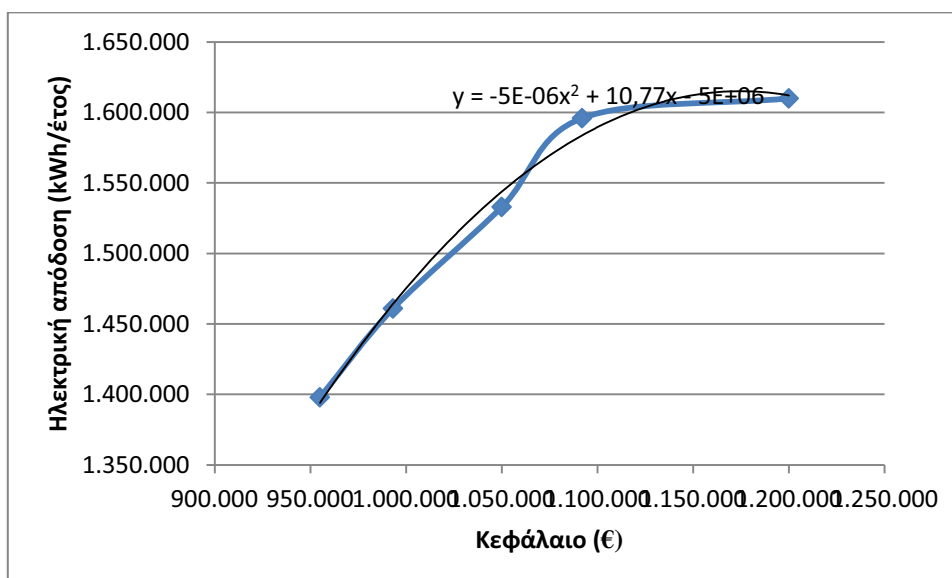
**Διάγραμμα 7.36:** Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσεως του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 500 kWp.

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR μειώνεται για την βέλτιστη ποιότητα εξοπλισμού.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η ποιότητα εξοπλισμού 4 (καλής ποιότητας πλαίσια-καλός αναστροφέας) είναι η βέλτιστη οικονομικά λύση και έχουμε απορρόφηση του κόστους κατασκευής του υποσταθμού.

### 7.3.7. Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 1 MWp (Αγροτική περιοχή)

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλεκτρικής απόδοσης σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού, η καμπύλη εκείνη δηλαδή που προσεγγίζει με το πλέον βέλτιστο τρόπο το φαινόμενο που μελετάται βάσει των δεδομένων.



**Διάγραμμα 7.37:** Ηλεκτρική απόδοση συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι η καμπύλη της ηλεκτρικής απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό, διότι ενώ αυξάνεται το επενδυμένο κεφάλαιο η ηλεκτρική απόδοση παραμένει σταθερή από ένα ύψος κεφαλαίου και μετά.

Η ηλεκτρική παραγωγή προέκυψε από τον ηλιακό χάρτη της Ελλάδος με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος PVGIS της Ε.Ε. για την περιοχή της Λάρισας. Το κόστος εγκατάστασης προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

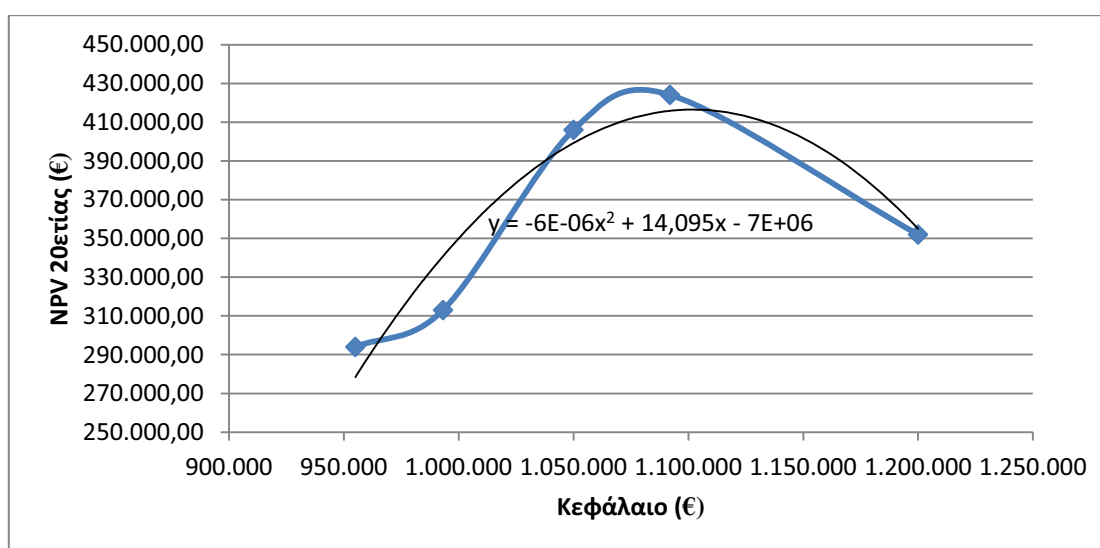
- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας
- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 1 MWp είναι 0,095 €/kWh
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι:
  - 1,5 % για τα πλαίσια μέτριας ποιότητας.
  - 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
  - 0,5 % για τα πλαίσια άριστης ποιότητας.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.

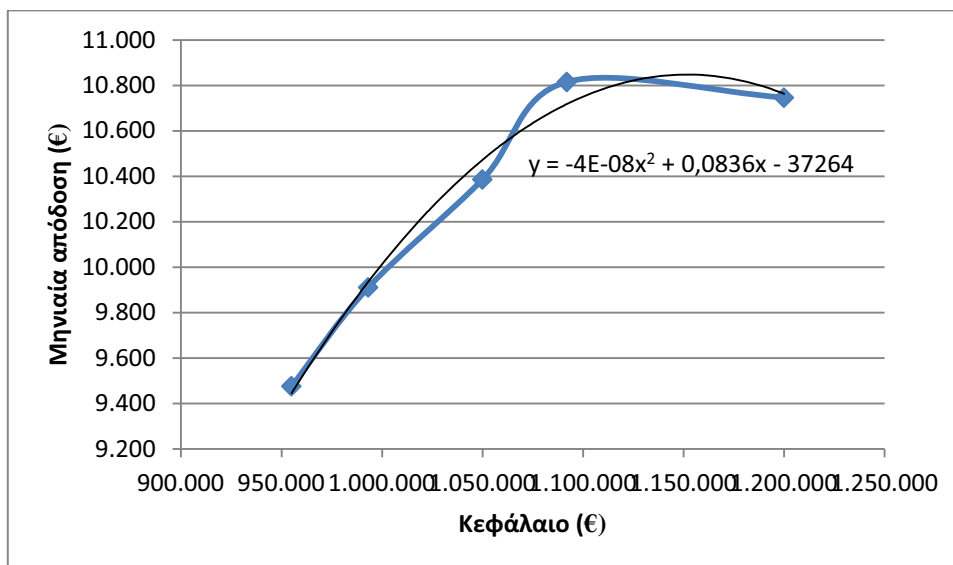
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 20 χρόνια.
- Πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της Καθαρής Παρούσης Αξίας (NPV) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.38:** Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.

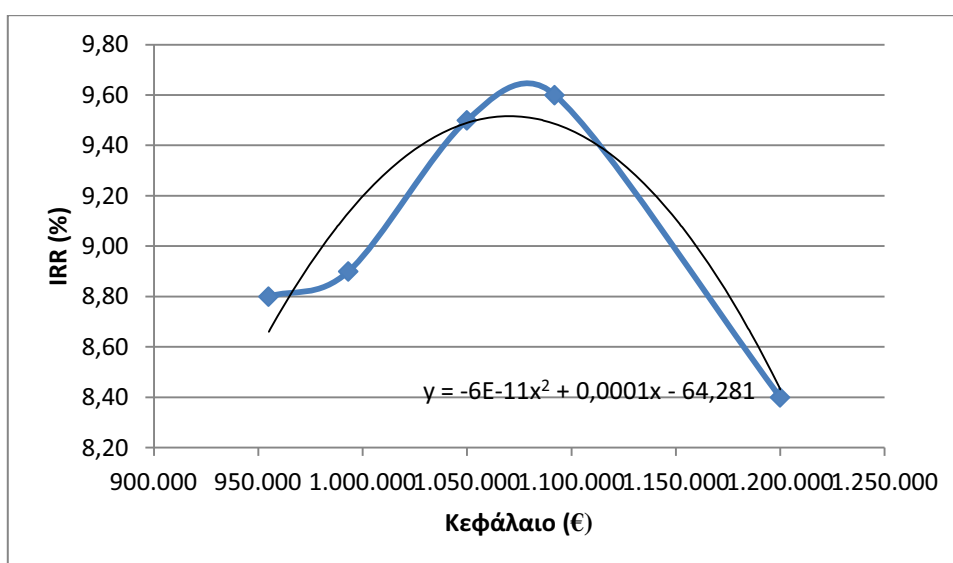
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μηνιαίας απόδοσης σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.39:** Μηνιαίο εισόδημα συναρτήσει του κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.

Παρατηρείται ότι στην καλύτερη ποιότητα εξοπλισμού έχουμε πτώση της ΚΠΑ και η καμπύλη της μηνιαίας απόδοσης παρουσιάζει κορεσμό γιατί ενώ αυξάνεται το επενδυμένο κεφάλαιο η μηνιαία απόδοση έχει μία ελαφρά φθίνουσα κλίση. Το συμπέρασμα είναι ότι δεν συμφέρει να επενδύσουμε στην ακριβότερη τεχνολογία γιατί τα οικονομικά οφέλη δεν είναι αντίστοιχα.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) σε συνάρτηση με το επενδυμένο κεφάλαιο και η καμπύλη της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για πολυώνυμο δευτέρου βαθμού.



**Διάγραμμα 7.40:** Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) συναρτήσει του επενδυμένου κεφαλαίου, για εγκατεστημένη ισχύ 1 MWp.



Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της βέλτιστης ποιότητας εξοπλισμού παρουσιάζει μείωση. Από όλα τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ποιότητα εξοπλισμού Νο4 (καλής ποιότητας πλαίσια-καλός αναστροφέας) είναι η βέλτιστη οικονομικά λύση.

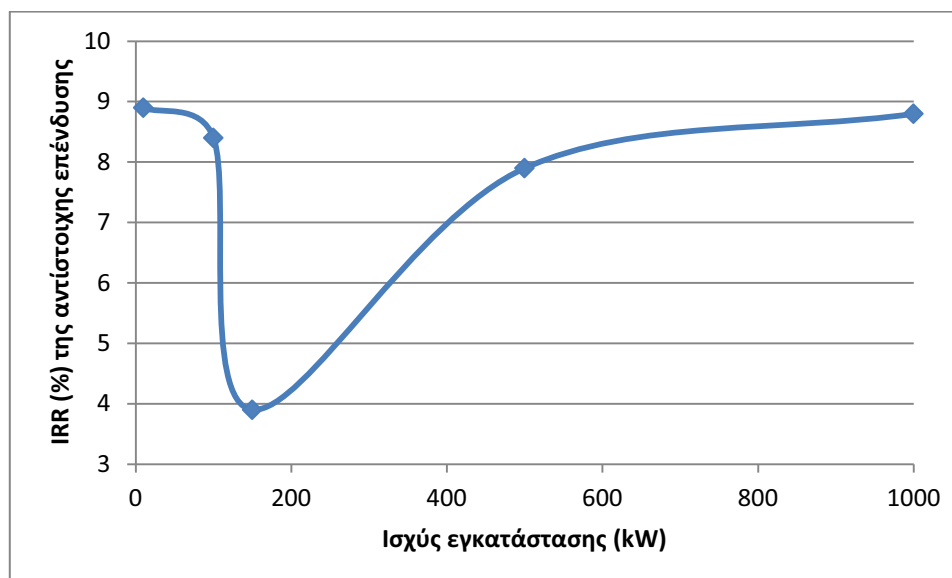
### 7.3.8. Συγκεντρωτικά στοιχεία για την Καθαρή Παρούσα Αξία και τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης

Στον πίν. 7.8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της καθαρής παρούσης αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης για όλες τις ποιότητες εξοπλισμού και όλες τις εγκαταστημένες ισχύς.

**Πίνακας 7.8:** Συγκεντρωτικά στοιχεία για την καθαρή παρούσα αξία (NPV) και τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR) για όλες τις ποιότητες εξοπλισμού και τις εγκαταστημένες ισχύς.

Ισχύς	Ποιότητα	NPV	IRR
10 kWp (αγροτικά)	1	4.886,79	8,90
	2	5.217,31	9,00
	3	6.716,46	9,60
	4	6.987,46	9,60
	5	6.966,60	9,30
100 kWp	1	32.747,62	8,40
	2	34.601,24	8,50
	3	45.713,23	9,10
	4	47.999,31	9,20
	5	42.884,63	8,50
150 kWp	1	-16.271,09	3,90
	2	-16.120,95	3,90
	3	-7.498,73	4,60
	4	-7.526,57	4,60
	5	-15.006,39	4,20
500 kWp	1	116.691,38	7,90
	2	125.123,54	8,00
	3	173.296,96	8,70
	4	179.946,11	8,70
	5	170.083,63	8,30
1 MWp	1	294.060,34	8,80
	2	313.066,22	8,90
	3	406.081,74	8,50
	4	424.139,06	8,60
	5	352.064,83	8,40

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης, για την βέλτιστη επιλογή ποιότητας εξοπλισμού Νο4 (Καλή ποιότητα πλαισίου και αντιστροφέα.).

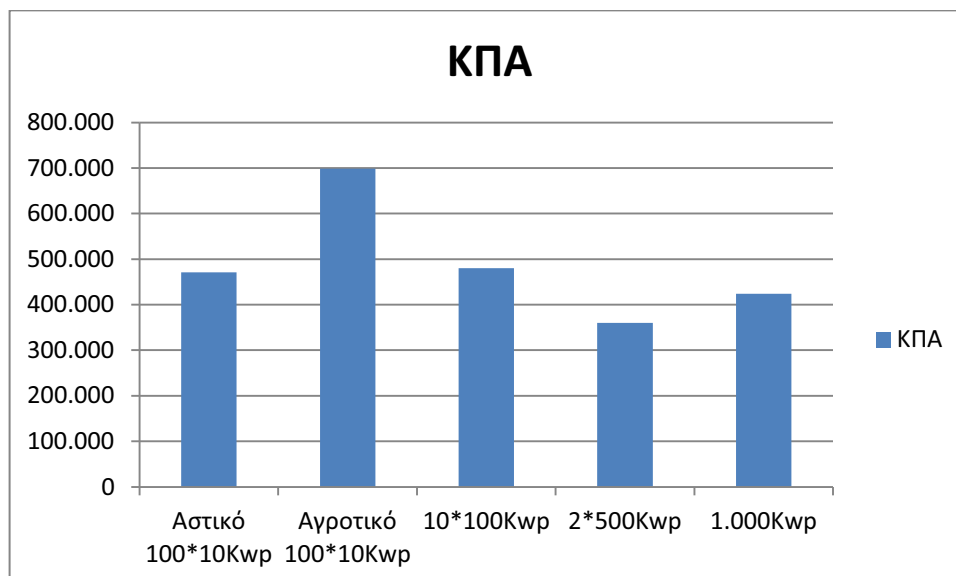


**Διάγραμμα 7.41:** Εσωτερικός βαθμός απόδοσης σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης, για καλή ποιότητα φωτοβολταϊκών πλαισίων και αντιστροφέα.

