



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική εργασία

# Αποτίμηση Λειτουργίας Φωτοβολταϊκών Σταθμών

Επιβλέπων : Μαμάσης Νικόλαος Επ. Καθηγητής  
Ε.Μ.Π.



Μαλτέζος Φώτιος  
Αθήνα 2013



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Διπλωματική Εργασία

Αποτίμηση Λειτουργίας Φωτοβολταϊκών Σταθμών

Μαλτέζος Φώτιος

Επιβλέπων : Μαμάσης Νικόλαος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες .

Αθήνα 2013



## Πρόλογος

Με το πέρας αυτής της εργασίας ολοκληρώνεται και ο κύκλος σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Με την ευκαιρία που μου δίνεται εδώ θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της εργασίας και επίκουρο καθηγητή κύριο Νίκο Μαμάση για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το θέμα, την καθοδήγηση του και την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον πατέρα μου και την μητέρα μου Μενέλαο και Ευαγγελία και την αδερφή μου Χρύσα για την πολύ σημαντική για μένα αμέριστη υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, παλιούς και νέους από το Πολυτεχνείο, για την στήριξη τους και τις αξέχαστες στιγμές που περάσαμε μαζί.



# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περιεχόμενα .....	vi
Περίληψη.....	viii
Abstract .....	x
<b>1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Σκοπός και διάρθρωση εργασίας .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Ηλιακή ενέργεια.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Ηλιακή ενέργεια .....	2
1.2.2 Σχετική κίνηση ήλιου - γης.....	3
1.2.3 Στοιχεία ηλιακής γεωμετρίας .....	5
1.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία.....	7
<b>1.3 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία .....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	8
1.3.2 Τύποι φωτοβολταϊκών κελιών - πλαισίων .....	9
<b>1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο .....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον παγκόσμιο χάρτη .....	12
1.4.2 Θεσμικό πλαίσιο ΑΠΕ και αγορά φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα. ....	12
<b>2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Τεχνική ανάλυση κατασκευής φ/β σταθμού 100 kW με ηλιακό ιχνηλάτη επί γηπέδου στην περιοχή Αγνάντια Αλεξανδρούπολης. ....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Γενικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πάρκου .....	16
2.1.2 Χωροθέτηση .....	17
2.1.3 Τεχνικά έργα (Έργα υποδομής και έργα διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου) .....	17
2.1.4 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (πλαίσια, αντιστροφείς, καλώδια, σύστημα παρακολούθησης) .....	21
2.1.5 Βάσεις στήριξης και μηχανολογικός εξοπλισμός (σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης) .....	26
<b>2.2 Τεχνική ανάλυση κατασκευής φ/β σταθμού 100 kW με σταθερές βάσεις επί γηπέδου στην περιοχή Μοναστηράκι Αλεξανδρούπολης. ....</b>	<b>30</b>
2.2.1 Γενικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πάρκου .....	30
2.2.2 Χωροθέτηση .....	31
2.2.3 Τεχνικά έργα (Έργα υποδομής και έργα διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου) .....	31
2.2.4 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ( φ/β πλαίσια, αντιστροφείς ρεύματος, καλωδιώσεις, σύστημα παρακολούθησης) .....	34
2.2.5 Βάσεις στήριξης των φ/β πλαισίων .....	35
<b>2.3 Τεχνικές ειδικές εγκαταστάσεις και Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη λειτουργία των δύο πάρκων .....</b>	<b>37</b>
2.3.1 Αντικεραυνική προστασία .....	37
2.3.2 Συντήρηση και προβλήματα.....	38

<b>3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1 Παρακολούθηση ισχύος των δυο φωτοβολταϊκών σταθμών .....</b>	<b>42</b>
3.1.1 Φωτοβολταϊκός σταθμός Αγνάντιας (ηλιακός ιχνηλάτης) .....	42
3.1.2 Φωτοβολταϊκός σταθμός στην τοποθεσία Μοναστηράκι (σταθερό σύστημα στήριξης) .....	59
<b>3.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραγόμενης ενέργειας των δύο σταθμών .....</b>	<b>70</b>
<b>3.3 Παρακολούθηση απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και παράγοντες που την επηρεάζουν .....</b>	<b>74</b>
3.3.1 Βαθμός απόδοσης ενεργειακής μετατροπής και παράγοντες που καθορίζουν την τιμή του .....	74
3.3.2 Παρακολούθηση βαθμού απόδοσης των φ/β σταθμών .....	78
<b>4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ .....</b>	<b>88</b>
<b>4.1 Εισαγωγή .....</b>	<b>88</b>
<b>4.2 Βασικές έννοιες Αξιολόγησης Επενδύσεων .....</b>	<b>88</b>
4.2.1 Χρηματοροή .....	88
4.2.2 Πληθωρισμός .....	89
4.2.3 Κόστος Χρηματοδότησης .....	89
4.2.4 Αποσβέσεις .....	89
<b>4.3 Βασικά κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων .....</b>	<b>90</b>
4.3.1 Κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας .....	90
4.3.2 Εσωτερικός βαθμός απόδοσης του κεφαλαίου (Internal Rate of Return – IRR) .....	91
<b>4.4 Κοστολόγιο των έργων .....</b>	<b>91</b>
<b>4.5 Εφαρμογή των κριτηρίων ΚΠΑ και ΕΒΑ .....</b>	<b>92</b>
4.5.1 Περίπτωση φ/β σταθμού Αγνάντιας .....	92
4.5.2 Περίπτωση φ/β σταθμού στο Μοναστηράκι .....	99
<b>5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>106</b>
<b>6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>110</b>



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι γίνει μία αξιολόγηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας με την μελέτη δύο φωτοβολταϊκών σταθμών στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης. Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από έναν φωτοβολταϊκό σταθμό ονομαστικής ισχύος 100 kW όπου οι γεννήτριες ακολουθούν την πορεία του ηλίου με την βοήθεια ηλιακού ιχνηλάτη και ένα φωτοβολταϊκό σταθμό ίδιας ισχύος όπου τα πλαίσια έχουν σταθερή κλίση.

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση των ιδιοτήτων του ήλιου και της ηλιακής ακτινοβολίας, μια σύντομη περιγραφή του φωτοβολταϊκού φαινομένου και των τύπων των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Παρουσιάζεται επίσης ο βαθμός που έχουν διεισδύσει οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα. Τέλος γίνεται μία ανασκόπηση του θεσμικού πλαισίου που περιβάλλει τις Α.Π.Ε. από το 1985 έως σήμερα και της ανάπτυξης της φωτοβολταϊκής αγοράς στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται η τεχνική περιγραφή δύο φωτοβολταϊκών σταθμών στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης του Ν. Έβρου. Παρουσιάζονται τα στάδια κατασκευής μέχρι την ολοκλήρωση των δύο πάρκων, τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που επιλέχτηκε και γίνεται μία αναφορά των προβλημάτων που έχουν παρουσιαστεί στην λειτουργία τους μέχρι σήμερα.

Στη συνέχεια παραθέτονται τα αποτελέσματα της ετήσιας λειτουργίας και επιλεγμένων ημερών των δύο φωτοβολταϊκών σταθμών. Συγκρίνεται η ενεργειακή απόδοση των δύο σταθμών και εξετάζεται κατά πόσο αυτή εξαρτάται από τον διαφορετικό τρόπο στήριξης των φ/β πλαισίων. Μελετάται επίσης ο βαθμός απόδοσης ενεργειακής μετατροπής που εμφανίζουν τα δύο πάρκα και πως αυτός επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρείται η οικονομική ανάλυση της επένδυσης των δύο φωτοβολταϊκών σταθμών. Αρχικά παρουσιάζονται τα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων και τα μεγέθη που απαρτίζουν έναν πίνακα ταμειακών ροών. Παρουσιάζεται αναλυτικά το κόστος των φωτοβολταϊκών πάρκων και συντάσσονται πίνακες ταμειακών ροών με βάση την πραγματική τους ενεργειακή απόδοση ώστε να υπολογιστούν οι δείκτες της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παραθέτονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας για την έως τώρα λειτουργία των φωτοβολταϊκών σταθμών που εξετάστηκαν.



## Abstract

The scope of the present thesis is the evaluation of the photovoltaic technology by studying the performance of two photovoltaic power plants, grid-connected located near the city of Alexandroupolis. The first photovoltaic park has installed capacity 100 kWp and is equipped with a sun tracking system for solar panels while the second has the same installed capacity but a ground mounting system for the solar panels.

The first introductory chapter gives an outline of the properties of the sun and solar radiation and a brief description of the photovoltaic phenomenon and types of frames are outlined. Additionally, the level in which renewable energy sources have penetrated in the global energy mix is presented. Finally, there is a review of the national legal framework for the RES from 1985 till recently and the growth of the PV market in Greece during the current period.

The next chapter refers to the technical description of two photovoltaic power stations in the area of Alexandroupolis, Evros. More specifically, the individual construction stages until the completion of the abovementioned parks as well as the characteristics of electromechanical equipment that has been selected are presented herein. A report concerning their operational problems till nowadays is extensively referenced.

Afterwards, the results of the annual operation and selected days of the photovoltaic plants are collocated. The energy efficiency of stations is compared and the performance of the fixed and the tracking system is examined. Furthermore, the efficiency of energy conversion of these photovoltaic parts is studied. The level at which the efficiency of energy conversion is affected by temperature and the solar irradiance is highlighted.

The fourth chapter is the financial analysis of the investment of the two photovoltaic plants. Firstly, the investment assessment criteria and sizes that make up a cash flow table are presented. The cost of photovoltaic parks is presented in detail and cash flow tables based on the actual energy efficiency have been listed to calculate the indicators of net present value and internal rate of return.

In the last chapter, the main conclusions of this thesis concerning the energy performance and the operation of the aforementioned photovoltaic plants are summarized.



# 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Εισαγωγή

---

## 1.1 Σκοπός και διάρθρωση εργασίας

Την τελευταία πενταετία σημειώθηκε έκρηξη στην αγορά των φωτοβολταϊκών τόσο σε διεθνές όσο και σε εγχώριο επίπεδο. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι γίνει μία αξιολόγηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας με την μελέτη δύο φωτοβολταϊκών σταθμών στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης. Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από έναν φωτοβολταϊκό σταθμό ονομαστικής ισχύος 100 kW όπου οι γεννήτριες ακολουθούν την πορεία του ηλίου με την βοήθεια ηλιακού ιχνηλάτη και ένα φωτοβολταϊκό σταθμό ίδιας ισχύος όπου τα πλαίσια έχουν σταθερή κλίση.

Αφού στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη επισκόπηση των ιδιοτήτων του ήλιου, της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και της ανάπτυξης των Α.Π.Ε. και των φωτοβολταϊκών πιο συγκεκριμένα, στα επόμενα κεφάλαια θα μελετηθούν οι δύο φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Για την επίτευξη του στόχου, δηλαδή την εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων από την λειτουργία των σταθμών έως σήμερα, στα παρακάτω κεφάλαια θα αναλυθούν η κατασκευή τους και τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και ο τρόπος στήριξης των πλαισίων. Επίσης θα εξεταστεί και θα συγκριθεί η ενεργειακή απόδοση των δύο πάρκων με βάση τα δεδομένα που καταγράφονται από τη αρχή λειτουργίας του καθενός και θα δειχθεί πως επηρεάζεται ο βαθμός απόδοσης των πάρκων από θερμοκρασία και ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Απαραίτητη βεβαίως στο τέλος είναι και η οικονομική αξιολόγηση των δύο επενδύσεων με βάση το καθεστώς που ισχύει για να εξεταστεί εάν είναι συμφέρουσα ή όχι και κατά πόσο θα ήταν βιώσιμη εάν η πολιτεία δεν έδινε τα αντίστοιχα κίνητρα για τις συγκεκριμένες επενδύσεις.

## 1.2 Ηλιακή ενέργεια

### 1.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Ο ήλιος είναι ένα τυπικό αστέρι, με μάζα  $2 \times 10^3$  kg, ακτίνα 700000 χιλιόμετρα, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του είναι περίπου 6000 K. Η ενέργεια του ήλιου προέρχεται από τη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου και τη μετατροπή τους σε πυρήνες ηλίου [1].

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε σε όλες τις μορφές ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Είναι μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας αφού μπορεί κανείς να την εκμεταλλευτεί ανά πάσα στιγμή σε όλα ,με λίγες εξαιρέσεις, τα σημεία της γης που κατοικεί ο άνθρωπος. Αυτό κάνει την εκμετάλλευση και διαχείριση της ένα από τα κρίσιμα ζητήματα που θα πρέπει να αντιμετωπίσει η ανθρώπινη κοινότητα για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος του πληθυσμού. Η αξιοποίηση της χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, τα θερμικά και παθητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά. Τα

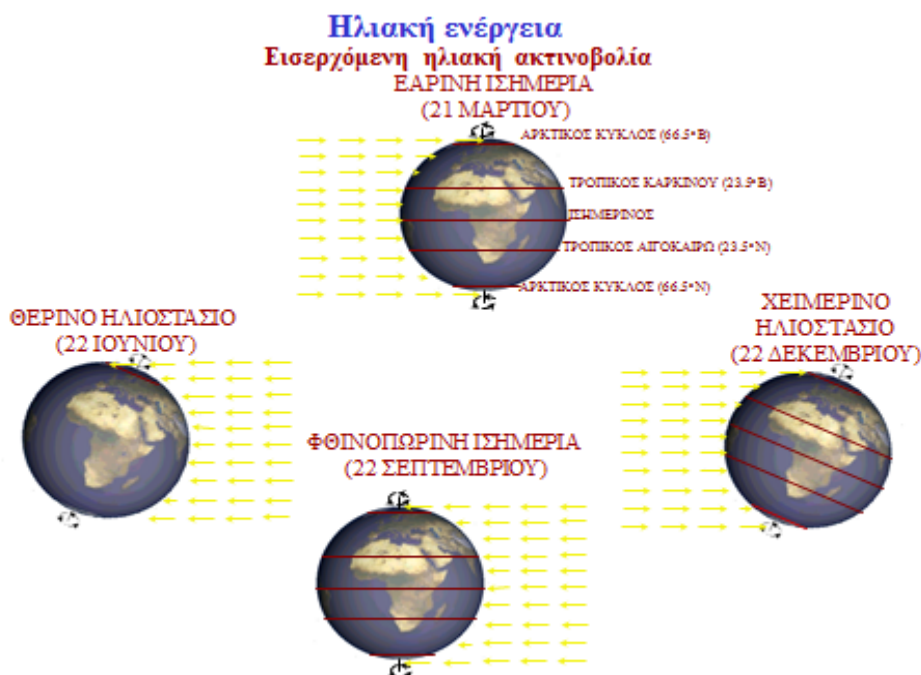
πρώτα είναι η πιο απλή μορφή χρήσης της ηλιακής ενέργειας και λειτουργούν απορροφώντας την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια μεταδίδοντας την με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, τα παθητικά συστήματα είναι τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί με βάση τα μέγιστα οφέλη από τον ήλιο από άποψη φωτισμού, θερμοκρασίας (βιοκλιματικός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός) και τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια.

### 1.2.2 Σχετική κίνηση ήλιου - γης

Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε [2]:

- Περιφορά της γης γύρω από τον ήλιο σε ελλειπτική τροχιά. Ο ήλιος είναι μία από τις δύο εστίες της έλλειψής και η κίνηση της γης γίνεται με μεταβλητή ταχύτητα ανάλογα με την απόσταση της από τον ήλιο. Οι ακτίνες του ηλίου όμως προσπίπτουν στη γη σχεδόν παράλληλες λόγω της μεγάλης ακτίνας (150000000 χιλιόμετρα). Η γη βρίσκεται πλησιέστερα στον ήλιο στις 2 Ιανουαρίου (περιήλιο) και μακρύτερα στις 3 Ιουλίου (αφήλιο). Μια πλήρης περιστροφή ολοκληρώνεται σε ένα έτος (365,25 ημέρες)
- Περιστροφή γύρω από τον πολικό άξονα (Βορρά-Νότου), ο οποίος έχει μια σταθερή γωνία  $23,45^\circ$  ως προς την κάθετο του επιπέδου της ελλειπτικής κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο. Μια πλήρης περιστροφή γύρω από τον άξονα της διαρκεί 24 ώρες και γίνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται ολοκληρωμένα η ελλειπτική κίνηση της γης και η κλίση του άξονα της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους



Εικόνα 1.1 : Σχετική θέση της γης από τον ήλιο για κάθε μήνα του έτους

Σε μία πλήρη περιφορά της γης το μέγιστο ύψος του ηλίου αλλάζει καθημερινά .Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό θα παρουσιαστούν τέσσερις ημέρες του έτους που το ύψος παίρνει χαρακτηριστικές θέσεις για γεωγραφικό πλάτος  $40^\circ$  στο βόρειο ημισφαίριο (εικόνα 1.2) [1].

- Στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) το ύψος μεσουράνησης του ηλίου παίρνει τη μέγιστη τιμή του. Σχηματίζει γωνία  $73,5^\circ$  με την επιφάνεια της και είναι η μεγαλύτερη σε διάρκεια ημέρα του έτους.
- Στη συνέχεια καθώς το ύψος του ηλίου μικραίνει, στις 21 Σεπτεμβρίου έχουμε την φθινοπωρινή ισημερία όπου η ηλιακή γωνία είναι  $50^\circ$  και έχουμε ίση διάρκεια μέρας και νύχτας.
- Η ελάχιστη τιμή του ύψους του ηλίου συμβαίνει στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο), όπου η ηλιακή γωνία κατά τη μεσουράνηση του ηλίου είναι  $26,5^\circ$  και έχουμε την μικρότερη σε διάρκεια μέρα
- Τέλος, στις 21 Μαρτίου ξανασυμβαίνει ισημερία (εαρινή) κατά την αύξηση του ύψους μεσουράνησης του ηλίου.



**Εικόνα 1.2 :** Θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο, φθινοπωρινή και εαρινή ισημερία για γεωγραφικό πλάτος  $40^\circ$  στο βόρειο ημισφαίριο.

### 1.2.3 Στοιχεία ηλιακής γεωμετρίας

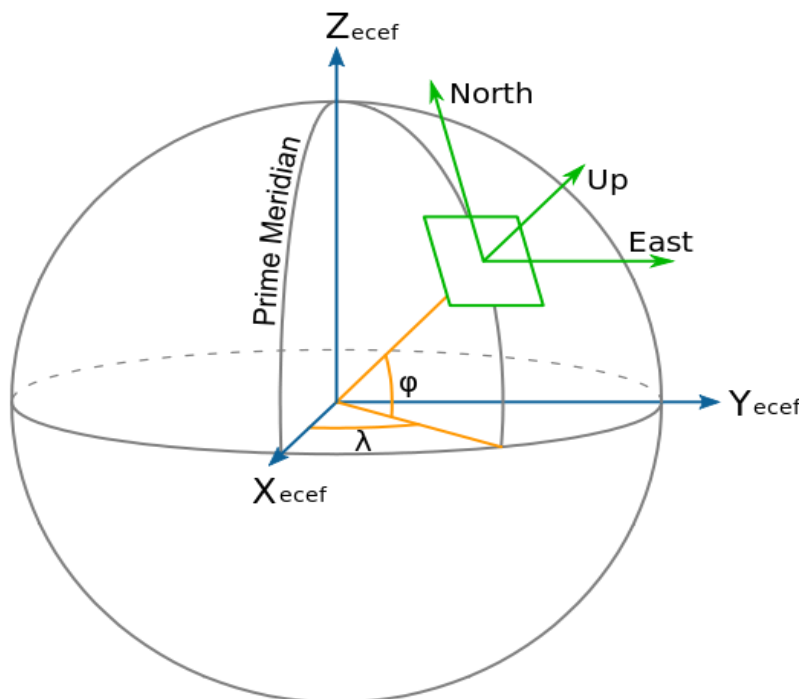
Για να συσχετιστούν οι φαινόμενες τροχιές του ήλιου με την τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών (φωτοβολταϊκά και θερμικά συστήματα) και με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κτηρίων κατά το σχεδιασμό τους (παθητικά συστήματα), πρέπει να είναι γνωστή η θέση του ήλιου στον ουρανό και στον ορίζοντα αντίστοιχα . Αυτό γίνεται με την χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων για κάθε τόπο και των σφαιρικών συντεταγμένων για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου στον ουράνιο θόλο.

a) Γεωγραφικές συντεταγμένες (εικόνα 1.3) [1]

Οι νοητοί κύκλοι που είναι παράλληλοι στον ισημερινό ονομάζονται παράλληλοι κύκλοι, ενώ οι νοητοί κύκλοι κάθετα σε αυτούς ονομάζονται μεσημβρινοί. Μεσημβρινός αναφοράς είναι αυτός που περνάει από το Γκρίνουιτς της Μεγάλης Βρετανίας .

**Γεωγραφικό μήκος (  $\lambda$  )** ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του αντίστοιχου μεσημβρινού με το επίπεδο του μεσημβρινού του Γκρίνουιτς. Το γεωγραφικό μήκος παίρνει τιμές από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  για τόπους ανατολικά του Γκρίνουιτς και  $0^\circ$  έως  $-180^\circ$  για δυτικά.

**Γεωγραφικό πλάτος (  $\phi$  )** ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζουν η ευθεία που ενώνει τον τόπο με το κέντρο της γης και το επίπεδο του ισημερινού. Η γωνία αυτή μπορεί να πάρει τιμές από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  για το βόρειο ημισφαίριο και  $0^\circ$  έως  $-90^\circ$  για το νότιο ημισφαίριο.



**Εικόνα 1.3 :** Σχηματική απεικόνιση γεωγραφικών συντεταγμένων ενός τόπου



b) Σφαιρικές συντεταγμένες [1]

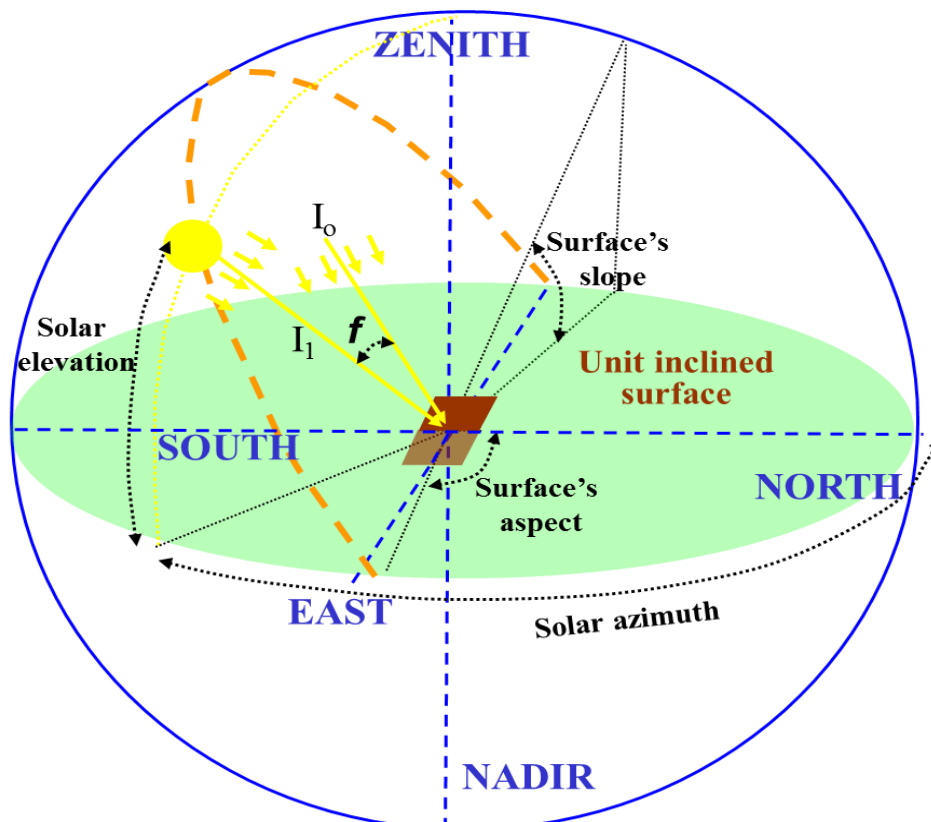
**Ύψος ηλίου ( $\gamma_s$ )** είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της θέσης του ήλιου στον ουρανό και του οριζώντιου επιπέδου.

**Αζιμούθια γωνία του ηλίου ( $a_s$ )** Η γωνία μεταξύ ( $\alpha$ ) του επιπέδου που περνάει από τον ήλιο, τον παρατηρητή και το ζενίθ του και ( $\beta$ ) της γραμμής που συνδέει τον παρατηρητή και το Βορρά Η γωνία μετριέται από το Βορρά στη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες (0-360).

**Κλίση κυττάρων - Slope (Slp)** : Η κλίση ενός κυττάρου είναι η μεγαλύτερη κλίση ενός επιπέδου που ορίζεται από το κύτταρο και τα οκτώ γειτονικά του. Η γωνία μετριέται σε μοίρες (0-90).

**Διεύθυνση κυττάρων-Aspect (Asp)** : Η διεύθυνση που 'βλέπει' η κλίση. Η γωνία μετριέται από το Βορρά στη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες (0-360). Επίπεδα κύτταρα παίρνουν την τιμή -1.

Τα παραπάνω μεγέθη παρουσιάζονται σχηματικά στην εικόνα 1.4



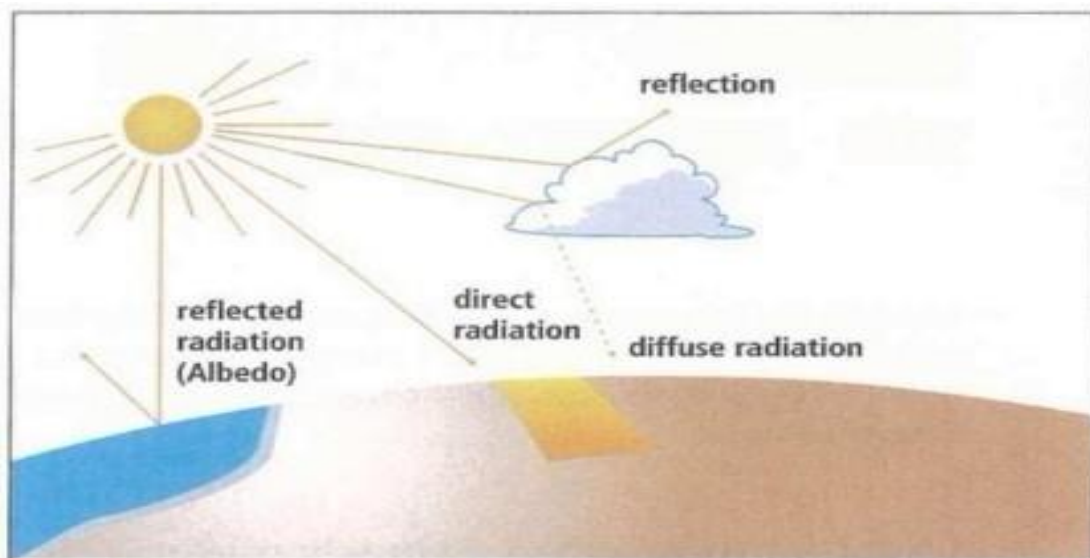
**Εικόνα 1.4 :** Σχηματική απεικόνιση ύψους ηλίου, αζιμούθιου και κλίσης και διεύθυνσης κυττάρων

## 1.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ενέργεια που δέχεται η γη από τον ήλιο έρχεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Ωστόσο η ακτινοβολία φτάνει στην γη μειωμένη γιατί εξασθενεί καθώς διαπερνά το σώμα της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος της σκεδάζεται στα μόρια της ατμόσφαιρας, στους υδρατμούς, στους καπνούς και στη σκόνη που συναντάει και ένα ποσοστό της σκεδαζόμενης φτάνει στη γη, ένα άλλο μέρος της απορροφάται από αέρια της ατμόσφαιρας όπως η υπεριώδης ακτινοβολία από το όζον. Για αυτό το λόγο χωρίζουμε την ολική ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος σε :

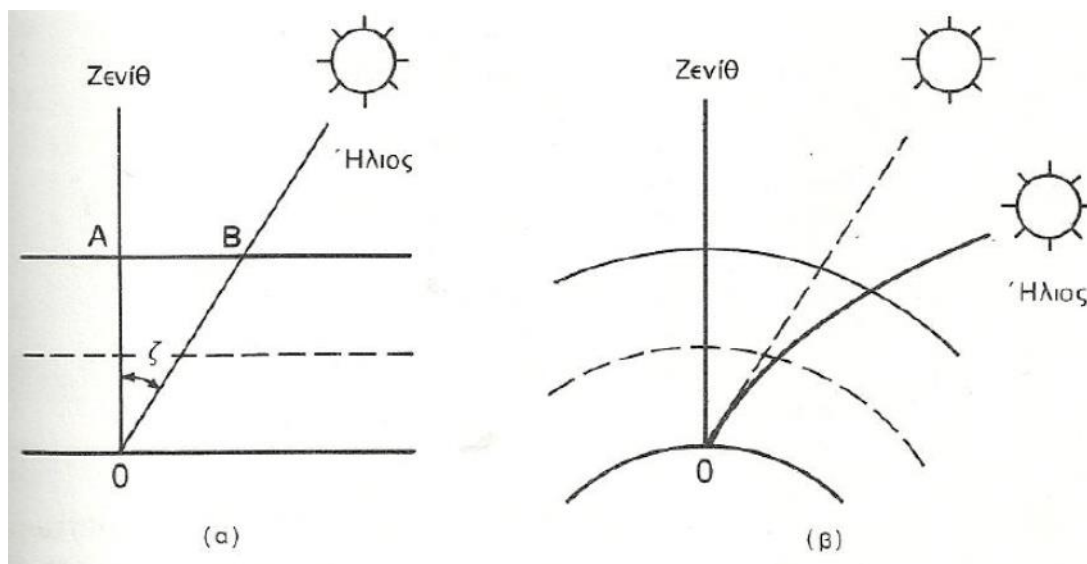
- Άμεση ακτινοβολία (direct radiation): Η ακτινοβολία η οποία φτάνει στο έδαφος χωρίς να υποστεί κάποια επίδραση στην ατμόσφαιρα.
- Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) : η ακτινοβολία η οποία φτάνει στο έδαφος και προέρχεται από ανακλάσεις σε μόρια του αέρα.

Στην ακτινοβολία που προσπίπτει σε ηλιακούς συλλέκτες συνεπικουρεί και η ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία (albedo radiation) σε πολύ μικρό ποσοστό εκτός εάν οι επιφάνειες τριγύρω έχουν ισχυρή αντανακλαστική ιδιότητα, όπως το χιόνι και ο πάγος για παράδειγμα [2].



**Εικόνα 1.5 :** Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης

Ανάλογα με την γωνία του ηλίου κάθε στιγμή και τις γεωγραφικές συνθήκες του τόπου οι ηλιακές ακτίνες διανύουν διαφορετική απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα. Όταν εισέρχονται κάθετα στην ατμόσφαιρα λέμε ότι έχουμε AM1. Με το ακρωνύμιο AM εννοούμε αέρια μάζα (air mass) και ο αριθμός δίπλα δηλώνει το πηλίκο του οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας δια μέσω του οποίου περνάει η άμεση ακτινοβολία προς το οπτικό πάχος αν ο ήλιος βρισκόταν στο ζενίθ και καθορίζει την ελάττωση της έντασης της ηλιακής έντασης. Η πυκνότητα ισχύος έξω από τα όρια της ατμόσφαιρας δηλαδή για AM0 είναι  $1352 \text{ W/m}^2$  και η AM2  $740 \text{ W/m}^2$  [4].



**Εικόνα 1.6 :** Διανυόμενο μήκος των ηλιακών ακτινών μέσα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με την θέση του ήλιου

Η ποσότητα της προσπιπτόμενης ηλιακής ενέργειας ανά μέρος και ώρα είναι ένα μέγεθος που το καθορίζουν όλοι οι παραπάνω παράγοντες που αναφέρθηκαν (γεωγραφικές συντεταγμένες, σφαιρικές συντεταγμένες, η εποχή) αλλά πολύ σημαντικό ρόλο έχει και το μικροκλίμα της κάθε περιοχής. Για παράδειγμα μια περιοχή που η μορφολογία της ευνοεί το σχηματισμό σύννεφων (π.χ. πολλά βουνά) θα έχει αρκετά μικρότερη ενεργειακή απολαβή από μια πεδινή περιοχή.

### 1.3 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

Τα φωτοβολταϊκά είναι η τεχνολογική εφαρμογή της άμεσης μετατροπής της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια. Η «ανακάλυψη» του φωτοβολταϊκού φαινομένου έγινε από τον Edmund Becquerel το 1839, παρατηρώντας ότι η τάση σε ένα συσσωρευτή υγρού αυξάνεται όταν οι πλάκες του εκτιθόταν στο φως του ηλίου. Πέρασαν όμως αρκετά χρόνια μέχρι να η φωτοβολταϊκή τεχνολογία να εξελιχθεί και να κυκλοφορήσουν τα πρώτα φωτοβολταϊκά πλαίσια στην αγορά το 1956. Ο πρώτος φωτοβολταϊκός σταθμός ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1983 ισχύος 1 MW [4].

#### 1.3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

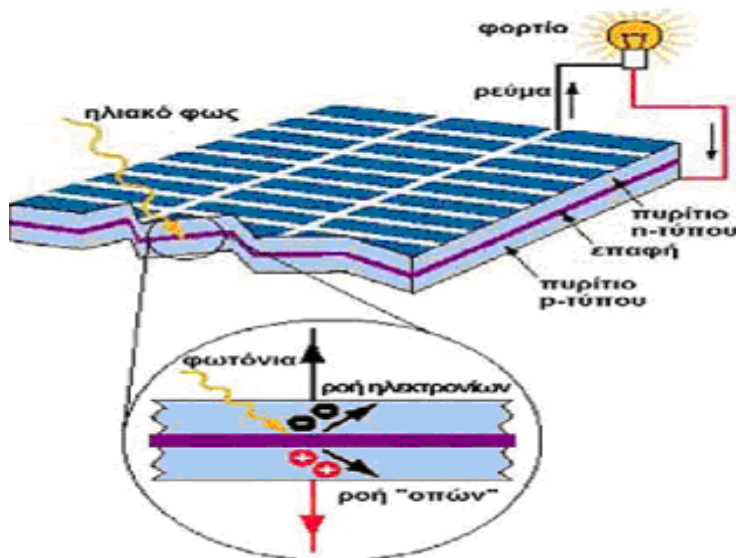
Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια στηρίζεται στις ιδιότητες των ημιαγωγών. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται κατά βάση στην κατασκευή των ηλιακών κελιών (solar cells) είναι το πυρίτιο.

Το πυρίτιο έχει κάποιες ιδιαίτερες χημικές ιδιότητες στην κρυσταλλική του μορφή. Ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανεμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι πρώτες δύο, αυτές που είναι πιο κοντά στο κέντρο, είναι συμπληρωμένες (2 και 8). Η εξωτερική όμως έχει μόνο 4 ενώ θα έπρεπε να έχει 8. Γι αυτό μοιράζεται ηλεκτρόνια με τα γειτονικά του άτομα. Όταν το πυρίτιο απορροφά ενέργεια από το ηλιακό φως μερικά

ηλεκτρόνια σπάζουν τους δεσμούς τους και φεύγουν από τα άτομά τους. Αυτά τα ηλεκτρόνια κυκλοφορούν «ψάχνοντας» να βρουν άλλη κενή θέση δημιουργώντας στην ουσία ηλεκτρικό ρεύμα, ωστόσο είναι πολύ λίγα και η ενέργεια δεν είναι αξιοποιήσιμη.