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι στα 150 kWp υπάρχει μία απότομη πτώση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της επένδυσης που οφείλεται στην κατασκευή υποσταθμού και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης επανέρχεται στο επίπεδο της εγκατάστασης των 100 kWp στην εγκατάσταση του 1 MWp.

Στο διάγραμμα 7.42 (ιστόγραμμα) παρουσιάζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία που θα είχαν οι διάφορες κατηγορίες εγκατεστημένης ισχύς πολλαπλασιασμένες επί κατάλληλο συντελεστή ώστε να μας δίνουν 1Mwp για την βέλτιστη επιλογή ποιότητας εξοπλισμού Νο4 (Καλή ποιότητα πλαισίου και αντιστροφέα.).

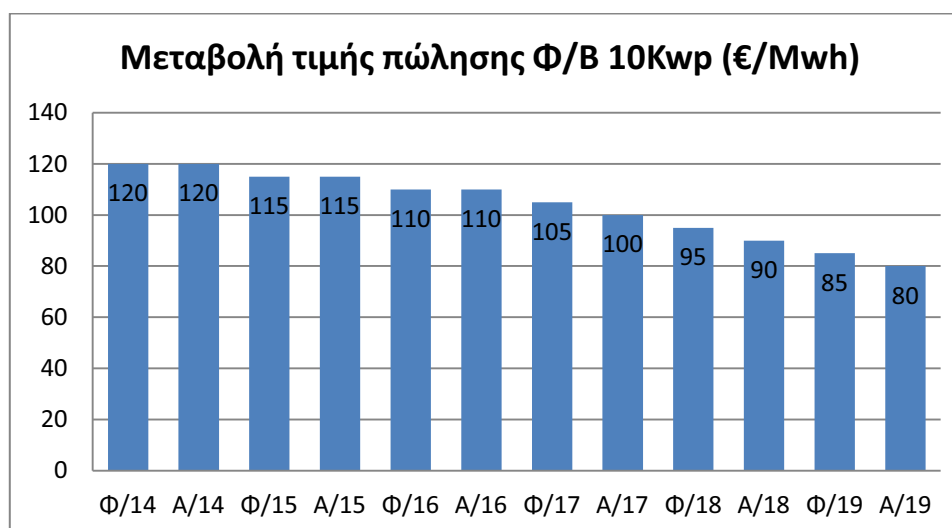
Παρατηρείται ότι για την ίδια εγκατεστημένη ισχύς 1 Mwp είναι πιο συμφέρον να πραγματοποιηθεί επένδυση 100\*10Kwp σε στέγη αγροτικού περιβάλλοντος, κατόπιν 10\*100Kwp, μετέπειτα 100\*10 Kwp σε στέγη αστικού περιβάλλοντος, ενώ δεν συμφέρει να πραγματοποιηθεί η επένδυση 2\*500 Kwp.



**Διάγραμμα 7.42:** Καθαρή Παρούσα Αξία ανοιγμένη στο 1 Μwp σε συνάρτηση με την ισχύ της εγκατάστασης, για καλή ποιότητα φωτοβολταϊκών πλαισίων και αντιστροφέα (No4).

### 7.3.9. Τιμολόγηση βάση του ΦΕΚ 1103B/02-05-2013

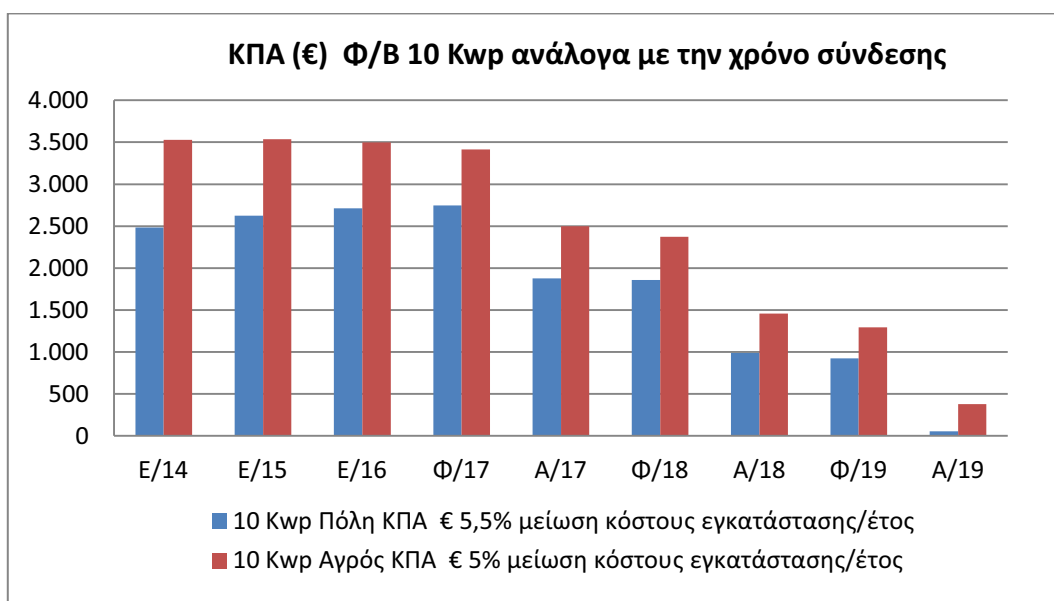
Για επένδυση φωτοβολταϊκού σε στέγη 10 Kwp με βάση την Υπουργική Απόφαση Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1289/9012 (ΦΕΚ 1103B/02-05-2013) ορίζεται ότι ανάλογα με το πότε θα γίνει η ενεργοποίηση της σύνδεσης, η τιμή πώλησης θα είναι η τρέχουσα βάση του παραρτήματος πίνακας 17.



**Διάγραμμα 7.43:** Μεταβολή της τιμής πώλησης της παραγόμενης Kwh ανάλογα με τον χρόνο σύνδεσης για Φ/Β 10Kwp.

Για σταθερή ετήσια μείωση της τιμής εγκατάστασης (κόστος επένδυσης) 5% και χρησιμοποιώντας τεχνολογία εξοπλισμού, καλό πάνελ και αντιστροφέας Νο4, όπου

ανωτέρω τεκμηριώθηκε ότι ήταν η βέλτιστη λύση, ακόμη και εάν γίνει σύνδεση Φ/Β στέγης σε αγροτικό περιβάλλον τον Αύγουστο του 2019, όπου έχουμε την μικρότερη τιμή πώλησης της Kwh η ΚΠΑ της επένδυσης είναι θετική. Για σταθερή ετήσια μείωση της τιμής εγκατάστασης (κόστος επένδυσης) 5,5% και χρησιμοποιώντας τεχνολογία εξοπλισμού, καλό πάνελ και αντιστροφέας Νο4, όπου ανωτέρω τεκμηριώθηκε ότι ήταν η βέλτιστη λύση, ακόμη και εάν γίνει σύνδεση Φ/Β στέγης σε αστικό περιβάλλον τον Αύγουστο του 2019, όπου έχουμε την μικρότερη τιμή πώλησης της Kwh η ΚΠΑ της επένδυσης είναι θετική. Για μειώσεις του κόστους εγκατάστασης μεγαλύτερες από τις ανωτέρω η αποδοτικότητα της επένδυσης θα είναι μεγαλύτερη, ενώ για μικρότερες μειώσεις θα είναι ζημιογόνα. Βέβαια εξυπακούεται ότι όσο πιο γρήγορα χρονικά γίνει η επένδυση τόσο πιο κερδοφόρα θα είναι. Ακολούθως παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.44 (ιστόγραμμα) και στο παράρτημα πίνακας 18 οι ανωτέρω μεταβολές της ΚΠΑ σε σχέση με τις διαμορφούμενες τιμές ανά έτος για ορίζοντα εικοσιπενταετίας.



**Διάγραμμα 7.44:** Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την τιμή πώλησης για εγκατάσταση 10 Kwp.

Το κόστος εγκατάστασης προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας

- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Οι ρύποι του αστικού περιβάλλοντος μειώνουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά 5%
- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ελήφθει από τον πίνακα 8.5
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 25 χρόνια.
- Πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

Όπως προαναφέρθηκε από το τέλος του 2014, με βάση την Υπουργική απόφαση Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 (ΦΕΚ 1103B/02-05-2013), η τιμή στην οποία η ΔΕΗ θα αγοράζει την ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά θα εξαρτάται από την ΟΤΣ με βάση τη σχέση:

$$\text{Τιμή } Kwh \text{ έτους } n = 1,2 * \overline{ΟΤΣ}_{n-1} \text{ ή } 1,1 * \overline{ΟΤΣ}_{n-1} (7.1)$$

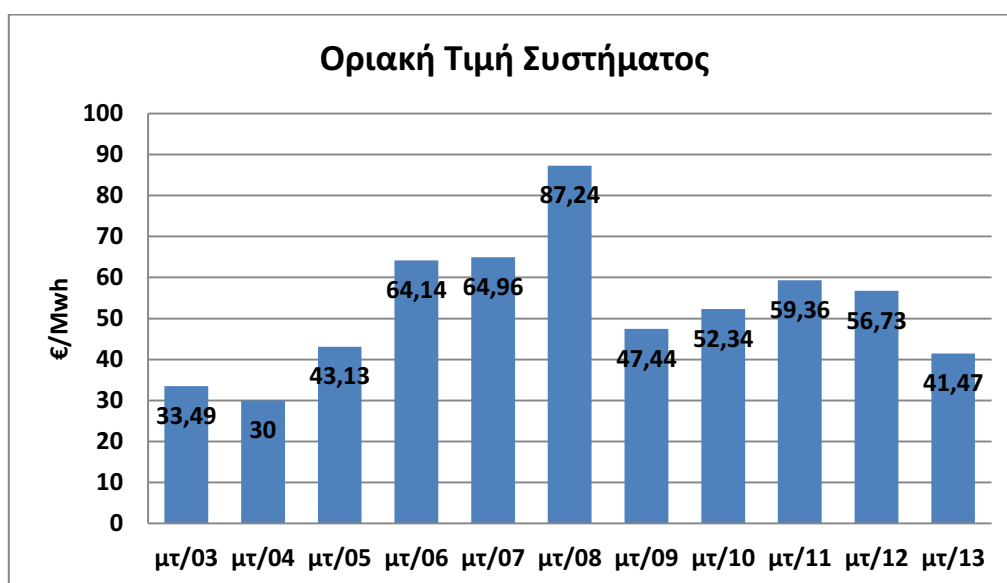
Ανάλογα εάν η εγκατεστημένη ισχύς τους είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη των 100 KWp αντίστοιχα.

Η μέση ετήσια ΟΤΣ για την τελευταία δεκαετία δίνεται στον ακόλουθο πίνακα και διάγραμμα (ιστόγραμμα):

**Πίνακας 7.9:** Μέση ετήσια ΟΤΣ. ( ΔΕΣΜΗΕ, ΛΑΓΗΕ)

ΕΤΟΣ	ΟΤΣ-€/Mwh
2003	33,49
2004	30,00
2005	43,13
2006	64,14
2007	64,96
2008	87,24

ΕΤΟΣ	ΟΤΣ-€/Mwh
2009	47,44
2010	52,34
2011	59,36
2012	56,73
2013	41,47
Μέσος όρος	52,75



**Διάγραμμα 7.45:** Μεταβολή της μέσης ετήσιας ΟΤΣ για μία δεκαετία.

Από τα ανωτέρω παρατηρείται ότι υπάρχουν έτη με υψηλή ΟΤΣ όπως το 2008 και έτη με χαμηλή ΟΤΣ όπως το 2004.

Ακολούθως θα προσδιοριστεί η ΚΠΑ για εγκαταστάσεις 100, 500, 1.000 Kwh για όλες τις τιμές της ΟΤΣ της περασμένης δεκαετίας. Η ηλεκτρική παραγωγή προέκυψε από τον ηλιακό χάρτη της Ελλάδος με τη βοήθεια του ειδικού προγράμματος PVGIS της Ε.Ε. για την περιοχή της Λάρισας. Το κόστος εγκατάστασης θεωρείται σταθερό στην ανάλυση που ακολουθεί και προέκυψε σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές της αγοράς, και καθορίζεται από:

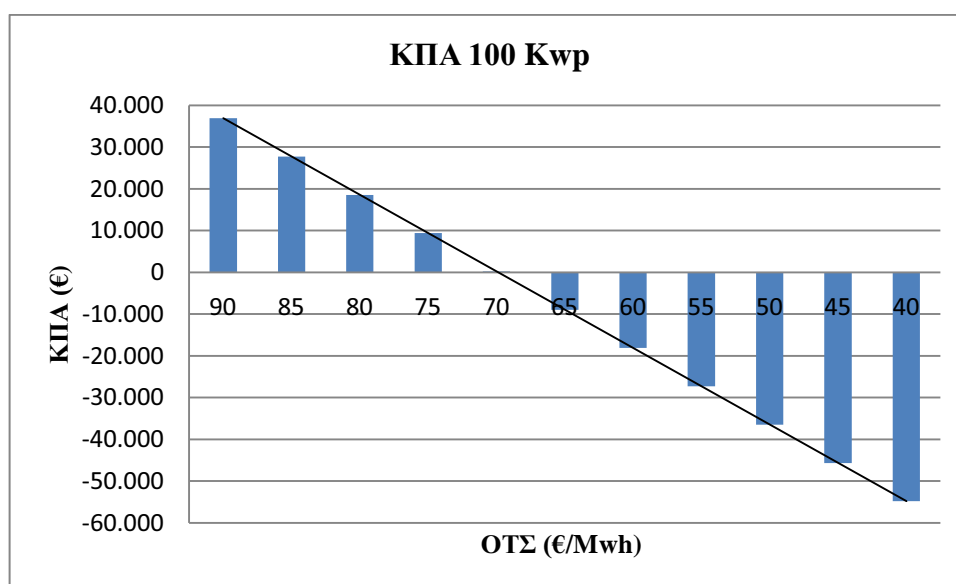
- Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Το κόστος του αντιστροφέα
- Το κόστος των καλωδίων και των βάσεων
- Το κόστος της εργασίας

- Το έξοδα προετοιμασίας φακέλου

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

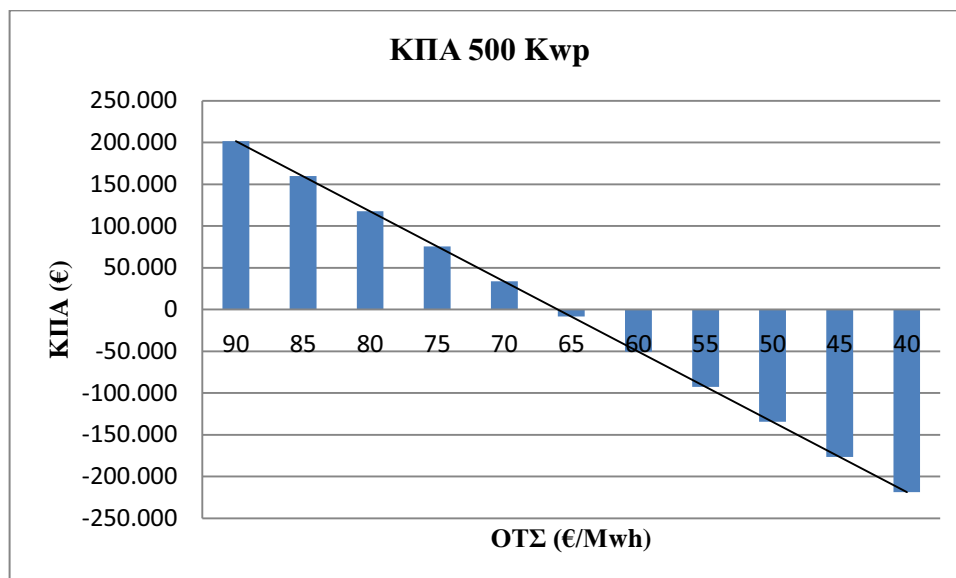
- Η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση υπολογίζεται από την ΟΤΣ του πίνακα 8.7
- Η ετήσια μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι 0,8 % για τα πλαίσια καλής ποιότητας.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.
- Εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ για 20 χρόνια.
- Πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

Για επένδυση 100 Kwp και τιμές ΟΤΣ από την μικρότερη έως την μεγαλύτερη της δεκαετίας που μας πέρασε, παρουσιάζονται στο παράρτημα πίνακα 18 και στο ακόλουθο διάγραμμα (ιστόγραμμα) οι αντίστοιχες τιμές της ΚΠΑ.