Για αυτό το λόγο στην μία πλευρά προσθέτουμε προσμίξεις φωσφόρου (που έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα), που αναπτύσσει δεσμούς με το πυρίτιο δημιουργώντας αρνητικό φορτίο (n) και στην άλλη πλευρά του κελιού προστίθεται βόριο( έχει 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα) που ομοίως δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο αλλά αναπτύσσεται θετικό (p) φορτίο. Έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στις δύο πλάκες αφού τα ηλεκτρόνια από το πυρίτιο τύπου n πηγαίνουν προς τις κενές θέσεις στο πυρίτιο τύπου p, μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί ως ηλεκτροδίο επιτρέποντας την κίνηση των ηλεκτρονίων μόνο προς την επαφή τύπου n.

Όταν τώρα τα φωτόνια εισέρχονται σε ένα ηλιακό κύτταρο, η ενέργεια τους ελευθερώνει ηλεκτρόνια από τους δεσμούς που όταν βρεθούν κοντά στην ένωση το ηλεκτρικό πεδίο θα τα ωθήσει στην επαφή τύπου n. Αν χρησιμοποιηθεί μία εξωτερική ηλεκτρική οδός τα ηλεκτρόνια θα μεταφερθούν μέσω αυτής στην αρχική τους θέση. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ροή αυτών των ηλεκτρονίων και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση, που μαζί συνιστούν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο [2]. Ολόκληρη η διαδικασία παρουσιάζεται στην εικόνα 1.7 .



**Εικόνα 1.7 :** Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

### 1.3.2 Τύποι φωτοβολταϊκών κελιών - πλαισίων

Τα ηλιακά κελιά έχουν συνήθως τετράγωνο σχήμα πλευράς περίπου 10 εκατοστών. Ένα ηλιακό κελί παράγει πολύ μικρή ισχύ (συνήθως λιγότερο από 2W) και έτσι ενώνονται ηλεκτρικά εν σειρά ή εν παραλλήλω σχηματίζοντας τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Οι κυριότεροι τύποι ηλιακών κελιών είναι οι εξής [3]:

## 1. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου (εικόνα 1.8) κατασκευάζονται από ένα μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία «Czochralski». Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση της τάξης του 15-18% αλλά και από υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Το χρώμα τους είναι βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

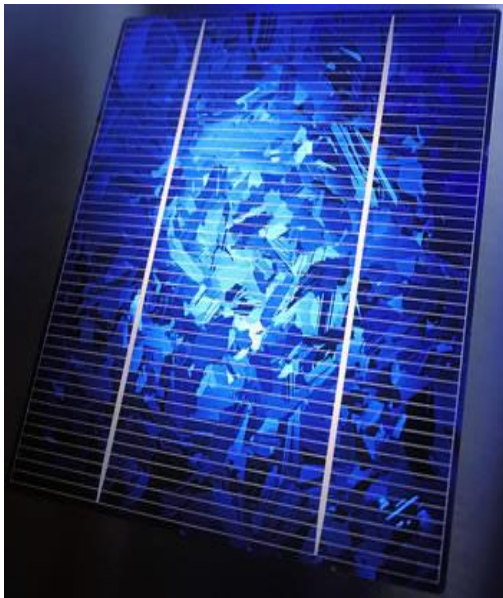


**Εικόνα 1.8 :** Πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (πηγή [http://www.m0ukd.com/Solar\\_Panels/](http://www.m0ukd.com/Solar_Panels/))

## 2. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (εικόνα 1.9) είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).





**Εικόνες 1.9-1.10 :** Πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου (δεξιά) – πλαίσιο άμορφου πυριτίου (αριστερά) (πηγή [http://www.m0ukd.com/Solar\\_Panels/](http://www.m0ukd.com/Solar_Panels/))

### **3. Άμορφο πυρίτιο (amorphous-Si)**

Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή κελιών λεπτής μεμβράνης και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Το άμορφο πυρίτιο μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα, σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης. Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Σήμερα, ένα εμπορικό Φ/Β πλαίσιο με κελιά άμορφου πυριτίου (εικόνα 1.10) έχει απόδοση 6-8%, ενώ τα κελιά μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 13-18%. Επίσης, τα κελιά αυτά παρουσιάζουν μεγάλη απώλεια απόδοσης όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, γεγονός που τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση στην Ελλάδα. Τέλος, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων Φ/Β πλαισίων.

### **4. Κελιά χαλκού-ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου**

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτού υμενίου.

## 1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο

### 1.4.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον παγκόσμιο χάρτη

Η είσοδος στον 21<sup>ο</sup> αιώνα χαρακτηρίζεται από την μεγάλη σημασία που έχει δοθεί στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πολλά κράτη έχουν θέσει ως στόχο την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε μια προσπάθεια να μειώσουν την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα αλλά και να αποφύγουν την επικίνδυνη επέκταση της πυρηνικής ενέργειας. Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά ζητήματα οι ΑΠΕ αποτελούν κατά γενική σχεδόν ομολογία την μοναδική οδό για την προστασία του πλανήτη. Ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εκτός από την ηλιακή και την αιολική συμπεριλαμβάνονται σε αυτές η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέριο.

Οι ανανεώσιμες πηγές αυξάνουν κάθε χρόνο το μερίδιο συμμετοχής τους στην ενεργειακή πυραμίδα σε μεγάλο αριθμό χωρών παρά την οικονομική κρίση. Για να γίνει αντιληπτό αξίζει να αναφερθούν τα παρακάτω στοιχεία [5]:

- Στην Κίνα η αιολική ενέργεια ξεπέρασε την παραγωγή από άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια.
- Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 70% των προσθηκών σε ηλεκτρική ισχύ το 2012, κυρίως από ηλιακά φωτοβολταϊκά και αιολική ενέργεια. Το 2011 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσέφεραν το 20,6% κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και το 13,4% της ακαθάριστης τελικής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Στη Γερμανία, οι ΑΠΕ αντιστοιχούσαν στο 22,9% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (από 20,5% το 2011), στο 10,4% της εθνικής χρήσης για θέρμανση.
- Οι Ηνωμένες Πολιτείες εγκατέστησαν μεγαλύτερη δυναμικότητα αιολικής ενέργειας σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία, και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτέλεσαν περίπου το ήμισυ της συνολικής προσθήκης σε ηλεκτρική δυναμικότητα.
- Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι έχουν πετύχει υψηλά επίπεδα διείσδυσης σε χώρες όπως η Δανία και η Ιταλία, όπου το 2012 παρήγαγαν 30% της ηλεκτρικής ενέργειας με την αιολική ενέργεια και 5,6% με την φωτοβολταϊκά, αντίστοιχα.

### 1.4.2 Θεσμικό πλαίσιο ΑΠΕ και αγορά φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.

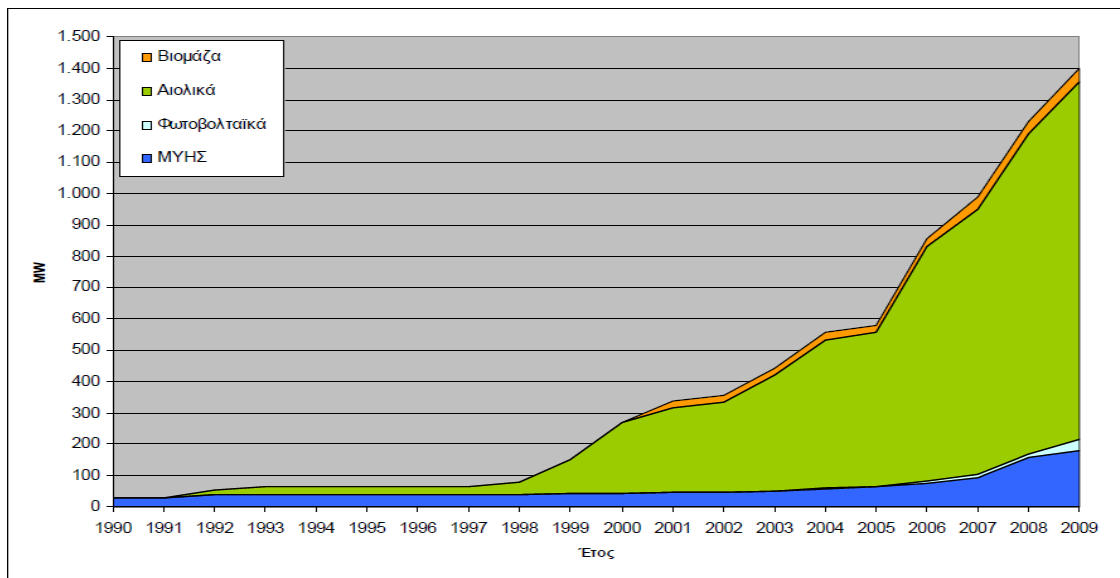
Στην Ελλάδα η πρώτη νομοθετική προσπάθεια για την εισαγωγή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας έγινε το 1985 με το Ν. 1599/1985 «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από

συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» σύμφωνα με τον οποίο δινόταν η δυνατότητα για άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε αυτό-παραγωγούς, Δ.Ε.Η. και οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης. Στην συνέχεια το νομικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ ανανεώθηκε το 1994 με το ν. 2244/94 όπου παρεχόταν η άδεια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος σε ανεξάρτητους παραγωγούς από ΑΠΕ με την υποχρέωση της Δ.Ε.Η. να αγοράζει την ενέργεια τους με σχετικά σταθερή τιμή και μακρόχρονες (δεκαετείς) συμβάσεις. Με το ν. 2773/99 η ελληνική νομοθεσία εναρμονίζεται με την κοινοτική οδηγία 96/92 και απελευθερώνεται πλήρως η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ΑΠΕ, συμπαραγωγή και από άλλα ορυκτά καύσιμα. Οι νόμοι 2941/2001 και 3468/2006 συμπληρώνουν τις διατάξεις των δύο παραπάνω νόμων, προβλέπουν την επιδότηση των επενδύσεων σε ΑΠΕ μέσω επιχειρησιακών προγραμμάτων και προσφέρουν υψηλές σταθερές τιμές για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος με τον πιο πρόσφατο νόμο 3851/2010 απλουστεύονται οι διαδικασίες αδειοδότησης και γίνεται εξορθολόγηση στην τιμολογιακή πολιτική της ενέργειας από ΑΠΕ αποκλιμακώνοντας τις τιμές πώλησης της ενέργειας σταδιακά για τις συμβάσεις που θα υπογράφονται.

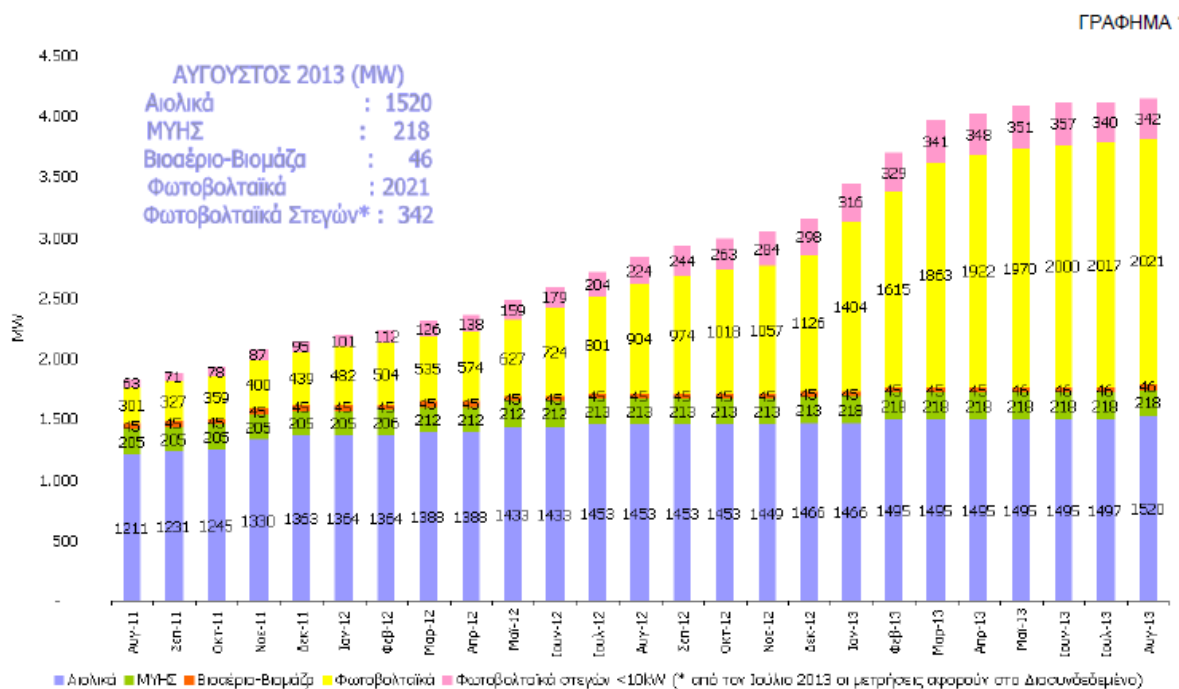
Το θεσμικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ που τέθηκε σε ισχύ βοήθησε την ανάπτυξη τους στην Ελλάδα και φαίνεται καθαρά στα σχήματα 1.11-1.12 που παρουσιάζεται η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς τους. Παρατηρούμε ότι το 1990 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από ΑΠΕ ήταν κάτω από 50 MW, 2009 είχε φτάσει τα 1400 MW και τον Αύγουστο του 2013 είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο 4147 MW από ΑΠΕ. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι οι αιολικές και φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αποτελούν το 85% της εγκατεστημένης ισχύος, με την ανάπτυξη των πρώτων το διάστημα 1998-2009 και των δεύτερων από το 2006 μέχρι σήμερα.

Η φωτοβολταϊκή αγορά στην Ελλάδα μέχρι το 2006 ήταν σχεδόν ανύπαρκτη με μόλις 300 kWp εγκατεστημένα από ιδιώτες αυτόνομα συστήματα σε μέρη όπου δεν υπήρχε δίκτυο. Άρχισε να αναπτύσσεται μετά το νόμο 3468/2006 που προέβλεπε τη σύνδεση φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στο δίκτυο. Το 2008 εγκαταστάθηκαν 12 MWp, το 2009 36,5 MWp και η μεγάλη διείσδυση έγινε τη διετία 2010-2011 όπου εγκαταστάθηκαν 550 MWp [6]. Το 2012 εγκαταστάθηκαν 912 MWp και από τον Ιανουάριο έως τον Ιούλιο του 2013 έχουν εγκατασταθεί 978,9 MWp [7]. Η ραγδαία αυτή ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών έφερε επιπλέον αλλαγές στο θεσμικό επίπεδο μέσα στο 2012, οι οποίες κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση αυτή τη φορά, αναστέλλοντας τη χορήγηση νέων αδειών λόγω της υπερκάλυψης των εθνικών στόχων που είναι 1500 MW έως το 2014 και 2200 έως το 2020 [8]. Επιπλέον οι αναθεωρημένες προς τα κάτω εγγυημένες τιμές για τις νέες συμβάσεις και η επιβολή έκτακτης εισφοράς στους ανεξάρτητους παραγωγούς από 25%-35% για να αντιμετωπιστεί το έλλειμμα που δημιουργήθηκε στο λογαριασμό για τις ΑΠΕ του λειτουργού της αγοράς ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) θα αποτρέψουν τις επενδύσεις στον τομέα των φωτοβολταϊκών τα επόμενα χρόνια.





**Σχήμα 1.1 :** Αθροιστικά εγκαθιστάμενη ισχύς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. (πηγή στοιχεία ΔΕΣΜΗΕ, Σεπτέμβριος 2009)



**Σχήμα 1.2 :** Εγκατεστημένη ισχύς (MW) μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο διασυνδεδεμένο σύστημα (άρθρο 9 Ν.3468/06) και Φ/Β στεγών  $\leq 10kW$  (πηγή ΔΕΣΜΗΕ)



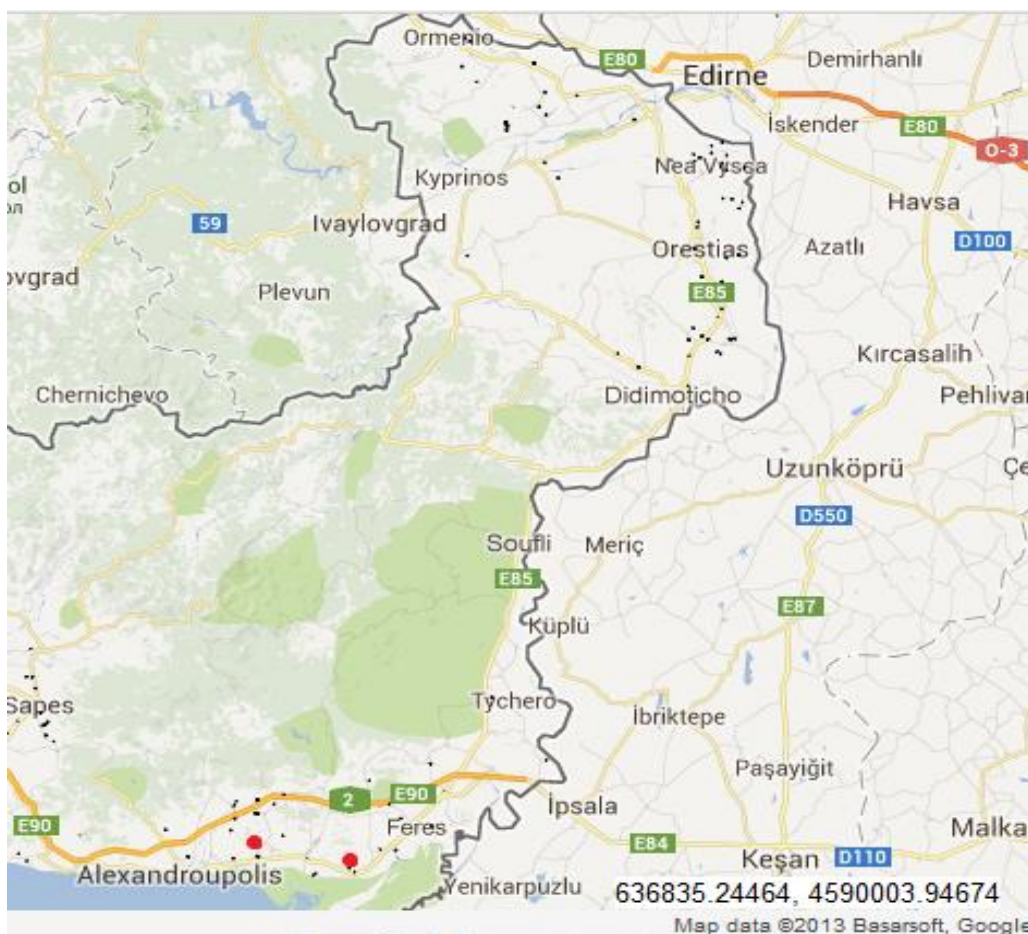
# 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Τεχνική περιγραφή συστήματος

## 2.1 Τεχνική ανάλυση κατασκευής φ/β σταθμού 100 kW με ηλιακό ιχνηλάτη επί γηπέδου στην περιοχή Αγνάντια Αλεξανδρούπολης.

### 2.1.1 Γενικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πάρκου

Η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι διασυνδεδεμένη στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. και έχει εγκατασταθεί στο νομό Έβρου 10 χιλιόμετρα (εικόνα 2.1) ανατολικά της Αλεξανδρούπολης σε υψόμετρο 25 μ. στην περιοχή της Αγνάντιας του δήμου Αλεξανδρούπολης σε έκταση 11000 τ.μ.

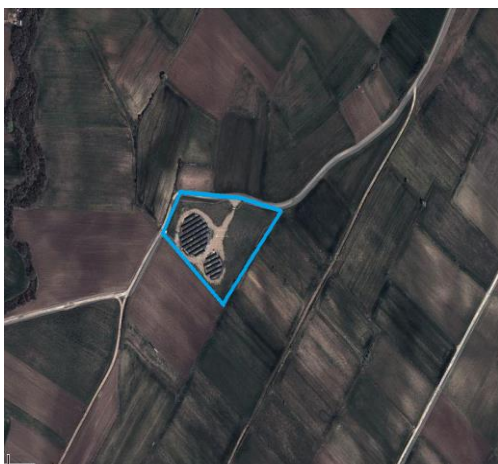
Για την κατασκευή του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε ειδικού τύπου βάσεις με δυνατότητα μεταβολής της κλίσης και προσανατολισμού (ηλιοστάτες), τα οποία εδράζονται σε μία μεταλλική βάση αποτελούμενη από ομόκεντρους κύκλους η οποία περιστρέφεται με υδραυλικά μέσα πάνω σε τροχούς σε όλο τον άξονα Ανατολής- Δύσης.



**Εικόνα 2.1 :** Χάρτης Ν. Έβρου από το Google maps. Οι θέσεις των δύο φ/β σταθμών σημειώνονται με τις κόκκινες στίξεις στο νότιο μέρος του νομού.

### 2.1.2 Χωροθέτηση

Το γήπεδο έχει γεωγραφικό πλάτος  $\phi=40,8730$ , γεωγραφικό μήκος  $\lambda=25,9650$ , κλίση  $0^\circ$  και δεν υπάρχουν τριγύρω εμπόδια (βουνά, λόφοι, δέντρα κλπ) που να σκιάζουν το χώρο της εγκατάστασης (εικόνα 2.2). Στο οικόπεδο κατασκευάστηκαν δύο ηλιοστάτες φιλοξενίας φωτοβολταϊκών πλαισίων 70 kWp και 30 kWp αντίστοιχα εδρασμένοι σε κυκλικά θεμέλια από σκυρόδεμα οι οποίοι τοποθετήθηκαν στο νότιο τμήμα του γηπέδου με τον υπόλοιπο χώρο να μην χρησιμοποιείται, όπως φαίνεται από την εικόνα 2.3.



**Εικόνες 2.2, 2.3:** Απεικόνιση του αγροτεμαχίου με χρήση Google Earth μετά την ολοκλήρωση των εργασιών.

### 2.1.3 Τεχνικά έργα (Έργα υποδομής και έργα διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου)

Αφού εκδόθηκαν οι οικοδομικές άδειες για τον σταθμό έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

#### Περίφραξη

Ο χώρος του φωτοβολταϊκού σταθμού επί του γηπέδου έχει περιφραχθεί (εικόνα 2.8) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά για ένα μέτρο μήκους πλήρους περιφράξης:

Α) εκσκαφή χάνδακος σε βάθος 20 έως 30 εκ. και πλάτους 25 εκ. για την θεμελίωση και σενάζ στερέωσης των πασσάλων και του συρματοπλέγματος.

Β) Σκυρόδεμα C16/20 κατασκευής θεμελίωσης και σενάζ σε δύο φάσεις. Κατά την πρώτη φάση διαστρώθηκε σκυρόδεμα πλάτους 20 έως 25 εκ. και ύψους 20 εκ. περίπου και πριν από την σκλήρυνση του πακτώθηκαν μέσα σε αυτό οι πάσσαλοι. Στη δεύτερη φάση έγινε η σκυροδέτηση του υπόλοιπου τμήματος του σενάζ διατομής πλάτους 18 εκ. και ύψους 20 εκ. στο οποίο θα πακτωθεί και μέρος του κάτω μέρους του συρματοπλέγματος περιφράξης.

Γ) Τοποθετήθηκε συρματοπλέγμα 2,4 χιλιοστών 55×55 ύψους 2,00 μ. και ενίσχυση με τρεις σειρές γαλβανισμένο σύρμα καθώς και τρεις σειρές αγκαθωτό σύρμα N 1 ¼ σε τρεις σειρές στο άνω μέρος της κάμψης των πασσάλων.

Δ) Κατασκευάστηκε και τοποθετήθηκε δίφυλλη θύρα διαστάσεων 5,00\*2,00 μ. και μία μονόφυλλη πλάτους 1,00 μ. και ύψους 2,00 μ. (εικόνα 2.4)



**Εικόνα 2.4 :** Είσοδος του φ/θ πάρκου Αγνάντιας

### Έργα υποδομής

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν χωματουργικές εργασίες για την ομαλοποίηση/οριζοντίωση (εικόνα 2.5) του εδάφους του αγρού και τον καθαρισμό του περιβάλλοντος χώρου. Δημιουργήθηκε περιμετρική οδός μέσα στο γήπεδο για την διευκόλυνση των εργασιών και έγιναν εκσκαφές για τα θεμέλια στήριξης των ηλιοστατών (εικόνα 2.6), δίκτυο των υπόγειων καλωδιώσεων και θεμελίων για την τοποθέτηση φωτιστικών. Έπειτα σκυροδετήθηκαν τα θεμέλια, για τον ηλιοστάτη των 80 kWp δύο ομόκεντρες κυκλικές δοκοί στήριξης της ράγας διαμέτρου 45 μ. και 28 μ. αντίστοιχα και ένα κεντρικό τετραγωνικών διαστάσεων 1,75\*1,75\*0,3 μ. ενώ για τον ηλιοστάτη των 30 kWp μία κυκλική δοκός διαμέτρου 28 μ. και ένα κεντρικό τετραγωνικών διαστάσεων 1,75\*1,75\*0,3 μ. (τα πέδιλα είναι σχεδιασμένα για τάση εδάφους 18 kN/m<sup>2</sup>)





*Εικόνα 2.5 : Ο οδοστρωτήρας κατά την ομαλοποίηση του εδάφους*



*Εικόνα 2.6 : Εκσκαφή των θεμελίων για τις βάσεις στήριξης*

Κατασκευή βάσεων από σκυρόδεμα και τοποθέτησης ηλεκτρικού πίνακα παραγωγής που τον βλέπουμε στην εικόνα 2.7. Αρχικά είχε προβλεφθεί και η κατασκευή οικίσκου για βοηθητικές εργασίες που τελικά δεν έγινε.



**Εικόνα 2.7:** Κεντρικός πίνακας παραγωγής

Τοποθετήθηκαν 12 φωτιστικά σημεία στην περίμετρο του γηπέδου και σε ύψος 2 μ. (ύψος περίφραξης) για το δίκτυο φωτισμού και εγκαταστάθηκε το σύστημα συναγερμού του σταθμού. Στην εικόνα 2.8 βλέπουμε την περίφραξη και τα φωτιστικά στη νότια πλευρά του γηπέδου.



**Εικόνα 2.8:** Περίφραξη και σύλος φωτισμού

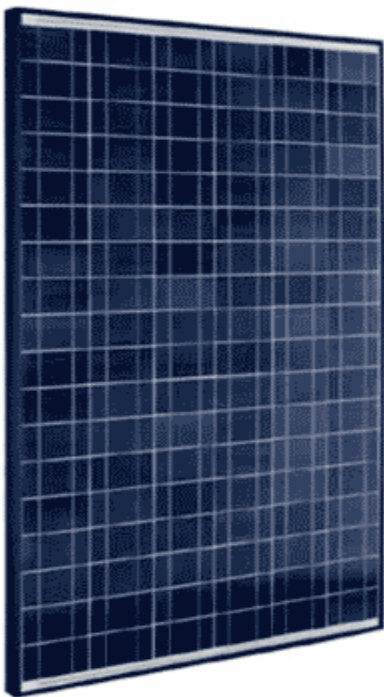


## 2.1.4 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (πλαίσια, αντιστροφείς, καλώδια, σύστημα παρακολούθησης)

### Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Τα φ/β πλαίσια είναι οι γεννήτριες που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

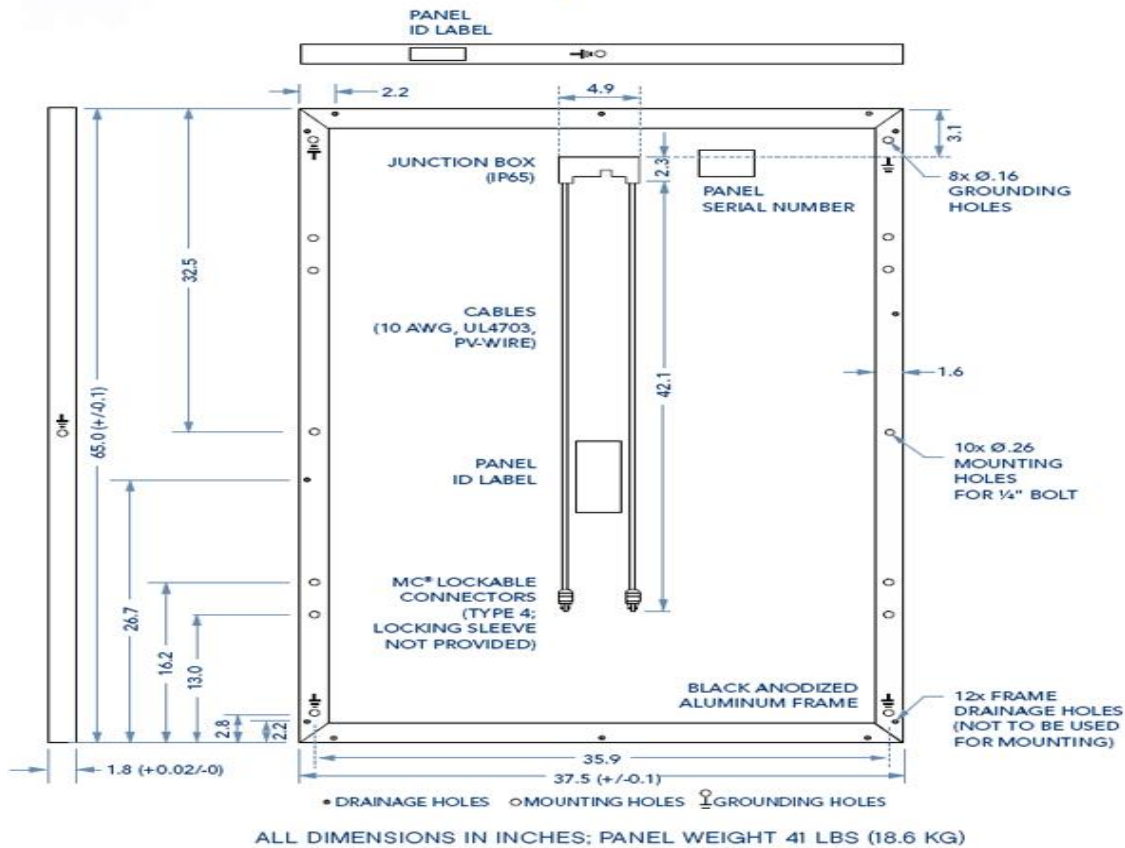
Για τον φωτοβολταϊκό σταθμό οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες που επιλέχτηκαν μετά από έρευνα αγοράς είναι της εταιρίας Evergreen, το μοντέλο ES-A-210-fa2\* (εικόνες 2.9-2.10), αμερικανικής κατασκευής και προέλευσης συνολικής ισχύος 100 kWp. Οι συλλέκτες κατασκευάζονται από ηλιακά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου String Ribbon, αντί-ανακλαστικό σκληρυμένο κρύσταλλο, ενθυλακώτικό EVA, οπίσθια επένδυση από πολυμερές υλικό και πλαίσιο ανοδιωμένου αλουμινίου διπλού τοιχώματος για την προστασία τους από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος (υγρασία, θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές) και μηχανική καταπόνηση. Οι εξωτερικές διαστάσεις του πλαισίου είναι μήκος× πλάτος ×ύψος 1650,5×951,3×46 σε χιλιοστά (εικόνα 2.11) και το βάρος του 18.8 κιλά, η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση σε φορτίο χιονιού είναι 5.4 kPa ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση σε συνδυασμό φορτίου χιονιού και ανεμοπίεσης είναι 3.5 kPa. Τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους πίνακες 2.1 και 2.2.[9]



*Εικόνες 2.9, 2.10 : Μπροστινή πλευρά πλαισίου (αριστερά από το εγχειρίδιο χρήσης –δεξιά από την τοποθέτηση στο σταθμό)*

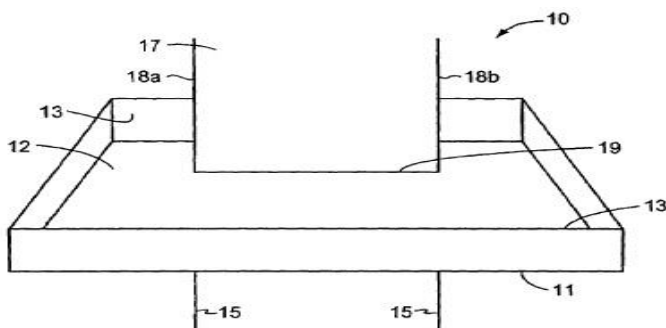


## MECHANICAL specifications



**Εικόνα 2.11:** Όψη της πίσω πλευράς του πλαισίου και μηχανικά χαρακτηριστικά

Αξίζει να αναφερθεί συνοπτικά η τεχνολογία παραγωγής των πλαισίων, String Ribbon η οποία ανήκει στη γενικότερη τεχνολογία ταινιών πυριτίου (Ribbon Silicon). Η έλλειψη αποθέματος πυριτίου (Si) στην αγορά ήταν η κύρια αιτία να αναπτυχθούν εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής με μείωση της χρήσης της πρώτης ύλης και των απωλειών κατά την παραγωγή [13]. Η βασική ιδέα είναι ότι εισέρχονται κάθετα δύο ίνες άνθρακα σε ένα δοχείο με λιωμένο πυρίτιο και καθώς εξέρχονται το πυρίτιο, που είναι σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτές, κρυσταλλοποιείται ανάμεσα τους δημιουργώντας τη λωρίδα, η οποία στη συνέχεια τεμαχίζεται, η διαδικασία παρουσιάζεται στην εικόνα 2.12.



**FIG. 1A**

**Εικόνα 2.12 :** 11=δοχείο, 12=τήγμα πυριτίου, 15=ίνες άνθρακα, 17=ταινία κρυσταλλοποιημένου πυριτίου 18a,b=στερεά όρια ταινίας,19=σημείο κρυσταλλοποίησης

**Πίνακας 2.1 :** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φ/β γεννητριών από μετρήσεις σε πρότυπες συνθήκες (STC)

Ονομαστική ισχύς ( $P_{nom}$ )	210W
Ανοχή ισχύος	-0/+4.99(W) ή -0/+2.5(%)
Απόδοση φ/β γεννήτριας	13.4 %
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος ( $V_{mp}$ )	18.3 V
Ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος ( $I_{mp}$ )	11.48 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ )	22.8 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ )	12.11 A

**Πίνακας 2.2 :** Θερμοκρασιακοί συντελεστές φ/β γεννητριών

$\gamma P_{mp}$	-0.44 %/°C
$\beta V_{mp}$	-0.40 %/°C
$\alpha I_{mp}$	-0.03 %/°C
$\beta V_{oc}$	-0.31 %/°C
$\alpha I_{sc}$	+0.05 %/°C

Για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν 472 πλαίσια. Στον μεγάλο ηλιοστάτη έχουν εγκατασταθεί με ειδικό τρόπο σύνδεσης στις βάσεις 342 γεννήτριες συνολικής ισχύος 71.82 kWp, στον μικρότερο 130 με συνολική ισχύ 27,3 kWp. Η εικόνα 2.13 δείχνει την εγκατάσταση των πλαισίων στις μεταλλικές βάσεις του ηλιοστάτη.