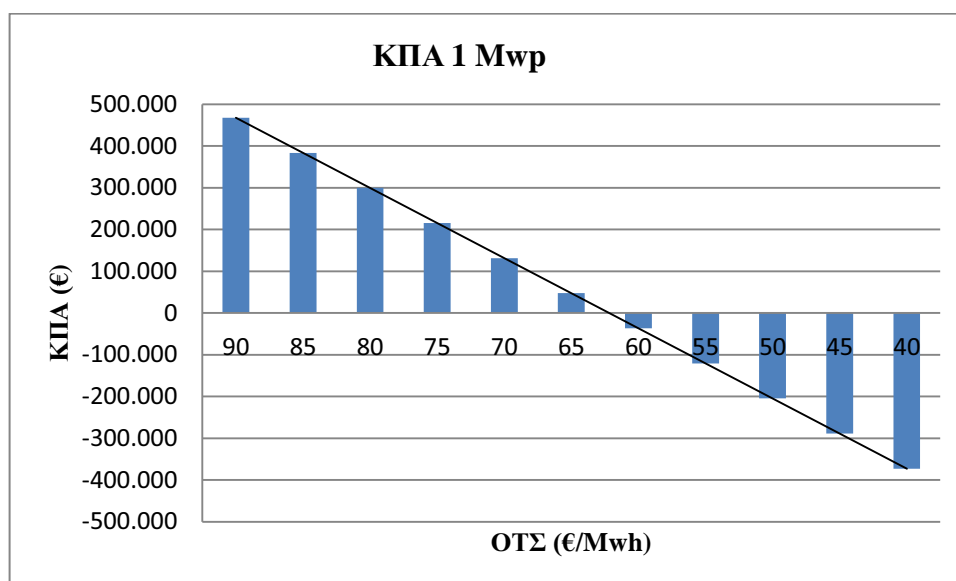
**Διάγραμμα 7.46:** Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ για εγκατάσταση 100 Kwp.

Για επένδυση άνω των 100 Kwp όπου αλλάζει ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής της ΟΤΣ από 1,2 σε 1,1 και συγκεκριμένα για 500 Kwp η μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ παρουσιάζεται στο παράρτημα πίνακα 18 και στο ακόλουθο ιστόγραμμα.



**Διάγραμμα 7.47:** Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ για εγκατάσταση 500 Kwp.

Για εγκατάσταση 1 Mwp η μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ δίνεται στο παράρτημα πίνακα 18 και ακολούθως στο ιστόγραμμα.



**Διάγραμμα 7.48:** Μεταβολή της ΚΠΑ σε σχέση με την ΟΤΣ για εγκατάσταση 1 Mwp.

Από τα ανωτέρω ιστογράμματα διαπιστώνεται ότι για να είναι κερδοφόρα η επένδυση, θα πρέπει η Οριακή Τιμή του Συστήματος να είναι μεγαλύτερη από 0,0699 €/Kw στην περίπτωση των 100 Kwp, 06599 €/Kw στην περίπτωση των 500 Kwp και 0,06219 €/Kwh στην περίπτωση του 1 Mwp διότι τότε γίνεται θετική η ΚΠΑ για επιτόκιο αναγωγής 5%. Με βάση το διάγραμμα (ιστόγραμμα) 7.45 η ΟΤΣ σε βάθος δεκαετίας μόνο μία φορά ξεπέρασε την ανωτέρω τιμή, οπότε η επένδυση μόνο σε εκείνο το έτος θα ήταν κερδοφόρα.



### 7.3.10. Οικονομική ανάλυση εφαρμογής του Net Metering

Το net metering όπως προαναφέρθηκε είναι ένα σύστημα ανταλλαγής της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μιας οικίας ή ενός επαγγελματικού χώρου με την ΔΕΗ. Μία μέση ελληνική οικογένεια σήμερα καταναλώνει 4.000 kWh ανά έτος εάν κατοικεί σε αστική περιοχή και 3.070 Kwh εάν κατοικεί σε αγροτική περιοχή. Για θέρμανση καταναλώνει το 3% της ετήσιας καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που είναι κατανάλωση χειμερινού τετραμήνου και για ψύξη των χώρων το 4,9 % της ετήσιας καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που είναι κατανάλωση θερινού τετραμήνου. Το υπόλοιπο ποσοστό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας διατίθεται για άλλες χρήσεις και ισομοιράζεται σε όλο το έτος. (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2013)

Η τιμή χρέωσης της kWh για οικιακή χρήση (τιμολόγιο Γ1 ΔΕΗ) το τετράμηνο ξεκινά από 0,07793 €/Kwh εάν οι καταναλωθείσα ενέργεια είναι έως 800 Kwh, 0,09460 €/Kwh εάν οι καταναλωθείσα ενέργεια είναι έως 1200 Kwh και 0,10252 €/Kwh εάν οι καταναλωθείσα ενέργεια ξεπεράσει τις 1200 Kwh. Στην αξία του ηλεκτρικού ρεύματος εισέρχονται και οι ακόλουθες χρεώσεις:

- Χρέωση προμήθειας ρεύματος
- Χρέωση για το εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Χρέωση για το εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων (ETMEAP)
- Ειδικό Τέλος 0,5‰ (Ν.2093/92)
- Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης (Ν.3336/05)
- Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας
- Φόρος Προστιθέμενης Αξίας

Στην μέγιστη κλίμακα χρέωσης οι επιπλέον χρεώσεις επιβαρύνουν την τιμή της Kwh κατά 0,08 (ΔΕΗ, 2014).

Η βέλτιστη κλίση των πάνελ στην πόλη της Λάρισας βρέθηκε ότι είναι 30<sup>0</sup>. Για κλίση των πλαισίων 30<sup>0</sup> έχουμε τις ακόλουθες προσπίπτουσες ηλιακές ακτινοβολίες ανά μήνα του έτους.

**Πίνακας 7.10:** Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Kwh/m<sup>2</sup>) για κλίση πλαισίου 30<sup>0</sup> στην Λάρισα.

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
87	97	132	156	178	188	197	193	165	130	95	80
% Προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά μήνα.											
5,12	5,71	7,77	9,19	10,48	11,07	11,60	11,37	9,72	7,66	5,59	4,71

Στη Λάρισα φωτοβολταϊκό σύστημα ποιότητας καλού πάνελ και μέτριου αντιστροφέα Νο3 1 kWp παράγει περίπου 1.460 kWh/έτος. Οι αντίστοιχες μέσες μηνιαίες παραγωγές του έτους δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 7.11:** Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Kwh/Kwp) ανά μήνα και ανά τετράμηνο για την πόλη της Λάρισας από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ισχύος 1 kWp.

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
75	83	114	134	153	162	169	166	142	112	82	69
Α' Τετράμηνο				Β' Τετράμηνο				Γ' Τετράμηνο			
406				510				405			

Η μέση ετήσια οικιακή κατανάλωση των 4.000 Kwh με βάση τα ανωτέρω κατανέμεται στα τρία τετράμηνα του έτους ως εξής:

**Πίνακας 7.12:** Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια τετραμήνου μέσης οικίας.

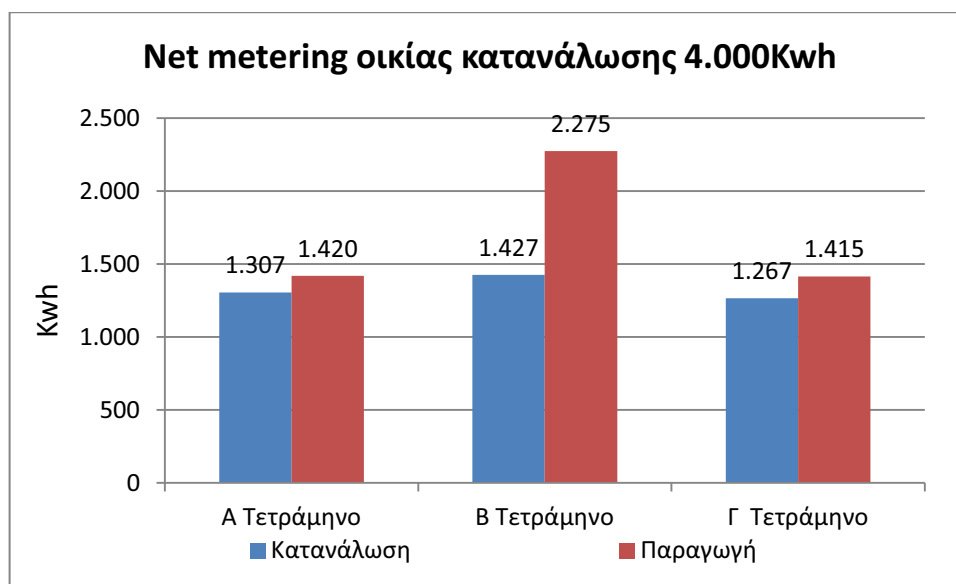
Κατανάλωση Α' τετραμήνου	Κατανάλωση Β' τετραμήνου	Κατανάλωση Γ' τετραμήνου
1.307 Kwh	1.427 Kwh	1.267 Kwh

Βάση των αποτελεσμάτων του πίνακα 7.11 και 7.12 για να καλυφθεί η κατανάλωση του κάθε τετραμήνου από την αντίστοιχη παραγωγή θα πρέπει να τοποθετηθεί φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ισχύος 3,5 Kwp. Η παραγωγή τετραμήνου παρατίθεται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 7.13:** Παραγόμενη τετραμηνιαία ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β εγκατάσταση 3,4 Kwp στην Λάρισα.

Παραγωγή Α' τετραμήνου	Παραγωγή Β' τετραμήνου	Παραγωγή Γ' τετραμήνου
1.307 Kwh	1.427 Kwh	1.267 Kwh

Με βάση τους δύο ανωτέρω πίνακες ακολουθεί το παρακάτω ιστόγραμμα.



**Διάγραμμα 7.49:** Αντιπαραβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας σε οικία ετήσιας κατανάλωσης 4.000 Kwh.

Αν και αναμένεται να παραχθούν ετήσια 5.110 Kwh θα τιμολογηθούν οι 4.000 Kwh και η επιπλέον παραγωγή των 1.110 Kwh απλά θα διαχυθεί στο δίκτυο.

Για την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Η τιμή αγοράς των 4.000 Kwh που παράγονται από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι 0,17€/ Kwh γιατί η κατανάλωση ανήκει στην υψηλότερη κλίμακα τιμολόγησης.
- Για την παραγωγή μας αρκεί εξοπλισμός καλής ποιότητας πλαίσιο και μέτριας ποιότητας αντιστροφέας Νο3 διότι έχουμε λιγότερη περίσσια ενέργειας από το εάν χρησιμοποιούσαμε κατηγορίας Νο4. Το κόστος εγκατάστασης εκτιμάται στα 5.000 €.
- Επιτόκιο αναγωγής 5%.
- Πληθωρισμός 1%
- Ετήσιο κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων 2% του κόστους κατασκευής της εγκατάστασης.

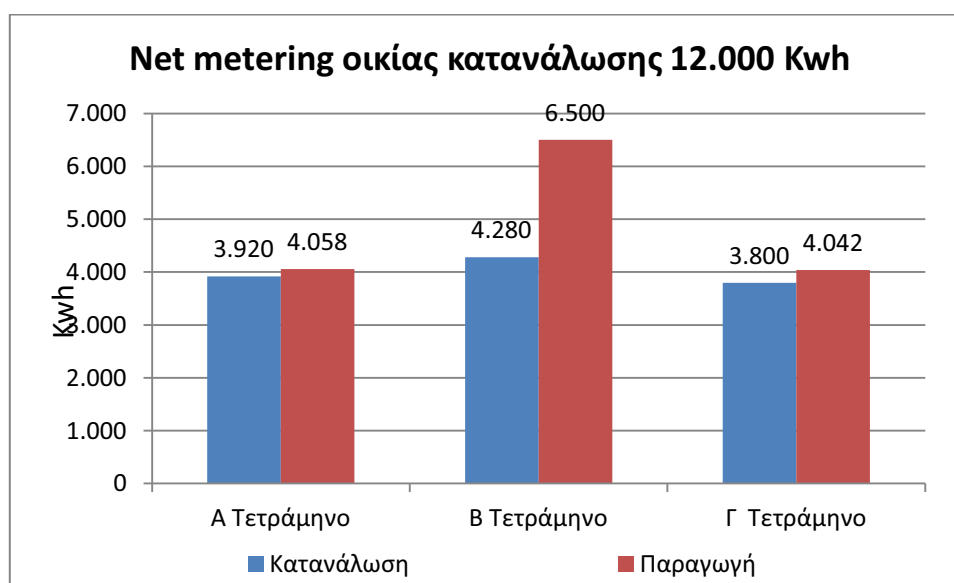
Η Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV) της όλης επένδυσης για 25 έτη είναι 2.634 € και το Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) 9,5%. Το συμπέρασμα είναι ότι είναι συμφέρουσα μία τέτοια επένδυση, παρόλο που υπάρχει μη τιμολογούμενη ενέργεια της τάξης των 1.100 Kwh. Εάν με υπουργική απόφαση πληρωθεί και η επιπλέον ενέργεια θα αυξηθεί επιπλέον

η κερδοφορία. Η επένδυση θα ήταν ζημιογόνα στην περίπτωση που η τιμολόγηση γινόταν με την τιμή της Kwh χωρίς τις προσαυξήσεις. Η ΚΠΑ θα ήταν -1.215 € και το IRR 2,6%, αλλά υπερσχύει η ΚΠΑ.

Στην περίπτωση που έχουμε οικία με ετήσιες καταναλώσεις 12.000 Kwh, για να καλύψουμε την κατανάλωση με φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, αυτή θα πρέπει να είναι ισχύος 10 Kwp κατηγορίας εξοπλισμού Νο3. Οι παραγόμενες και καταναλισκόμενες Kwh αυτές κατανέμονται ανά τετράμηνο ως εξής:

**Πίνακας 7.14:** Παραγόμενη και καταναλισκόμενη τετραμηνιαία ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β εγκατάσταση 10 Kwp στην Λάρισα.

Παραγωγή Α' τετραμήνου	Παραγωγή Β' τετραμήνου	Παραγωγή Γ' τετραμήνου
4.058 Kwh	6.500 Kwh	4.042 Kwh
Κατανάλωση Α' τετραμήνου	Κατανάλωση Β' τετραμήνου	Κατανάλωση Γ' τετραμήνου
3.920 Kwh	4.280 Kwh	3.800 Kwh
Μη τιμολογημένη ενέργεια Α' τετραμήνου	Μη τιμολογημένη ενέργεια Β' τετραμήνου	Μη τιμολογημένη ενέργεια Γ' τετραμήνου
138 Kwh	2.220 Kwh	242 Kwh



**Διάγραμμα 7.50:** Αντιπαραβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας σε οικία ετήσιας κατανάλωσης 12.000 Kwh.

Στην περίπτωση αυτή, με τα ίδια οικονομικά δεδομένα που αναφέρθηκαν πιο πάνω και χωρίς να έχουν τιμολογηθεί 2600 Kwh, η Καθαρά Παρούσα Αξία είναι 10.221 € και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης 11,4%. Η όλη επένδυση είναι συμφέρουσα. Η επένδυση θα ήταν ζημιογόνα στην περίπτωση που η τιμολόγηση γινόταν με την τιμή της Kwh χωρίς τις προσαυξήσεις. Η ΚΠΑ θα ήταν -1.205 € και το IRR 4,1%, αλλά υπερಿಸχύει η ΚΠΑ.

Κάνοντας μία σύγκριση με την επένδυση 10 Kwp στην στέγη πουλώντας σε τιμές Fits έχουμε:

**Πίνακας 7.15:** Σύγκριση επενδύσεων 10 Kwp με διαφορετική τιμολόγηση.

Επένδυση 10Kwp	ΚΠΑ	IRR
Τιμολόγηση Fit	5.776	8,8%
Τιμολόγηση Net metering	10.221	11,4%

Είναι φανερό ότι η επένδυση σε φωτοβολταϊκό σύστημα στέγης 10 Kwp με την μέθοδο τιμολόγησης net metering είναι πιο κερδοφόρα σε σχέση με τιμές Fits. Για να είναι όμως πετυχημένη μία επένδυση σε net metering θα πρέπει να επεξεργαστούμε το προφίλ των καταναλώσεών μας και να διαλέξουμε τέτοιο μέγεθος εγκατάστασης ώστε να έχουμε τις λιγότερες απώλειες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όποιον ενδιαφέρεται να επενδύσει σε αυτόν τον χώρο.

Το πρώτο συμπέρασμα που βγαίνει από το εισαγωγικό κεφάλαιο είναι ότι οι προοπτικές για νέες επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κατ' επέκταση στα φωτοβολταϊκά μακροπρόθεσμα τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ευοίωνες, διότι θα υπάρχει αύξηση της ζήτησης ενέργειας από ΑΠΕ και σε συνδυασμό με την συνεχή πτώση των τιμών του εξοπλισμού θα κάνει την τιμή της Kwh πιο ανταγωνιστική.

Η πολυκρυσταλική και μονοκρυσταλική τεχνολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων από τις διαθέσιμες εμπορικά, εξακολουθούν να είναι οι πλέον ώριμες για εκμετάλλευση.

Η εξαμηνιαία αλλαγή κλίσης των πλαισίων μας δίνει 5% και η μηνιαία αλλαγή κλίσης 7% επιπλέον προσπίπτουσα ακτινοβολία σε σχέση με πλαίσια σταθερής κλίσης για όλο το έτος για την πόλη της Λάρισας. Αντίστοιχη είναι και η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Οικονομικά είναι ασύμφορη η ημερήσια αλλαγή κλίσης και προσανατολισμού των πλαισίων.

Στο ερώτημα μεταξύ των πέντε κατηγοριών τεχνολογίας εξοπλισμού ποια είναι η πλέον συμφέρουσα, η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι η No4, δηλαδή τοποθέτηση καλού πλαισίου και αντιστροφέα. Αποδείχθηκε ότι ο πλέον βέλτιστος τεχνολογικά εξοπλισμός δεν αποφέρει και τις καλύτερες οικονομικές αποδόσεις.

Όλες οι επενδύσεις μεγέθους από 10 Kwp έως 1 Mwp για τις τρέχουσες τιμές πώλησης της Kwh παρουσιάζουν θετικές Καθαρές Παρούσες Αξίες (NPV) με εξαίρεση αυτή των 150 Kwp.

Επένδυση ισχύος ίσης ή λίγο μεγαλύτερης από τα 150 Kwp, είναι οικονομικά ασύμφορη διότι προστίθεται το επιπλέον κόστος της τοποθέτησης υποσταθμού με αποτέλεσμα να λαμβάνονται αρνητικές Καθαρές Παρούσες Αξίες (NPV).

Σε ότι αφορά το μέγεθος της εγκατάστασης και κατ' επέκταση της επένδυσης, δεν συμφέρει οικονομικά επένδυση λίγο μεγαλύτερης ισχύος από τα 100 Kwp διότι αλλάζει η τιμή πώλησης της Kwh με αποτέλεσμα την μείωση της Καθαρής Παρούσας Αξίας.

Συγκρίνοντας τους Εσωτερικούς Βαθμούς Απόδοσης (IRR) όλων των μεγεθών επένδυσης για κατηγορία εξοπλισμού No4 διαπιστώνουμε ότι η επένδυση των 10 Kwp σε

στέγη και του 1Μwρ έχουν τις υψηλότερες τιμές και άρα τις καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με το επενδυμένο κεφάλαιο. Αυτό συμβαίνει διότι στην πρώτη περίπτωση υπάρχει η καλύτερη τιμή πώλησης της Kwh, ενώ στην δεύτερη περίπτωση υπάρχει οικονομία κλίμακας.

Εφαρμόζοντας τις Υπουργικές Αποφάσεις Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1289/9012 και Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 στην τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας, εγκατάστασης 10 Kwp, θα πρέπει η επένδυση να πραγματοποιηθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Εάν η επένδυση πραγματοποιηθεί μεταγενέστερα από τον Αύγουστο του 2016 για αστικό περιβάλλον και από τον Φεβρουάριο του 2017 για αγροτικό περιβάλλον, αυτή καθίσταται κερδοφόρα μόνο εάν έχουμε πτώση του κόστους εγκατάστασης κατά 5,5% και άνω για επένδυση σε αστικό περιβάλλον και 5% και άνω για αγροτικό.

Με εφαρμογή της Υπουργικής Απόφασης Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 στον τρόπο τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, για όλα τα μεγέθη εγκαταστημένης ισχύος εκτός της 10 Kwp υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την απόδοση της επένδυσης. Με βάση τις μέσες Οριακές Τιμές Συστήματος της προηγούμενης δεκαετίας μόνο για την τιμή του έτους 2008 η επένδυση ήταν κερδοφόρα. Υπό αυτές τις συνθήκες δεν συνίσταται άμεσα η πραγματοποίηση της επένδυσης. Εάν υπάρχει πτώση της αξίας στο μέλλον και ανάλογα με το πόση θα είναι αυτή, τότε θα πρέπει να γίνει νέα οικονομική ανάλυση.

Η εφαρμογή του Net-Metering σε φωτοβολταϊκή επένδυση στέγης, με σκοπό της απεξάρτησης από την ΔΕΗ, για μία μέσης κατανάλωσης οικογένεια, καθίσταται οικονομικά συμφέρουσα παρ' όλο που ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο χωρίς πληρωμή. Σε περίπτωση που ληφθεί υπουργική απόφαση πληρωμής της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας, τότε η επένδυση καθίσταται πιο κερδοφόρα.

Θέματα για μελλοντική έρευνα με βάση την παρούσα εργασία θα μπορούσαν να είναι η ανάλυση ευαισθησίας με χρήση διαφορετικών τιμών στην Καθαρή Παρούσα Αξία, στον πληθωρισμό, στο κόστος συντήρησης. Θα μπορούσε να γίνει οικονομική αξιολόγηση λαμβάνοντας υπ' όψιν την φορολογία, τις αποσβέσεις του εξοπλισμού και την επιπλέον μείωση της τιμής κατασκευής της εγκατάστασης.

Η ένταξη τεχνολογιών αποθήκευσης και η μελέτη υβριδικών ενεργειακών συστημάτων (π.χ. φωτοβολταϊκών και αιολικών σε συνδυασμό με συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας για την κάλυψη και των θερμικών και ψυκτικών φορτίων κατανάλωσης).

Μελέτη αξιοπιστίας-διαχείρισης κινδύνου φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Μελέτη πρόβλεψης φωτοβολταϊκής παραγωγής.

Υπολογισμός των κερδών φωτοβολταϊκής παραγωγής από αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>, από μείωση των απωλειών και από τον χρόνο αναβολής επένδυσης σε τμήματα του δικτύου (π.χ. τοποθέτησης ή αντικατάστασης ενός Μ/Σ ή καλωδίων)



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Β. Γαλανού, (2010), “Τεχνικά Ιουλίου-Αυγούστου”, Πανελλήνιος Σύνδεσμος Τεχνικών Εταιριών
2. Π. Γεωργιλιάκης, (2006), “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης
3. Ι. Δέρβος, (2007), “Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις”, ΕΜΠ
4. Ελληνική Στατιστική Αρχή, “Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά 2011-2012”, 2013
5. Σ.Ν. Καπλάνης, “Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων”, 2004, ΙΩΝ
6. Σ. Πολύζος, (2011), “Διοίκηση και Διαχείριση Έργων. Μέθοδοι και Τεχνικές”, Κριτική
7. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, (2014), “Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά”.
8. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, (2010), “Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών”, Α΄ έκδοση, ΤΕΕ
9. Δ. Τσαλέμης κα, (2012), “Έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης”, ΥΠΕΚΑ
10. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, (2011), “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, Ζήτη
11. R. Gottschalg, T.R. Betts, A. Eeles, S.R. Williams, J. Zhu, (2013), “Influences on the energy delivery of thin film photovoltaic modules” ,119 Elsevier, pp. 169-180
12. Regan Arndt and Dr. Ing Robert Puto, (2008), “Basic Understanding of IEC Standard Testing For Photovoltaic Panels”, TÜV SÜD Product Service
13. L. El Chaar, L.A. Lamont, N. El Zein, (2011), “Review of photovoltaic technologies”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 pp. 2165–2175
14. Tian Pau Chang, (2009), ‘The sun’s apparent position and the optimal tilt angle of a solar collector in the northern hemisphere’. Solar Energy 83 1274-1284
15. J.A. Duffie, W.A. Beckman, (1982), “Solar engineering of thermal processes”, Wiley, New York

16. M.S. El-Shobokshy, F.M. Hussein, (1993), “Degradation of photovoltaic cell performance due to dust deposition on its surface”, *Renewable Energy*, 3 pp. 585–590
17. C. Ferekides, J. Britt, (1994), “CdTe Solar Cells With Efficiencies Over 15%”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 35 (September 1994), p.p. 255-262
18. A. Goetzberger, C. Hebling, H.W. Schock, (2003), “Photovoltaic materials, history, status and outlook”, *Materials Science and Engineering*, R 40 pp. 1–46
19. T. Gorter, A.H.M.E. Reinders, (2012), “A comparison of 15 polymers for application in photovoltaic modules in PV-powered boats”, *Applied Energy*, 92 pp. 286–297
20. M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, (2011), “Solar Cell Efficiency Tables (version 37)”, *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, 19, p.p. 84- 92
21. M.A. Green, (2005), “Silicon photovoltaic modules: a brief history of the first 50 years, *Progress in Photovoltaics*”, 13 pp. 447–455
22. C. Gueymard, D. Myers, K. Emery, (2002), Proposed Reference Irradiance Spectra for Solar Energy Systems Testing. *Solar Energy*, 73 , p.p. 443 467
23. S. Hegedus, (2006), “Thin Film Solar Modules: the Low Cost, High Throughput and Versatile Alternative to Si Wafers”, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 14 , p.p. 393-411
24. Youichi Hirata and Tatsuo Tani, (1995), “Output variation of photovoltaic modules with environmental factors-I. The effect of spectral solar radiation on photovoltaic module output”, *Solar Energy Vol. 55, No. 6*, pp. 463-468
25. Murat Karica, Mehmet Simset, Yunus Bahur, Sedat Demirkol, (2004), “Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa”, 29, pp. 1265-1275
26. E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, V. Tzitzilonis, (2009), “Development of an FPGA-based system for real-time simulation of photovoltaic modules”, *Microelectronics Journal*, 40 pp. 1094–1102
27. R. Kumar, M.A. Rosen, (2011), “A critical review of photovoltaic-thermal solar collectors for air heating”, *Applied Energy*, 88 pp. 3603–3614
28. G. Lewis, (1987), “Optimum tilt of solar collector” ,*Solar and Wind Energy*, 4, pp. 407-410

29. P.J. Lunde, (1980), "Solar thermal engineering" Wiley, New York
30. G. Makrides, B. Zinsser, M. Nortron, G.E. Georghiou, (2012), "Performance of photovoltaics under actual operating conditions" Third Generation Photovoltaics, book editor by V. Fthenakis
31. National Solar Power Research Institute, (1998), "Fundamentals of PV material"
32. Bhubaneswari Parida, S. Iniyana, Ranko Goic, (2011), "A review of solar photovoltaic technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews", 15, pp. 1625–1636
33. J. F. Randall, J. Jacot, (2003), "Is AM1.5 Applicable in Practice? Modelling Eight Photovoltaic Materials With Respect to Light Intensity and Two Spectra". Renewable Energy, 28 , p.p. 1851-1864
34. N. H. Reich, W. G. J. H. M. van Sark, E. A. Alsema, R. W. Lof, R. E. I. Schropp, W. C. Sinke, W. C. Turkenburg, (2009), "Crystalline Silicon Cell Performance at Low Light Intensities". Solar Energy Materials and Solar Cells, 93, p.p. 1471-1481
35. Travis Sarver, Ali Al-Qaraghuli, Lawrence L. Kazmerski, (2013), "A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches", Renewable and Sustainable Energy Reviews 22, p.p. 698–733
36. M. Sauhders, P. Lewis and A. Thornhill, (2000), "Research Methods for Business Students", 2<sup>nd</sup> Edition, Financial Times/Prentice Hall.
37. V.V. Tyagi, Nurul A.A. Rahimb, N.A. Rahimb, Jeyraj A./L. Selvaraj, (2013), "Progress in solar PV technology: Research and achievement", Renewable and Sustainable Energy Reviews 20 443–461
38. O.C. Vilela, N. Fraidenraich, C. Tiba, (2003), "Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors: experiments and simulation", Solar Energy, 74 pp. 45–52
39. Μ. Λειβαδά, (2011), "Μελέτη ηλιακής ακτινοβολίας για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα", Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
40. Γ. Μάρκου, (2009), "Αρχές σχεδιασμού φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων", Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ
41. Joint Research Center, "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)", Διαθέσιμο από: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