**Εικόνα 2.13 :** Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

## Αντιστροφεείς ρεύματος

Το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τις γεννήτριες θα πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο από τους αντιστροφεείς ρεύματος ώστε να μπορεί να εγχυθεί στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. Στην εγκατάσταση που περιγράφεται χρησιμοποιούνται τριφασικοί αντιστροφεείς 8 Power-One PVI-10.0-OUTD-FS και 1 αντιστροφέας Power - One PVI-12.5-OUTD-FS (εικόνα 2.14). Οι αντιστροφεείς είναι εξοπλισμένοι με ειδικό μηχανισμό (διακόπτη Ρεύματος) από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος για εύκολη επέμβαση σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης (DC switch), τα υπόλοιπα ηλεκτρολογικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφέων βρίσκονται στον πίνακα 2.3 [10]. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αφού συνδεθούν σε στοιχειοσειρές, συνδέονται με τους αντιστροφεείς με καλώδια DC ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης σε κάθε περίπτωση, στην προκειμένη έχουν συνδεθεί 2 στοιχειοσειρές (strings) με 26 πλαίσια ανά αντιστροφέα PVI-10.0-OUTD-FS και 2 στοιχειοσειρές με 30 πλαίσια στον PVI-12.5-OUTD-FS. Το εναλλασσόμενο πλέον ρεύμα με καλώδια AC, τα οποία οδεύονται υπόγεια μέσα σε σωλήνα PVC στον γενικό πίνακα (εικόνα 2.15). [3]



**Εικόνα 2.14 :** Αντιστροφεείς ρεύματος



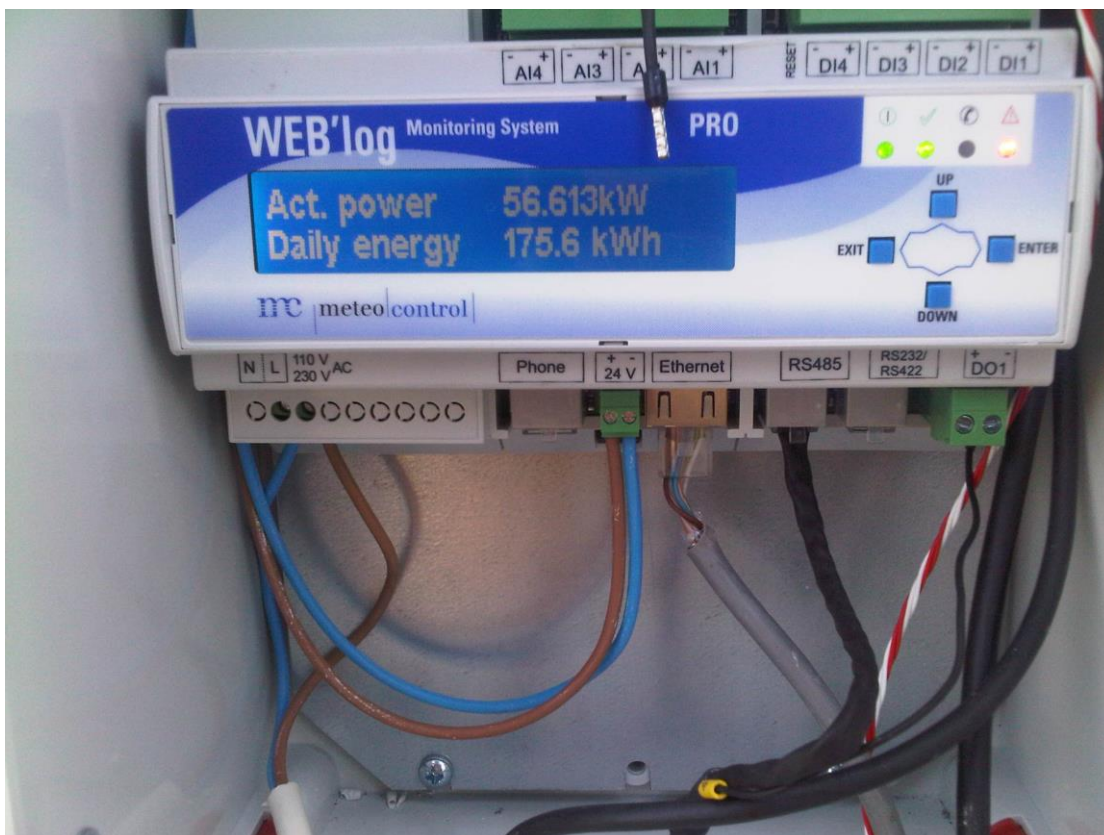


**Εικόνα 2.15 :** Υπόγεια καλωδιακή σύνδεση αντιστροφών με τον κεντρικό πίνακα.

**Πίνακας 2.3 :** Ηλεκτρολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των αντιστροφών

Παράμετρος	PVI-10.0-TL-OUTD	PVI-12.5-TL-OUTD
Ισχύς max DC	10300 W	12800 W
Ισχύς max AC	10000 W	12500 W
Ονομαστική τάση εξόδου	400 V	400 V
Εύρος τάσης εξόδου	320V – 480 V	320V – 480 V
Συχνότητα	50 Hz	50 Hz
Ονομαστική μέγιστη τάση εισόδου	900 V	900V
Εύρος τάσης εισόδου	252V-850V	252-850V
Συντελεστής απόδοσης	97.8 %	97.8 %
Συντελεστής αρμονικής παραμόρφωσης	<2%	<2%
Όριο τροφοδοσίας ισχύος	30 W	30 W
Διαστάσεις	716mm x 645mm x 222mm	716mm x 645mm x 222mm
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C έως 60 °C	-25 °C έως 60 °C
Βάρος	41kg	41 kg

Για την επιτήρηση του σταθμού από απόσταση τοποθετήθηκε σύστημα καταγραφής και επικοινωνίας WEB'log pro DSL<100. Το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε εσωτερικό χώρο, μέσα στο ηλεκτρικό πίνακα και φαίνεται στην εικόνα 2.16. Είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες που καταγράφουν τις συνθήκες θερμοκρασίας, ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας (Power-one irradiance sensor 0-10V, Power-One temperature sensor PT100, Power-One Thies compact wind sensor). Με το ειδικό λογισμικό του συστήματος είναι δυνατή η καταγραφή των παραπάνω κλιματολογικών δεδομένων, ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης όπως ισχύς, τάση και ρεύμα AC/DC στους αντιστροφείς και άμεση πρόσβαση τους σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένη διαχείριση από οποιοδήποτε υπολογιστή. Τη στιγμή που θα εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα στη λειτουργία του σταθμού στέλνεται ειδοποιητήρια αναφορά με SMS ή e-mail στον διαχειριστή του συστήματος για την αντιμετώπιση του.



**Εικόνα 2.16 :** Συσκευή εποπτείας φωτοβολταϊκής μονάδας

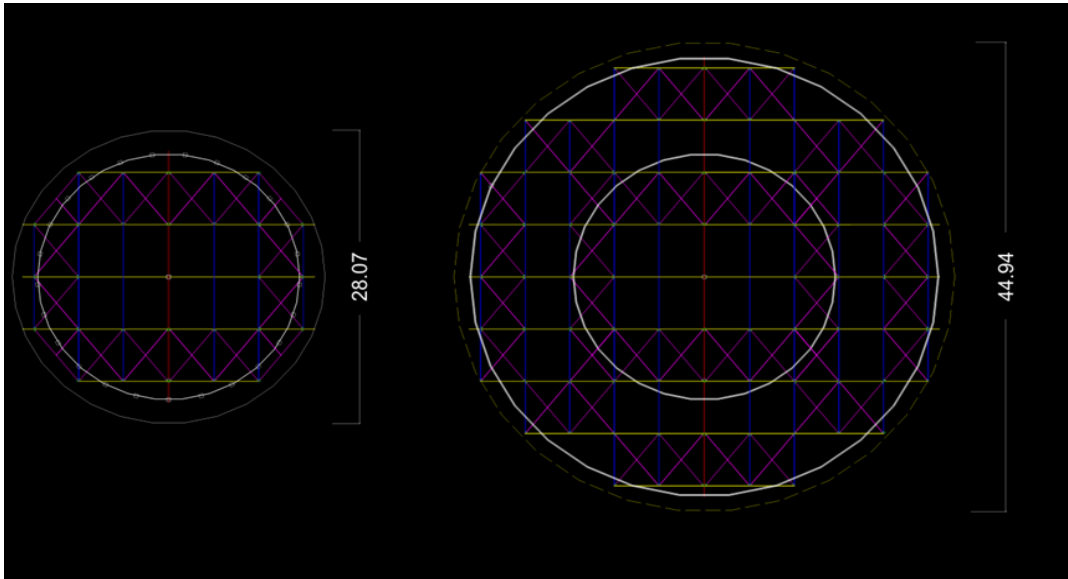
### 2.1.5 Βάσεις στήριξης και μηχανολογικός εξοπλισμός (σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης)

Η στήριξη των πλαισίων γίνεται σε βάσεις κινούμενου συστήματος, ηλιακού ιχνηλάτη δύο αξόνων όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή. Η επιλογή ηλιακού ιχνηλάτη έναντι σταθερών βάσεων έγινε μετά από οικονομοτεχνική μελέτη.

Για την υλοποίηση του έργου έγινε χρήση 2 συστημάτων ηλιακής ιχνηλάτησης ελληνικής εταιρίας ΝΕΔΑ συνολικών θέσεων 472 πλαισίων. Το πρώτο είναι 80kWp και φιλοξενεί 342



πλαίσια (εικόνα 2.18) ενώ το δεύτερο είναι 30 kWp και φιλοξενεί 130 πλαίσια. Στην εικόνα 2.17 παρουσιάζεται η κάτοψη του μεταλλικού σκελετού των δύο ηλιοστατών.



**Εικόνα 2.17 :** Κάτοψη βάσεων στήριξης

Την διαξονική βάση συνιστούν τα εξής μέρη :

Μεταλλικά μέρη συναρμολόγησης βάσης, τα βλέπουμε στις εικόνες 2.19, 2.20, είναι:

- Σιδηροτροχιά κίνησης τροχών
- Κέντρο (ρότορας)
- ΙΡΕ στήριξης σκελετού
- Ζευκτά στήριξης σκελετού
- Παραπέτα στήριξης φ/β πάνελ
- Δοκοί κίνησης φ/β πάνελ
- Τροχοί στήριξης κινητού μέρους βάσης



**Εικόνα 2.18 :** Τα μεταλλικά μέλη μετά την συναρμολόγηση τους

Όλα τα μέλη είναι εν θερμώ γαλβανισμένα για παροχή αντιδιαβρωτικής προστασίας. Ο σκελετός συναρμολογήθηκε με κοχλίες ασφαλείας από συνεργείο στο χώρο τοποθέτησης, χωρίς να υποστούν τα μέλη κάποια περαιτέρω επεξεργασία.



**Εικόνες 2.19, 2.20 :** Σιδηροτροχιά(1), IPE στήριξης σκελετού(2), Ζευκτά στήριξης(3), Παράπετα πλαισίων(4)



Η κίνηση του ηλιοστάτη επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση, αφού ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση του σκελετού, υδραυλικών εμβόλων που φαίνονται στην εικόνα 2.21. Η κίνηση που μπορούν να πραγματοποιούν είναι 67-294 μοίρες περιστροφικής κίνησης του μέρους της βάσης πάνω στην σιδηροτροχιά στον άξονα ανατολή-δύση και 17-90 μοίρες μετακινώντας τα παραπέτα στον άξονα βορρά-νότου και διαθέτουν και έχουν τη δυνατότητα να κλειδώνουν για λόγους ασφαλείας σε έκτακτες καταστάσεις. Η παρακολούθηση του ηλίου από τη διαξονική βάση καθημερινά όλες τις ώρες ηλιοφάνειας γίνεται με τη βοήθεια υπολογιστικού συστήματος, που το βλέπουμε στην εικόνα 2.22 (Master PLC, Slave PLC, πίνακας ελέγχου αυτόματης και χειροκίνητης λειτουργίας) βάση αστρονομικών δεδομένων θέσεων του ηλίου. Το σύστημα για τη λειτουργία του καταναλώνει συνολικά 180 kWh ανά έτος, 60 kWh ο ηλιοστάτης των 30kW και 120 kWh ο ηλιοστάτης των 80kW [11].



**Εικόνες 2.21:** Υδραυλικά έμβολα πρόωσης και κλίσης

Ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος tracker είναι το χαμηλό του ύψος (2,50 μέτρα από το έδαφος) σε σχέση με άλλες αντίστοιχες εφαρμογές γιατί στην συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται η εγκατάσταση έχουν παρατηρηθεί ισχυροί άνεμοι. Επίσης το ότι διαθέτει απλό υδραυλικό σύστημα κίνησης του και μπορεί να επιδιορθωθεί εύκολα και σε ενδεχόμενη αδυναμία εξυπηρέτησης ή έκλειψη της εταιρίας στο μέλλον να αντικατασταθεί από τοπικό μηχανουργείο.





**Εικόνα 2.22:** Κεντρικός υπολογιστής (Master PLC)(πάνω), Βοηθητικός υπολογιστής (Slave PLC)(κάτω)

## 2.2 Τεχνική ανάλυση κατασκευής φ/β σταθμού 100 kW με σταθερές βάσεις επί γηπέδου στην περιοχή Μοναστηράκι Αλεξανδρούπολης.

### 2.2.1 Γενικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πάρκου

Η δεύτερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα θα εγκατασταθεί στο Νομό Έβρου 20km Ανατολικά της Αλεξανδρούπολης σε υψόμετρο 32m στη κτηματική περιοχή Μοναστηράκι του Δήμου Φερρών Ν. Έβρου (εικόνα 2.23) με αριθμό τεμαχίου 65 και έκταση 10.925 m<sup>2</sup>.

Η ονομαστική ισχύς της μονάδας είναι 100 kWp και χρησιμοποιήθηκαν όπως και στον σταθμό της Αγνάντιας φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Στην προκειμένη περίπτωση όμως τα πλαίσια είναι τοποθετημένα σε βάσεις με σταθερή κλίση και προσανατολισμό που εδράζονται σε ορθογωνικά επιφανειακά θεμέλια.

### 2.2.2 Χωροθέτηση

Το γήπεδο έχει γεωγραφικό πλάτος  $\phi=40.851$ , γεωγραφικό μήκος  $\lambda=26.085$  (εικόνες και δεν υπάρχουν τριγύρω εμπόδια (βουνά, λόφοι, δέντρα κλπ) που να σκιάζουν το χώρο της εγκατάστασης. Η κλίση του συγκεκριμένου αγροτεμαχίου ήταν απότομη (εικόνα 2.24) και δεν επέτρεπε την έναρξη των εργασιών για την κατασκευή του φ/β σταθμού. Η επιφάνεια του γηπέδου που χρησιμοποιείται είναι η ενεργή επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών είναι  $754 \text{ m}^2$  και ο χώρος που καταλαμβάνει ο πίνακας της Δ.Ε.Η. , το υπόλοιπο μέρος του γηπέδου μένει κενό.



**Εικόνα 2.24:** Το αγροτεμάχιο που βρίσκεται ο φ/β σταθμός πριν αρχίσουν οι εργασίες

### 2.2.3 Τεχνικά έργα (Έργα υποδομής και έργα διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου)

Αφού εκδόθηκαν οι οικοδομικές άδειες για τον σταθμό έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

#### **Χωματουργικές εργασίες και οικοδομικές εργασίες**

Αρχικά πραγματοποιήθηκε καθαρισμός του περιβάλλοντος χώρου. Η πολύ μεγάλη κλίση του γηπέδου επέβαλλε χωματουργικές εργασίες για την διαμόρφωση και την εξομάλυνση του. Αυτό επιτεύχθηκε με την κατασκευή κλίμακας τριών επιπέδων μηδενικής κλίσης. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε βοηθητική οδός για την διευκόλυνση των εργασιών, έγινε η εκσκαφή 72 βάσεων διαστάσεων  $3 \times 0,6 \times 0,6 \text{ μ.}$  για την θεμελίωση των μεταλλικών βάσεων στήριξης των φ/β πλαισίων, 24 σε κάθε επίπεδο, και οι εκσκαφές για τις οδεύσεις των



υπόγειων καλωδιώσεων που θα μεταφέρουν το ρεύμα προς τον πίνακα της Δ.Ε.Η και του περιμετρικού φωτισμού. Αφού ολοκληρωθούν οι χωματουργικές εργασίες σκυροδετούνται τα 72 θεμέλια διαστάσεων 3×0,6×0,8 μ. και το κτίσμα που θα τοποθετηθεί ο ηλεκτρικός πίνακας της Δ.Ε.Η.



**Εικόνα 2.25:** Γήπεδο εγκατάστασης φωτοβολταϊκών μετά τη διαμόρφωση της κλίμακας επιπέδων



**Εικόνα 2.27 :** Σωλήνες όδευσης των καλωδίων προς τον κεντρικό πίνακα και προς τον μετρητή της Δ.Ε.Η.



**Εικόνα 2.26 :** Αφού έχουν ολοκληρωθεί οι εκσκαφές των θεμελίων και έχουν τοποθετηθεί οι ξυλότυποι

### **Περίφραξη και φωτισμός**

Η περίφραξη του γηπέδου και η πόρτα εισόδου έχουν ακριβώς τις ίδιες προδιαγραφές όπως περιγράφηκαν στο εδάφιο 2.1.3. Το συνολικό μήκος της περίφραξης είναι 415 μέτρα.

Για το δίκτυο φωτισμού του φωτοβολταϊκού πάρκου τοποθετήθηκαν 8 προβολείς περιμετρικά του γηπέδου. Η περίφραξη και οι 3 προβολείς της νότιας πλευράς του πάρκου φαίνονται στην εικόνα 2.28.



**Εικόνα 2.28 :** Περίφραξη και δίκτυο φωτισμού



## 2.2.4 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ( φ/β πλαίσια, αντιστροφείς ρεύματος, καλωδιώσεις, σύστημα παρακολούθησης)

Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για το φ/β σταθμό στην τοποθεσία Μοναστηράκι δεν διαφοροποιείται πολύ από αυτόν του φ/β σταθμού της Αγνάντιας. Για την μονάδα χρησιμοποιήθηκαν 476 φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου Evergreen ES-A-210-fa2\*, όμοια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στο φ/β σταθμό της Αγνάντιας και αναλύθηκαν στο 2.1.4. Αντιστροφείς ρεύματος επιλέχθηκαν 8 Power -One PVI-12.5-OUTD-FS που τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 2.3. Στους επτά από τους οχτώ αντιστροφείς είναι συνδεδεμένες από δυο στοιχειοσειρές (strings) των 30 πλαισίων και στον έναπομείναντα δύο στοιχειοσειρές των 28 πλαισίων. Για τις καλωδιώσεις της DC πλευράς χρησιμοποιήθηκαν ειδικά solar καλώδια (ZZ-F 1x6- μαύρο) για εγκατάσταση σε εξωτερικό περιβάλλον, επικασσιτερωμένα και με σημαντική ενίσχυση έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας. Από την πλευρά της AC χρησιμοποιήθηκαν καλώδια τύπου NYG (E1VV-R 5G16) μετά από την μελέτη για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από την πτώση τάσης λόγω απόστασης. Η λειτουργία του φ/β πάρκου παρακολουθείται από το σύστημα καταγραφής δεδομένων και επικοινωνίας WEB'log pro DSL<100. [3]



**Εικόνα 2.29 :** Αντιστροφείς ρεύματος , υποπίνακας AC και πίσω όψη φ/β πλαισίων

## 2.2.5 Βάσεις στήριξης των φ/β πλαισίων

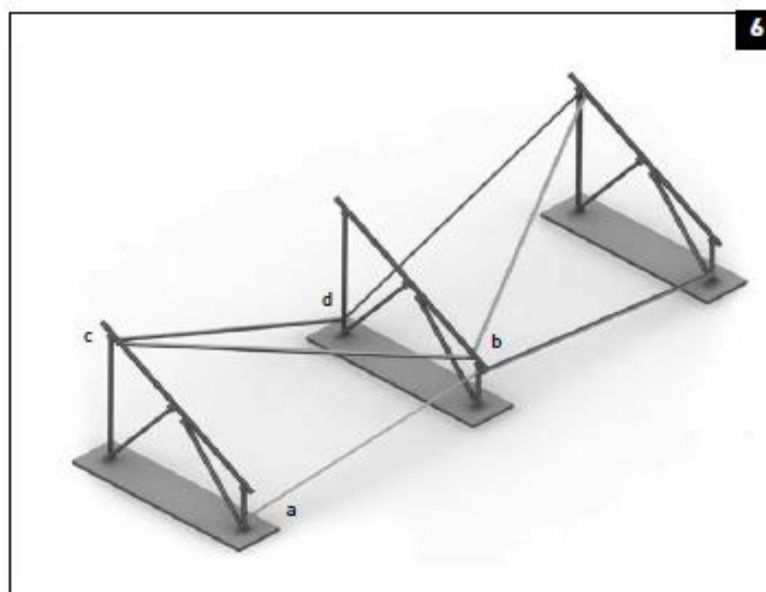
Τα φ/β πλαίσια τοποθετούνται πάνω σε βάσεις από χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ και αλουμίνιο με σταθερό προσανατολισμό και κλίση, μάρκας Dopauer. Οι μεταλλικές βάσεις αποτελούνται από τα εξής μέρη [12] :

- Τα 72 αναδιπλούμενα πλαίσια από χάλυβα, τα οποία μεταφέρθηκαν μερικώς προσυναρμολογημένα με την τελική φάση της συναρμολόγησης να γίνεται επί τόπου στο πεδίο εγκατάστασης. Το κάθε πλαίσιο αγκυρώνεται στο επιφανειακό θεμέλιο που είχε σκυροδετηθεί με ένωση άρθρωσης στο προηγούμενο στάδιο. Τα πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους ανά 6 δημιουργώντας 12 συστοιχίες, 4 σε κάθε επίπεδο. (εικόνα 2.30)



**Εικόνα 2.30:** Αναδιπλούμενο πλαίσιο από χάλυβα

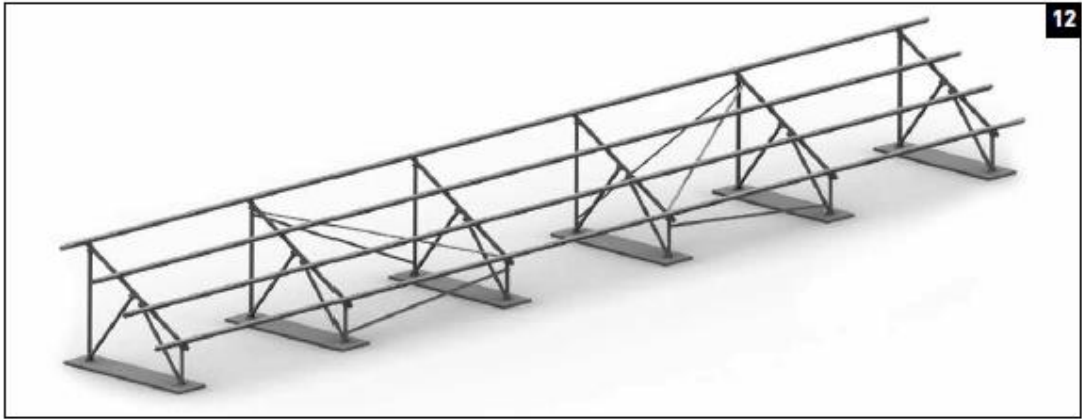
- Τα διαγώνια μέλη που συνδέουν τα πλαίσια μεταξύ τους ώστε να προσδώσουν δυσκαμψία στην κατασκευή κατά την διεύθυνση του πλαισίου όπως φαίνεται στην εικόνα 2.31.



**Εικόνα 2.31:** Διαγώνια μέλη δυσκαμψίας



- Τις εγκάρσιες δοκούς από αλουμίνιο όπου θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Σε κάθε συστοιχία έξι πλαισίων υπάρχουν 4 δοκοί μήκους 19,52 μ. ( συνδέονται 2 μέλη των 6 μ. και 2 μέλη των 3,76 μ. ) που στηρίζουν  $2 \times 20 = 40$  πλαίσια. Οι δοκοί φαίνονται στην εικόνα 2.32 που δείχνει το σκελετό 6 πλαισίων συναρμολογημένο και στην εικόνα 2.33 που είναι τραβηγμένη από το φ/β πάρκο.



**Εικόνα 2.32:** Μεταλλικός σκελετός βάσης 6 πλαισίων



**Εικόνα 2.33:** Σταθερές βάσεις στήριξης συναρμολογημένες στο φ/β πάρκο

## 2.3 Τεχνικές ειδικές εγκαταστάσεις και Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη λειτουργία των δύο πάρκων

### 2.3.1 Αντικεραυνική προστασία

Τα Φ/Β συστήματα λόγω της θέσης εγκατάστασής του (υπαίθριες, εκτεταμένες εγκαταστάσεις) και του ευαίσθητου ηλεκτρικού - ηλεκτρονικού εξοπλισμού τους, αντιμετωπίζουν έναν μεγάλο κίνδυνο, την καταστροφή τους από κεραυνούς. Ο κίνδυνος εστιάζεται στην ολική απώλεια του εξοπλισμού όταν δεχτεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα η εγκατάσταση ή το ηλεκτρικό δίκτυο που τροφοδοτεί, καθώς και εκτεταμένες ζημιές των ηλεκτρικών και των ηλεκτρονικών συστημάτων τους όταν κεραυνός πλήξει θέσεις πλησίον της εγκατάστασης ή του δικτύου. Για την προστασία των δύο πάρκων έχει εγκατασταθεί σύστημα γειώσεων και σύστημα αντικεραυνικής προστασίας όλων των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των μεταλλικών βάσεων στήριξης. Έχουν εγκατασταθεί διαφορετικά συστήματα αντικεραυνικής προστασίας για τα δύο πάρκα, στο πάρκο στην τοποθεσία Μοναστηράκι χρησιμοποιήθηκαν ακίδες Franklin συνδεδεμένες απευθείας με τις μεταλλικές βάσεις, αντίθετα στο πάρκο του ηλιακού ιχνηλάτη θα υπήρχε πρόβλημα με σκιάσεις για αυτό χρησιμοποιήθηκε αλεξικέραυνο ιονισμού.



**Εικόνα 2.34 :** Ακίδες συλλογής για την αντικεραυνική προστασία στον φ/β σταθμό Μοναστηράκι



**Εικόνα 2.35:** Αλεξικέραυνο στο φ/β σταθμό Αγνάντιας

### 2.3.2 Συντήρηση και προβλήματα

Η παραγωγή των πάρκων ελέγχεται καθημερινά από το διαδίκτυο μέσω του λογισμικού επιτήρησης και συστηματικός επιτόπιος έλεγχος (μία φορά την εβδομάδα) ώστε όταν ανακύψει οποιοδήποτε πρόβλημα να γίνει αντιληπτό εγκαίρως. Μία φορά το χρόνο γίνεται καθαρισμός του περιβάλλοντα χώρου των σταθμών. Κατά την διετή λειτουργία των δύο φ/β σταθμών ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός δεν έχει παρουσιάσει κάποια βλάβη ώστε να χρειαστεί αλλαγή ή επιδιόρθωση.

Τα σημαντικότερα προβλήματα που έχουν συναντηθεί από την έναρξη λειτουργίας των δύο σταθμών είναι :

1. Εμφανίζεται αρκετά συχνά κενό στην καταγραφή και μετάδοση δεδομένων, συνήθως οφείλεται στον server που βρίσκεται στον χώρο του σταθμού και επιδιορθώνεται με επανεκκίνηση του.
2. Στο φ/β σταθμό στην Αγνάντια η διακοπή λειτουργίας του υδραυλικού εμβόλου λόγω της θραύσης των ελαστικών σωλήνων υψηλής πίεσης που κινείται το έλαιο. Είναι οι μαύροι σωλήνες της εικόνας 2.36 όπου φαίνεται και η διαρροή λαδιού μετά τη βλάβη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ακινητοποίηση και των δύο ηλιοστατών για διάστημα 10 ημερών μέχρι την αλλαγή τους.
3. Στο φ/β σταθμό της Αγνάντιας καταστράφηκε ο μετασχηματιστής της Δ.Ε.Η. από πτώση κεραυνού ή από βραχυκύκλωμα από εισροή νερού μετά από βροχή (εικόνα 2.37). Αντικαταστάθηκε άμεσα από τη Δ.Ε.Η. αλλά μέχρι να γίνει η παραγωγή του πάρκου δεν απορροφούταν από το δίκτυο. Να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση του αλεξικέραυνου στο πάρκο της Αγνάντιας έγινε μετά από αυτό το συμβάν.
4. Στο φ/β σταθμό στην τοποθεσία Μοναστηράκι όπως αναφέρθηκε το γήπεδο είχε πολύ μεγάλη κλίση οπότε διαμορφώθηκαν τρία επίπεδα με μηδενική κλίση. Πριν γίνει όμως αυτή η χωματουργική διαμόρφωση δεν προβλέφθηκε με κάποια μελέτη η ροή των όμβριων υδάτων και τώρα αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα της διάβρωσης



των τεχνητών πρανών, με κίνδυνο να φτάσει κοντά στα θεμέλια των φωτοβολταϊκών, όπως βλέπουμε στις εικόνες 2.37 και 2.38. Σε πρώτη φάση ο αγωγός που είχε δημιουργήσει το νερό για να περνάει διαστρώθηκε με κροκάλες αλλά δημιουργήθηκε άλλος αγωγός από δίπλα. Το πρόβλημα δεν έχει αντιμετωπιστεί έως σήμερα.



**Εικόνα 2.36:** Βλάβη στο υδραυλικό σύστημα κίνησης



**Εικόνα 2.37:** Βλάβη στον μετασχηματιστή της Δ.Ε.Η.





**Εικόνα 2.37 :** Διάβρωση του πρανούς προς το θεμέλιο των φωτοβολταϊκών



**Εικόνα 2.38:** Διάβρωση στο τεχνητό πρανές προς την περίφραξη του φ/β σταθμού





# 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων λειτουργίας

## 3.1 Παρακολούθηση ισχύος των δυο φωτοβολταϊκών σταθμών

### 3.1.1 Φωτοβολταϊκός σταθμός Αγνάντιας (ηλιακός ιχνηλάτης)

Ο σταθμός της Αγνάντιας ισχύος 100 kW εξοπλισμένος με σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 22 Ιανουαρίου 2011 και σε διάστημα 2 ετών έχει παραγάγει 388245 kWh.

Το σύστημα καταγραφής δεδομένων είχε παρουσιάσει βλάβη από 14 Απριλίου 2011 έως 2 Αυγούστου 2011 για αυτό το λόγο δεν υπάρχουν δεδομένα ισχύος, ηλιακής ακτινοβολίας στο παραπάνω χρονικό διάστημα. Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την εξέλιξη της μέσης μηνιαίας παραγωγής του σταθμού σε kWh/ημέρα από τον Αύγουστο του 2011 μέχρι τον Ιούνιο του 2013



**Σχήμα 3.1 :** Χρονική εξέλιξη παραγωγής του φ/β σταθμού (μέση μηνιαία τιμή σε kWh/ημέρα)

Από τον πίνακα 3.1 παρατηρούμε ότι η παραγωγή παρουσιάζει ότι η παραγωγή παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές της στους τρεις θερινούς μήνες :

Αύγουστος 2011 - 715,24 kWh/ημέρα

Ιούνιος 2012- 863,65 kWh/ημέρα

Ιούλιος 2012- 810,20 kWh/ημέρα

Αύγουστος 2012- 705,34 kWh/ημέρα

Μάιος 2013- 731,93 kWh/ημέρα

Ιούνιος 2013-723,20 kWh/ημέρα

Αντίστοιχα οι χαμηλότερες μέσες μηνιαίες τιμές παράγωγης παρατηρούνται τους χειμερινούς μήνες:

Δεκέμβριος 2011- 241,68kWh/ημέρα

Ιανουάριος 2012 – 297,79kWh/ημέρα

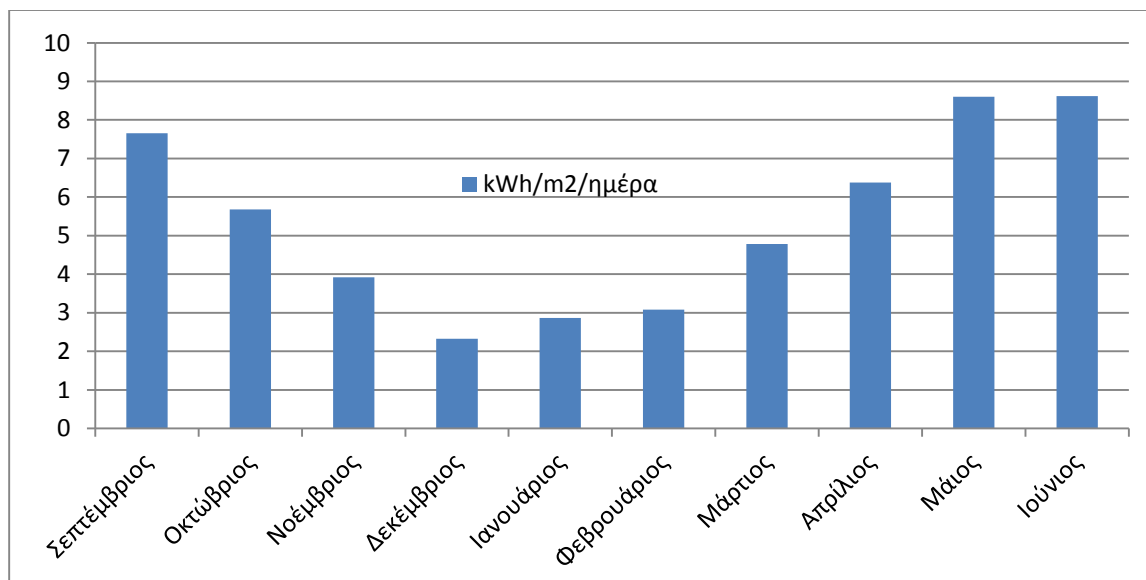
Φεβρουάριος 2012- 340 kWh/ημέρα

Δεκέμβριος 2012- 214,5 kWh/ημέρα

Ιανουάριος 2013- 260,89 kWh/ημέρα

Φεβρουάριος 2013 – 280,61 kWh/ημέρα

Όπως είναι λογικό οι μεγαλύτερες παραγωγές ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρούνται το χρονικό διάστημα στη διάρκεια του έτους με την εντονότερη πυκνότητα ακτινοβολίας και περισσότερων ωρών ηλιοφάνειας ενώ αντίστοιχα οι μικρότερες στο διάστημα της χαμηλότερης πυκνότητας ακτινοβολίας. Η πορεία της παραγωγής μέσα στον χρόνο είναι ακριβώς ανάλογη με την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η γη όπως παρατηρείται από το διάγραμμα 3.2. Στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία υπάρχουν από το Σεπτέμβριο του 2012 και παρέχονται από το πυρανόμετρο του σταθμού, το οποίο καταγράφει την πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας και ενημερώνει μέσω του συστήματος παρακολούθησης του σταθμού ανά 15 λεπτά.