42. ΡΑΕ, “Διαμόρφωση Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ)”, Διαθέσιμο από: [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/electricity/market/wholesale/price.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/wholesale/price.csp)
43. ΔΕΗ, “Οικιακά Τιμολόγια”, Διαθέσιμο από: <http://www.dei.gr/el/eksupiretisi-pelatwn/oikiakoi-pelates/timologia>
44. ΔΕΗ, “Έντυπο λογαριασμού”, Διαθέσιμο από: <http://www.dei.gr/el/oikiakoi-pelates/o-logariasmos-sas/entupo-logariasmou>
45. ΔΕΣΜΗΕ, “Φορτίο συστήματος, Οριακή τιμή συστήματος”, Διαθέσιμο από: <http://www.desmie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/anafores-dimosieyseis-agoras/>
46. ΛΑΓΗΕ, “Μηνιαία Δελτία ΗΕΠ”, Διαθέσιμο από: <http://www.lagie.gr/agera/analysis-agoras/miniaia-deltia-iep/>
47. Econ, “Φωτοβολταϊκές μετρήσεις και συγκρίσεις”, Διαθέσιμο από: [http://www.econ3.gr/readmore.php?article\\_id=11941295489054](http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=11941295489054)
48. Energia, (2012), “Η Μακροχρόνια Σχέση Μεταξύ της Ενέργειας, του Πληθυσμού και της Οικονομίας”, Διαθέσιμο από: [http://www.energia.gr/article.asp?art\\_id=61737](http://www.energia.gr/article.asp?art_id=61737)
49. Joint Research Center, “Photovoltaic Geographical Information System-Interactive Maps”, Διαθέσιμο από: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Πίνακας 1:** Μέση μηναία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Ιανουάριος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	55,100	31 <sup>0</sup>	88,109	61 <sup>0</sup>	100,634
1 <sup>0</sup>	56,399	32 <sup>0</sup>	88,870	62 <sup>0</sup>	100,665
2 <sup>0</sup>	57,687	33 <sup>0</sup>	89,609	<b>63<sup>0</sup></b>	<b>100,670</b>
3 <sup>0</sup>	58,961	34 <sup>0</sup>	90,326	64 <sup>0</sup>	100,650
4 <sup>0</sup>	60,223	35 <sup>0</sup>	91,020	65 <sup>0</sup>	100,604
5 <sup>0</sup>	61,472	36 <sup>0</sup>	91,692	66 <sup>0</sup>	100,533
6 <sup>0</sup>	62,707	37 <sup>0</sup>	92,341	67 <sup>0</sup>	100,435
7 <sup>0</sup>	63,927	38 <sup>0</sup>	92,966	68 <sup>0</sup>	100,313
8 <sup>0</sup>	65,134	39 <sup>0</sup>	93,568	69 <sup>0</sup>	100,165
9 <sup>0</sup>	66,325	40 <sup>0</sup>	94,147	70 <sup>0</sup>	99,991
10 <sup>0</sup>	67,501	41 <sup>0</sup>	94,703	71 <sup>0</sup>	99,792
11 <sup>0</sup>	68,662	42 <sup>0</sup>	95,234	72 <sup>0</sup>	99,567
12 <sup>0</sup>	69,807	43 <sup>0</sup>	95,741	73 <sup>0</sup>	99,317
13 <sup>0</sup>	70,936	44 <sup>0</sup>	96,225	74 <sup>0</sup>	99,042
14 <sup>0</sup>	72,048	45 <sup>0</sup>	96,684	75 <sup>0</sup>	98,742
15 <sup>0</sup>	73,143	46 <sup>0</sup>	97,118	76 <sup>0</sup>	98,417
16 <sup>0</sup>	74,221	47 <sup>0</sup>	97,528	77 <sup>0</sup>	98,067
17 <sup>0</sup>	75,281	48 <sup>0</sup>	97,913	78 <sup>0</sup>	97,692
18 <sup>0</sup>	76,323	49 <sup>0</sup>	98,274	79 <sup>0</sup>	97,292
19 <sup>0</sup>	77,348	50 <sup>0</sup>	98,610	80 <sup>0</sup>	96,868
20 <sup>0</sup>	78,353	51 <sup>0</sup>	98,920	81 <sup>0</sup>	96,419
21 <sup>0</sup>	79,340	52 <sup>0</sup>	99,206	82 <sup>0</sup>	95,946
22 <sup>0</sup>	80,308	53 <sup>0</sup>	99,466	83 <sup>0</sup>	95,449
23 <sup>0</sup>	81,256	54 <sup>0</sup>	99,701	84 <sup>0</sup>	94,927
24 <sup>0</sup>	82,184	55 <sup>0</sup>	99,911	85 <sup>0</sup>	94,382
25 <sup>0</sup>	83,093	56 <sup>0</sup>	100,095	86 <sup>0</sup>	93,813
26 <sup>0</sup>	83,981	57 <sup>0</sup>	100,254	87 <sup>0</sup>	93,220
27 <sup>0</sup>	84,849	58 <sup>0</sup>	100,387	88 <sup>0</sup>	92,604
28 <sup>0</sup>	85,696	59 <sup>0</sup>	100,495	89 <sup>0</sup>	91,965
29 <sup>0</sup>	86,522	60 <sup>0</sup>	100,577	90 <sup>0</sup>	91,303
30 <sup>0</sup>	87,326				

**Πίνακας 2:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Φεβρουάριος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	71,400	31 <sup>0</sup>	98,269	61 <sup>0</sup>	103,471
1 <sup>0</sup>	72,544	32 <sup>0</sup>	98,797	62 <sup>0</sup>	103,258
2 <sup>0</sup>	73,672	33 <sup>0</sup>	99,301	63 <sup>0</sup>	103,020
3 <sup>0</sup>	74,784	34 <sup>0</sup>	99,782	64 <sup>0</sup>	102,757
4 <sup>0</sup>	75,880	35 <sup>0</sup>	100,239	65 <sup>0</sup>	102,469
5 <sup>0</sup>	76,959	36 <sup>0</sup>	100,673	66 <sup>0</sup>	102,157
6 <sup>0</sup>	78,022	37 <sup>0</sup>	101,082	67 <sup>0</sup>	101,820
7 <sup>0</sup>	79,068	38 <sup>0</sup>	101,467	68 <sup>0</sup>	101,459
8 <sup>0</sup>	80,096	39 <sup>0</sup>	101,827	69 <sup>0</sup>	101,074
9 <sup>0</sup>	81,106	40 <sup>0</sup>	102,164	70 <sup>0</sup>	100,664
10 <sup>0</sup>	82,098	41 <sup>0</sup>	102,476	71 <sup>0</sup>	100,230
11 <sup>0</sup>	83,072	42 <sup>0</sup>	102,763	72 <sup>0</sup>	99,772
12 <sup>0</sup>	84,027	43 <sup>0</sup>	103,025	73 <sup>0</sup>	99,291
13 <sup>0</sup>	84,963	44 <sup>0</sup>	103,263	74 <sup>0</sup>	98,786
14 <sup>0</sup>	85,879	45 <sup>0</sup>	103,476	75 <sup>0</sup>	98,257
15 <sup>0</sup>	86,777	46 <sup>0</sup>	103,664	76 <sup>0</sup>	97,705
16 <sup>0</sup>	87,654	47 <sup>0</sup>	103,826	77 <sup>0</sup>	97,130
17 <sup>0</sup>	88,511	48 <sup>0</sup>	103,964	78 <sup>0</sup>	96,532
18 <sup>0</sup>	89,348	49 <sup>0</sup>	104,077	79 <sup>0</sup>	95,911
19 <sup>0</sup>	90,165	50 <sup>0</sup>	104,165	80 <sup>0</sup>	95,268
20 <sup>0</sup>	90,960	51 <sup>0</sup>	104,228	81 <sup>0</sup>	94,602
21 <sup>0</sup>	91,734	52 <sup>0</sup>	104,265	82 <sup>0</sup>	93,914
22 <sup>0</sup>	92,487	<b>53<sup>0</sup></b>	<b>104,277</b>	83 <sup>0</sup>	93,204
23 <sup>0</sup>	93,219	54 <sup>0</sup>	104,265	84 <sup>0</sup>	92,472
24 <sup>0</sup>	93,928	55 <sup>0</sup>	104,227	85 <sup>0</sup>	91,719
25 <sup>0</sup>	94,616	56 <sup>0</sup>	104,163	86 <sup>0</sup>	90,944
26 <sup>0</sup>	95,282	57 <sup>0</sup>	104,075	87 <sup>0</sup>	90,148
27 <sup>0</sup>	95,925	58 <sup>0</sup>	103,962	88 <sup>0</sup>	89,331
28 <sup>0</sup>	96,545	59 <sup>0</sup>	103,823	89 <sup>0</sup>	88,494
29 <sup>0</sup>	97,142	60 <sup>0</sup>	103,660	90 <sup>0</sup>	87,636
30 <sup>0</sup>	97,717				

**Πίνακας 3:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Μάρτιος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	112,100	31 <sup>0</sup>	132,511	61 <sup>0</sup>	125,633
1 <sup>0</sup>	113,155	32 <sup>0</sup>	132,713	62 <sup>0</sup>	124,953
2 <sup>0</sup>	114,186	33 <sup>0</sup>	132,886	63 <sup>0</sup>	124,246
3 <sup>0</sup>	115,193	34 <sup>0</sup>	133,029	64 <sup>0</sup>	123,512
4 <sup>0</sup>	116,175	35 <sup>0</sup>	133,142	65 <sup>0</sup>	122,750
5 <sup>0</sup>	117,132	36 <sup>0</sup>	133,226	66 <sup>0</sup>	121,962
6 <sup>0</sup>	118,064	37 <sup>0</sup>	133,279	67 <sup>0</sup>	121,147
7 <sup>0</sup>	118,971	<b>38<sup>0</sup></b>	<b>133,301</b>	68 <sup>0</sup>	120,306
8 <sup>0</sup>	119,852	39 <sup>0</sup>	133,294	69 <sup>0</sup>	119,438
9 <sup>0</sup>	120,707	40 <sup>0</sup>	133,257	70 <sup>0</sup>	118,545
10 <sup>0</sup>	121,536	41 <sup>0</sup>	133,190	71 <sup>0</sup>	117,626
11 <sup>0</sup>	122,338	42 <sup>0</sup>	133,093	72 <sup>0</sup>	116,682
12 <sup>0</sup>	123,114	43 <sup>0</sup>	132,965	73 <sup>0</sup>	115,713
13 <sup>0</sup>	123,863	44 <sup>0</sup>	132,808	74 <sup>0</sup>	114,719
14 <sup>0</sup>	124,584	45 <sup>0</sup>	132,621	75 <sup>0</sup>	113,701
15 <sup>0</sup>	125,279	46 <sup>0</sup>	132,404	76 <sup>0</sup>	112,658
16 <sup>0</sup>	125,945	47 <sup>0</sup>	132,157	77 <sup>0</sup>	111,592
17 <sup>0</sup>	126,584	48 <sup>0</sup>	131,881	78 <sup>0</sup>	110,503
18 <sup>0</sup>	127,194	49 <sup>0</sup>	131,575	79 <sup>0</sup>	109,390
19 <sup>0</sup>	127,777	50 <sup>0</sup>	131,239	80 <sup>0</sup>	108,255
20 <sup>0</sup>	128,331	51 <sup>0</sup>	130,874	81 <sup>0</sup>	107,097
21 <sup>0</sup>	128,856	52 <sup>0</sup>	130,479	82 <sup>0</sup>	105,917
22 <sup>0</sup>	129,353	53 <sup>0</sup>	130,056	83 <sup>0</sup>	104,715
23 <sup>0</sup>	129,821	54 <sup>0</sup>	129,603	84 <sup>0</sup>	103,492
24 <sup>0</sup>	130,260	55 <sup>0</sup>	129,122	85 <sup>0</sup>	102,248
25 <sup>0</sup>	130,670	56 <sup>0</sup>	128,611	86 <sup>0</sup>	100,983
26 <sup>0</sup>	131,050	57 <sup>0</sup>	128,072	87 <sup>0</sup>	99,698
27 <sup>0</sup>	131,402	58 <sup>0</sup>	127,505	88 <sup>0</sup>	98,394
28 <sup>0</sup>	131,723	59 <sup>0</sup>	126,909	89 <sup>0</sup>	97,070
29 <sup>0</sup>	132,015	60 <sup>0</sup>	126,285	90 <sup>0</sup>	95,727
30 <sup>0</sup>	132,278				

**Πίνακας 4:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιο στην περιοχή Λάρισσας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Απρίλιος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	151,100	31 <sup>0</sup>	155,843	61 <sup>0</sup>	132,101
1 <sup>0</sup>	151,710	32 <sup>0</sup>	155,489	62 <sup>0</sup>	130,881
2 <sup>0</sup>	152,292	33 <sup>0</sup>	155,103	63 <sup>0</sup>	129,636
3 <sup>0</sup>	152,846	34 <sup>0</sup>	154,685	64 <sup>0</sup>	128,367
4 <sup>0</sup>	153,370	35 <sup>0</sup>	154,236	65 <sup>0</sup>	127,075
5 <sup>0</sup>	153,866	36 <sup>0</sup>	153,756	66 <sup>0</sup>	125,760
6 <sup>0</sup>	154,331	37 <sup>0</sup>	153,244	67 <sup>0</sup>	124,423
7 <sup>0</sup>	154,767	38 <sup>0</sup>	152,701	68 <sup>0</sup>	123,063
8 <sup>0</sup>	155,173	39 <sup>0</sup>	152,127	69 <sup>0</sup>	121,682
9 <sup>0</sup>	155,549	40 <sup>0</sup>	151,522	70 <sup>0</sup>	120,280
10 <sup>0</sup>	155,894	41 <sup>0</sup>	150,887	71 <sup>0</sup>	118,856
11 <sup>0</sup>	156,208	42 <sup>0</sup>	150,221	72 <sup>0</sup>	117,413
12 <sup>0</sup>	156,491	43 <sup>0</sup>	149,525	73 <sup>0</sup>	115,950
13 <sup>0</sup>	156,743	44 <sup>0</sup>	148,798	74 <sup>0</sup>	114,467
14 <sup>0</sup>	156,964	45 <sup>0</sup>	148,042	75 <sup>0</sup>	112,966
15 <sup>0</sup>	157,154	46 <sup>0</sup>	147,257	76 <sup>0</sup>	111,446
16 <sup>0</sup>	157,311	47 <sup>0</sup>	146,441	77 <sup>0</sup>	109,909
17 <sup>0</sup>	157,438	48 <sup>0</sup>	145,597	78 <sup>0</sup>	108,355
18 <sup>0</sup>	157,532	49 <sup>0</sup>	144,724	79 <sup>0</sup>	106,784
19 <sup>0</sup>	157,594	50 <sup>0</sup>	143,822	80 <sup>0</sup>	105,197
<b>20<sup>0</sup></b>	<b>157,625</b>	51 <sup>0</sup>	142,892	81 <sup>0</sup>	103,594
21 <sup>0</sup>	157,623	52 <sup>0</sup>	141,934	82 <sup>0</sup>	101,976
22 <sup>0</sup>	157,590	53 <sup>0</sup>	140,948	83 <sup>0</sup>	100,344
23 <sup>0</sup>	157,524	54 <sup>0</sup>	139,935	84 <sup>0</sup>	98,699
24 <sup>0</sup>	157,426	55 <sup>0</sup>	138,894	85 <sup>0</sup>	97,040
25 <sup>0</sup>	157,296	56 <sup>0</sup>	137,827	86 <sup>0</sup>	95,369
26 <sup>0</sup>	157,134	57 <sup>0</sup>	136,733	87 <sup>0</sup>	93,686
27 <sup>0</sup>	156,940	58 <sup>0</sup>	135,614	88 <sup>0</sup>	91,991
28 <sup>0</sup>	156,714	59 <sup>0</sup>	134,468	89 <sup>0</sup>	90,286
29 <sup>0</sup>	156,455	60 <sup>0</sup>	133,297	90 <sup>0</sup>	88,572
30 <sup>0</sup>	156,165				



**Πίνακας 5:** Μέση μηναία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

<b>Μάιος</b>					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
<b>0<sup>0</sup></b>	<b>190,900</b>	31 <sup>0</sup>	178,078	61 <sup>0</sup>	139,559
1 <sup>0</sup>	190,880	32 <sup>0</sup>	177,192	62 <sup>0</sup>	137,908
2 <sup>0</sup>	190,841	33 <sup>0</sup>	176,276	63 <sup>0</sup>	136,238
3 <sup>0</sup>	190,781	34 <sup>0</sup>	175,329	64 <sup>0</sup>	134,550
4 <sup>0</sup>	190,700	35 <sup>0</sup>	174,354	65 <sup>0</sup>	132,844
5 <sup>0</sup>	190,595	36 <sup>0</sup>	173,349	66 <sup>0</sup>	131,122
6 <sup>0</sup>	190,467	37 <sup>0</sup>	172,314	67 <sup>0</sup>	129,383
7 <sup>0</sup>	190,315	38 <sup>0</sup>	171,251	68 <sup>0</sup>	127,629
8 <sup>0</sup>	190,137	39 <sup>0</sup>	170,159	69 <sup>0</sup>	125,859
9 <sup>0</sup>	189,933	40 <sup>0</sup>	169,039	70 <sup>0</sup>	124,075
10 <sup>0</sup>	189,702	41 <sup>0</sup>	167,890	71 <sup>0</sup>	122,278
11 <sup>0</sup>	189,443	42 <sup>0</sup>	166,714	72 <sup>0</sup>	120,467
12 <sup>0</sup>	189,157	43 <sup>0</sup>	165,510	73 <sup>0</sup>	118,644
13 <sup>0</sup>	188,843	44 <sup>0</sup>	164,279	74 <sup>0</sup>	116,810
14 <sup>0</sup>	188,500	45 <sup>0</sup>	163,021	75 <sup>0</sup>	114,964
15 <sup>0</sup>	188,128	46 <sup>0</sup>	161,736	76 <sup>0</sup>	113,108
16 <sup>0</sup>	187,726	47 <sup>0</sup>	160,425	77 <sup>0</sup>	111,243
17 <sup>0</sup>	187,295	48 <sup>0</sup>	159,089	78 <sup>0</sup>	109,369
18 <sup>0</sup>	186,834	49 <sup>0</sup>	157,727	79 <sup>0</sup>	107,487
19 <sup>0</sup>	186,344	50 <sup>0</sup>	156,340	80 <sup>0</sup>	105,598
20 <sup>0</sup>	185,822	51 <sup>0</sup>	154,928	81 <sup>0</sup>	103,703
21 <sup>0</sup>	185,271	52 <sup>0</sup>	153,492	82 <sup>0</sup>	101,802
22 <sup>0</sup>	184,689	53 <sup>0</sup>	152,033	83 <sup>0</sup>	99,897
23 <sup>0</sup>	184,077	54 <sup>0</sup>	150,550	84 <sup>0</sup>	97,988
24 <sup>0</sup>	183,434	55 <sup>0</sup>	149,044	85 <sup>0</sup>	96,076
25 <sup>0</sup>	182,760	56 <sup>0</sup>	147,516	86 <sup>0</sup>	94,162
26 <sup>0</sup>	182,056	57 <sup>0</sup>	145,967	87 <sup>0</sup>	92,248
27 <sup>0</sup>	181,321	58 <sup>0</sup>	144,395	88 <sup>0</sup>	90,334
28 <sup>0</sup>	180,556	59 <sup>0</sup>	142,803	89 <sup>0</sup>	88,421
29 <sup>0</sup>	179,760	60 <sup>0</sup>	141,191	90 <sup>0</sup>	86,511
30 <sup>0</sup>	178,934				

**Πίνακας 6:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Ιούνιος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
<b>0<sup>0</sup></b>	<b>210,800</b>	31 <sup>0</sup>	187,641	61 <sup>0</sup>	141,645
1 <sup>0</sup>	210,352	32 <sup>0</sup>	186,472	62 <sup>0</sup>	139,787
2 <sup>0</sup>	209,898	33 <sup>0</sup>	185,276	63 <sup>0</sup>	137,914
3 <sup>0</sup>	209,434	34 <sup>0</sup>	184,052	64 <sup>0</sup>	136,026
4 <sup>0</sup>	208,959	35 <sup>0</sup>	182,800	65 <sup>0</sup>	134,125
5 <sup>0</sup>	208,471	36 <sup>0</sup>	181,521	66 <sup>0</sup>	132,210
6 <sup>0</sup>	207,967	37 <sup>0</sup>	180,215	67 <sup>0</sup>	130,283
7 <sup>0</sup>	207,446	38 <sup>0</sup>	178,882	68 <sup>0</sup>	128,344
8 <sup>0</sup>	206,906	39 <sup>0</sup>	177,522	69 <sup>0</sup>	126,394
9 <sup>0</sup>	206,347	40 <sup>0</sup>	176,136	70 <sup>0</sup>	124,433
10 <sup>0</sup>	205,766	41 <sup>0</sup>	174,724	71 <sup>0</sup>	122,463
11 <sup>0</sup>	205,164	42 <sup>0</sup>	173,287	72 <sup>0</sup>	120,485
12 <sup>0</sup>	204,539	43 <sup>0</sup>	171,824	73 <sup>0</sup>	118,498
13 <sup>0</sup>	203,890	44 <sup>0</sup>	170,336	74 <sup>0</sup>	116,505
14 <sup>0</sup>	203,217	45 <sup>0</sup>	168,823	75 <sup>0</sup>	114,505
15 <sup>0</sup>	202,518	46 <sup>0</sup>	167,286	76 <sup>0</sup>	112,499
16 <sup>0</sup>	201,794	47 <sup>0</sup>	165,726	77 <sup>0</sup>	110,490
17 <sup>0</sup>	201,044	48 <sup>0</sup>	164,142	78 <sup>0</sup>	108,476
18 <sup>0</sup>	200,267	49 <sup>0</sup>	162,535	79 <sup>0</sup>	106,460
19 <sup>0</sup>	199,464	50 <sup>0</sup>	160,905	80 <sup>0</sup>	104,442
20 <sup>0</sup>	198,633	51 <sup>0</sup>	159,254	81 <sup>0</sup>	102,424
21 <sup>0</sup>	197,774	52 <sup>0</sup>	157,581	82 <sup>0</sup>	100,406
22 <sup>0</sup>	196,888	53 <sup>0</sup>	155,887	83 <sup>0</sup>	98,389
23 <sup>0</sup>	195,973	54 <sup>0</sup>	154,173	84 <sup>0</sup>	96,375
24 <sup>0</sup>	195,031	55 <sup>0</sup>	152,439	85 <sup>0</sup>	94,364
25 <sup>0</sup>	194,060	56 <sup>0</sup>	150,685	86 <sup>0</sup>	92,359
26 <sup>0</sup>	193,061	57 <sup>0</sup>	148,912	87 <sup>0</sup>	90,359
27 <sup>0</sup>	192,033	58 <sup>0</sup>	147,122	88 <sup>0</sup>	88,367
28 <sup>0</sup>	190,978	59 <sup>0</sup>	145,313	89 <sup>0</sup>	86,384
29 <sup>0</sup>	189,894	60 <sup>0</sup>	143,487	90 <sup>0</sup>	84,411
30 <sup>0</sup>	188,781				

**Πίνακας 7:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Ιούλιος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
<b>0<sup>0</sup></b>	<b>215,800</b>	31 <sup>0</sup>	195,936	61 <sup>0</sup>	149,876
1 <sup>0</sup>	215,532	32 <sup>0</sup>	194,813	62 <sup>0</sup>	147,967
2 <sup>0</sup>	215,249	33 <sup>0</sup>	193,658	63 <sup>0</sup>	146,040
3 <sup>0</sup>	214,951	34 <sup>0</sup>	192,473	64 <sup>0</sup>	144,096
4 <sup>0</sup>	214,636	35 <sup>0</sup>	191,256	65 <sup>0</sup>	142,134
5 <sup>0</sup>	214,301	36 <sup>0</sup>	190,009	66 <sup>0</sup>	140,156
6 <sup>0</sup>	213,945	37 <sup>0</sup>	188,731	67 <sup>0</sup>	138,163
7 <sup>0</sup>	213,566	38 <sup>0</sup>	187,423	68 <sup>0</sup>	136,155
8 <sup>0</sup>	213,164	39 <sup>0</sup>	186,085	69 <sup>0</sup>	134,133
9 <sup>0</sup>	212,738	40 <sup>0</sup>	184,718	70 <sup>0</sup>	132,098
10 <sup>0</sup>	212,286	41 <sup>0</sup>	183,321	71 <sup>0</sup>	130,051
11 <sup>0</sup>	211,807	42 <sup>0</sup>	181,895	72 <sup>0</sup>	127,991
12 <sup>0</sup>	211,301	43 <sup>0</sup>	180,441	73 <sup>0</sup>	125,922
13 <sup>0</sup>	210,767	44 <sup>0</sup>	178,959	74 <sup>0</sup>	123,842
14 <sup>0</sup>	210,205	45 <sup>0</sup>	177,448	75 <sup>0</sup>	121,752
15 <sup>0</sup>	209,613	46 <sup>0</sup>	175,911	76 <sup>0</sup>	119,655
16 <sup>0</sup>	208,992	47 <sup>0</sup>	174,346	77 <sup>0</sup>	117,550
17 <sup>0</sup>	208,341	48 <sup>0</sup>	172,755	78 <sup>0</sup>	115,439
18 <sup>0</sup>	207,659	49 <sup>0</sup>	171,137	79 <sup>0</sup>	113,323
19 <sup>0</sup>	206,946	50 <sup>0</sup>	169,494	80 <sup>0</sup>	111,201
20 <sup>0</sup>	206,202	51 <sup>0</sup>	167,826	81 <sup>0</sup>	109,077
21 <sup>0</sup>	205,428	52 <sup>0</sup>	166,133	82 <sup>0</sup>	106,949
22 <sup>0</sup>	204,621	53 <sup>0</sup>	164,416	83 <sup>0</sup>	104,821
23 <sup>0</sup>	203,783	54 <sup>0</sup>	162,675	84 <sup>0</sup>	102,692
24 <sup>0</sup>	202,914	55 <sup>0</sup>	160,911	85 <sup>0</sup>	100,563
25 <sup>0</sup>	202,012	56 <sup>0</sup>	159,125	86 <sup>0</sup>	98,437
26 <sup>0</sup>	201,079	57 <sup>0</sup>	157,317	87 <sup>0</sup>	96,314
27 <sup>0</sup>	200,114	58 <sup>0</sup>	155,487	88 <sup>0</sup>	94,195
28 <sup>0</sup>	199,117	59 <sup>0</sup>	153,637	89 <sup>0</sup>	92,083
29 <sup>0</sup>	198,088	60 <sup>0</sup>	151,766	90 <sup>0</sup>	89,977
30 <sup>0</sup>	197,028				

**Πίνακας 8:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Αύγουστο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Αύγουστος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	194,300	31 <sup>0</sup>	192,564	61 <sup>0</sup>	157,257
1 <sup>0</sup>	194,779	32 <sup>0</sup>	191,903	62 <sup>0</sup>	155,585
2 <sup>0</sup>	195,227	33 <sup>0</sup>	191,204	63 <sup>0</sup>	153,885
3 <sup>0</sup>	195,642	34 <sup>0</sup>	190,467	64 <sup>0</sup>	152,159
4 <sup>0</sup>	196,025	35 <sup>0</sup>	189,693	65 <sup>0</sup>	150,407
5 <sup>0</sup>	196,375	36 <sup>0</sup>	188,881	66 <sup>0</sup>	148,630
6 <sup>0</sup>	196,690	37 <sup>0</sup>	188,031	67 <sup>0</sup>	146,828
7 <sup>0</sup>	196,971	38 <sup>0</sup>	187,145	68 <sup>0</sup>	145,002
8 <sup>0</sup>	197,217	39 <sup>0</sup>	186,222	69 <sup>0</sup>	143,152
9 <sup>0</sup>	197,428	40 <sup>0</sup>	185,262	70 <sup>0</sup>	141,280
10 <sup>0</sup>	197,602	41 <sup>0</sup>	184,266	71 <sup>0</sup>	139,386
11 <sup>0</sup>	197,741	42 <sup>0</sup>	183,234	72 <sup>0</sup>	137,470
12 <sup>0</sup>	197,842	43 <sup>0</sup>	182,167	73 <sup>0</sup>	135,533
13 <sup>0</sup>	197,907	44 <sup>0</sup>	181,064	74 <sup>0</sup>	133,577
<b>14<sup>0</sup></b>	<b>197,935</b>	45 <sup>0</sup>	179,926	75 <sup>0</sup>	131,601
15 <sup>0</sup>	197,924	46 <sup>0</sup>	178,753	76 <sup>0</sup>	129,606
16 <sup>0</sup>	197,877	47 <sup>0</sup>	177,545	77 <sup>0</sup>	127,594
17 <sup>0</sup>	197,791	48 <sup>0</sup>	176,304	78 <sup>0</sup>	125,564
18 <sup>0</sup>	197,668	49 <sup>0</sup>	175,029	79 <sup>0</sup>	123,518
19 <sup>0</sup>	197,506	50 <sup>0</sup>	173,721	80 <sup>0</sup>	121,457
20 <sup>0</sup>	197,306	51 <sup>0</sup>	172,380	81 <sup>0</sup>	119,381
21 <sup>0</sup>	197,067	52 <sup>0</sup>	171,006	82 <sup>0</sup>	117,291
22 <sup>0</sup>	196,790	53 <sup>0</sup>	169,600	83 <sup>0</sup>	115,188
23 <sup>0</sup>	196,475	54 <sup>0</sup>	168,163	84 <sup>0</sup>	113,073
24 <sup>0</sup>	196,120	55 <sup>0</sup>	166,694	85 <sup>0</sup>	110,946
25 <sup>0</sup>	195,728	56 <sup>0</sup>	165,195	86 <sup>0</sup>	108,810
26 <sup>0</sup>	195,297	57 <sup>0</sup>	163,666	87 <sup>0</sup>	106,664
27 <sup>0</sup>	194,827	58 <sup>0</sup>	162,107	88 <sup>0</sup>	104,509
28 <sup>0</sup>	194,319	59 <sup>0</sup>	160,519	89 <sup>0</sup>	102,347
29 <sup>0</sup>	193,772	60 <sup>0</sup>	158,902	90 <sup>0</sup>	100,179
30 <sup>0</sup>	193,187				