**Σχήμα 3.2 :** Μέση ημερήσια ενέργεια που δέχεται ο σταθμός από την ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>/ημέρα)

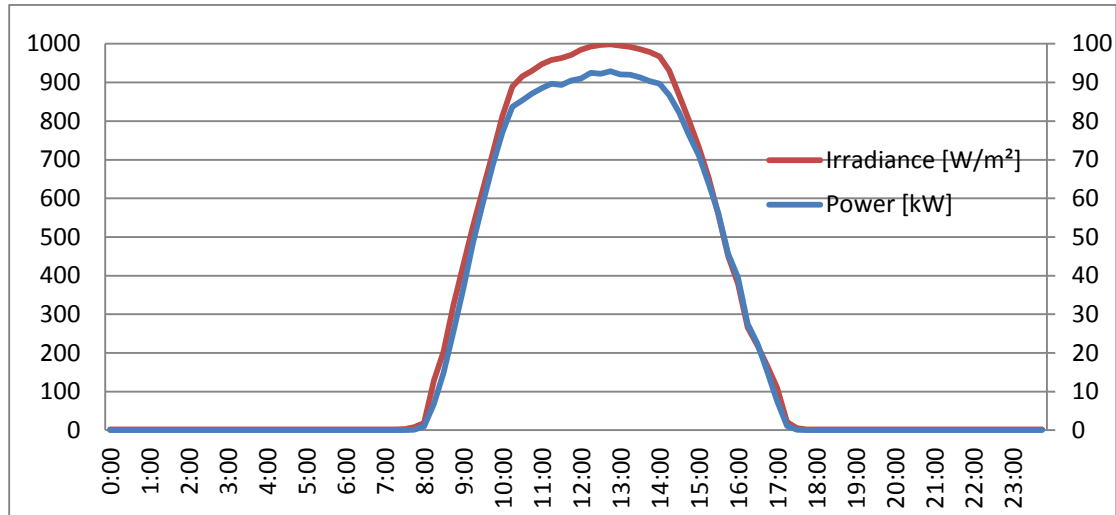
### Λειτουργία του σταθμού κατά τη διάρκεια της ημέρας

Έχουν επιλεγεί τρεις περιπτώσεις από κάθε εποχή, μία μέρα με υψηλή, μια με μέτρια και μια με χαμηλή ηλιοφάνεια για ναδειχθεί ότι η παραγωγή του σταθμού διαφέρει από εποχή σε εποχή ακόμα και σε μέρες με παρόμοια χαρακτηριστικά ηλιοφάνειας. Αυτό οφείλεται στο ύψος του ηλίου ( ζενίθεια γωνία) που είναι πολύ μικρό το χειμώνα και μεγάλο το

καλοκαίρι αλλά και στις ώρες ηλιοφάνειας που είναι περισσότερες το καλοκαίρι (εύρος αζιμούθιου). Το χρονικό διάστημα ενός έτους είναι ένα εύλογο χρονικό διάστημα για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το πώς επηρεάζεται η παραγόμενη ενέργεια.

### Χαρακτηριστικές περιπτώσεις για κάθε εποχή

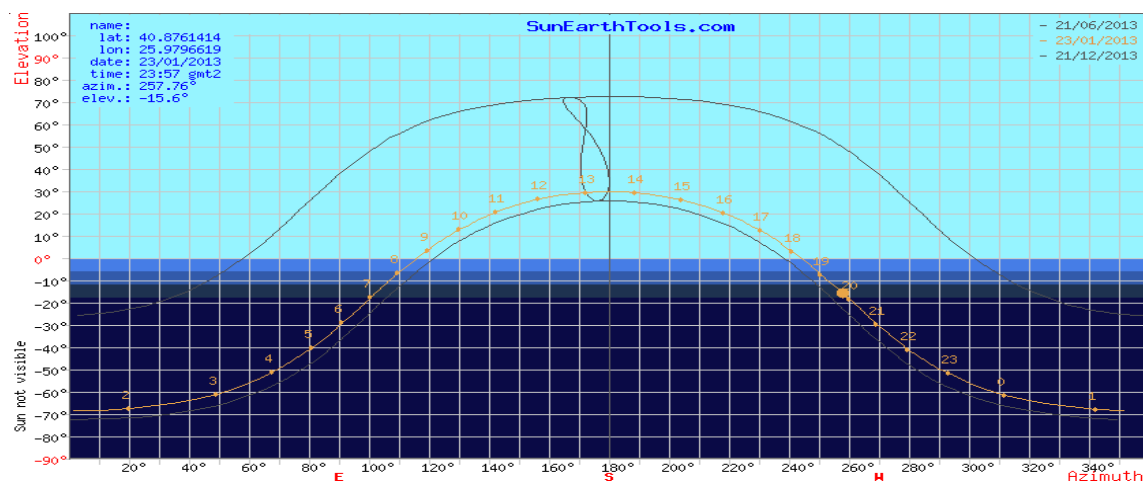
Ηλιόλουστη χειμωνιάτικη ημέρα (23 Ιανουαρίου 2013)



**Σχήμα 3.3** : Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για 23/01/2013

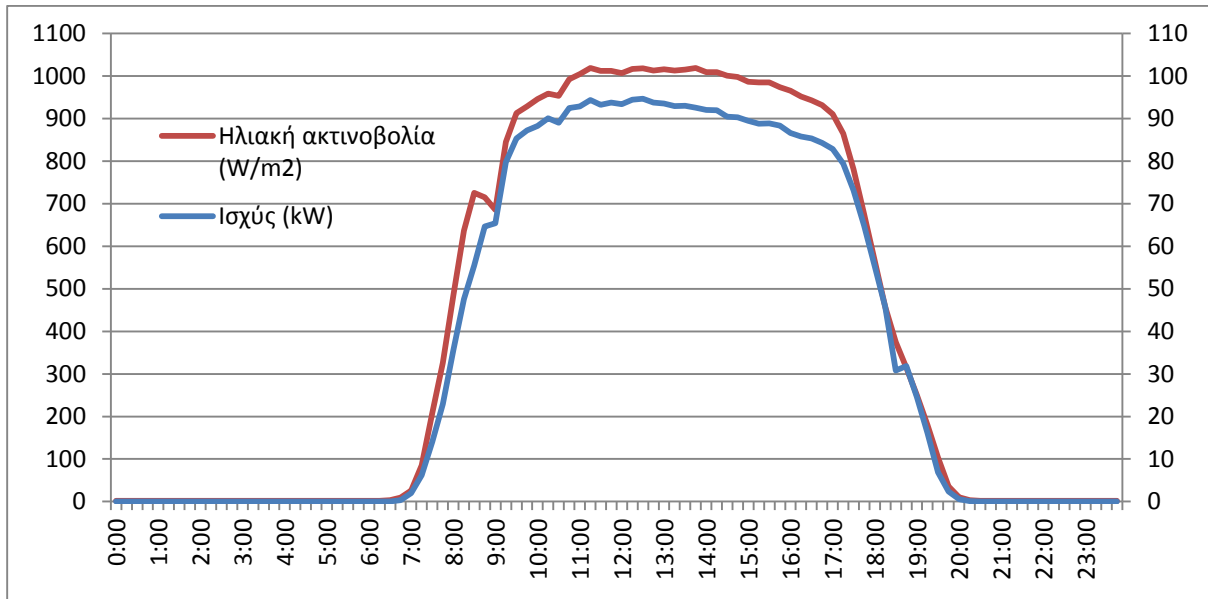
**Πίνακας 3.1** : Στοιχεία παραγωγής για 23/01/2013

Μέγιστη ισχύς	P=92,9 kW στις 12:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	6,38 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=593,09 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:30)	29,77°
Αζιμούθιο (13:30)	180,55°
Ύψος ηλίου(12:45)	28,94°
Αζιμούθιο (12:45)	168,41°



**Εικόνα 3.1**: Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 23/1/2013

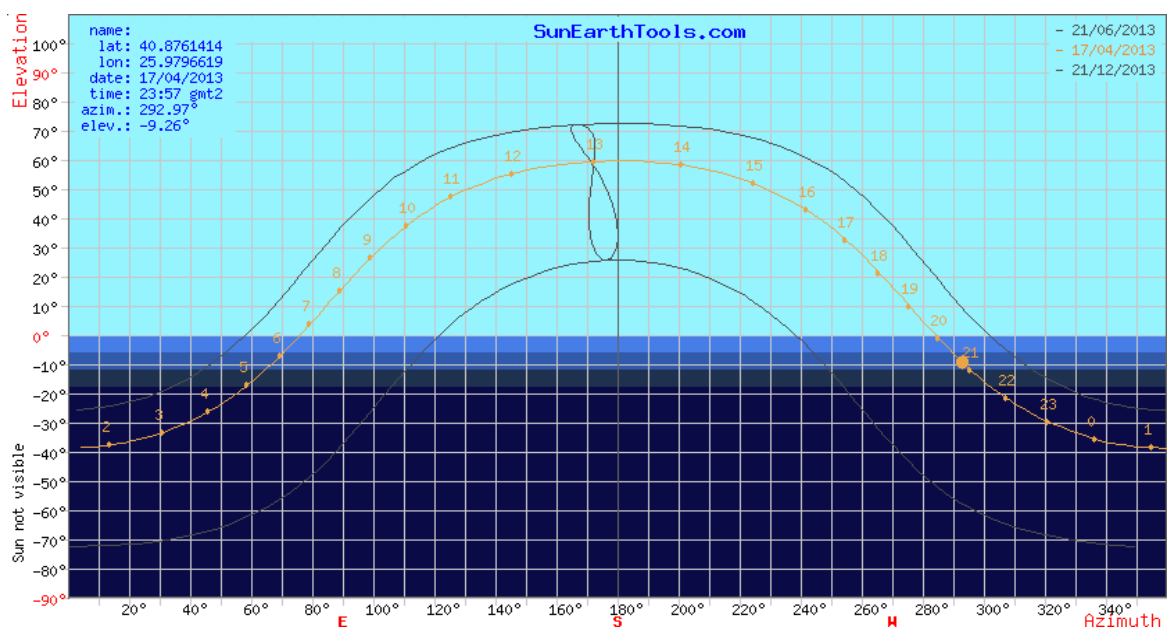
### Ηλιόλουστη ανοιξιάτικη ημέρα (17 Απριλίου 2013)



**Σχήμα 3.4:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 17/04/2013

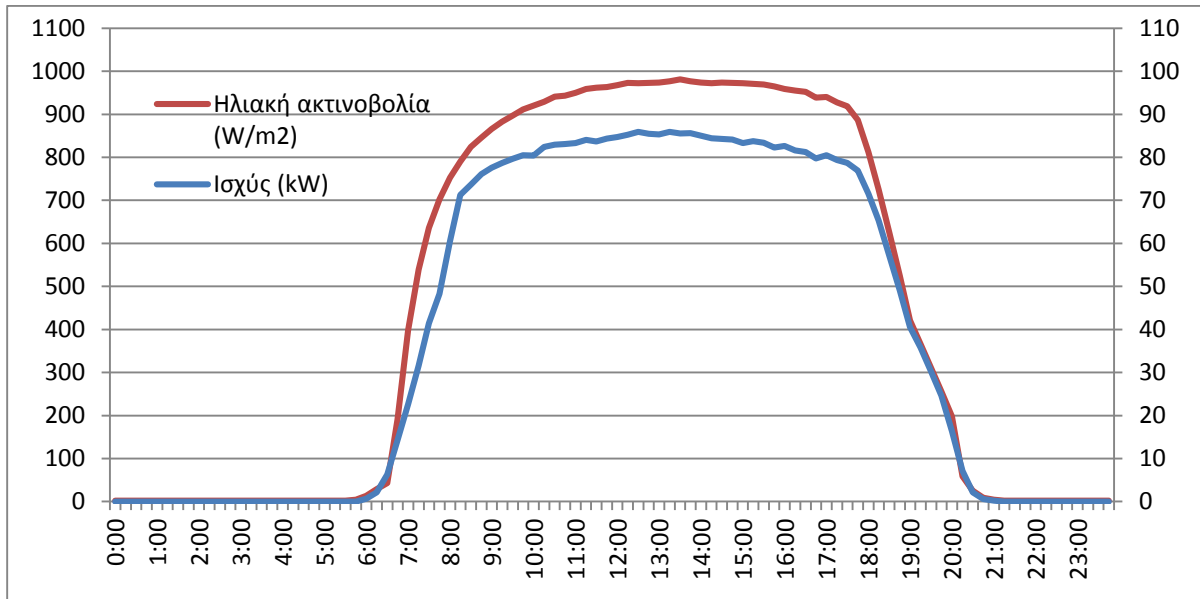
**Πίνακας 3.2 :** Στοιχεία παραγωγής για 17/04/2013

Μέγιστη ισχύς	P=94,69 kW στις 12:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	9,99 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=906,67 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	59,73°
Αζιμούθιο (13:15)	179,68°
Ύψος ηλίου(12:30)	58,09°
Αζιμούθιο (12:30)	158,41°



**Εικόνα 3.2 :** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 17/04/2013

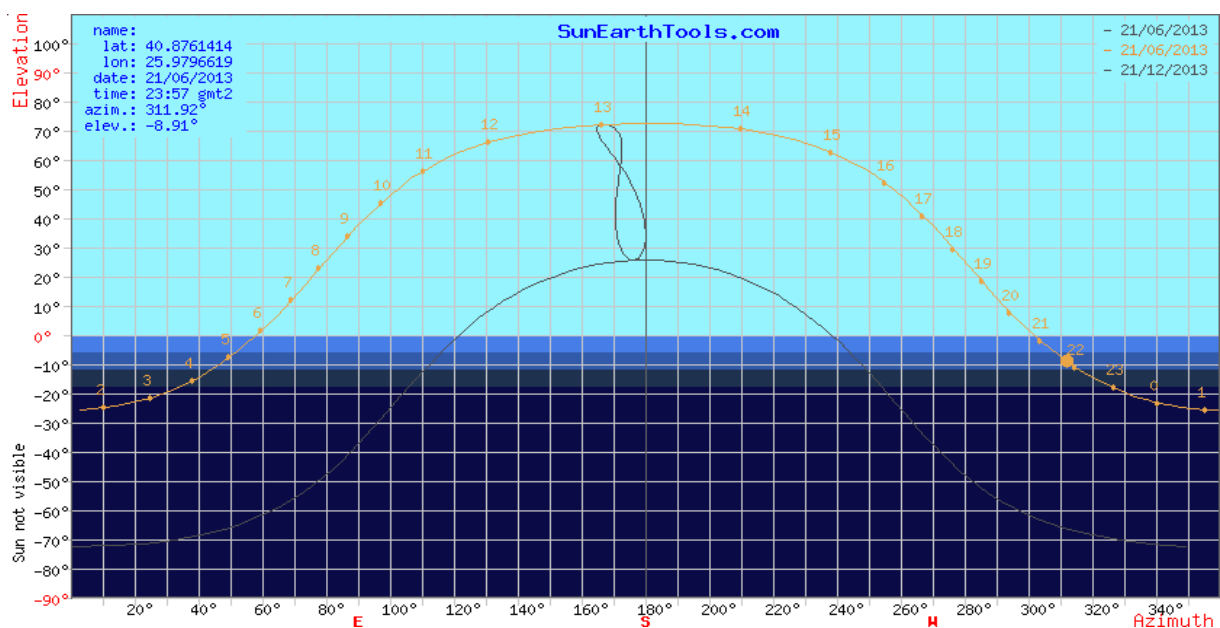
Καλοκαιρινή ημέρα με υψηλή ηλιοφάνεια (21 Ιουνίου 2013-θερινό ηλιοστάσιο)



**Σχήμα 3.5 :** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 21/06/2013

**Πίνακας 3.3 :** Στοιχεία παραγωγής για 21/06/2013

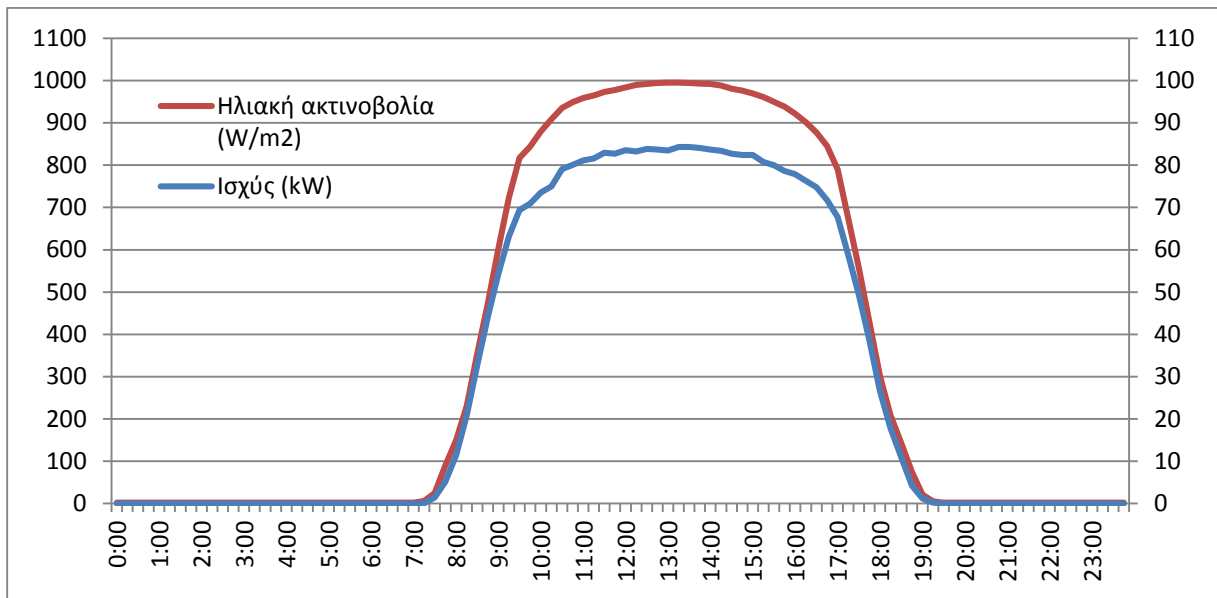
Μέγιστη ισχύς	P=85,94 kW στις 13:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	11,09 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=956,37 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:30)	72,55°
Αζιμούθιο (13:30)	177,77°
Ύψος ηλίου(13:15)	72,55°
Αζιμούθιο (13:15)	177,77°



**Εικόνα 3.3:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 21/06/2013



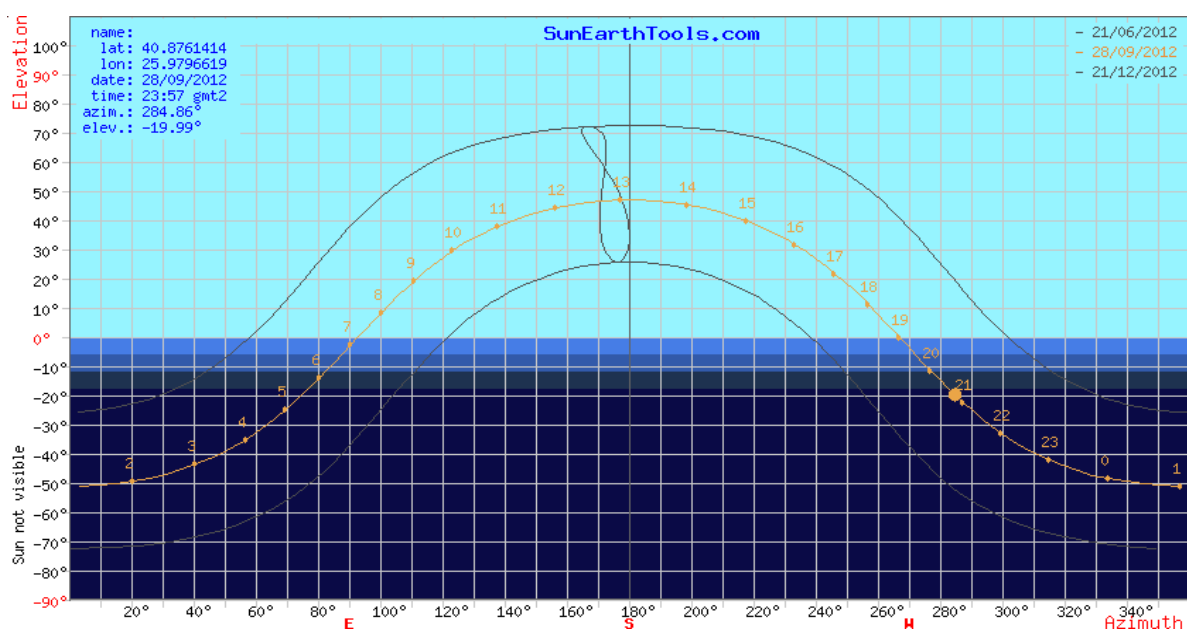
Φθινοπωρινή ημέρα με υψηλή ηλιοφάνεια (28 Σεπτεμβρίου 2012)



**Σχήμα 3.6 :** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 28/09/2012

**Πίνακας 3.4 :** Στοιχεία παραγωγής για 28/09/2012

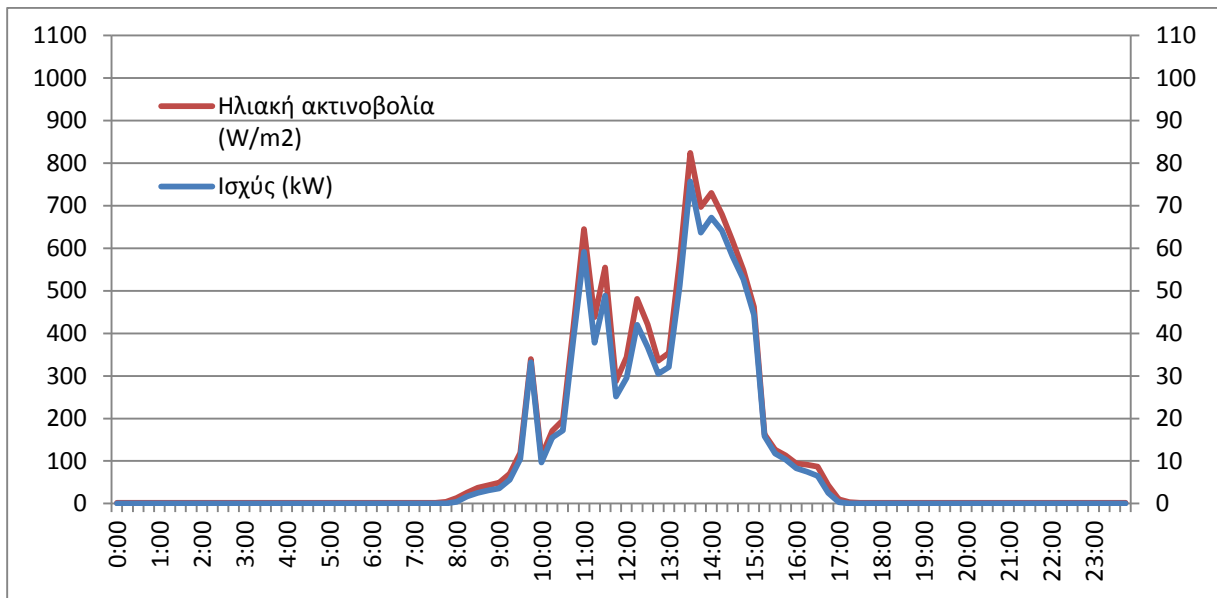
Μέγιστη ισχύς	P=84,28 kW στις 13:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	8,60 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=725,51 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:00)	46,84°
Αζιμούθιο (13:00)	177,58°
Ύψος ηλίου(13:15)	46,82°
Αζιμούθιο (13:15)	183,06°



**Εικόνα 3.4:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 28/09/2012

Οι μέρες που παρουσιάστηκαν στα διαγράμματα 3.3-3.6 είναι αίθριες χωρίς μεταβολές στην ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ο κύριος λόγος που έχουμε μεγάλη διαφορά στην παραγωγή από το χειμώνα στο καλοκαίρι είναι το εύρος του αζιμούθιου που καθορίζει τις ώρες ηλιοφάνειας και φαίνεται για τις μέρες που μας αφορούν στις εικόνες 3.1-3.4, στις 21 Ιουνίου είναι  $240^\circ$  δηλαδή περίπου 15 ώρες ηλιοφάνειας ενώ την χειμερινή ημέρα είναι  $130^\circ$  περίπου 10 ώρες ηλιοφάνειας. Παρόλο που τον χειμώνα η μέγιστη ισχύς που αποδίδει το σύστημα είναι μεγαλύτερη (23/01-92,6 kW) ενώ το καλοκαίρι (21/06-85,84 kW) από τα στοιχεία των πινάκων 3.1-3.4, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στα πλαίσια[17], είναι μικρό το διάστημα που την διατηρεί λόγω της μικρής διάρκειας της μέρας. Για τις ημέρες του φθινοπώρου και της άνοιξης επικρατεί μία ενδιάμεση κατάσταση στην συνολική ακτινοβολία που δέχεται το σύστημα αλλά και στην ενεργειακή παραγωγή. Τέλος η μέγιστη ισχύς και στις τέσσερις περιπτώσεις παρατηρείται στις ώρες το ύψος του ηλίου έχει τις μέγιστες τιμές του.

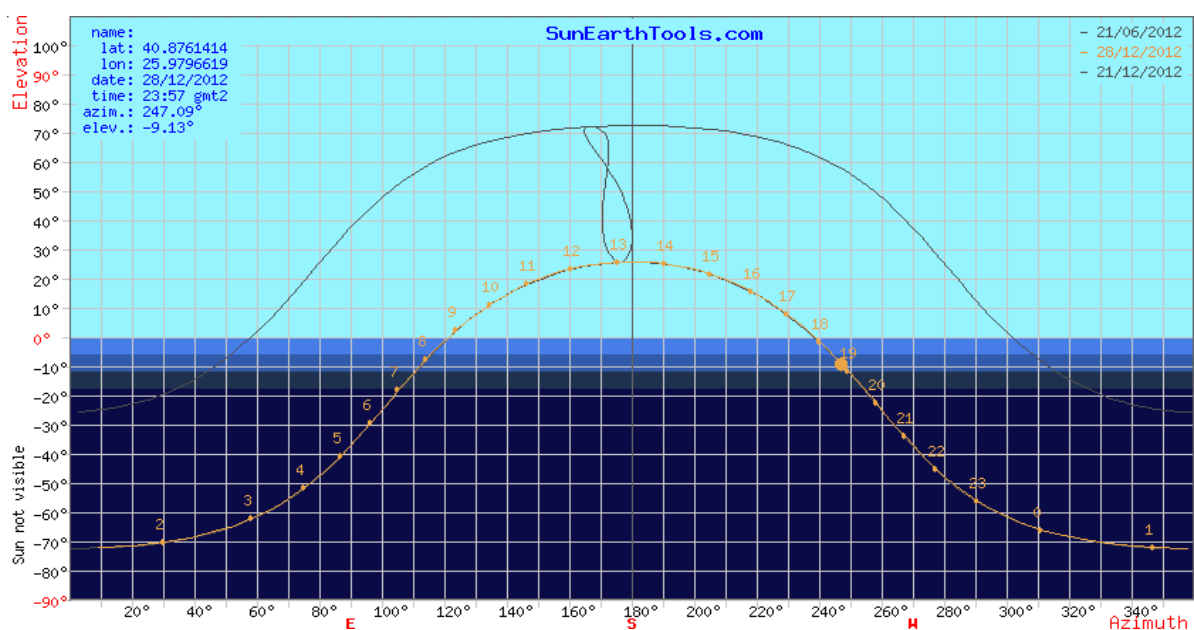
Χειμωνιάτικη ημέρα με μέτρια ηλιοφάνεια ( 28 Δεκεμβρίου 2012)



**Σχήμα 3.7 :** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 28/12/2012

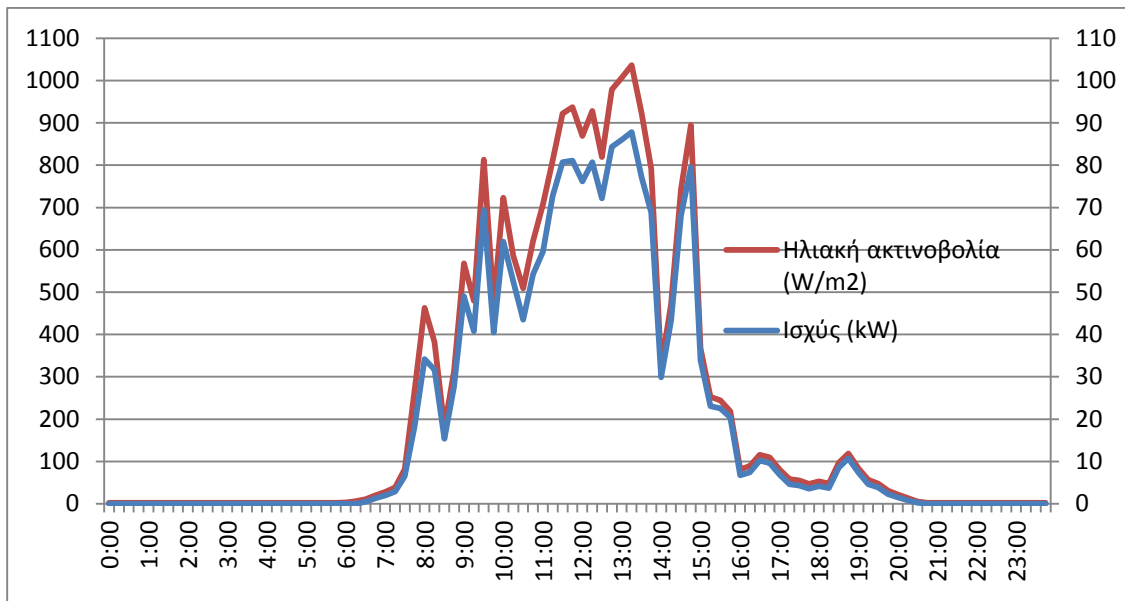
**Πίνακας 3.5 :** Στοιχεία παραγωγής για 28/12/2012

Μέγιστη ισχύς	P=75,7 kW στις 13:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	2.86 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=255,93 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	25,87°
Αζιμούθιο (13:15)	179,28°
Ύψος ηλίου(13:30)	25,84°
Αζιμούθιο	183,1°



**Εικόνα 3.5:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 28/12/2012

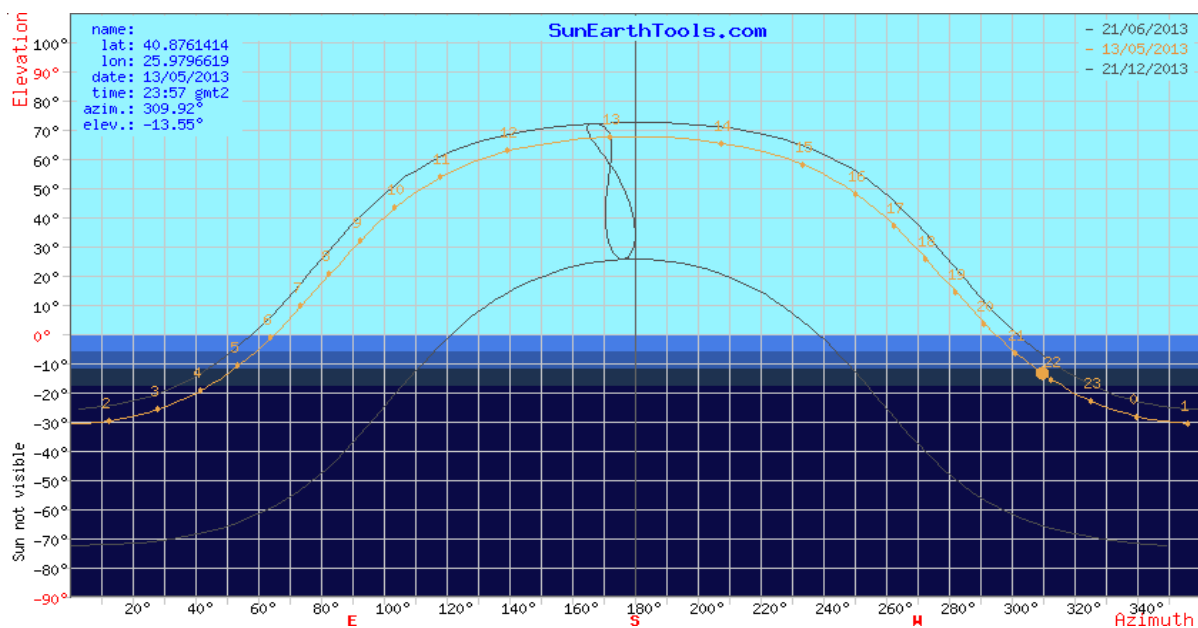
Ανοιξιζίατικη ημέρα με μέτρια ηλιοφάνεια (13 Μαΐου 2013)



**Σχήμα 3.8 :** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 13/05/2013

**Πίνακας 3.6 :** Στοιχεία παραγωγής για 13/05/2013

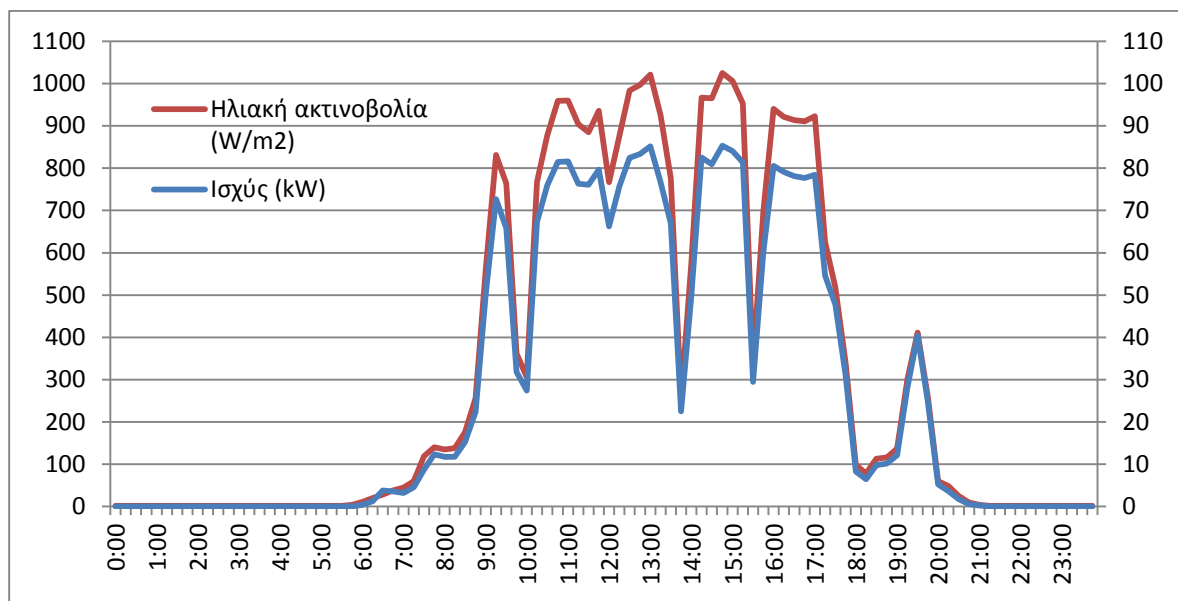
Μέγιστη ισχύς	P=87,84 kW στις 13:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	5,53 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=475,46 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	67,59°
Αζιμούθιο (13:15)	181,59°
Ύψος ηλίου(13:15)	67,59°
Αζιμούθιο (13:15)	181,59°



**Εικόνα 3.6:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 13/05/2013



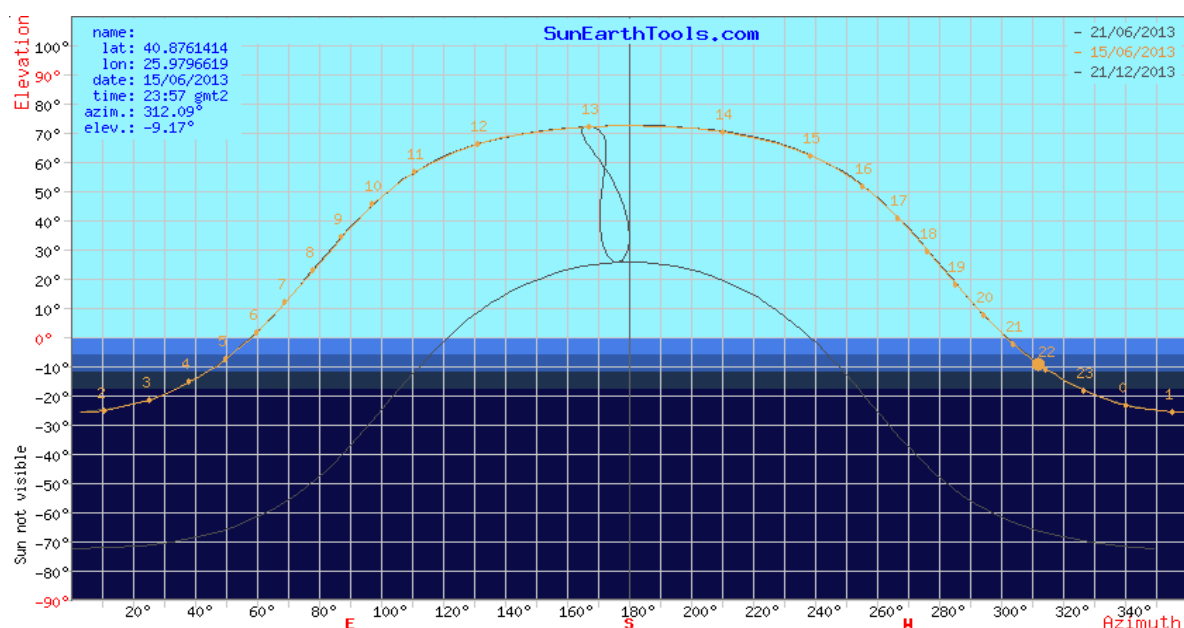
Καλοκαιρινή ημέρα με μέτρια ηλιοφάνεια (15 Ιουνίου 2013)



**Σχήμα 3.9:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 15/06/2013

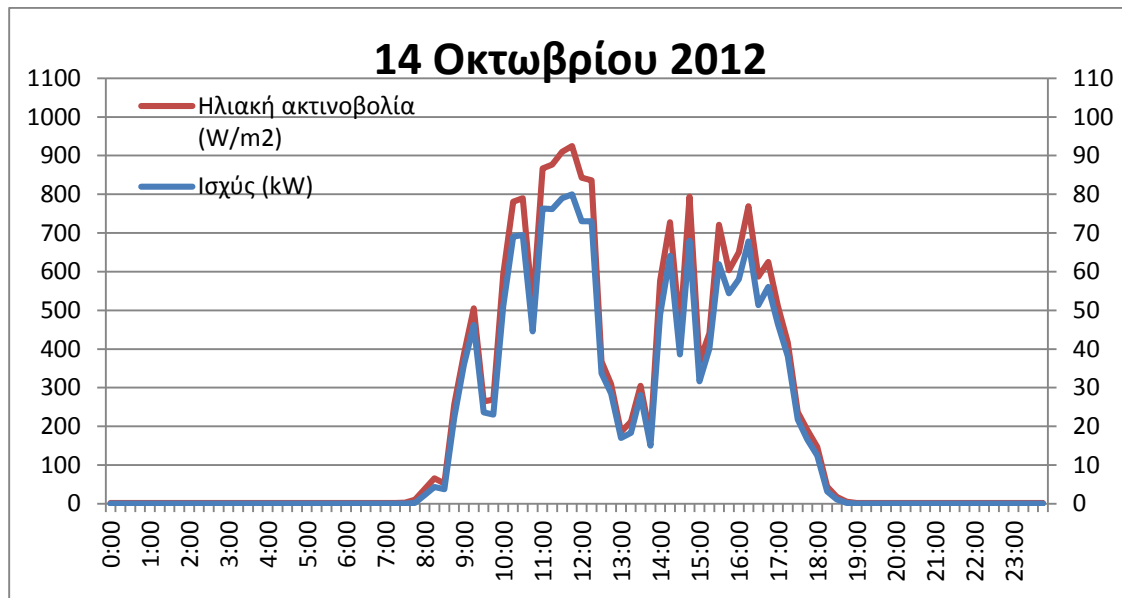
**Πίνακας 3.7 :** Στοιχεία παραγωγής για 15/06/2013

Μέγιστη ισχύς	P=85,34 kW στις 14:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	7,81 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=669,17 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	72,44°
Αζιμούθιο (13:15)	178,77°
Ύψος ηλίου(14:45)	64,49°
Αζιμούθιο (14:45)	233,33°



**Εικόνα 3.7:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 15/06/2013

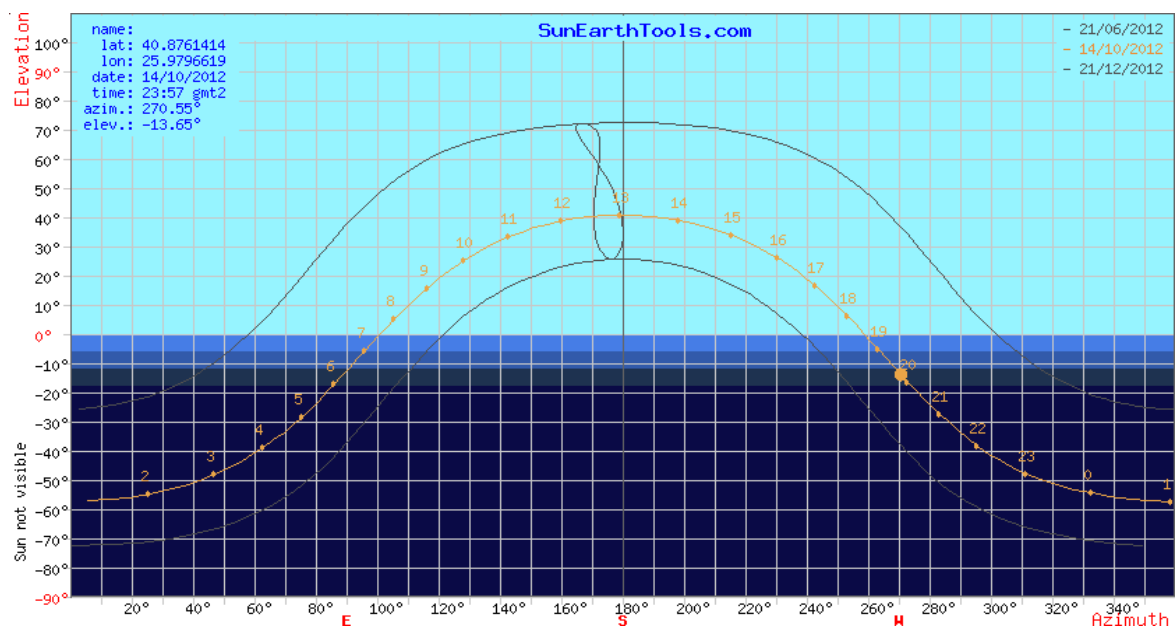
Φθινοπωρινή ημέρα με μέτρια ηλιοφάνεια (14 Οκτωβρίου 2012)



**Σχήμα 3.10:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 14/10/2012

**Πίνακας 3.7 :** Στοιχεία παραγωγής για 14/10/2012

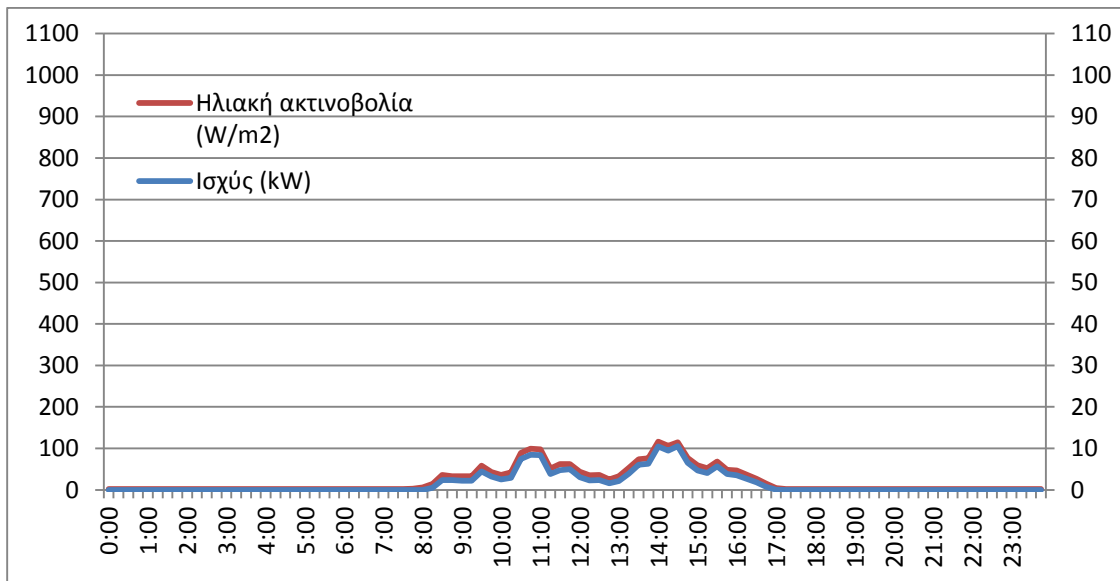
Μέγιστη ισχύς	P=80 kW στις 11:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	5,08 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=443,67 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:00)	40,75°
Αζιμούθιο (13:00)	179,34°
Ύψος ηλίου(11:45)	37,68°
Αζιμούθιο (11:45)	155,65°



**Εικόνα 3.7:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 14/10/2012

Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των ημερών είναι η σημαντική παρουσία νεφώσεων συνήθως παροδική, τέτοια ώστε να αυξομειώνεται η ένταση της ακτινοβολίας, γίνεται αντιληπτό από τα διαγράμματα έντασης ακτινοβολίας 3.7-3.10. Το πέρασμα των νεφώσεων πάνω από την εγκατάσταση μειώνει, ανάλογα με το χρόνο που θα σκιάζει τα πλαίσια και το μέγεθος του, την ένταση της ακτινοβολίας και κατ' επέκταση την αποδιδόμενη ισχύ. Για παράδειγμα στις 14 Οκτωβρίου ενώ η μέρα ξεκινάει με σχετικά ικανοποιητική ηλιοφάνεια στις 12:15 έχουμε μια απότομη πτώση της ακτινοβολίας από 836 W/m<sup>2</sup> στα 186 W/m<sup>2</sup> στις 13:00 η οποία διαρκεί περίπου μέχρι τις 14:00, δηλαδή την ώρα που αναμενόταν η μέγιστη ημερήσια ισχύς, μετά η πορεία της ακτινοβολίας συνεχίζεται πάλι με αυξομειώσεις αλλά πιο ήπιες. Από τους πίνακες 3.5-3.8 παρατηρείται ότι σε μια νεφελώδη μέρα η συνολική προσπίπτουσα στα πλαίσια ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να είναι και λιγότερη από τη μισή της αντίστοιχης σε μία αίθρια ημέρα, έχοντας τις ίδιες συνέπειες στην συνολική ενεργειακή παραγωγή. Τέλος η μέγιστη ισχύς πετυχαίνεται όταν στιγμιαία ο ουρανός πάνω από την εγκατάσταση γίνεται «καθαρός» και όχι αναγκαστικά την ώρα που το ύψος ηλίου παίρνει τις μέγιστες τιμές του (εικόνες 3.5-3.8).

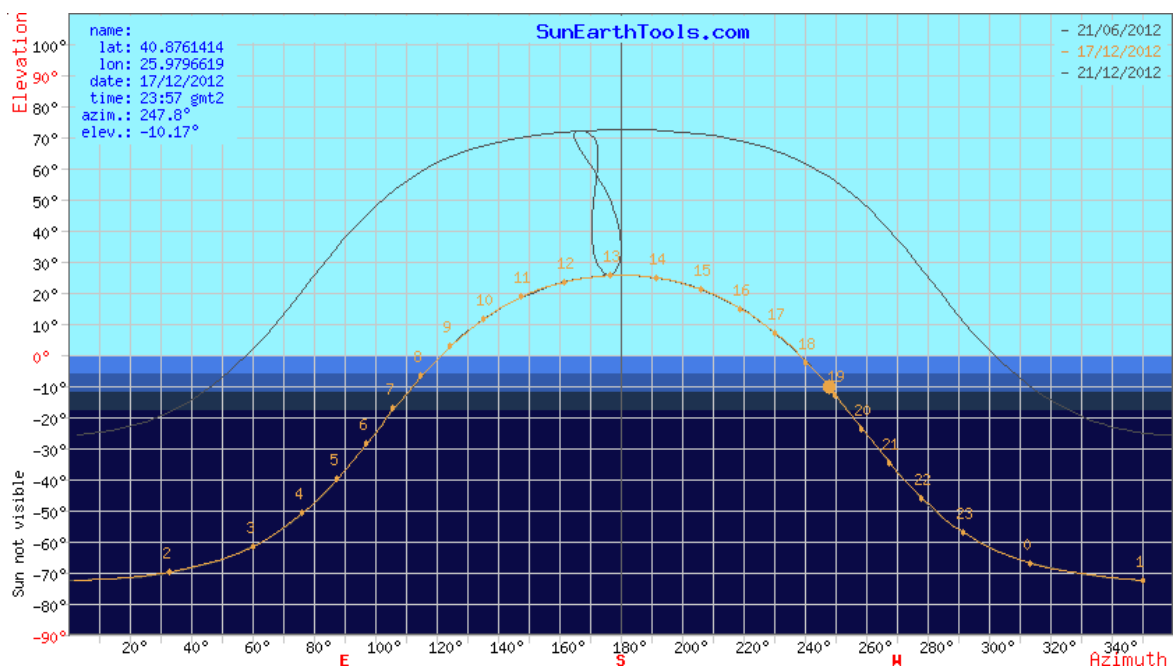
Χειμωνιάτικη ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια-Βροχερή ( 17 Δεκεμβρίου 2012)



**Σχήμα 3.11:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 17/12/2012

**Πίνακας 3.9 :** Στοιχεία παραγωγής για 17/12/2012

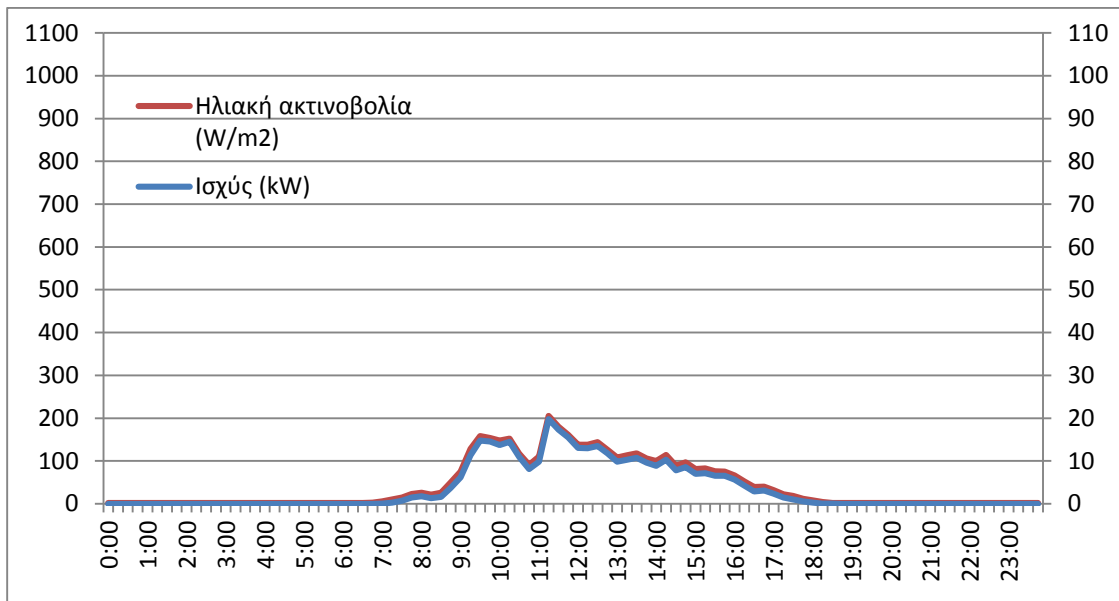
Μέγιστη ισχύς	P=10,54 kW στις 14:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	0,52 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=38 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	25,75°
Αζιμούθιο (13:15)	180,67°
Ύψος ηλίου(14:30)	23,27°
Αζιμούθιο	199,38°



**Εικόνα 3.9:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 17/12/2012



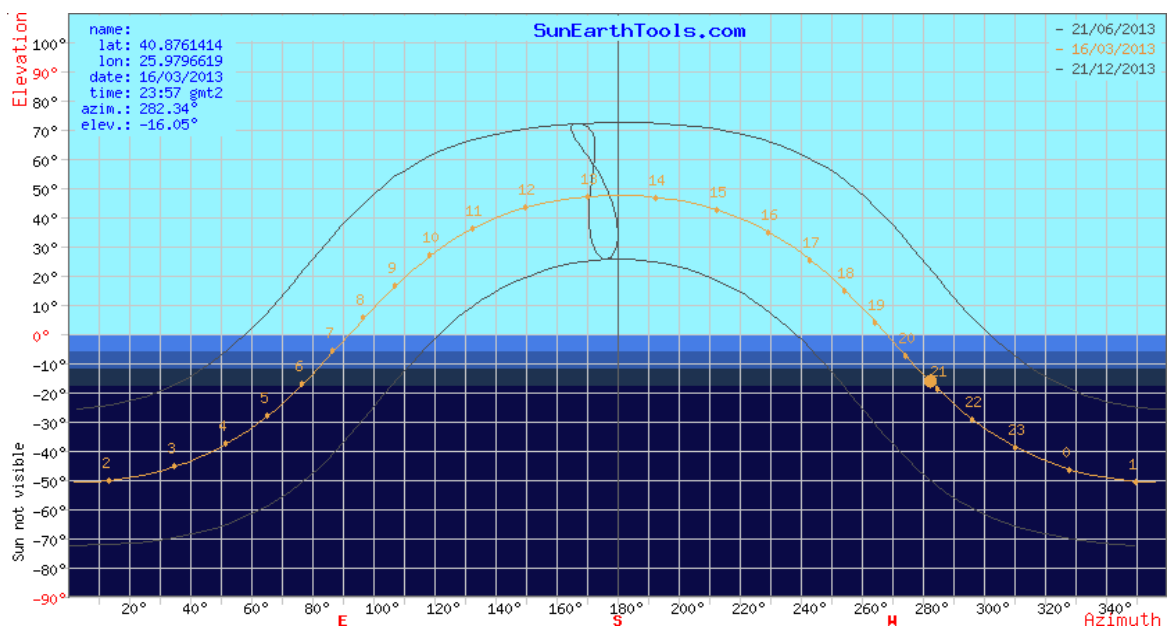
Ανοιξιάρικη ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια- Βροχερη (16 Μαρτίου 2013)



**Σχήμα 3.12:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 16/03/2013

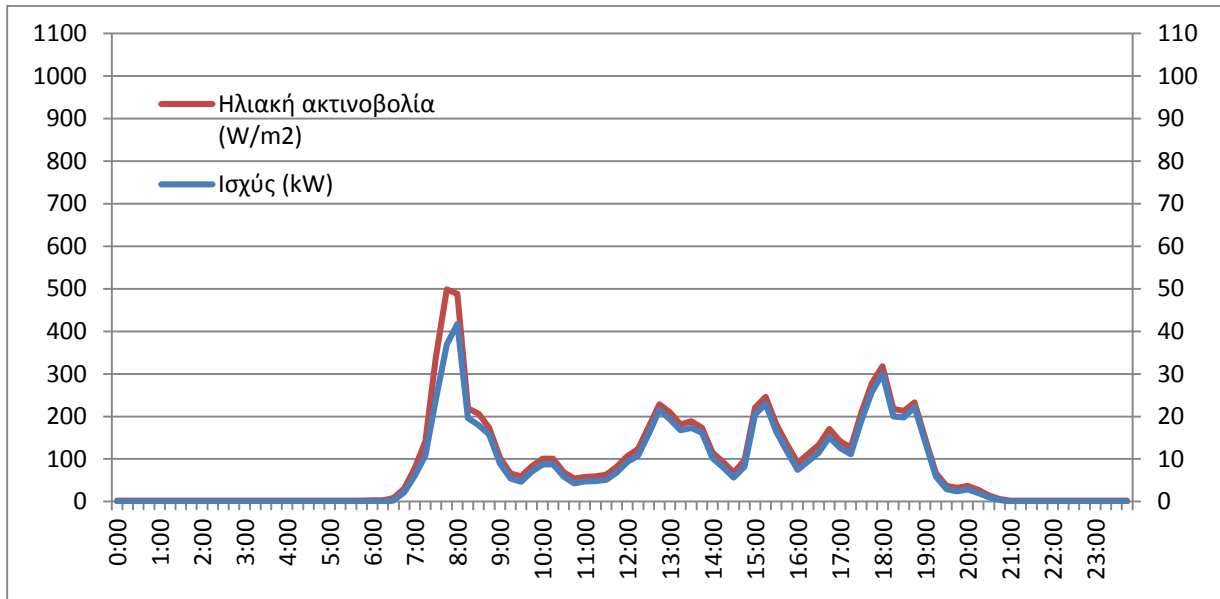
**Πίνακας 3.10 :** Στοιχεία παραγωγής για 16/03/2013

Μέγιστη ισχύς	P=19,82 kW στις 11:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	0,99 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=86 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:30)	47,52°
Αζιμούθιο (13:30)	181,96°
Ύψος ηλίου(11:15)	38,27°
Αζιμούθιο (11:15)	136,93°



**Εικόνα 3.10:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 16/03/2013

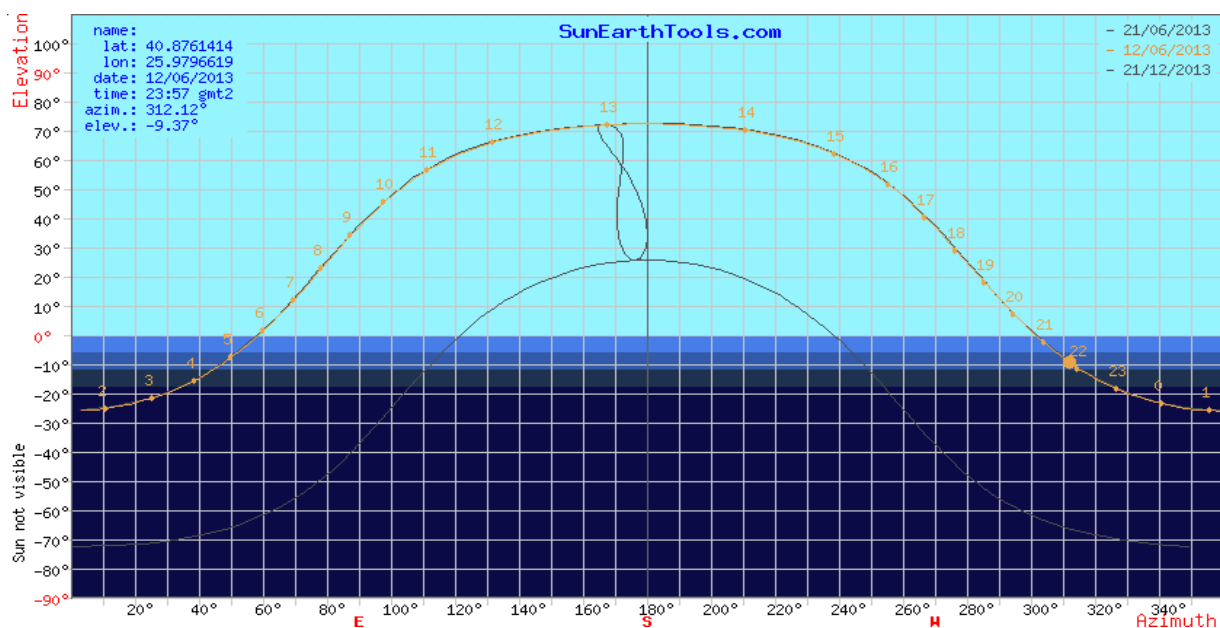
Καλοκαιρινή ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια – Βροχερή (12 Ιουνίου 2013)



**Σχήμα 3.13:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 12/06/2013

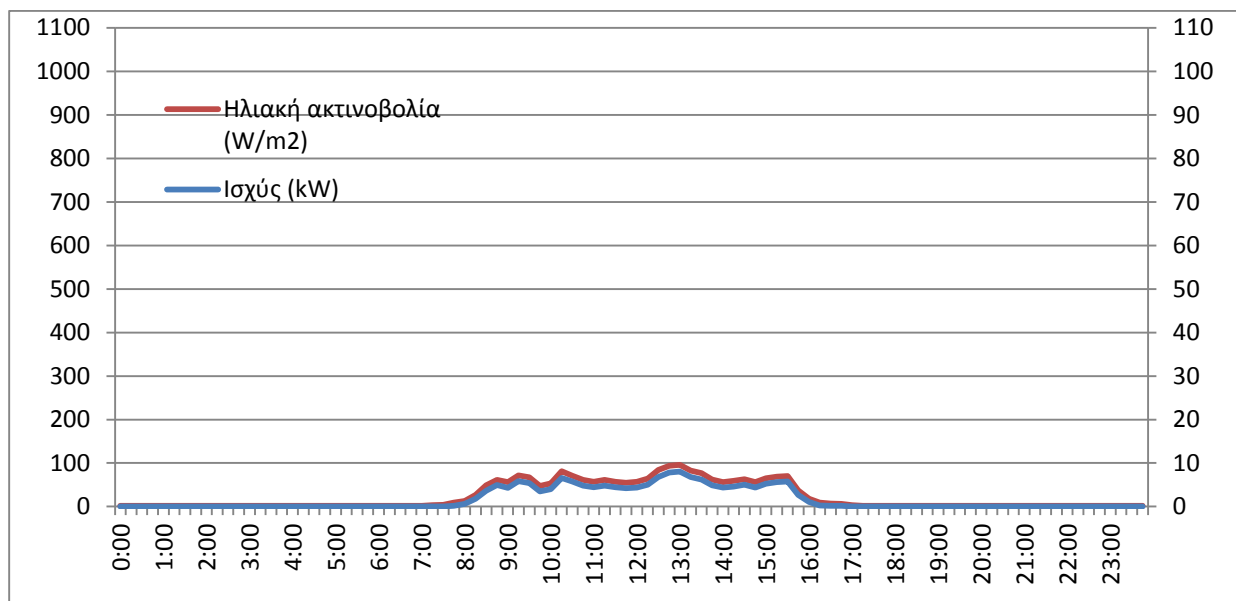
**Πίνακας 3.11 :** Στοιχεία παραγωγής για 12/06/2013

Μέγιστη ισχύς	P=41,73 kW στις 08:00
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	2,08 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=179,25 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	72,3°
Αζιμούθιο (13:15)	179,26°
Ύψος ηλίου(08:00)	22,97°
Αζιμούθιο (08:00)	78,57°



**Εικόνα 3.11:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 12/06/2013

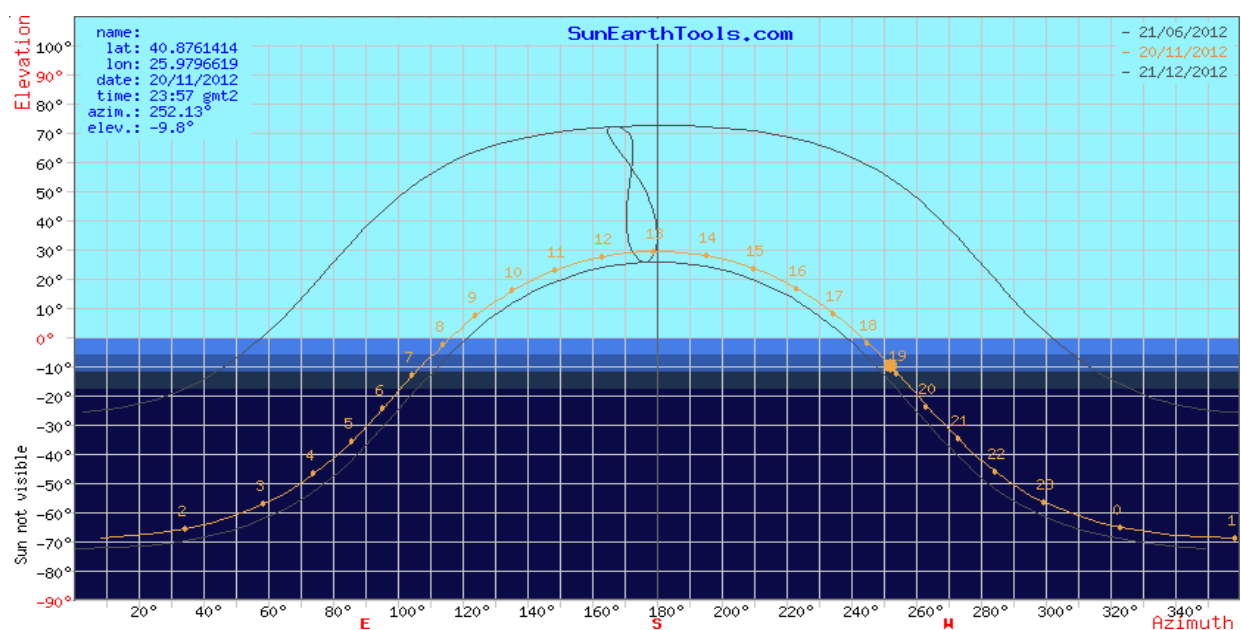
Φθινοπωρινή ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια (20 Νοεμβρίου 2012)



**Σχήμα 3.14:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 20/11/2012

**Πίνακας 3.12 :** Στοιχεία παραγωγής για 20/11/2012

Μέγιστη ισχύς	P=8,05 kW στις 13:00
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	0,54 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=39,63 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:00)	29,3°
Αζιμούθιο (13:00)	179,51°
Ύψος ηλίου(13:00)	29,3°
Αζιμούθιο (13:00)	179,51°



**Εικόνα 3.12:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 20/11/2012

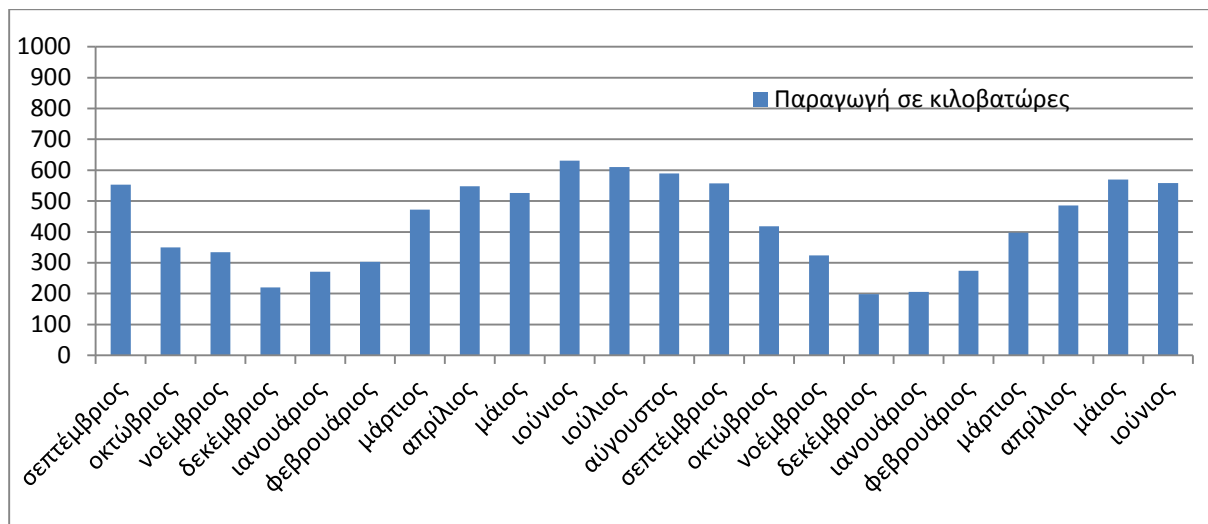
Οι μέρες με τόσο μικρή ηλιοφάνεια συναντώνται κυρίως τον χειμώνα αλλά και τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Μάρτιο, το καλοκαίρι είναι σπάνιο φαινόμενο. Είναι οι μέρες με δυνατή βροχόπτωση ή έντονες νεφώσεις πάνω από το πάρκο καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Στις 20/11 και στις 18/12 η ακτινοβολία δεν ξεπερνάει τα  $100 \text{ W/m}^2$  με συνολική προσιπτόμενη ακτινοβολία  $0,5 \text{ kWh}$  και μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ  $8,05$  και  $10,54 \text{ kW}$  αφού έχουμε απομακρυνθεί πολύ από το σημείο σχεδιασμού μέγιστης ισχύος (πίνακες 3.9-3.12). Στις 20/06 βλέπουμε μια αύξηση στην στις 8:00 στα  $500 \text{ W/m}^2$  και στη συνέχεια κυμαίνεται στα  $150 \text{ W/m}^2$  μέχρι το τέλος της ημέρας, ενώ στις 20/11 και 18/12 η μέση τιμή της είναι  $50 \text{ W/m}^2$ . Η ενεργειακή παραγωγή αυτών των ημερών κυμαίνεται στις  $50 - 100 \text{ kWh}$ , εκτός από το καλοκαίρι που λόγω της μεγάλης διάρκειας ηλιοφάνειας και ύψος ηλίου (εικόνες 3.9-3.12) η παραγωγή κυμαίνεται σε πιο μεγάλα επίπεδα  $175- 200 \text{ kWh}$ .



### 3.1.2 Φωτοβολταϊκός σταθμός στην τοποθεσία Μοναστηράκι (σταθερό σύστημα στήριξης)

Ο φωτοβολταϊκός σταθμός στο Μοναστηράκι είναι επίσης ονομαστικής ισχύος 100 kWp αλλά διαφέρει στο σύστημα στήριξης των πλαισίων αφού χρησιμοποιούνται σταθερές βάσεις. Παρακάτω θα γίνει επισκόπηση της παραγωγής του σταθμού όπως έγινε για τον φ/β σταθμό της Αγνάντιας και στη συνέχεια θα γίνει μια σύγκριση μεταξύ τους. Η σύγκριση των δυο σταθμών σε επίπεδο παραγωγής είναι δυνατή καθώς η απόσταση των δύο σταθμών σε ευθεία γραμμή είναι 10,70 χιλιόμετρα, τιμή που δεν θεωρείται ότι αλλάζουν τα κύρια κλιματολογικά χαρακτηριστικά που επικρατούν των και ειδικά το κρισιμότερο η ηλιακή ακτινοβολία.

Ο σταθμός ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 9 Αυγούστου 2011 και σε χρονικό διάστημα δύο ετών (μέχρι τις 9 Αυγούστου 2013) έχει παραγάγει 322900 kWh



**Σχήμα 3.15:** Μέση μηνιαία παραγωγή (kWh/ημέρα) για το σταθμό με το σταθερό σύστημα στήριξης για την περίοδο Σεπτέμβριος 2011-Ιούνιος 2013.