**Πίνακας 9:** Μέση μηναία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Σεπτέμβριος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	145,900	31 <sup>0</sup>	165,861	61 <sup>0</sup>	151,151
1 <sup>0</sup>	147,068	32 <sup>0</sup>	165,913	62 <sup>0</sup>	150,105
2 <sup>0</sup>	148,204	<b>33<sup>0</sup></b>	<b>165,927</b>	63 <sup>0</sup>	149,025
3 <sup>0</sup>	149,307	34 <sup>0</sup>	165,903	64 <sup>0</sup>	147,913
4 <sup>0</sup>	150,378	35 <sup>0</sup>	165,842	65 <sup>0</sup>	146,768
5 <sup>0</sup>	151,415	36 <sup>0</sup>	165,742	66 <sup>0</sup>	145,591
6 <sup>0</sup>	152,418	37 <sup>0</sup>	165,603	67 <sup>0</sup>	144,381
7 <sup>0</sup>	153,388	38 <sup>0</sup>	165,427	68 <sup>0</sup>	143,141
8 <sup>0</sup>	154,323	39 <sup>0</sup>	165,213	69 <sup>0</sup>	141,869
9 <sup>0</sup>	155,224	40 <sup>0</sup>	164,961	70 <sup>0</sup>	140,566
10 <sup>0</sup>	156,090	41 <sup>0</sup>	164,671	71 <sup>0</sup>	139,233
11 <sup>0</sup>	156,921	42 <sup>0</sup>	164,344	72 <sup>0</sup>	137,870
12 <sup>0</sup>	157,716	43 <sup>0</sup>	163,979	73 <sup>0</sup>	136,478
13 <sup>0</sup>	158,476	44 <sup>0</sup>	163,576	74 <sup>0</sup>	135,056
14 <sup>0</sup>	159,200	45 <sup>0</sup>	163,136	75 <sup>0</sup>	133,606
15 <sup>0</sup>	159,889	46 <sup>0</sup>	162,658	76 <sup>0</sup>	132,128
16 <sup>0</sup>	160,541	47 <sup>0</sup>	162,144	77 <sup>0</sup>	130,622
17 <sup>0</sup>	161,156	48 <sup>0</sup>	161,592	78 <sup>0</sup>	129,088
18 <sup>0</sup>	161,735	49 <sup>0</sup>	161,004	79 <sup>0</sup>	127,528
19 <sup>0</sup>	162,277	50 <sup>0</sup>	160,379	80 <sup>0</sup>	125,942
20 <sup>0</sup>	162,782	51 <sup>0</sup>	159,718	81 <sup>0</sup>	124,330
21 <sup>0</sup>	163,250	52 <sup>0</sup>	159,020	82 <sup>0</sup>	122,692
22 <sup>0</sup>	163,681	53 <sup>0</sup>	158,287	83 <sup>0</sup>	121,030
23 <sup>0</sup>	164,074	54 <sup>0</sup>	157,517	84 <sup>0</sup>	119,343
24 <sup>0</sup>	164,430	55 <sup>0</sup>	156,713	85 <sup>0</sup>	117,632
25 <sup>0</sup>	164,748	56 <sup>0</sup>	155,872	86 <sup>0</sup>	115,899
26 <sup>0</sup>	165,028	57 <sup>0</sup>	154,997	87 <sup>0</sup>	114,142
27 <sup>0</sup>	165,270	58 <sup>0</sup>	154,087	88 <sup>0</sup>	112,364
28 <sup>0</sup>	165,475	59 <sup>0</sup>	153,143	89 <sup>0</sup>	110,563
29 <sup>0</sup>	165,642	60 <sup>0</sup>	152,164	90 <sup>0</sup>	108,742
30 <sup>0</sup>	165,770				

**Πίνακας 10:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Οκτώβριος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	97,800	31 <sup>0</sup>	130,685	61 <sup>0</sup>	134,616
1 <sup>0</sup>	99,241	32 <sup>0</sup>	131,287	62 <sup>0</sup>	134,239
2 <sup>0</sup>	100,661	33 <sup>0</sup>	131,857	63 <sup>0</sup>	133,829
3 <sup>0</sup>	102,059	34 <sup>0</sup>	132,396	64 <sup>0</sup>	133,387
4 <sup>0</sup>	103,434	35 <sup>0</sup>	132,903	65 <sup>0</sup>	132,913
5 <sup>0</sup>	104,786	36 <sup>0</sup>	133,377	66 <sup>0</sup>	132,406
6 <sup>0</sup>	106,115	37 <sup>0</sup>	133,820	67 <sup>0</sup>	131,868
7 <sup>0</sup>	107,420	38 <sup>0</sup>	134,231	68 <sup>0</sup>	131,299
8 <sup>0</sup>	108,701	39 <sup>0</sup>	134,609	69 <sup>0</sup>	130,698
9 <sup>0</sup>	109,957	40 <sup>0</sup>	134,955	70 <sup>0</sup>	130,065
10 <sup>0</sup>	111,188	41 <sup>0</sup>	135,268	71 <sup>0</sup>	129,402
11 <sup>0</sup>	112,394	42 <sup>0</sup>	135,548	72 <sup>0</sup>	128,707
12 <sup>0</sup>	113,574	43 <sup>0</sup>	135,796	73 <sup>0</sup>	127,982
13 <sup>0</sup>	114,728	44 <sup>0</sup>	136,011	74 <sup>0</sup>	127,227
14 <sup>0</sup>	115,856	45 <sup>0</sup>	136,193	75 <sup>0</sup>	126,441
15 <sup>0</sup>	116,957	46 <sup>0</sup>	136,342	76 <sup>0</sup>	125,626
16 <sup>0</sup>	118,031	47 <sup>0</sup>	136,458	77 <sup>0</sup>	124,780
17 <sup>0</sup>	119,077	48 <sup>0</sup>	136,541	78 <sup>0</sup>	123,905
18 <sup>0</sup>	120,096	49 <sup>0</sup>	136,591	79 <sup>0</sup>	123,001
19 <sup>0</sup>	121,086	<b>50<sup>0</sup></b>	<b>136,608</b>	80 <sup>0</sup>	122,068
20 <sup>0</sup>	122,049	51 <sup>0</sup>	136,592	81 <sup>0</sup>	121,106
21 <sup>0</sup>	122,982	52 <sup>0</sup>	136,543	82 <sup>0</sup>	120,116
22 <sup>0</sup>	123,887	53 <sup>0</sup>	136,460	83 <sup>0</sup>	119,098
23 <sup>0</sup>	124,763	54 <sup>0</sup>	136,345	84 <sup>0</sup>	118,052
24 <sup>0</sup>	125,609	55 <sup>0</sup>	136,196	85 <sup>0</sup>	116,979
25 <sup>0</sup>	126,425	56 <sup>0</sup>	136,015	86 <sup>0</sup>	115,879
26 <sup>0</sup>	127,211	57 <sup>0</sup>	135,801	87 <sup>0</sup>	114,752
27 <sup>0</sup>	127,967	58 <sup>0</sup>	135,554	88 <sup>0</sup>	113,598
28 <sup>0</sup>	128,693	59 <sup>0</sup>	135,274	89 <sup>0</sup>	112,418
29 <sup>0</sup>	129,388	60 <sup>0</sup>	134,961	90 <sup>0</sup>	111,213
30 <sup>0</sup>	130,052				

**Πίνακας 11:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Νοέμβριος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	61,200	31 <sup>0</sup>	95,948	<b>61<sup>0</sup></b>	<b>108,373</b>
1 <sup>0</sup>	62,581	32 <sup>0</sup>	96,736	62 <sup>0</sup>	108,370
2 <sup>0</sup>	63,948	33 <sup>0</sup>	97,499	63 <sup>0</sup>	108,338
3 <sup>0</sup>	65,302	34 <sup>0</sup>	98,238	64 <sup>0</sup>	108,280
4 <sup>0</sup>	66,640	35 <sup>0</sup>	98,952	65 <sup>0</sup>	108,193
5 <sup>0</sup>	67,964	36 <sup>0</sup>	99,642	66 <sup>0</sup>	108,079
6 <sup>0</sup>	69,273	37 <sup>0</sup>	100,307	67 <sup>0</sup>	107,938
7 <sup>0</sup>	70,566	38 <sup>0</sup>	100,946	68 <sup>0</sup>	107,769
8 <sup>0</sup>	71,843	39 <sup>0</sup>	101,561	69 <sup>0</sup>	107,572
9 <sup>0</sup>	73,103	40 <sup>0</sup>	102,150	70 <sup>0</sup>	107,349
10 <sup>0</sup>	74,347	41 <sup>0</sup>	102,713	71 <sup>0</sup>	107,098
11 <sup>0</sup>	75,573	42 <sup>0</sup>	103,250	72 <sup>0</sup>	106,819
12 <sup>0</sup>	76,782	43 <sup>0</sup>	103,761	73 <sup>0</sup>	106,514
13 <sup>0</sup>	77,972	44 <sup>0</sup>	104,246	74 <sup>0</sup>	106,182
14 <sup>0</sup>	79,145	45 <sup>0</sup>	104,705	75 <sup>0</sup>	105,823
15 <sup>0</sup>	80,299	46 <sup>0</sup>	105,137	76 <sup>0</sup>	105,437
16 <sup>0</sup>	81,433	47 <sup>0</sup>	105,543	77 <sup>0</sup>	105,024
17 <sup>0</sup>	82,549	48 <sup>0</sup>	105,922	78 <sup>0</sup>	104,584
18 <sup>0</sup>	83,644	49 <sup>0</sup>	106,274	79 <sup>0</sup>	104,119
19 <sup>0</sup>	84,720	50 <sup>0</sup>	106,599	80 <sup>0</sup>	103,627
20 <sup>0</sup>	85,775	51 <sup>0</sup>	106,897	81 <sup>0</sup>	103,108
21 <sup>0</sup>	86,809	52 <sup>0</sup>	107,168	82 <sup>0</sup>	102,564
22 <sup>0</sup>	87,823	53 <sup>0</sup>	107,411	83 <sup>0</sup>	101,994
23 <sup>0</sup>	88,815	54 <sup>0</sup>	107,628	84 <sup>0</sup>	101,399
24 <sup>0</sup>	89,785	55 <sup>0</sup>	107,817	85 <sup>0</sup>	100,777
25 <sup>0</sup>	90,734	56 <sup>0</sup>	107,978	86 <sup>0</sup>	100,131
26 <sup>0</sup>	91,660	57 <sup>0</sup>	108,112	87 <sup>0</sup>	99,459
27 <sup>0</sup>	92,564	58 <sup>0</sup>	108,219	88 <sup>0</sup>	98,763
28 <sup>0</sup>	93,445	59 <sup>0</sup>	108,298	89 <sup>0</sup>	98,042
29 <sup>0</sup>	94,303	60 <sup>0</sup>	108,349	90 <sup>0</sup>	97,297
30 <sup>0</sup>	95,137				

**Πίνακας 12:** Μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Δεκέμβριος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	47,800	31 <sup>0</sup>	80,872	61 <sup>0</sup>	94,821
1 <sup>0</sup>	49,078	32 <sup>0</sup>	81,660	62 <sup>0</sup>	94,919
2 <sup>0</sup>	50,345	33 <sup>0</sup>	82,428	63 <sup>0</sup>	94,993
3 <sup>0</sup>	51,601	34 <sup>0</sup>	83,175	64 <sup>0</sup>	95,042
4 <sup>0</sup>	52,846	35 <sup>0</sup>	83,901	<b>65<sup>0</sup></b>	<b>95,066</b>
5 <sup>0</sup>	54,079	36 <sup>0</sup>	84,605	66 <sup>0</sup>	95,065
6 <sup>0</sup>	55,300	37 <sup>0</sup>	85,289	67 <sup>0</sup>	95,040
7 <sup>0</sup>	56,509	38 <sup>0</sup>	85,950	68 <sup>0</sup>	94,991
8 <sup>0</sup>	57,704	39 <sup>0</sup>	86,590	69 <sup>0</sup>	94,916
9 <sup>0</sup>	58,887	40 <sup>0</sup>	87,208	70 <sup>0</sup>	94,818
10 <sup>0</sup>	60,056	41 <sup>0</sup>	87,804	71 <sup>0</sup>	94,694
11 <sup>0</sup>	61,210	42 <sup>0</sup>	88,377	72 <sup>0</sup>	94,547
12 <sup>0</sup>	62,351	43 <sup>0</sup>	88,927	73 <sup>0</sup>	94,374
13 <sup>0</sup>	63,477	44 <sup>0</sup>	89,455	74 <sup>0</sup>	94,178
14 <sup>0</sup>	64,588	45 <sup>0</sup>	89,960	75 <sup>0</sup>	93,957
15 <sup>0</sup>	65,684	46 <sup>0</sup>	90,442	76 <sup>0</sup>	93,711
16 <sup>0</sup>	66,763	47 <sup>0</sup>	90,901	77 <sup>0</sup>	93,442
17 <sup>0</sup>	67,827	48 <sup>0</sup>	91,336	78 <sup>0</sup>	93,148
18 <sup>0</sup>	68,875	49 <sup>0</sup>	91,748	79 <sup>0</sup>	92,831
19 <sup>0</sup>	69,906	50 <sup>0</sup>	92,136	80 <sup>0</sup>	92,489
20 <sup>0</sup>	70,920	51 <sup>0</sup>	92,501	81 <sup>0</sup>	92,124
21 <sup>0</sup>	71,917	52 <sup>0</sup>	92,842	82 <sup>0</sup>	91,735
22 <sup>0</sup>	72,896	53 <sup>0</sup>	93,158	83 <sup>0</sup>	91,322
23 <sup>0</sup>	73,858	54 <sup>0</sup>	93,451	84 <sup>0</sup>	90,886
24 <sup>0</sup>	74,801	55 <sup>0</sup>	93,720	85 <sup>0</sup>	90,427
25 <sup>0</sup>	75,726	56 <sup>0</sup>	93,964	86 <sup>0</sup>	89,944
26 <sup>0</sup>	76,632	57 <sup>0</sup>	94,185	87 <sup>0</sup>	89,438
27 <sup>0</sup>	77,519	58 <sup>0</sup>	94,380	88 <sup>0</sup>	88,910
28 <sup>0</sup>	78,387	59 <sup>0</sup>	94,552	89 <sup>0</sup>	88,358
29 <sup>0</sup>	79,235	60 <sup>0</sup>	94,699	90 <sup>0</sup>	87,784
30 <sup>0</sup>	80,064				



**Πίνακας 13:** Μέγιστες μέσες μηνιαίες τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη σε σχέση με τη γωνία κλίσης.