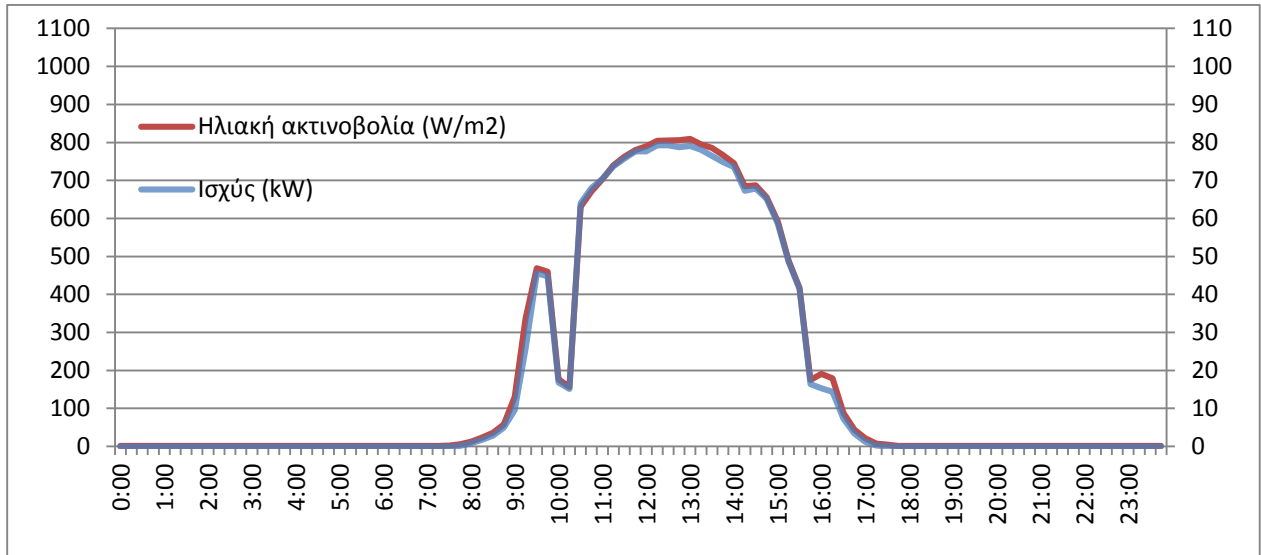
Η παραγωγή του σταθμού ακολουθεί την πορεία της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες και μειώνεται τους χειμερινούς. Είναι χαρακτηριστικό ότι για το έτος 2012 οι μήνες Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος αντιπροσωπεύουν το 33,74% της ετήσιας παραγωγής.

Οι μήνες με τη μεγαλύτερη παραγωγή σε κιλοβατώρες είναι,  
Ιούνιος 2012 - 18917 kWh  
Ιούλιος 2012 – 18901 kWh  
Ιούλιος 2013 – 18316 kWh

και με τη χαμηλότερη παραγωγή  
Δεκέμβριος 2012 – 6137 kWh  
Ιανουάριος 2013 – 6368 kWh  
Δεκέμβριος 2011- 6817 kWh

Για να εξεταστεί η απόδοση του σταθμού κατά τη διάρκεια της ημέρας θα επιλεγούν χαρακτηριστικές μέρες από όλες τις εποχές του χρόνου, όπως έγινε και με τον σταθμό της Αγνάντιας.

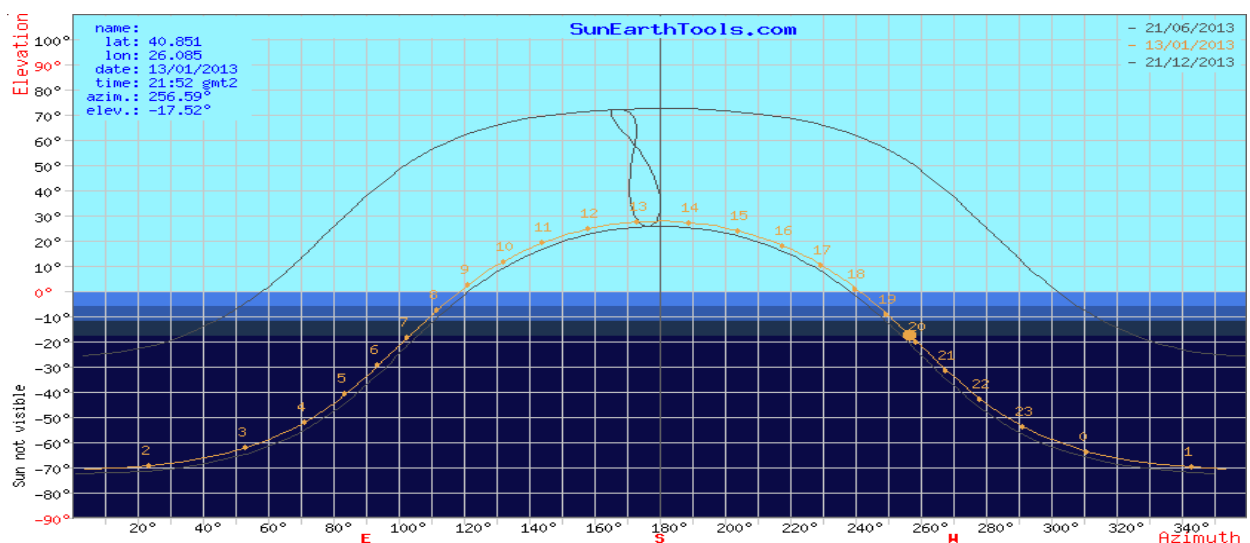
Ηλιόλουστη μέρα χειμώνα (13 Ιανουαρίου 2013)



**Σχήμα 3.16:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 13/01/2013

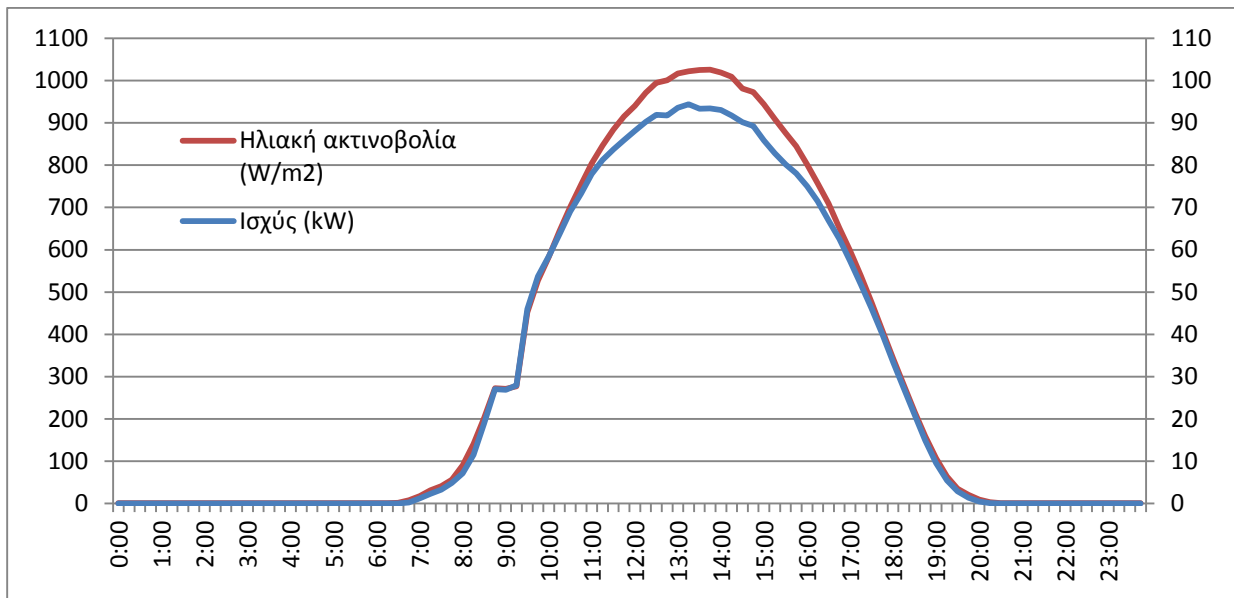
**Πίνακας 3.13 :** Στοιχεία παραγωγής για 13/01/2013

Μέγιστη ισχύς	P=79,28 kW στις 12:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	4,39 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=425,48 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:30)	29,77°
Αζιμούθιο (13:30)	181,46°
Ύψος ηλίου(12:15)	25,68
Αζιμούθιο (12:15)	162,06°



**Εικόνα 3.13:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 13/01/2013

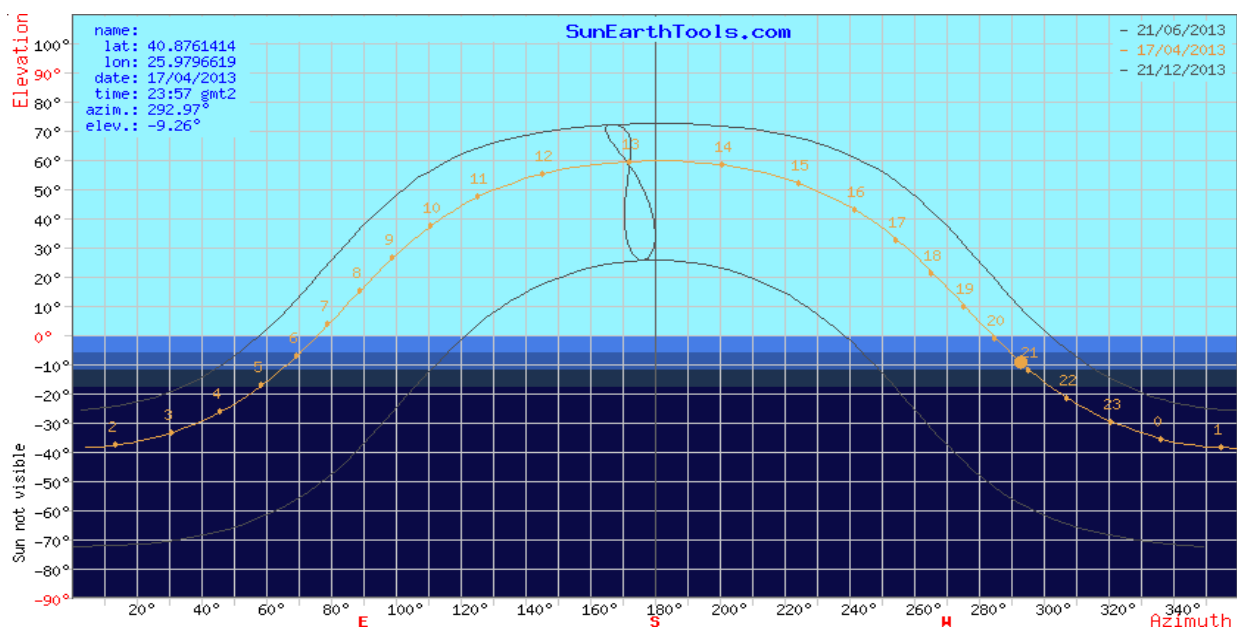
Ημέρα άνοιξης με υψηλή ηλιοφάνεια (17 Απριλίου 2013)



**Σχήμα 3.17:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 17/04/2013

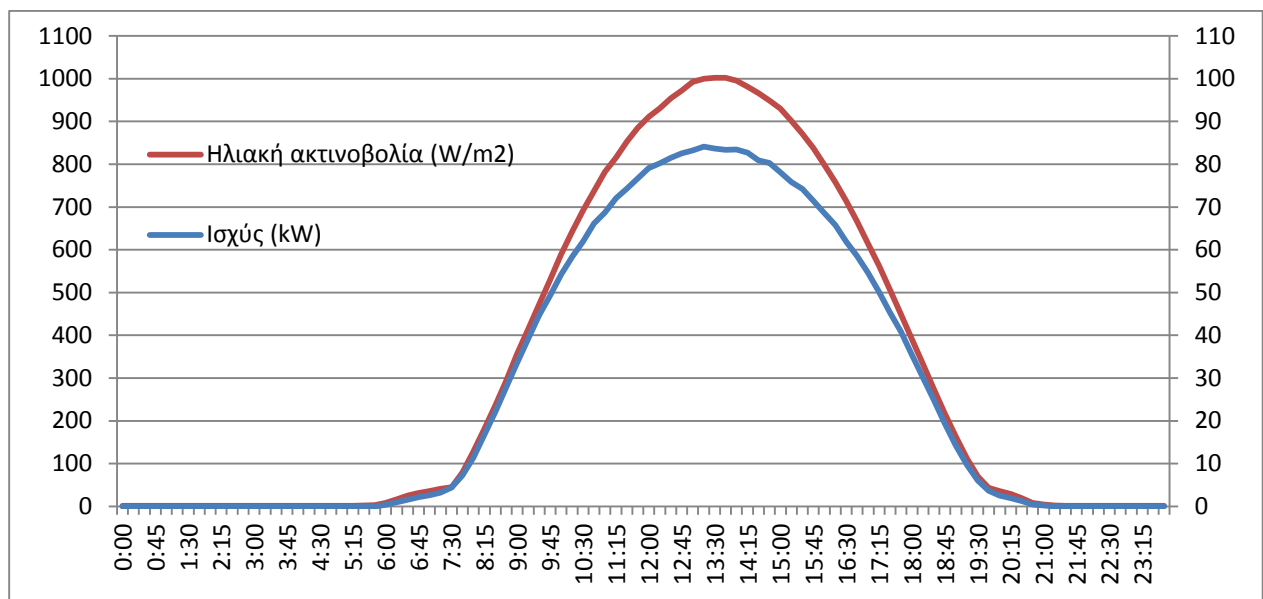
**Πίνακας 3.14 :** Στοιχεία παραγωγής για 17/04/2013

Μέγιστη ισχύς	P=94,37 kW στις 13:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	7,57 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=709,93 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	59.76°
Αζιμούθιο (13:15)	179.89°
Ύψος ηλίου(13:15)	59.76°
Αζιμούθιο (13:15)	179.89°



**Εικόνα 3.14:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 17/04/2013

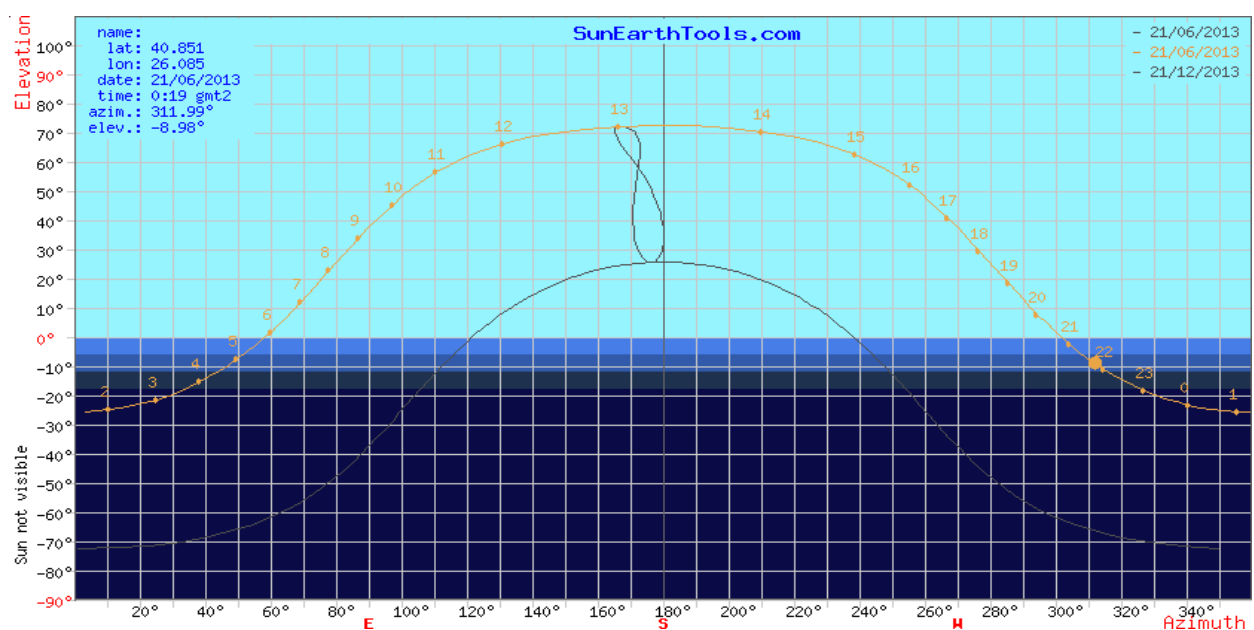
Καλοκαιρινή ημέρα με υψηλή ηλιοφάνεια ( 21 Ιουνίου 2013)



Σχήμα 3.18: Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 21/06/2013

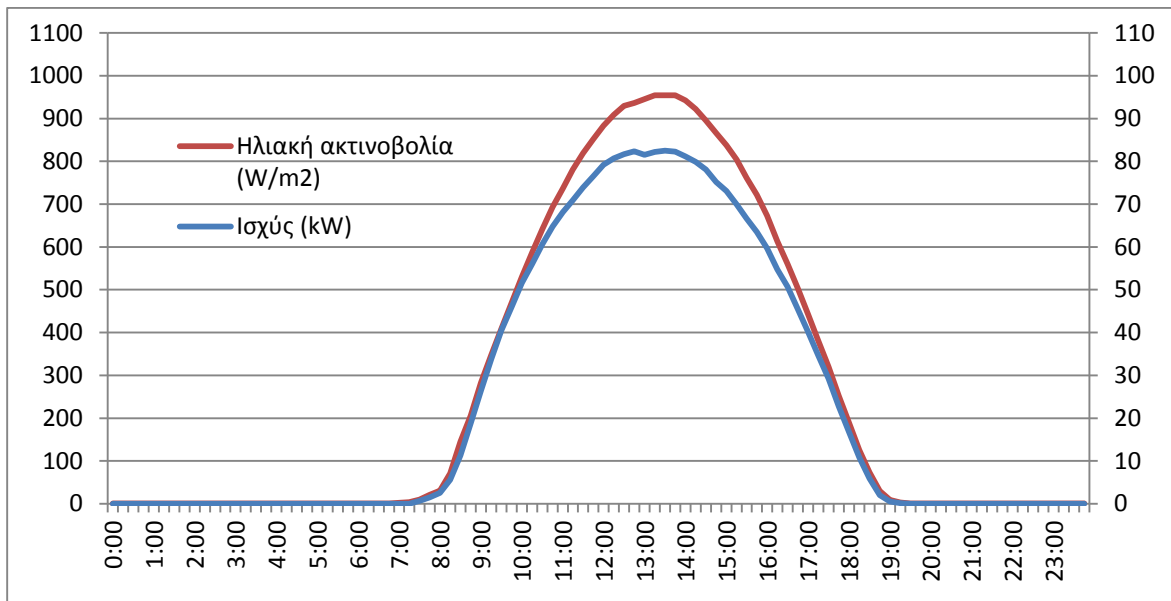
Πίνακας 3.15 : Στοιχεία παραγωγής για 21/06/2013

Μέγιστη ισχύς	P=84,11 kW στις 13:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	7,72 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=669,97 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	72.58°
Αζιμούθιο (13:15)	178.09°
Ύψος ηλίου(13:15)	72.58°
Αζιμούθιο (13:15)	178.09°



Εικόνα 3.15: Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 21/06/2013

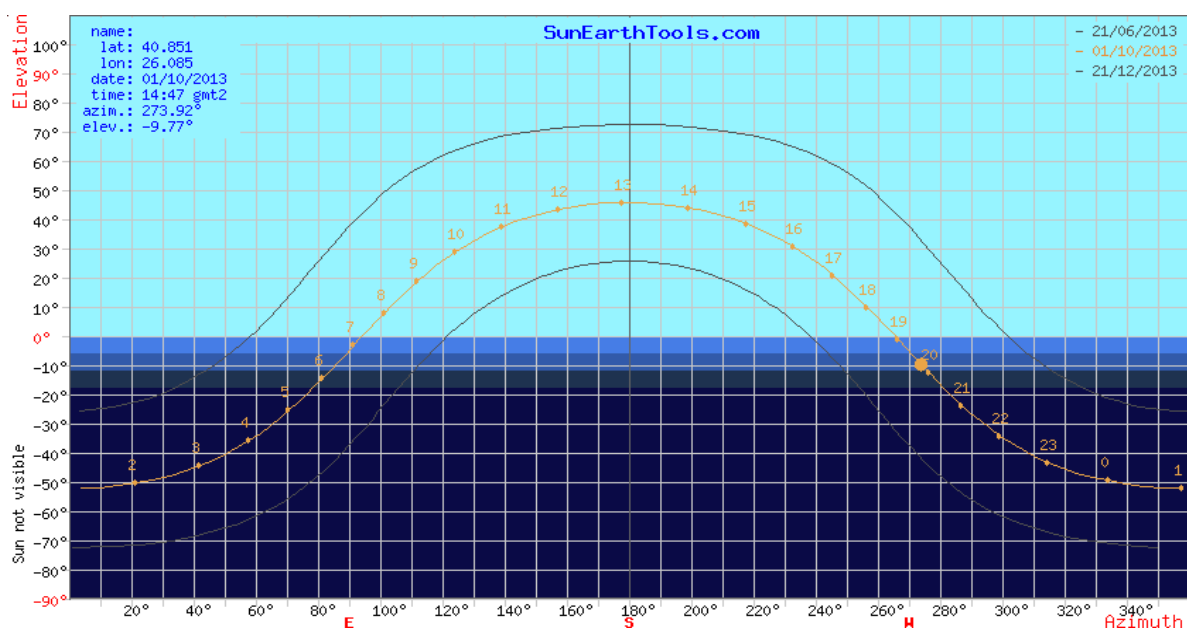
Φθινοπωρινή ημέρα με υψηλή ηλιοφάνεια (1 Οκτωβρίου 2012)



**Σχήμα 3.19:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 1/10/2012

**Πίνακας 3.16 :** Στοιχεία παραγωγής για 1/10/2012

Μέγιστη ισχύς	P=82,48 kW στις 13:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	6.52 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=580,73 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:00)	45.8°
Αζιμούθιο (13:00)	178.1°
Ύψος ηλίου(11:45)	45.45°
Αζιμούθιο (11:45)	188.8°



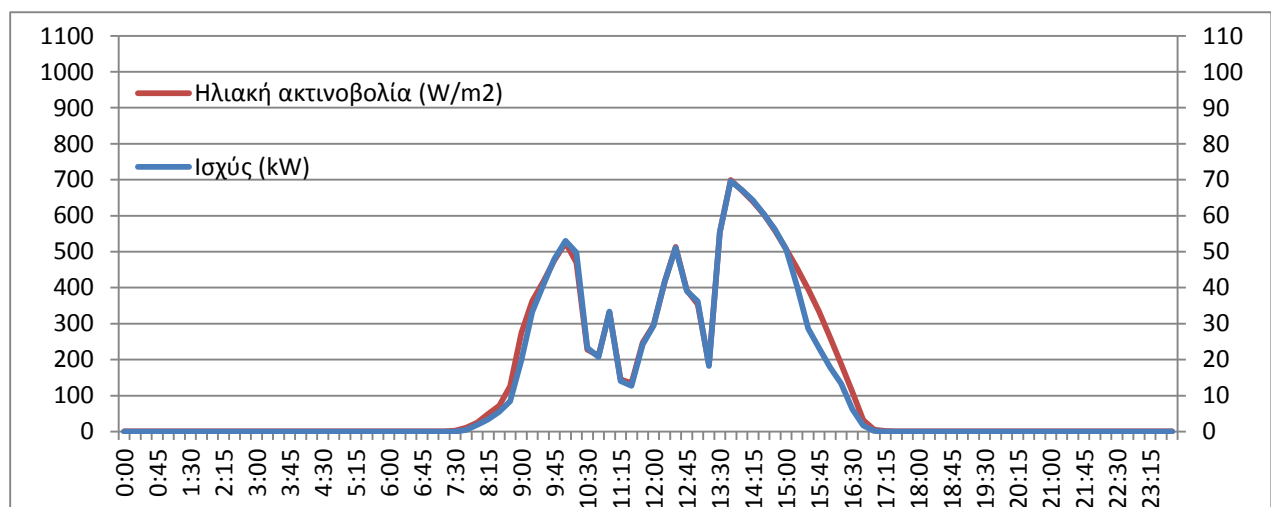
**Εικόνα 3.16:** Αζιμούθιο και ύψος ηλίου ανά ώρα για 01/10/2013



Στα διαγράμματα 3.16-3.19 και στους πίνακες 3.13-3.16 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά παραγωγής για τις επιλεγμένες ημέρες και στις εικόνες 3.13-3.16 οι σφαιρικές τους συντεταγμένες. Στις 13 Ιανουαρίου 2013, μία από τις μέρες με μεγάλη παραγωγή ενέργειας για τους τρεις χειμερινούς μήνες έχουμε την μέγιστη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στα  $800 \text{ W/m}^2$ , η οποία διατηρείται σε αυτή την τιμή από τις 11:30 μέχρι τις 13:30 και μία απότομη αλλά σύντομη πτώση της τιμής της από τα 450 στα  $170 \text{ W/m}^2$  στις 10:00. Η μέγιστη ισχύς που αποδίδεται είναι  $79,28 \text{ kW}$  στις 12:15 και η συνολική ενέργεια που παρήχθη  $425,48 \text{ kWh}$ . Στις 17/04 συναντάται η μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή του σταθμού για το 2013  $E=709,93 \text{ kWh}$ , δουλεύοντας από τις 12:15 μέχρι τις 14:30 με ισχύ πάνω από  $90 \text{ kW}$  ξεπερνώντας ακόμα και την ημέρα του θερινού ηλιοστασίου. Στις 21/06 η παραγωγή ήταν  $E=669 \text{ kWh}$  με το σύστημα να λειτουργεί από τις 12:15 έως τις 14:30 με ισχύ από  $80$  έως  $84 \text{ kW}$ , και η αιτία που έχει μικρότερη παραγωγή από μια μέρα με μικρότερο ηλιακό δυναμικό είναι οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα φ/β πλαίσια και θα αναφερθεί σε επόμενη παράγραφο.

Για τις ημέρες που παρουσιάζουν μέτρια ηλιοφάνεια θα πρέπει να δοθεί έμφαση στις αυξομειώσεις της έντασης ακτινοβολίας (διαγράμματα 3.20-3.23), όταν εμφανίζονται οι νεφώσεις. Στις 21/12 (χειμερινό ηλιοστάσιο) από τις 10:00 μέχρι τις 13:30 συναντάμε αυξομειώσεις στην ένταση της ακτινοβολίας και στην αποδιδόμενη ισχύ με μέγιστη τιμή τα  $69,54 \text{ kW}$  στις 13:45, όταν οι νεφώσεις φαίνεται να αποχωρούν αφού η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται ομαλά. Στις 21/03 η ακτινοβολία αυξάνεται σχετικά ομαλά μέχρι τις 11:15 αλλά στη συνέχεια παρουσιάζονται έντονες νεφώσεις που την μειώνουν απότομα μέχρι το τέλος της ημέρα. Για τις ημέρες του καλοκαιριού και του φθινοπώρου θα σχολιάζαμε τις πιο συχνές αυξομειώσεις της ακτινοβολίας. Από τους πίνακες 3.17-3.20 συμπεραίνουμε ότι η ενεργειακή παραγωγή ημερών με αισθητή την παρουσία νεφώσεων πάνω από την εγκατάσταση είναι περίπου η μισή των αντίστοιχων αίθριων ημερών.

Ημέρα χειμώνα με μέτρια ηλιοφάνεια ( 21 Δεκεμβρίου 2013)

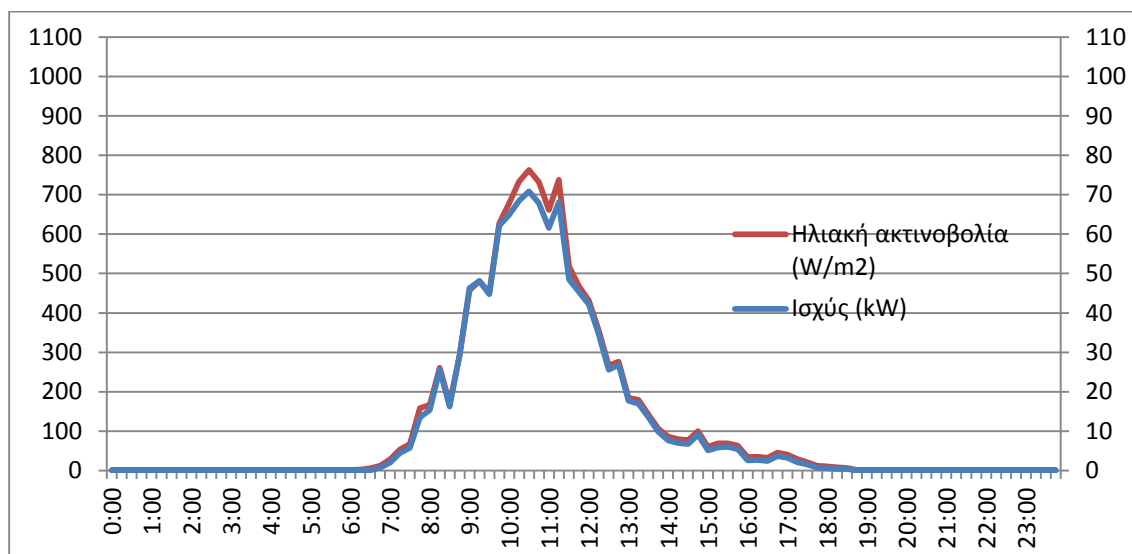


**Σχήμα 3.20:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 21/12/2012

**Πίνακας 3.17 :** Στοιχεία παραγωγής για 21/12/2012

Μέγιστη ισχύς	P=69,54 kW στις 13:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	2,49 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=253,50 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	25,6°
Αζιμούθιο (13:15)	180,27°
Ύψος ηλίου(13:45)	25,31°
Αζιμούθιο (13:45)	187,88°

Ημέρα άνοιξης με μέτρια ηλιοφάνεια (21 Μαρτίου 2013)

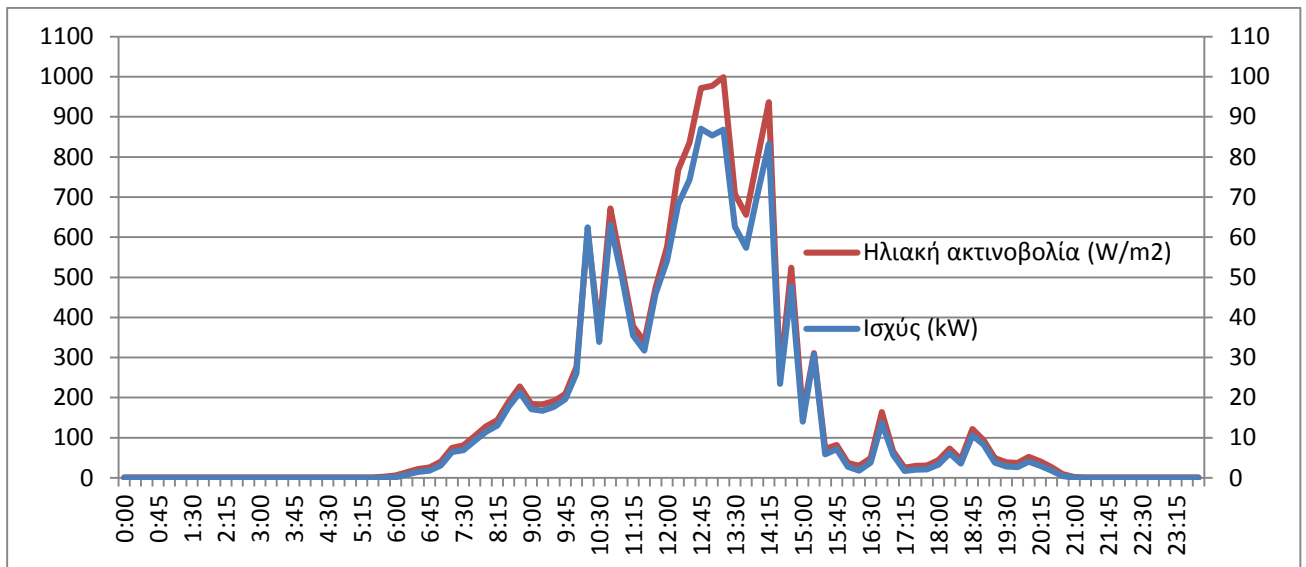


**Σχήμα 3.21:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 21/03/2013

**Πίνακας 3.18 :** Στοιχεία παραγωγής για 21/03/2013

Μέγιστη ισχύς	P=70,84 kW στις 10:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	2,85 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=267,36 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:30)	49.5°
Αζιμούθιο (13:30)	182.76°
Ύψος ηλίου(10:30)	33.72°
Αζιμούθιο (10:30)	124.59°

Ημέρα καλοκαιριού με μέτρια ηλιοφάνεια (14 Ιουνίου 2013 )

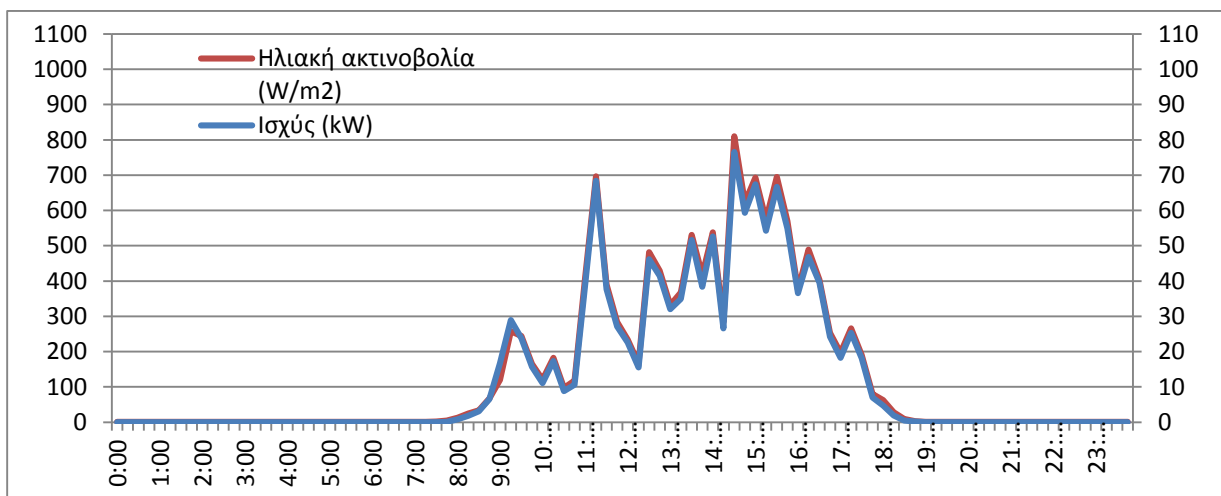


**Σχήμα 3.22:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 14/06/2013

**Πίνακας 3.19 :** Στοιχεία παραγωγής για 14/06/2013

Μέγιστη ισχύς	P=87.06kW στις 12:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	4,05 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=364.14kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	72.43°
Αζιμούθιο (13:15)	179.25°
Ύψος ηλίου(12:45)	71.26°
Αζιμούθιο (12:45)	157.33°

Φθινοπωρινή ημέρα με μέτρια ηλιοφάνεια (21 Οκτωβρίου 2012)



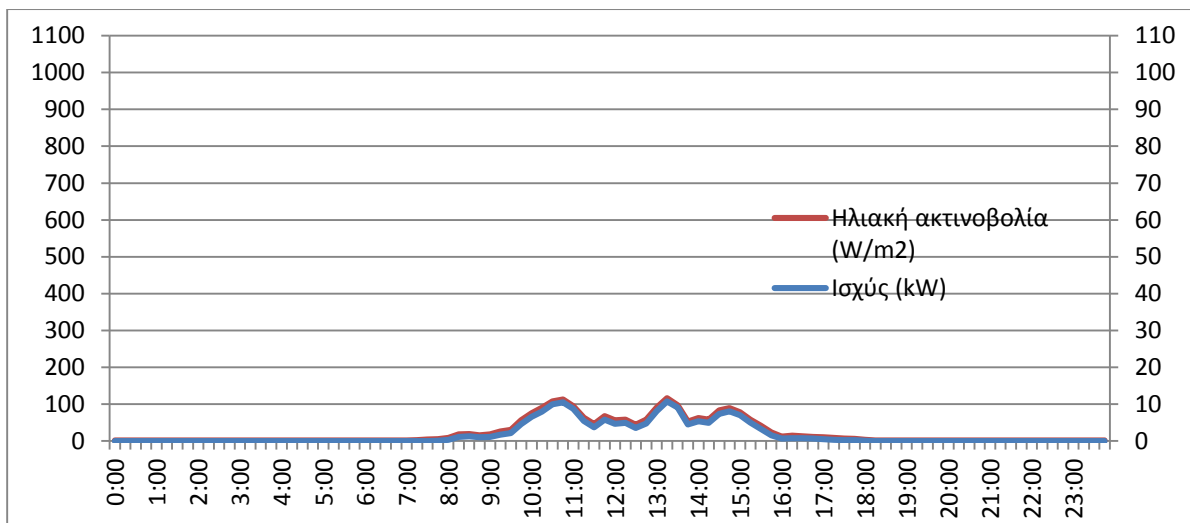
**Σχήμα 3.23:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 21/10/2012