Μήνας	Βέλτιστη κλίση (μοίρες)	Μηνιαία ακτινοβολία (Kwh/m <sup>2</sup> )
Ιανουάριος	63 <sup>0</sup>	100,670
Φεβρουάριος	63 <sup>0</sup>	104,277
Μάρτιος	38 <sup>0</sup>	133,301
Απρίλιος	20 <sup>0</sup>	157,625
Μάιος	0 <sup>0</sup>	190,900
Ιούνιος	0 <sup>0</sup>	210,800
Ιούλιος	0 <sup>0</sup>	215,800
Αύγουστος	14 <sup>0</sup>	197,935
Σεπτέμβριος	33 <sup>0</sup>	165,927
Οκτώβριος	50 <sup>0</sup>	136,608
Νοέμβριος	61 <sup>0</sup>	108,373
Δεκέμβριος	65 <sup>0</sup>	95,066
Συνολική ετήσια πυκνότητα ακτινοβολίας	-	1817,283

**Πίνακας 14:** Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τον συνολικό έτος στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Συνολικό έτος					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	1554,200	31 <sup>0</sup>	1702,316	61 <sup>0</sup>	1539,140
1 <sup>0</sup>	1563,319	32 <sup>0</sup>	1701,845	62 <sup>0</sup>	1528,637
2 <sup>0</sup>	1572,210	33 <sup>0</sup>	1701,025	63 <sup>0</sup>	1517,835
3 <sup>0</sup>	1580,862	34 <sup>0</sup>	1699,856	64 <sup>0</sup>	1506,738
4 <sup>0</sup>	1589,266	35 <sup>0</sup>	1698,338	65 <sup>0</sup>	1495,348
5 <sup>0</sup>	1597,415	36 <sup>0</sup>	1696,471	66 <sup>0</sup>	1483,671
6 <sup>0</sup>	1605,299	37 <sup>0</sup>	1694,256	67 <sup>0</sup>	1471,710
7 <sup>0</sup>	1612,913	38 <sup>0</sup>	1691,692	68 <sup>0</sup>	1459,469
8 <sup>0</sup>	1620,249	39 <sup>0</sup>	1688,779	69 <sup>0</sup>	1446,952
9 <sup>0</sup>	1627,302	40 <sup>0</sup>	1685,519	70 <sup>0</sup>	1434,164
10 <sup>0</sup>	1634,065	41 <sup>0</sup>	1681,913	71 <sup>0</sup>	1421,109
11 <sup>0</sup>	1640,533	42 <sup>0</sup>	1677,960	72 <sup>0</sup>	1407,792
12 <sup>0</sup>	1646,702	43 <sup>0</sup>	1673,661	73 <sup>0</sup>	1394,217
13 <sup>0</sup>	1652,566	44 <sup>0</sup>	1669,019	74 <sup>0</sup>	1380,390
14 <sup>0</sup>	1658,121	45 <sup>0</sup>	1664,034	75 <sup>0</sup>	1366,315
15 <sup>0</sup>	1663,363	46 <sup>0</sup>	1658,708	76 <sup>0</sup>	1351,998
16 <sup>0</sup>	1668,289	47 <sup>0</sup>	1653,041	77 <sup>0</sup>	1337,443
17 <sup>0</sup>	1672,894	48 <sup>0</sup>	1647,036	78 <sup>0</sup>	1322,657
18 <sup>0</sup>	1677,176	49 <sup>0</sup>	1640,694	79 <sup>0</sup>	1307,644
19 <sup>0</sup>	1681,131	50 <sup>0</sup>	1634,018	80 <sup>0</sup>	1292,412
20 <sup>0</sup>	1684,758	51 <sup>0</sup>	1627,009	81 <sup>0</sup>	1276,964
21 <sup>0</sup>	1688,052	52 <sup>0</sup>	1619,669	82 <sup>0</sup>	1261,308
22 <sup>0</sup>	1691,012	53 <sup>0</sup>	1612,000	83 <sup>0</sup>	1245,450
23 <sup>0</sup>	1693,636	54 <sup>0</sup>	1604,006	84 <sup>0</sup>	1229,397
24 <sup>0</sup>	1695,922	55 <sup>0</sup>	1595,688	85 <sup>0</sup>	1213,154
25 <sup>0</sup>	1697,867	56 <sup>0</sup>	1587,049	86 <sup>0</sup>	1196,729
26 <sup>0</sup>	1699,470	57 <sup>0</sup>	1578,091	87 <sup>0</sup>	1180,128
27 <sup>0</sup>	1700,731	58 <sup>0</sup>	1568,819	88 <sup>0</sup>	1163,360
28 <sup>0</sup>	1701,646	59 <sup>0</sup>	1559,234	89 <sup>0</sup>	1146,432
29 <sup>0</sup>	1702,216	60 <sup>0</sup>	1549,340	90 <sup>0</sup>	1129,351
<b>30<sup>0</sup></b>	<b>1702,440</b>				

**Πίνακας 15:** Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για το χειμερινό εξάμηνο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Χειμερινό εξάμηνο					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	445,400	31 <sup>0</sup>	626,393	61 <sup>0</sup>	667,549
1 <sup>0</sup>	452,998	32 <sup>0</sup>	630,063	62 <sup>0</sup>	666,404
2 <sup>0</sup>	460,499	33 <sup>0</sup>	633,581	63 <sup>0</sup>	665,096
3 <sup>0</sup>	467,900	34 <sup>0</sup>	636,946	64 <sup>0</sup>	663,627
4 <sup>0</sup>	475,198	35 <sup>0</sup>	640,158	65 <sup>0</sup>	661,995
5 <sup>0</sup>	482,393	36 <sup>0</sup>	643,215	66 <sup>0</sup>	660,202
6 <sup>0</sup>	489,481	37 <sup>0</sup>	646,117	67 <sup>0</sup>	658,249
7 <sup>0</sup>	496,460	38 <sup>0</sup>	648,862	68 <sup>0</sup>	656,136
8 <sup>0</sup>	503,329	39 <sup>0</sup>	651,450	69 <sup>0</sup>	653,863
9 <sup>0</sup>	510,085	40 <sup>0</sup>	653,881	70 <sup>0</sup>	651,431
10 <sup>0</sup>	516,725	41 <sup>0</sup>	656,152	71 <sup>0</sup>	648,842
11 <sup>0</sup>	523,249	42 <sup>0</sup>	658,264	72 <sup>0</sup>	646,095
12 <sup>0</sup>	529,654	43 <sup>0</sup>	660,216	73 <sup>0</sup>	643,192
13 <sup>0</sup>	535,939	44 <sup>0</sup>	662,008	74 <sup>0</sup>	640,134
14 <sup>0</sup>	542,100	45 <sup>0</sup>	663,638	75 <sup>0</sup>	636,921
15 <sup>0</sup>	548,137	46 <sup>0</sup>	665,107	76 <sup>0</sup>	633,554
16 <sup>0</sup>	554,047	47 <sup>0</sup>	666,414	77 <sup>0</sup>	630,035
17 <sup>0</sup>	559,829	48 <sup>0</sup>	667,558	78 <sup>0</sup>	626,365
18 <sup>0</sup>	565,481	49 <sup>0</sup>	668,539	79 <sup>0</sup>	622,544
19 <sup>0</sup>	571,001	50 <sup>0</sup>	669,357	80 <sup>0</sup>	618,574
20 <sup>0</sup>	576,388	51 <sup>0</sup>	670,011	81 <sup>0</sup>	614,457
21 <sup>0</sup>	581,639	52 <sup>0</sup>	670,502	82 <sup>0</sup>	610,192
22 <sup>0</sup>	586,754	53 <sup>0</sup>	670,829	83 <sup>0</sup>	605,782
23 <sup>0</sup>	591,731	<b>54<sup>0</sup></b>	<b>670,993</b>	84 <sup>0</sup>	601,228
24 <sup>0</sup>	596,568	55 <sup>0</sup>	670,992	85 <sup>0</sup>	596,531
25 <sup>0</sup>	601,263	56 <sup>0</sup>	670,827	86 <sup>0</sup>	591,693
26 <sup>0</sup>	605,816	57 <sup>0</sup>	670,499	87 <sup>0</sup>	586,716
27 <sup>0</sup>	610,225	58 <sup>0</sup>	670,007	88 <sup>0</sup>	581,600
28 <sup>0</sup>	614,488	59 <sup>0</sup>	669,351	89 <sup>0</sup>	576,347
29 <sup>0</sup>	618,605	60 <sup>0</sup>	668,532	90 <sup>0</sup>	570,960
30 <sup>0</sup>	622,574				

**Πίνακας 16:** Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για το εαρινό εξάμηνο στην περιοχή Λάρισας σε σχέση με την κλίση του συλλέκτη.

Εαρινό εξάμηνο					
Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)	Κλίση	E (Kwh/m <sup>2</sup> -mo)
0 <sup>0</sup>	1108,800	31 <sup>0</sup>	1075,923	61 <sup>0</sup>	871,590
1 <sup>0</sup>	1110,321	32 <sup>0</sup>	1071,782	62 <sup>0</sup>	862,233
2 <sup>0</sup>	1111,711	33 <sup>0</sup>	1067,444	63 <sup>0</sup>	852,739
3 <sup>0</sup>	1112,962	34 <sup>0</sup>	1062,910	64 <sup>0</sup>	843,111
4 <sup>0</sup>	1114,068	35 <sup>0</sup>	1058,180	65 <sup>0</sup>	833,353
5 <sup>0</sup>	1115,022	36 <sup>0</sup>	1053,256	66 <sup>0</sup>	823,469
6 <sup>0</sup>	1115,819	37 <sup>0</sup>	1048,139	67 <sup>0</sup>	813,461
7 <sup>0</sup>	1116,453	38 <sup>0</sup>	1042,830	68 <sup>0</sup>	803,333
8 <sup>0</sup>	1116,921	39 <sup>0</sup>	1037,329	69 <sup>0</sup>	793,089
9 <sup>0</sup>	1117,217	40 <sup>0</sup>	1031,639	70 <sup>0</sup>	782,733
<b>10<sup>0</sup></b>	<b>1117,340</b>	41 <sup>0</sup>	1025,760	71 <sup>0</sup>	772,267
11 <sup>0</sup>	1117,284	42 <sup>0</sup>	1019,695	72 <sup>0</sup>	761,697
12 <sup>0</sup>	1117,047	43 <sup>0</sup>	1013,445	73 <sup>0</sup>	751,025
13 <sup>0</sup>	1116,627	44 <sup>0</sup>	1007,011	74 <sup>0</sup>	740,256
14 <sup>0</sup>	1116,021	45 <sup>0</sup>	1000,396	75 <sup>0</sup>	729,394
15 <sup>0</sup>	1115,226	46 <sup>0</sup>	993,601	76 <sup>0</sup>	718,443
16 <sup>0</sup>	1114,241	47 <sup>0</sup>	986,628	77 <sup>0</sup>	707,408
17 <sup>0</sup>	1113,065	48 <sup>0</sup>	979,479	78 <sup>0</sup>	696,292
18 <sup>0</sup>	1111,695	49 <sup>0</sup>	972,156	79 <sup>0</sup>	685,100
19 <sup>0</sup>	1110,130	50 <sup>0</sup>	964,661	80 <sup>0</sup>	673,837
20 <sup>0</sup>	1108,370	51 <sup>0</sup>	956,997	81 <sup>0</sup>	662,508
21 <sup>0</sup>	1106,413	52 <sup>0</sup>	949,167	82 <sup>0</sup>	651,116
22 <sup>0</sup>	1104,258	53 <sup>0</sup>	941,171	83 <sup>0</sup>	639,668
23 <sup>0</sup>	1101,905	54 <sup>0</sup>	933,013	84 <sup>0</sup>	628,169
24 <sup>0</sup>	1099,354	55 <sup>0</sup>	924,696	85 <sup>0</sup>	616,622
25 <sup>0</sup>	1096,604	56 <sup>0</sup>	916,221	86 <sup>0</sup>	605,035
26 <sup>0</sup>	1093,654	57 <sup>0</sup>	907,592	87 <sup>0</sup>	593,413
27 <sup>0</sup>	1090,506	58 <sup>0</sup>	898,812	88 <sup>0</sup>	581,760
28 <sup>0</sup>	1087,158	59 <sup>0</sup>	889,883	89 <sup>0</sup>	570,085
29 <sup>0</sup>	1083,611	60 <sup>0</sup>	880,808	90 <sup>0</sup>	558,392
30 <sup>0</sup>	1079,866				

**Πίνακας 17:** Τιμή τιμολόγησης της παραγόμενης από φωτοβολταϊκό σύστημα στέγης ενέργειας ανάλογα με την χρόνο σύνδεσής του 10 Kwp.

Μήνας/Έτος	Τιμή (€/Mwh)
Φεβρουάριος 2014	120
Αύγουστος 2014	120
Φεβρουάριος 2015	115
Αύγουστος 2015	115
Φεβρουάριος 2016	110
Αύγουστος 2016	110
Φεβρουάριος 2017	105
Αύγουστος 2017	100
Φεβρουάριος 2018	95
Αύγουστος 2018	90
Φεβρουάριος 2019	85
Αύγουστος 2019	80

**Πίνακας 18:** Τιμές της ΚΠΑ σε σχέση με την τιμή πώλησης.

Τιμή πώλησης €/Kwh	Πόλη ΚΠΑ €	Αγρός ΚΠΑ €
0,120	2.484	3530
0,115	1.613	2615
0,110	741	1700
0,105	-131	785
0,100	-1.002	-131
0,095	-1.874	-1046
0,090	-2.745	-1961
0,085	-3.617	-2876
0,080	-4.489	-3791

**Πίνακας 19:** Τιμές της ΚΠΑ σε σχέση με την τιμή της ΟΤΣ.

ΟΤΣ (€)	ΚΠΑ 100 Κωρ	ΚΠΑ 500 Κωρ	ΚΠΑ 1Μωρ
0,090	36.861	201.652	467.550
0,085	27.691	159.622	383.490
0,080	18.521	117.592	299.430
0,075	9.351	75.562	215.370
0,070	181	33.532	131.310
0,065	-8.990	-8.499	47.250
0,060	-18.160	-50.529	-36.810
0,055	-27.330	-92.559	-120.870
0,050	-36.500	-134.589	-204.930
0,045	-45.670	-176.619	-288.991
0,040	-54.841	-218.649	-373.051