**Πίνακας 3.20 :** Στοιχεία παραγωγής για 21/10/2012

Μέγιστη ισχύς	P=76,52 kW στις 14:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	3,35 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=320,33 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:00)	38.32°
Αζιμούθιο (13:00)	179.91°
Ύψος ηλίου(11:45)	34.31°
Αζιμούθιο (11:45)	206.98°

Ακολουθούν οι μέρες με πολύ χαμηλή ηλιοφάνεια

Ημέρα χειμώνα με βροχή (22 Φεβρουαρίου 2013)

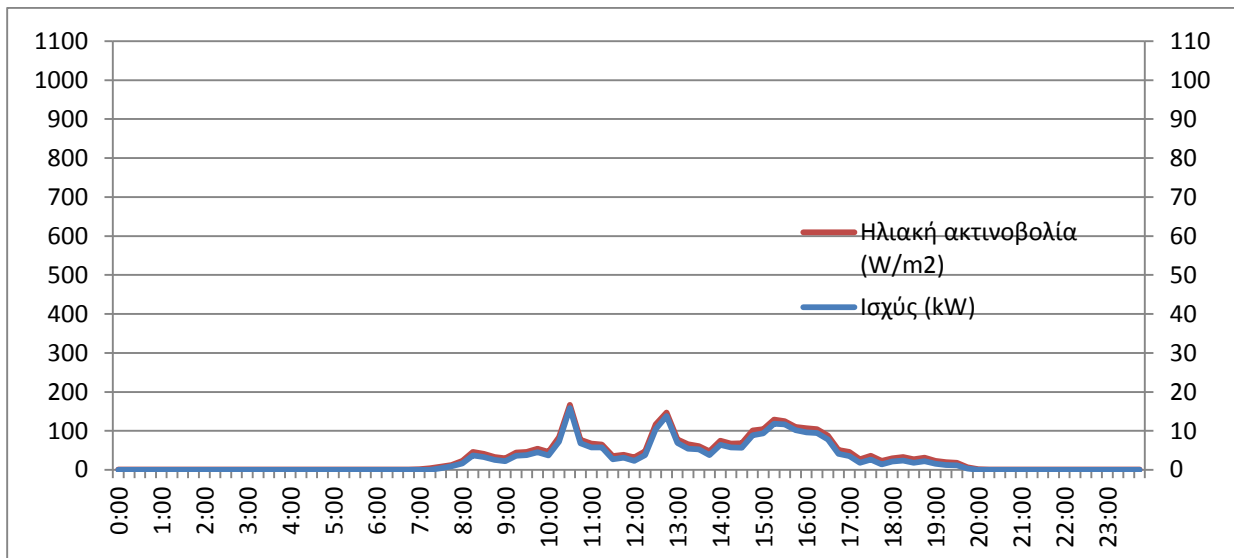


**Σχήμα 3.24:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 22/02/2013

**Πίνακας 3.21 :** Στοιχεία παραγωγής για 22/02/2013

Μέγιστη ισχύς	P=10,74 kW στις 13:15
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	0,51 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=42,17 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	38,99°
Αζιμούθιο (13:15)	175,52°
Ύψος ηλίου(13:30)	39,1°
Αζιμούθιο (13:30)	180,27°

Ημέρα άνοιξης με χαμηλή ηλιοφάνεια (3 Απριλίου 2013)

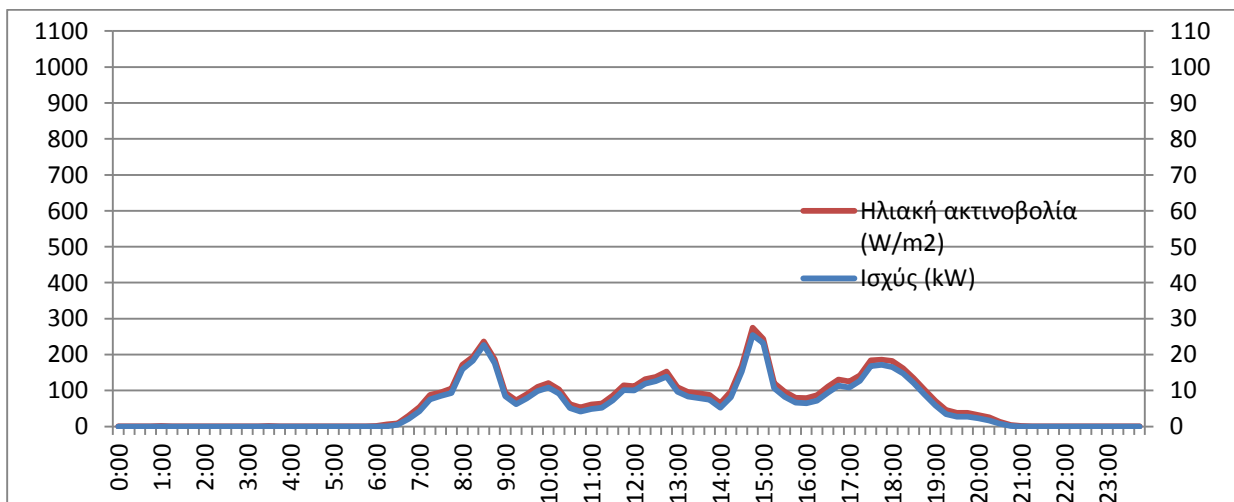


**Σχήμα 3.25:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 03/04/2013

**Πίνακας 3.22 :** Στοιχεία παραγωγής για 03/04/2013

Μέγιστη ισχύς	P=15,86 kW στις 10:30
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	0,75 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=63,06 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	54.59°
Αζιμούθιο (13:15)	178.31°
Ύψος ηλίου(10:30)	38.26°
Αζιμούθιο (10:30)	121.54°

Καλοκαιρινή ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια ( 12 Ιουνίου 2013)



**Σχήμα 3.26:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 12/06/2013

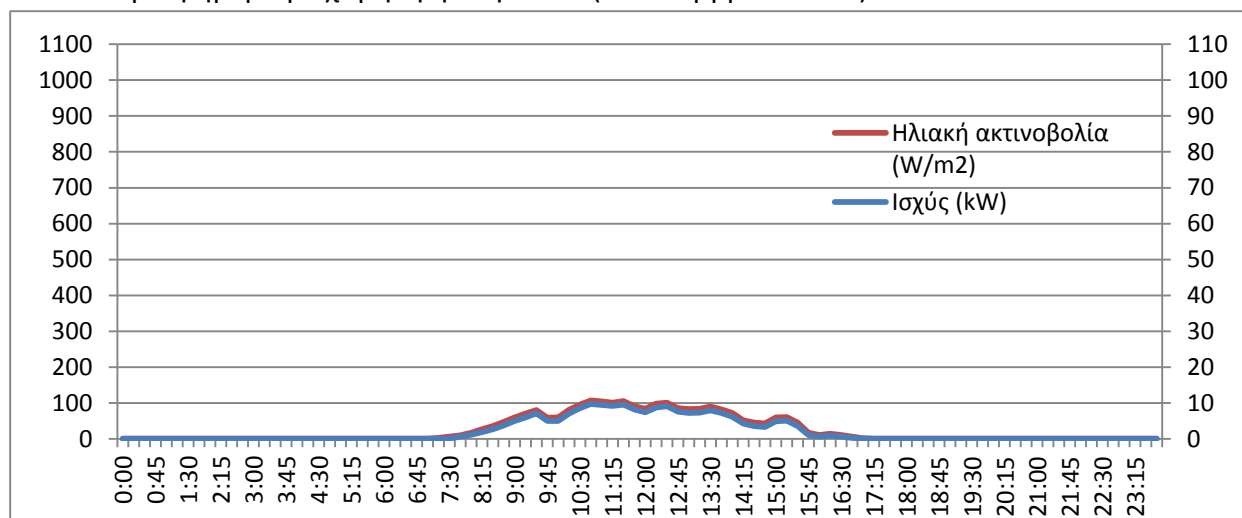


**Πίνακας 3.23 :** Στοιχεία παραγωγής για 23/01/2013

Μέγιστη ισχύς	P=25,42 kW στις 14:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	1,55kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=136,23 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:15)	72.32°
Αζιμούθιο (13:15)	179.57°
Ύψος ηλίου(14:45)	64.23°
Αζιμούθιο (14:45)	233.54°

Όσον αφορά τις ημέρες με βροχοπτώσεις γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα σχεδόν υπολειπεται (διαγράμματα 3.24-3.27), με την μέγιστη ημερήσια παραγωγή να την έχουμε το καλοκαιρινή ημέρα (12/06) μόλις 136 kWh λόγω μεγάλης διάρκειας ημέρας και της ανόδου της ακτινοβολίας πάνω από τα 200 W/m<sup>2</sup> για κάποια διαστήματα. Το φθινόπωρο και το χειμώνα τέτοιες μέρες είναι συχνό φαινόμενο, η ένταση ακτινοβολίας δεν περνάει τα 100 W/m<sup>2</sup> και η μέγιστη ισχύς φτάνει τα 10 kW αλλά ακόμα και σε αυτές τις ακραίες περιπτώσεις με σχεδόν μηδενική ακτινοβολία εμφανίζεται τις ώρες που η ζενίθεια γωνία μεγιστοποιείται (πίνακες 3.20-3.23).

Φθινοπωρινή ημέρα με χαμηλή ηλιοφάνεια (20 Νοεμβρίου 2012)



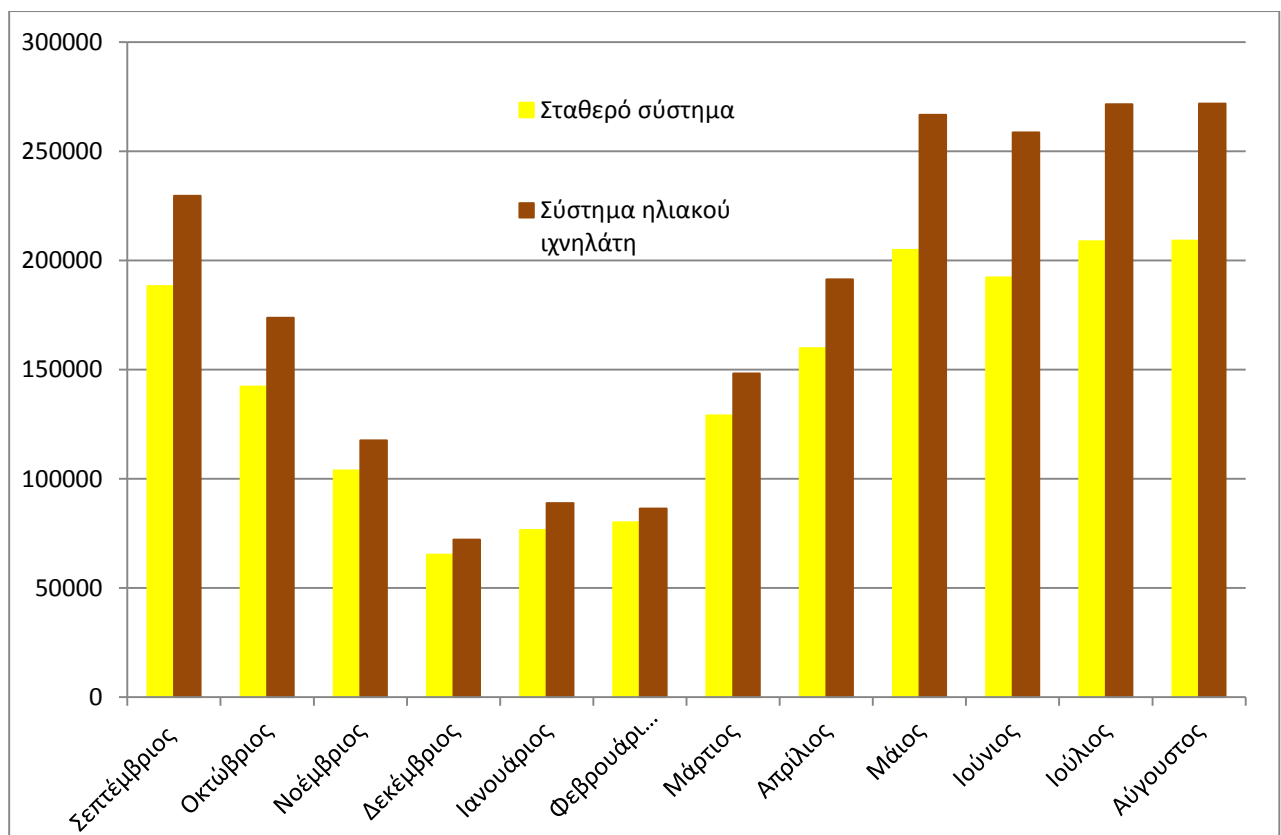
**Σχήμα 3.27:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου και ισχύος-χρόνου για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας για τις 20/11/2012

**Πίνακας 3.24 :** Στοιχεία παραγωγής για 23/01/2013

Μέγιστη ισχύς	P=9,72 kW στις 10:45
συνολική ηλιακή ακτινοβολία	0,59 kWh/m <sup>2</sup>
συνολική παραγωγή	E=49,13 kWh
Μέγιστο ύψος ηλίου (13:00)	29.38°
Αζιμούθιο (13:00)	179.64°
Ύψος ηλίου(10:45)	21.63°
Αζιμούθιο (10:45)	145.44°

### 3.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων παραγόμενης ενέργειας των δύο σταθμών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι δύο φωτοβολταϊκοί σταθμοί βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους 10 χιλιομέτρων, ο σταθμός του Μοναστηρακίου βρίσκεται ανατολικά του σταθμού της Αγνάντιας. Το γεωγραφικό πλάτος του πρώτου είναι  $\phi=40,851^\circ$  και του δεύτερου  $\phi=40,873^\circ$  άρα η ακτινοβολία που θεωρητικά θα πρέπει να δέχονται αλλάζει ελάχιστα γιατί εξαρτάται άμεσα από το γεωγραφικό πλάτος. Για να αποδόσει τη μέγιστη ισχύ ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει απορροφά όσο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί. Για να συμβεί αυτό χρειάζεται τα πλαίσια να είναι προσανατολισμένα στον ήλιο κάθε στιγμή για να μεγιστοποιείται η περιοχή επίδρασης και η γωνία πτώσης να είναι  $0^\circ$ . Για αυτό το λόγο επινοήθηκαν και εξελίχθηκαν τα συστήματα των ηλιακών ιχνηλάτων[14]. Στο παρόν υποκεφάλαιο θα γίνει μια προσπάθεια προσδιορισμού του ενεργειακού ωφέλους από τον ηλιακό ιχνηλάτη. Εφόσον οι δύο σταθμοι βρίσκοντα σε κοντινή απόσταση και οι έχουν ίδιο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, ίδια πλαίσια και αντιστροφείς ρεύματος, η αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων από τις παραγωγές τους είναι εύλογη για να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά του συστήματος ηλιακής ιχνηλάτησης.

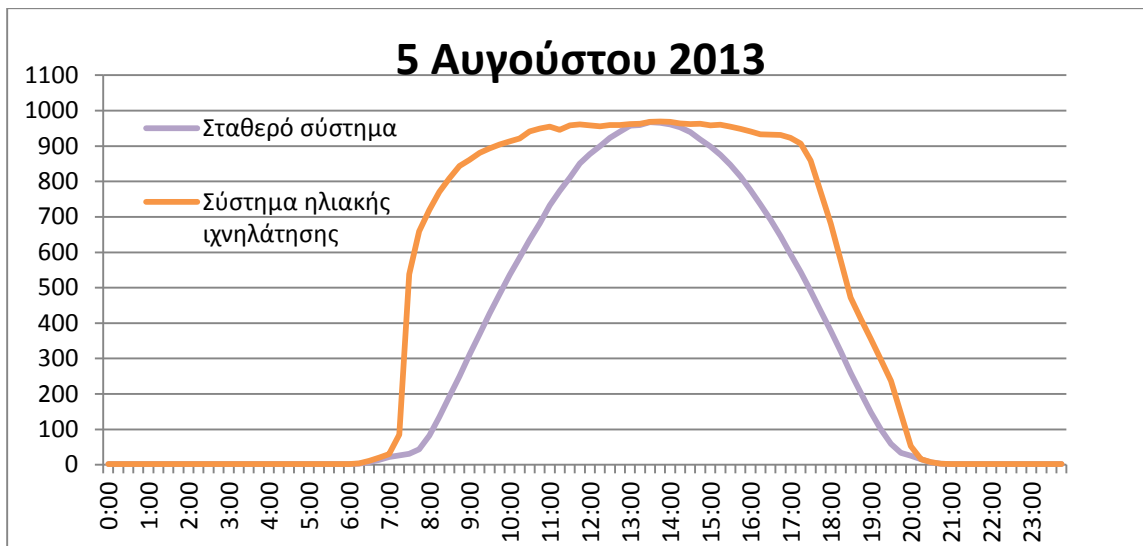


**Σχήμα 3.28:** Ιστογράμμο μηνιαίας ενεργειακής απολαβής από ηλιακή ακτινοβολία για κάθε σταθμό ( $Wh/m^2$ )

**Πίνακας 3.25 :**Στοιχεία για την παραγωγή και την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στα δύο φ/β πάρκα.

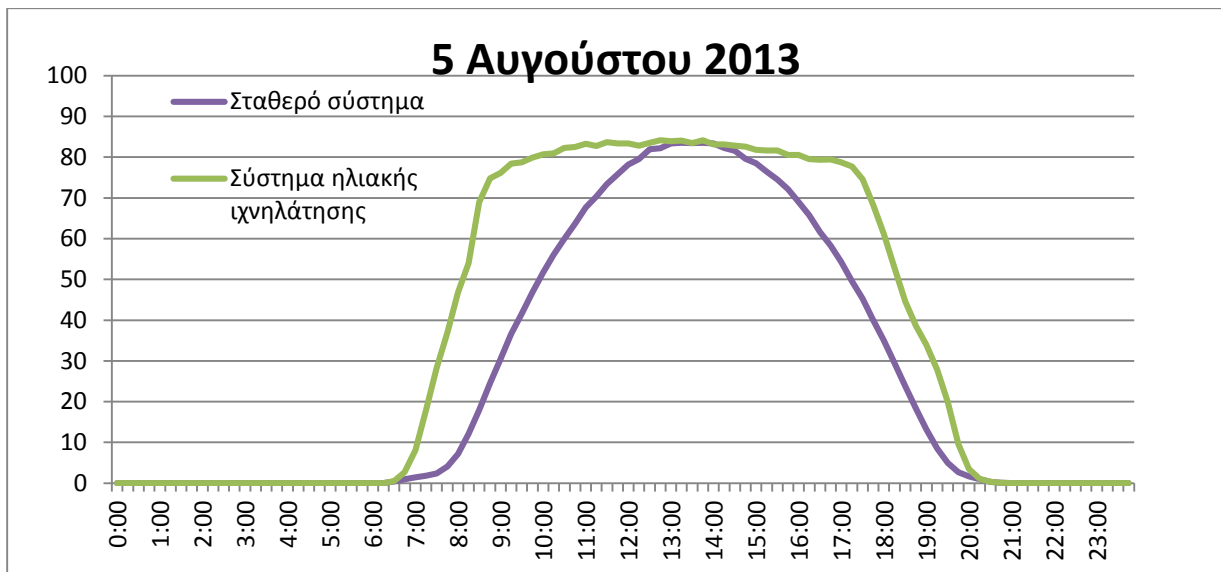
Μήνας	Απολαβή ηλιακής ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> )		Ποσοστό	Ενεργειακή παραγωγή (kWh)		Ποσοστό
	Αγνάντια	Μοναστηράκι		Αγνάντια	Μοναστηράκι	
Σεπτέμβριος	229,606	188,246	<b>22%</b>	19525,84	16724,06	<b>17%</b>
Οκτώβριος	173,778	142,219	<b>22%</b>	15000	12959,9	<b>16%</b>
Νοέμβριος	117,642	103,832	<b>13%</b>	10544,55	9715,3	<b>9%</b>
Δεκέμβριος	72,141	65,250	<b>11%</b>	6649,53	6137,18	<b>8%</b>
Ιανουάριος	88,893	76,608	<b>16%</b>	8087,61	7158	<b>13%</b>
Φεβρουάριος	86,334	80,114	<b>8%</b>	7857,3	7687,08	<b>2%</b>
Μάρτιος	148,289	129,067	<b>15%</b>	13697,93	12324,83	<b>11%</b>
Απρίλιος	191,394	159,886	<b>20%</b>	16756,41	14575,19	<b>15%</b>
Μάιος	266,722	204,809	<b>30%</b>	22861,49	17656,84	<b>29%</b>
Ιούνιος	258,646	192,199	<b>35%</b>	21927,76	16746,95	<b>31%</b>
Ιούλιος	271,627	208,787	<b>30%</b>	23039,22	18316,08	<b>26%</b>
Αύγουστος	271,835	209,056	<b>30%</b>	23098,42	18593,51	<b>24%</b>

Η ενέργεια που δέχονται οι δύο σταθμοί, ιστόγραμμα 3.28 και οι τιμές ανά μήνα στον πίνακα 3.25, προκύπτει από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα πλαίσια σε σταθερές βάσεις για τον ένα σταθμό και σε βάσεις που παρακολουθούν την πορεία του ηλίου για τον άλλο. Προφανώς το σύστημα με τις κινητές βάσεις θα δέχεται μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας αφού οι ακτίνες του ηλίου θα «πέφτουν» με γωνία πλησιέστερα στις 90° στην επιφάνεια των πλαισίων. Το κρίσιμο ζήτημα που θα μας απασχολήσει είναι πόσο περισσότερη ηλιακή ενέργεια λαμβάνουν και κυρίως πόσο περισσότερη ενέργεια παράγει όλο το σύστημα από το σταθερό. Όπως βλέπουμε στον πίνακα το σύστημα του «ηλιοτροπίου» λειτουργεί βέλτιστα το διάστημα Μάιο-Αύγουστο αφού δέχεται παραπάνω ηλιακή ενέργεια 30% και τον Ιούνιο 35%, τους μήνες Σεπτέμβρη-Οκτώβρη-Απρίλη το ποσοστό πέφτει σε 20-25% και τους μήνες Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο έχουμε ελάχιστα αυξημένη από 8 έως 16%.



**Σχήμα 3.29:** Διάγραμμα έντασης ακτινοβολίας-χρόνου για τους δύο φ/β σταθμούς στις 05/08/2013

Στο σχήμα 3.29 μπορούμε να δούμε πως λειτουργεί ο ηλιακός ιχνηλάτης σε σχέση με τις σταθερές βάσεις σε ιδανικές συνθήκες, μια τελείως αίθρια μέρα και για τους δύο σταθμούς. Τα πυρανόμετρα των δύο σταθμών αντιλαμβάνονται ταυτόχρονα τις πρώτες ακτίνες του ηλίου αλλά στο πάρκο της Αγνάντιας η ένταση της ακτινοβολίας εκτοξεύεται από πολύ νωρίς σε υψηλές τιμές (09:30 893 W/m<sup>2</sup>) που διατηρούνται αρκετές ώρες, μέχρι τις 17:15 η ένταση είναι πάνω από 900 W/m<sup>2</sup>, και στη συνέχεια υπάρχει πτώση με σχεδόν σταθερό ρυθμό μέχρι τις 20:15 όπου μηδενίζεται. Στο πάρκο του Μοναστηρακίου η ένταση ακτινοβολίας ξεκινάει να αυξάνεται αργότερα και με πολύ μικρότερο ρυθμό, βλέπουμε ότι φτάνει σε μεγάλες τιμές δύο με τρεις ώρες αργότερα, και βεβαίως διατηρείται σε αυτό το επίπεδο μόνο για διάστημα τριών ωρών λίγο συγκριτικά με τις οχτώ ώρες που μένει η άλλη εγκατάσταση. Ακριβώς αντίστοιχη πορεία όπως δείχνει το σχήμα 3.30 έχει και αυτό που μας ενδιαφέρει άμεσα το μέγεθος της ισχύος για τους δύο σταθμούς. Το σταθερό σύστημα στήριξης αποδίδει όλες τις ώρες της ημέρας χαμηλότερη ισχύ έκτος της στιγμής που φτάνει τη μέγιστη και έχουμε την ίδια P=84 kW αλλά ηλιακός ιχνηλάτης τη διατηρεί σε αυτό το ύψος για σχεδόν τρεις φορές περισσότερη ώρα από τον άλλο παράγοντας τελικά 36% παραπάνω ενέργεια για τη συγκεκριμένη ημέρα.

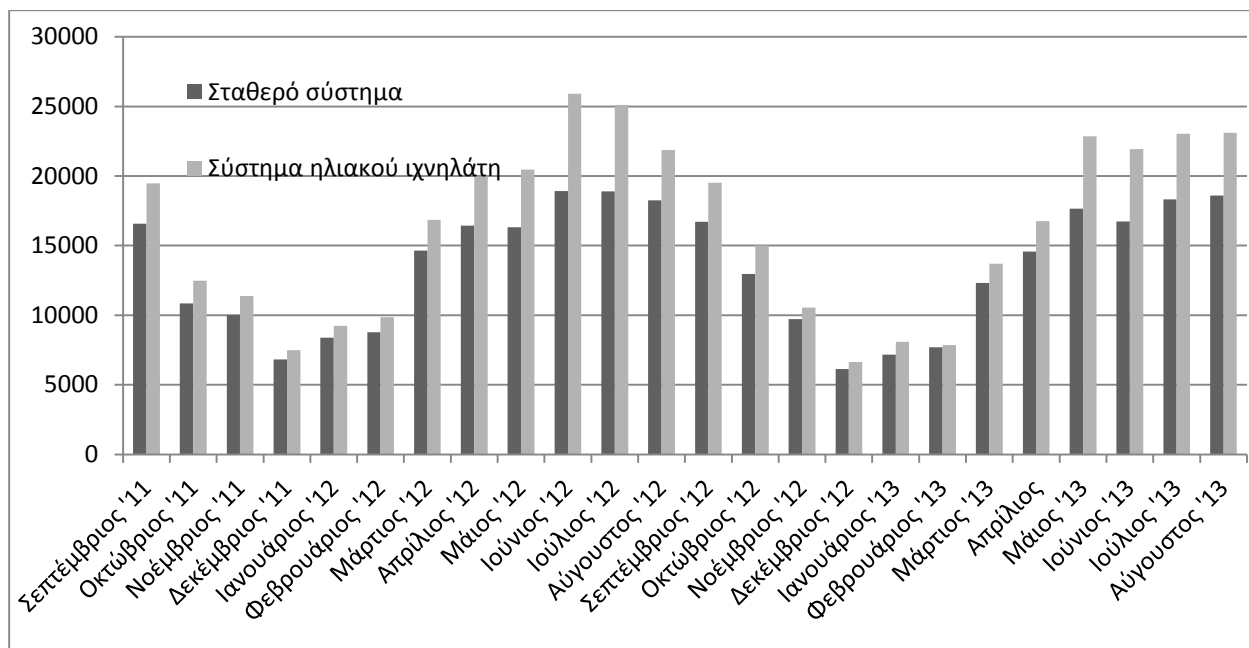


**Σχήμα 3.30:** Διάγραμμα έντασης ισχύος-χρόνου για τους δύο φ/β σταθμούς στις 05/08/2013

Η περίπτωση της ηλιόλουστης καλοκαιρινής ημέρας που μόλις σχολιάστηκε δε μας δίνει πλήρη εικόνα για το πόσο παραπάνω ενέργεια αποδίδεται λόγω του tracker γιατί εξετάστηκε σε τέλειες συνθήκες. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρότερη και διαρκεί λιγότερο κάτι που εύκολα διαπιστώνουμε από τα στοιχεία του πίνακα 3.25 για τους μήνες Νοέμβριο με Μάρτιο. Δυστυχώς δεν μπορεί να δειχθεί ο βαθμός που συμβάλλει το tracker σε μη αίθρια μέρα γιατί οι αυξομειώσεις στην ένταση της ακτινοβολίας είναι τυχαίες και οι παρατηρήσεις που θα γίνουν αν τις παραθέσουμε μαζί τα δεδομένα δε οδηγήσουν σε κάποιο λογικό συμπέρασμα.

Το μόνο που θα μας οδηγήσει σε κάποιες διαπιστώσεις είναι να εξεταστεί η παραγωγή των σταθμών σε επίπεδο μήνα. Από τα στοιχεία του πίνακα 3.25 και του ιστογράμματος 3.31 είναι φανερό πως σε όλους τους μήνες το ποσοστό που εκφράζει την συμβολή του tracker στην ενεργειακή απολαβή δε συμβαδίζει ακριβώς με το αντίστοιχο ποσοστό παραγωγής καθώς το τελευταίο είναι πάντα μικρότερο. Το ποσοστό της παραγωγής φτάνει τη μέγιστη τιμή του τον Ιούνιο στο 31% όταν λαμβάνει παραπάνω ενέργεια κατά 35%, τους υπόλοιπους θερινούς μήνες παράγει από 24 έως 29 % περισσότερο. Αξιοσημείωτα είναι τα αποτελέσματα του χειμώνα όπου τα ποσοστά πέφτουν περίπου στο 10% με την ακραία περίπτωση του Φεβρουαρίου 2013 όπου έχουμε μόνο 2% μεγαλύτερη παραγωγή από το σταθερό σύστημα. Τα αποτελέσματα των δύο εξεταζόμενων σταθμών επιβεβαιώνουν μελέτη που έχει γίνει ανάμεσα σε σταθερό σύστημα φ/β και σύστημα διαξονικής ιχνηλάτησης δείχνοντας ότι αποδιδόμενη ισχύ τους συγκλίνει όσο μειώνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας γιατί ο λόγος της άμεσης προς την ολική ακτινοβολία γίνεται μικρότερος[14]. Η πολλή ηλιοφάνεια δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες ώστε το σύστημα κινητών βάσεων να προσφέρει το μεγαλύτερο δυνατό όφελος στην παραγωγή του σταθμού.





**Σχήμα 3.31 :** Ιστόγραμμα παραγωγής ενέργειας ανά μήνα για τους δύο φ/β σταθμούς για Σεπτέμβριο 2011- Αύγουστο 2013

### 3.3 Παρακολούθηση απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και παράγοντες που την επηρεάζουν

#### 3.3.1 Βαθμός απόδοσης ενεργειακής μετατροπής και παράγοντες που καθορίζουν την τιμή του

Ξεκινώντας θα πρέπει να αναφερθούμε στη στιγμιαία απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου που ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$  προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του φ/β πλαισίου.

$$\eta = \frac{P_m}{E \times S}$$

Η απόδοση του φ/β στοιχείου εξαρτάται κατά βάση από τα χαρακτηριστικά του υλικού που αποτελείται δηλαδή από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού και τον συντελεστή απορρόφησης του, από την πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας και την θερμοκρασία. Η απόδοση του φ/β στοιχείου σε πρότυπες συνθήκες ονομάζεται βαθμός απόδοσης του στοιχείου  $\eta_{c,STC}$ . [2]

Εξαιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας η απόδοση των φ/β πλαισίων αυξάνεται συνεχώς. Να σημειωθεί ότι η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων διαφέρει από αυτή των πλαισίων επειδή η επιφάνεια τους δεν αποτελείται μόνο από φ/β στοιχεία, υπάρχει ανακλαστικότητα στο πλαίσιο λόγω του προστατευτικού γυαλιού. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά πλαίσια άμορφου πυριτίου που κατασκευάστηκαν το 1954 είχαν απόδοση 6% ενώ σήμερα έχει φτάσει το 10% σε κλίμακα βιομηχανικής παραγωγής. Τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου κυμαίνονται σε αποδόσεις 15-18% και τα πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου 13-14% (τα πλαίσια που χρησιμοποιούνται στους ύπο εξέταση σταθμούς είναι πολυκρυσταλλικά και έχουν απόδοση στις προδιαγραφές είναι 13,7%). Τον Ιανουάριο του 2013 ομάδα ερευνητών ανακοίνωσε την κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου τεχνολογίας λεπτού υμενίου στο εργαστήριο με βαθμό απόδοσης 20,4% [18].

Αναλυτικά παρακάτω παρουσιάζονται οι αιτίες που μειώνουν τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης του πλαισίου, ο οποίος καθορίζεται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC), πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας 1000 W/m<sup>2</sup>, θερμοκρασία πλαισίου 25 οC και φάσμα ακτινοβολίας AM 1,5, από αυτόν που αποδίδεται στην πραγματικότητα :[2]

- **Γήρανση του φωτοβολταϊκού πλαισίου**

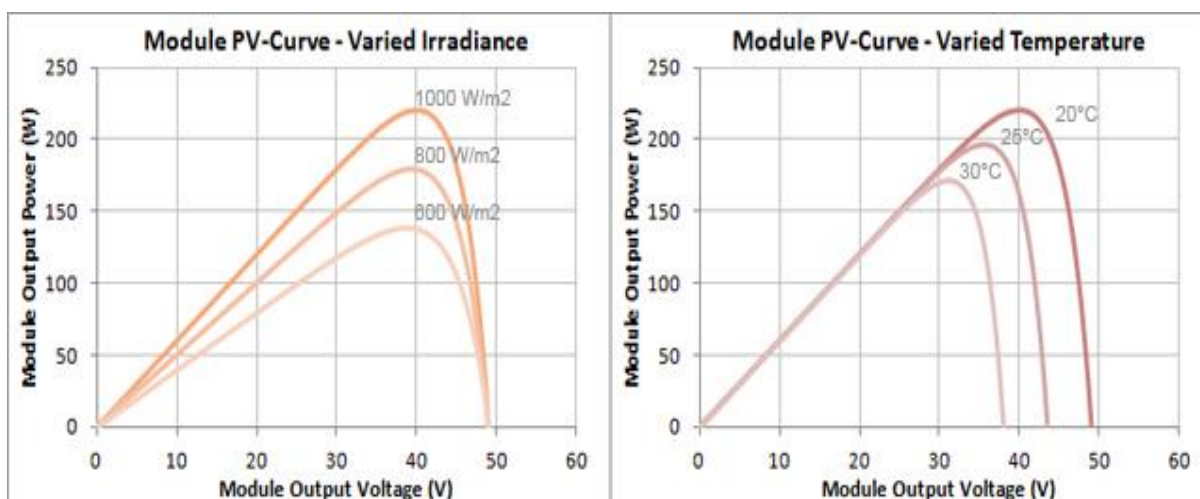
Τα φ/β στοιχεία με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν σημάδια φθοράς, τα οποία οδηγούν σε ελάττωση της συνολικής τους ισχύος. Οι φ/β κυψελίδες εντός του πλαισίου εμφανίζουν αλλοιώσεις στην δομή του κρυσταλλικού πυριτίου με την πάροδο του χρόνου. Από μετρήσεις έχει προκύψει ότι ο ρυθμός που μειώνεται η ονομαστική ισχύς τους και κατά συνέπεια ο βαθμός απόδοσης τους είναι περίπου 1% ανά έτος χρήσης. Τα πλαίσια που αναφέρεται η εργασία, όπως και η πλειοψηφία φ/β πλαισίων που κυκλοφορούν στην αγορά, έχουν εγγυημένο το 90% της ονομαστικής ισχύος στα 10 χρόνια λειτουργίας και το 80% στα 25 χρόνια λειτουργίας από τις κατασκευάστριες εταιρίες.

- **Οπτικές ενεργειακές απώλειες**

Η ανακλαστικότητα του φ/β πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες είναι διαφορετική από τις πρότυπες συνθήκες. Οι απώλειες από την ανακλαστικότητα είναι μικρές για γωνίες προσπτώσεις μέχρι 60° ενώ στις 90° η ενέργεια που χάνεται είναι αρκετά σημαντική. Μια εκτίμηση για τις μέσες ετήσιες απώλειες από την ανακλαστικότητα είναι 3% για μέσα γεωγραφικά πλάτη και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Υπάρχουν επίσης μικρές απώλειες λόγω διαφορετικού φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας από το AM 1,5. Η διαφοροποίηση της πόλωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλει κι αυτή στη δημιουργία απωλειών όπως και η ένταση ακτινοβολίας χαμηλών τιμών (<200 W/m<sup>2</sup>). Τέλος η μειωμένη καθαρότητα του πλαισίου από σκόνη ή άλλα μικροσωματίδια παίζει κι αυτή ρόλο στη ελάττωση του βαθμού απόδοσης και ακόμα περισσότερο όταν πάνω στα πλαίσια βρίσκονται αντικείμενα όπως φύλλα δέντρων, περιττώματα πουλιών.

- **Απώλειες λόγω θερμοκρασίας φ/β κυψελίδας**

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο πλαίσιο κατά τη λειτουργία του δε συμβαδίζει με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η διαφορά τους είναι ανάλογη με την πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας για αυτό το λόγο συναντάμε μέχρι και 30° C μεγαλύτερη θερμοκρασία στα πλαίσια. Η θερμοκρασία των πλαισίων επηρεάζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους, αφού με την αύξηση της μειώνεται η τάση ανοιχτού κυκλώματος και κατά συνέπεια μεταβάλλεται το σημείο μέγιστης ισχύος όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.22.



**Εικόνα 3.24:** Καμπύλη P-V για διάφορες τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας(αριστερά)  
Καμπύλη P-V για διάφορες τιμές θερμοκρασίας πλαισίου (δεξιά)

Η απόδοση του φ/β πλαισίου όταν η κυψέλη βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία από 25° C (STC) μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο με το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η σχέση που περιγράφει τον θερμοκρασιακό συντελεστή του βαθμού απόδοσης του πλαισίου είναι η εξής :

$$\eta_T = 1 + \gamma_{mp} \cdot (\theta_c - \theta_{STC})$$

όπου

$\gamma_{mp}$ = θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος, στην περίπτωση μας δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρία -0,44%/°C

$\theta_c$ = η θερμοκρασία των κυψελίδων του φ/β πλαισίου

$\theta_{STC}$ = θερμοκρασία πρότυπων συνθηκών 25 °C

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω αφορούν μεμονωμένα πλαίσια. Στην πράξη όμως σπάνια συναντάμε μεμονωμένα πλαίσια, τα βρίσκουμε σε μορφή συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα δημιουργώντας μια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Ο συντελεστής απόδοσης της συστοιχίας είναι ο βαθμός απόδοσης του πλαισίου μειωμένος λόγω των παρακάτω :

- **Συντελεστής απωλειών ανομοιογένειας ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των πλαισίων που αποτελούν τη συστοιχία.**

Διαφορές στα ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά των πλαισίων που προκύπτουν από την κατασκευή ή κατά τη διάρκεια ζωής τους δημιουργούν απώλειες. Εξωτερικούς παράγοντες που προκαλούν ανομοιογένεια στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά εννοούμε τη διαφορετική ένταση ακτινοβολίας ή τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε δύο πλαίσια της ίδιας συστοιχίας. Ειδικά όταν έχουμε σκίαση ενός πλαισίου η μείωση της απόδοσης είναι αισθητή και σε ακραία περίπτωση που θα μηδενιστεί τελείως η απόδοση του μηδενίζεται και όλης της συστοιχίας. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος συνδέονται δίοδοι παράκαμψης παράλληλα με τα πλαίσια. Μια τυπική τιμή του συντελεστή ανομοιογένειας είναι  $\eta_{\text{ανομ.}} = 0,98$

- **Συντελεστής απωλειών καλωδιώσεων και διόδων αντεπιστροφής**

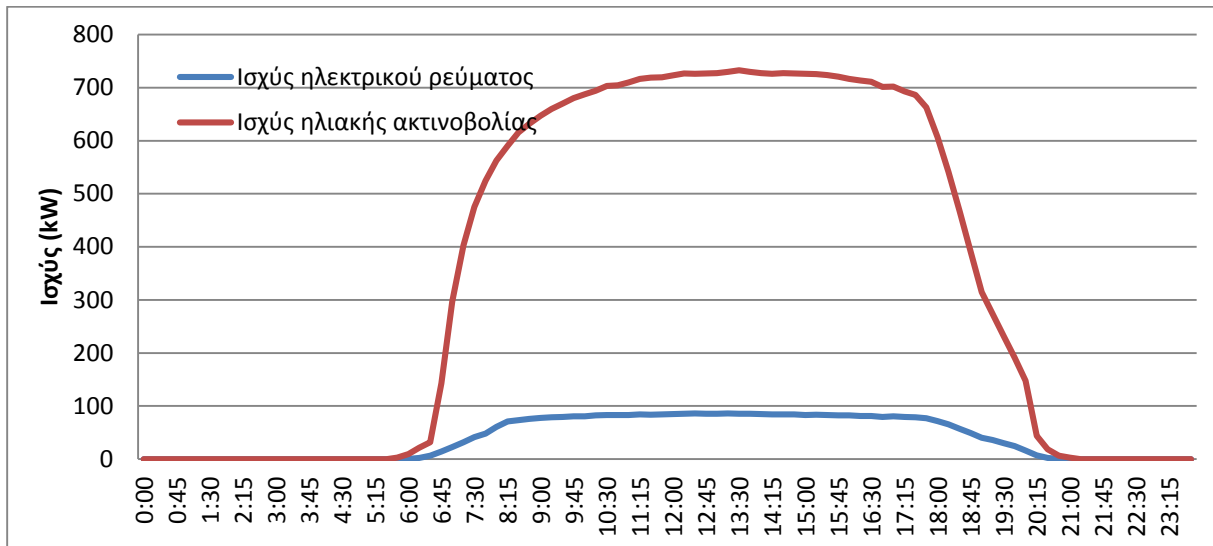
Οι απώλειες λόγω καλωδιακής σύνδεσης μεταξύ πλαισίων και συστοιχίας κυμαίνονται στο 2-3% και ο μειωτικός συντελεστής λόγω των διόδων αντεπιστροφής είναι  $\eta_D = 0,99$

Η συνεργασία πολλών συστοιχιών συνδεδεμένες με τις ηλεκτρολογικές διατάξεις που απαιτούνται για να έχουμε εναλλασσόμενο ρεύμα κατάλληλο για την έγχυση του στο δίκτυο αποτελούν το φ/β σταθμό. Σε αυτό το στάδιο συναντάμε τις απώλειες λόγω μεταφοράς ενέργειας

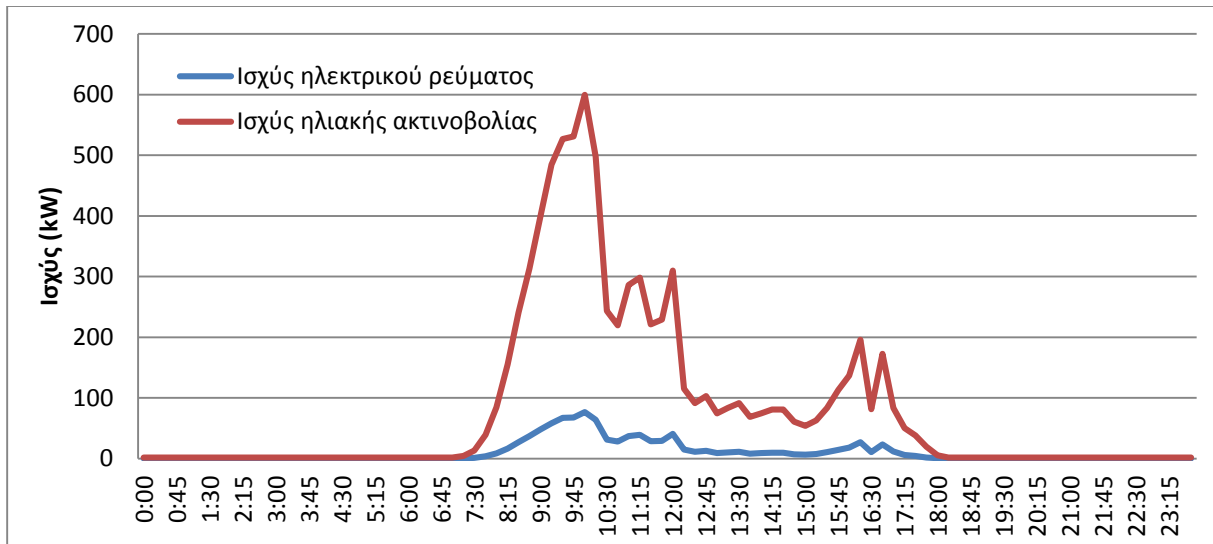
- Απώλειες λόγω των αντιστάσεων των γραμμών μεταφοράς
- Απόδοση του αντιστροφέα, που εξαρτάται από το φορτίο π.χ. στο 10% του φορτίου να έχει 90% απόδοση αλλά στο 80-100% του φορτίου να αποδίδει 97%. Οι αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις που εξετάζονται αποδίδουν από 91% στο 6% του φορτίου έως 97,8 στο 100%.

### 3.3.2 Παρακολούθηση βαθμού απόδοσης των φ/β σταθμών

Στο υποκεφάλαιο 3.1 είδαμε πως μεταβάλλεται η ισχύς που αποδίδουν οι δύο σταθμοί σε κατά τη διάρκεια του έτους. Σε αυτό το εδάφιο θα παρουσιαστεί η διακύμανση του βαθμού απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε επιλεγμένους μήνες. Στα σχήματα 3.32-3.35 φαίνεται ανά ώρα η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα πλαίσια και ταυτόχρονα η ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος.

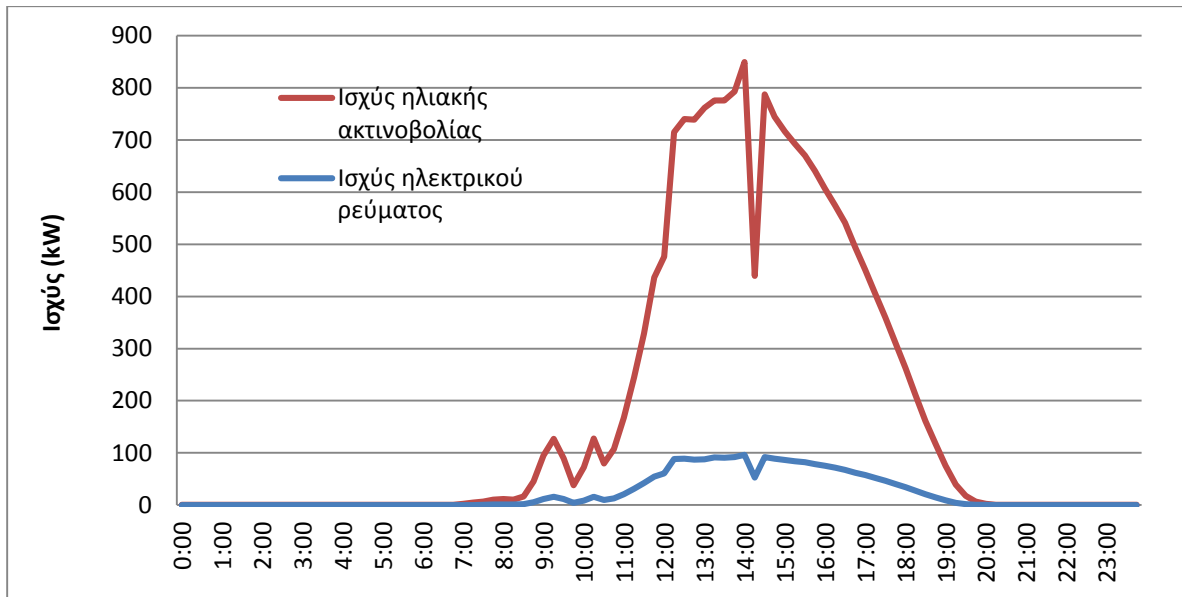


**Σχήμα 3.32** : Αποδιδόμενη και προσλαμβάνουσα ισχύς για το φ/β σύστημα της Αγνάντιας στις 21/06/2013

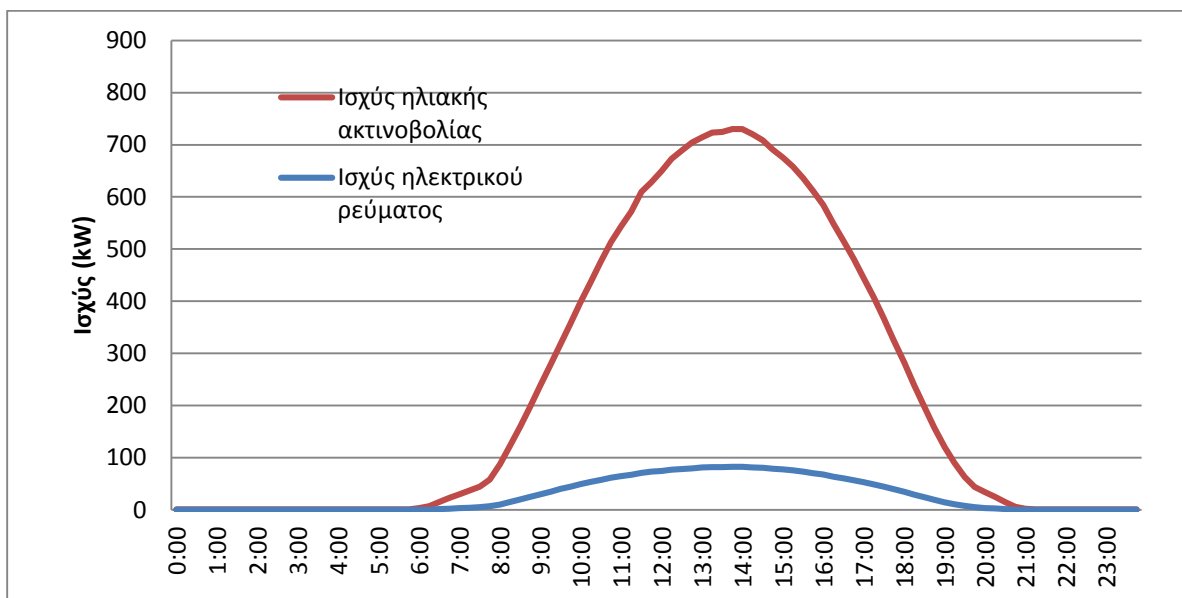


**Σχήμα 3.33** : Αποδιδόμενη και προσλαμβάνουσα ισχύς για το φ/β σύστημα της Αγνάντιας στις 17/02/2013





**Σχήμα 3.34 :** Αποδιδόμενη και προσλαμβάνουσα ισχύς για το φ/β σύστημα στην τοποθεσία Μοναστηράκι στις 4/4/2013



**Σχήμα 3.35 :** Αποδιδόμενη και προσλαμβάνουσα ισχύς για το φ/β σύστημα στην τοποθεσία Μοναστηράκι στις 14/7/2013

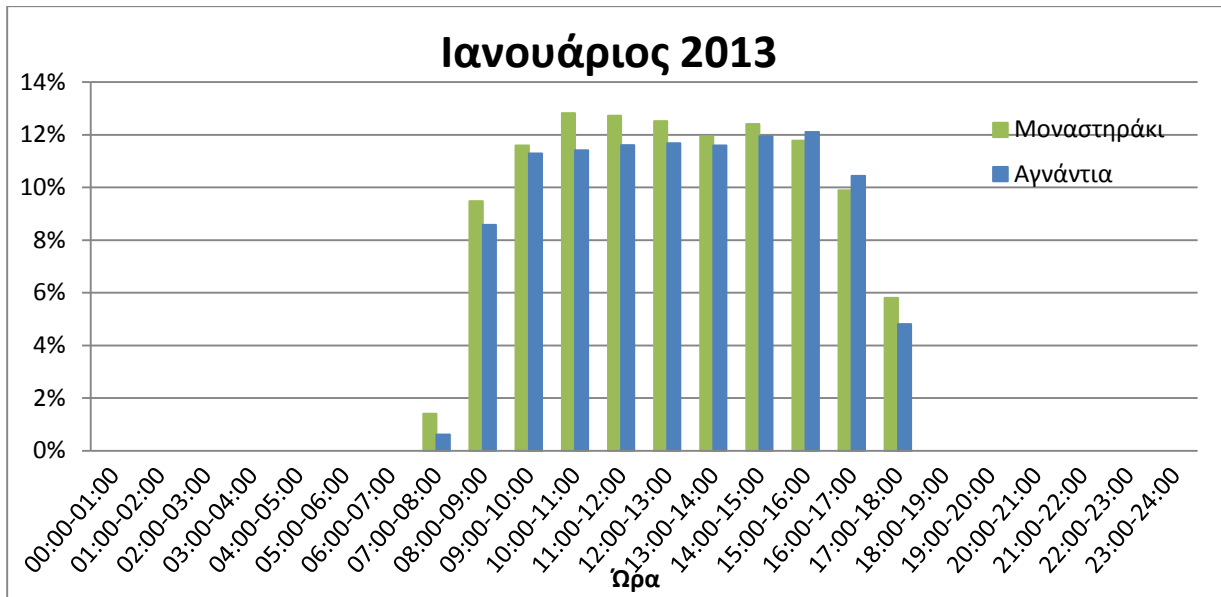
Στον πίνακα 3.26 βλέπουμε τον βαθμό ενεργειακής απόδοσης ανά μήνα (Σεπτέμβριος 2012-Αύγουστος 2013) για το κάθε πάρκο και τον λόγο επίδοσης του. Ο λόγος επίδοσης (Performance ratio) προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας  $E$ , προς την ενέργεια  $E$  (STC) που θα απέδιδε το φ/β σύστημα αν λειτουργούσε ιδανικά χωρίς τις επιπλέον απώλειες λόγω των αποκλίσεων από την κατάσταση αναφοράς (STC), δεχόμενη κάθε στιγμή την ίδια πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας [2].

$$PR = \frac{\text{Συνολική ενεργειακή παραγωγή}}{\text{Συνολική ενεργειακή απολαβή} \times \text{ονομαστικός βαθμός απόδοσης}}$$

Αν ο λόγος επίδοσης μιας εγκατάστασης είναι 70% σημαίνει ότι το 30% της ενέργειας που δέχεται δεν χρησιμοποιείται και χάνεται σε απώλειες αγωγού, θερμότητας, βλάβες εξαρτημάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως ως δείκτης επιθεώρησης μίας εγκατάστασης ώστε να γίνει άμεση παρέμβαση αν διαπιστωθεί μεγάλη μείωση του. Οι τυπικές τιμές για τον λόγο επίδοσης μια συστοιχίας είναι 70-90% και για ένα φ/β σύστημα ακόμα χαμηλότερα λόγω των απωλειών κατά τη μεταφορά και στις μετατροπές των ηλεκτρικών διατάξεων [2]. Ο λόγος επίδοσης για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας κυμαίνεται από 82% έως 90% και για το σταθμό στο Μοναστηράκι από 87% έως 94% (πίνακας 3.26), αυτό σημαίνει ότι τα δύο πάρκα για το εξεταζόμενο διάστημα λειτούργησαν ικανοποιητικά χωρίς κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα.

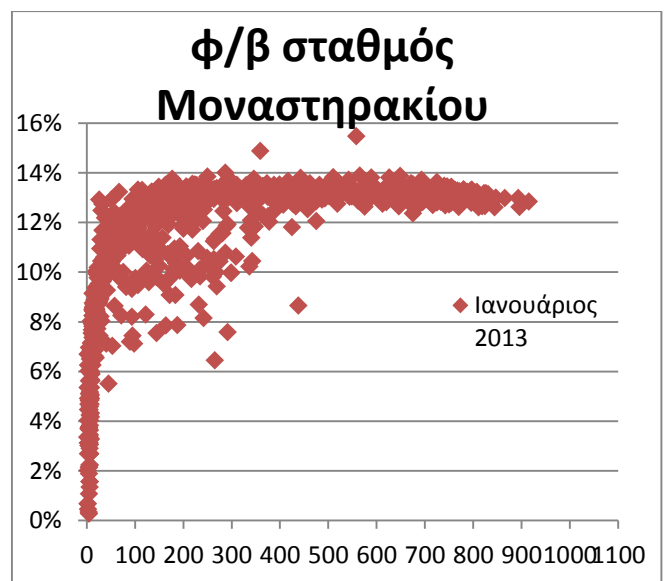
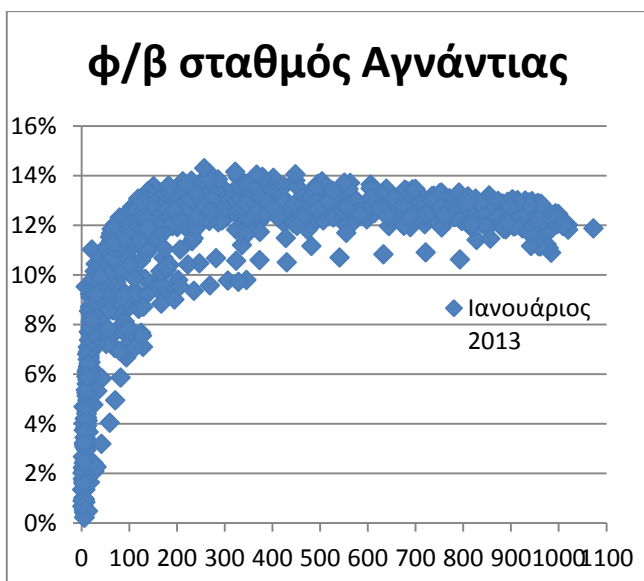
**Πίνακας 3.26 :** Βαθμός απόδοσης και λόγος επίδοσης ανά μήνα για τους δύο φ/β σταθμούς

Μήνας	Ποσοστό μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική		Λόγος επίδοσης (Performance ratio)	
	Αγνάντια	Μοναστηράκι	Αγνάντια	Μοναστηράκι
Σεπτέμβριος	11%	12%	82%	87%
Οκτώβριος	12%	12%	84%	89%
Νοέμβριος	12%	12%	88%	91%
Δεκέμβριος	12%	12%	90%	92%
Ιανουάριος	12%	12%	89%	91%
Φεβρουάριος	12%	13%	89%	94%
Μάρτιος	12%	13%	90%	93%
Απρίλιος	12%	12%	86%	89%
Μάιος	11%	11%	84%	84%
Ιούνιος	11%	12%	83%	85%
Ιούλιος	11%	12%	83%	86%
Αύγουστος	11%	12%	83%	87%



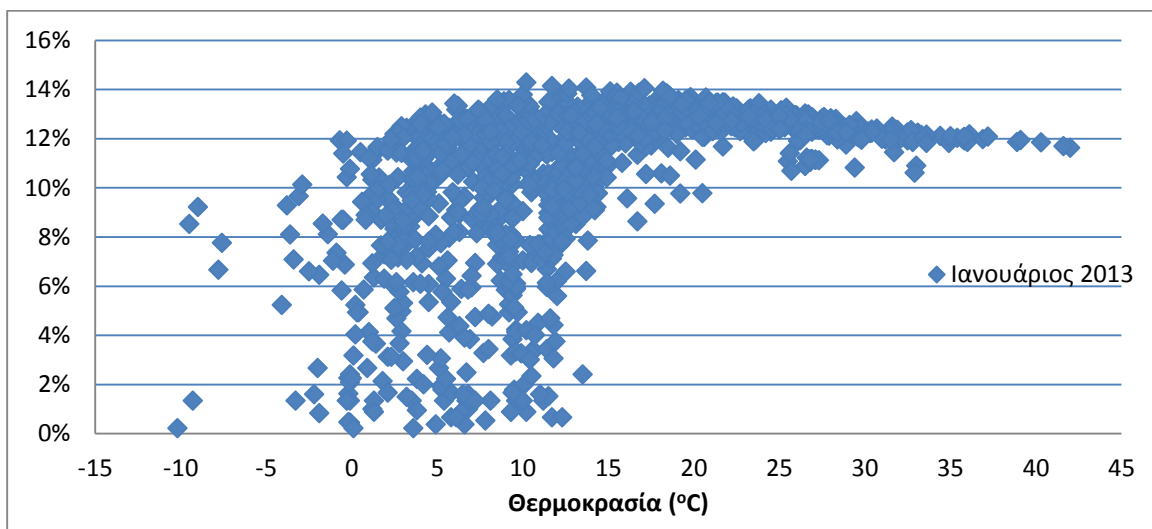
**Σχήμα 3.36:** Ιστόγραμμα μέσου ωριαίου βαθμού απόδοσης των δυο φ/β σταθμών για τον Ιανουάριο 2013

Στο σχήμα 3.36 βλέπουμε τους μέσους ωριαίους βαθμούς απόδοσης για τον μήνα Ιανουάριο για τους δύο εξεταζόμενους φ/β σταθμούς. Στις πρώτες ώρες ηλιοφάνειας το ποσοστό είναι πολύ μικρό 0,62% για το σταθμό της Αγνάντιας και 1,41% για το σταθμό στο Μοναστηράκι γιατί στο διάστημα 07:00-08:00 ο ήλιος εμφανίζεται στο δεύτερο ημίωρο με πολύ χαμηλή ένταση ( $10-15 \text{ W/m}^2$ ) και σχεδόν μηδενική ζενίθεια γωνία. Στη συνέχεια στις καθώς αυξάνει η ένταση της ακτινοβολίας το ποσοστό μεγαλώνει και διατηρείται για τις ώρες 09:00-17:00 στο εύρος 11,29%-12,10% για την Αγνάντια, το αντίστοιχο εύρος για το Μοναστηράκι είναι 11,60%-12,82% και έπειτα αρχίζει να μειώνεται ως που μηδενίζεται όταν δύει ο ήλιος. Το μεγαλύτερο ποσοστό για το πάρκο με τον ηλιοστάτη ήταν 12,1% στις 15:00-16:00 και για το πάρκο με τις σταθερές βάσεις 12,82% στις 10:00-11:00.



**Σχήμα 3.37-3.38:** Διαγράμματα πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ( $\text{W/m}^2$ )-βαθμού απόδοσης ενεργειακής μετατροπής για τους δυο σταθμούς για τον Ιανουάριο 2013.

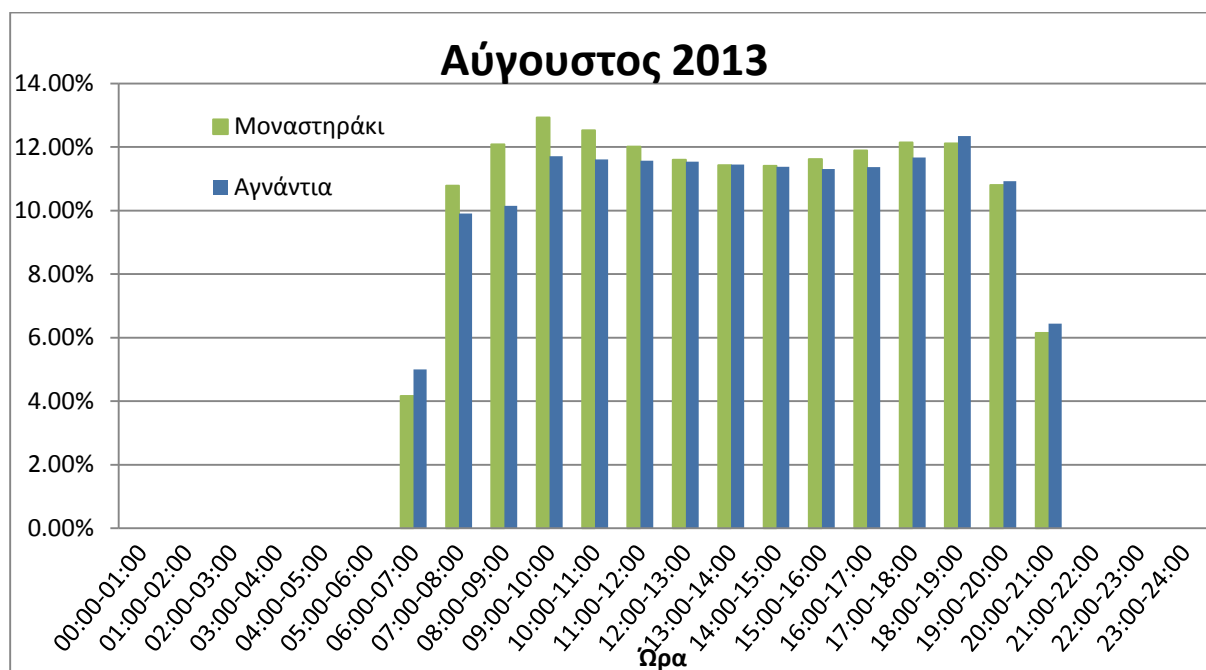
Όπως για την αποδιδόμενη ισχύ έτσι και για το βαθμό απόδοσης πολύ σημαντικός παράγων είναι η ένταση της ακτινοβολίας. Τα πειραματικά αποτελέσματα μελέτης που έχει εκπονηθεί για την εξάρτηση του βαθμού απόδοσης από την ένταση της ακτινοβολίας έχουν δείξει μείωση του ονομαστικού βαθμού απόδοσης πολυκρυσταλλικών πλαισίων έως και 16% για χαμηλές τιμές της σε σταθερή θερμοκρασία STC [15]. Στα σχήματα 3.37 -3.38 παρουσιάζεται για τα δυο πάρκα ο βαθμός απόδοσης σε συνάρτηση με την πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας (η θερμοκρασία είναι η πραγματική όπως αναπτυσσόταν στα πλαίσια για την κάθε τιμή ακτινοβολίας). Για τις πολύ μικρές τιμές της ακτινοβολίας οι βαθμοί απόδοσης αυξάνονται σχεδόν γραμμικά έως το 9% και στα δύο φ/β πάρκα. Στην συνέχεια παρατηρούμε απόκλιση από τη γραμμική συμπεριφορά και πολύ μεγάλη συγκέντρωση τιμών ακτινοβολίας ανάμεσα στα 100 με 400 W/m<sup>2</sup> για τον ηλιοστάτη με βαθμούς απόδοσης από 9,5% έως 14% και ακόμα μεγαλύτερη στα 100 με 300 W/m<sup>2</sup> για τις σταθερές βάσεις και αντιστοιχούς βαθμούς απόδοσης 8-14%. Για τιμές ακτινοβολίας άνω των 400 W/m<sup>2</sup> οι βαθμοί βρίσκονται ανάμεσα στο 12-14% με μία μικρή αρνητική κλίση όσο αυξάνει η ένταση της ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει γιατί με την αύξηση της έντασης ακτινοβολίας ακολουθεί και η αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας των φ/β κυψελών η οποία όπως γνωρίζουμε είναι ο άλλος εξωτερικός ρυθμιστής του βαθμού ενεργειακής μετατροπής.



**Σχήμα 3.39:** Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίου –βαθμού απόδοσης για τον σταθμό της Αγνάντιας τον Ιανουάριο 2013

Η θερμοκρασία λειτουργίας έχει κεντρικό ρόλο στην διαδικασία της φωτοβολταϊκής μετατροπής. Όπως η αποδιδόμενη ισχύς (που αναλύθηκε στο εδάφιο 3.3.1) έτσι και ο βαθμός απόδοσης μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας [16]. Στο σχήμα 3.39 παρατηρείται συγκέντρωση τιμών απόδοσης 0-8% στις χαμηλές θερμοκρασίες 0-12 °C και είναι οι τιμές που αντιστοιχούν στις πολύ πρωινές και τις ώρες που δύει ο ήλιος με μικρή πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας. Οι βαθμοί απόδοσης που αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες 10-20 °C έχουν υψηλές τιμές 12-14% ενώ είναι εμφανής η μείωση όσο

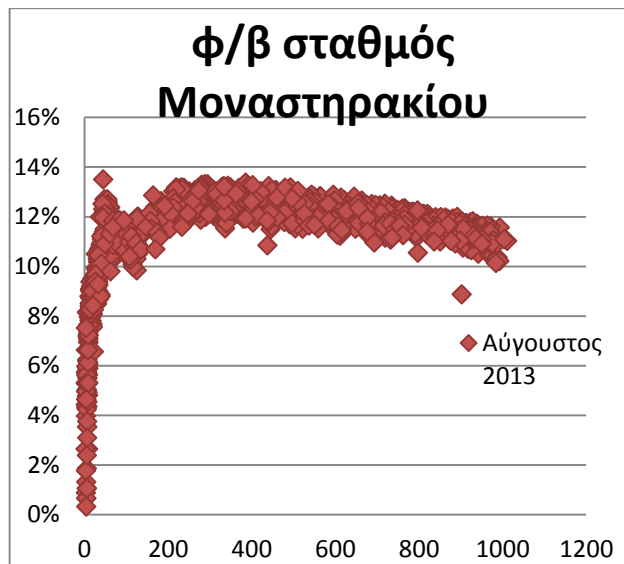
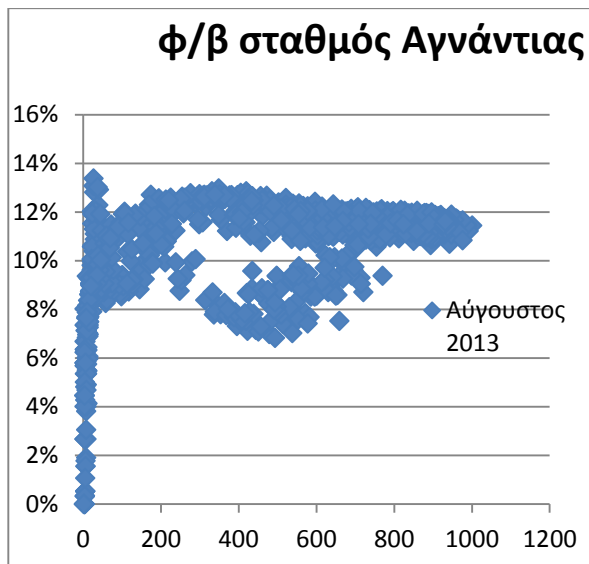
αυξάνεται η θερμοκρασία μετα τους 20 °C από το 13,5% στο 11,6% στους 42 °C. Ο κύριος όγκος των θερμοκρασιών εντοπίζεται στις χαμηλές τιμές έως 18 °C λόγω Ιανουαρίου. Αυτό το γεγονός συντελεί θετικά στον βαθμό ενεργειακής απόδοσης του πάρκου αλλά το πιθανότερο είναι να συνοδεύουν ημέρες με έλλειψη ηλιοφάνειας και μικρή ενεργειακή απόδοση.



**Σχήμα 3.40:** Ιστόγραμμα μέσου ωριαίου βαθμού απόδοσης των δυο φ/β σταθμών για τον Αύγουστο 2013

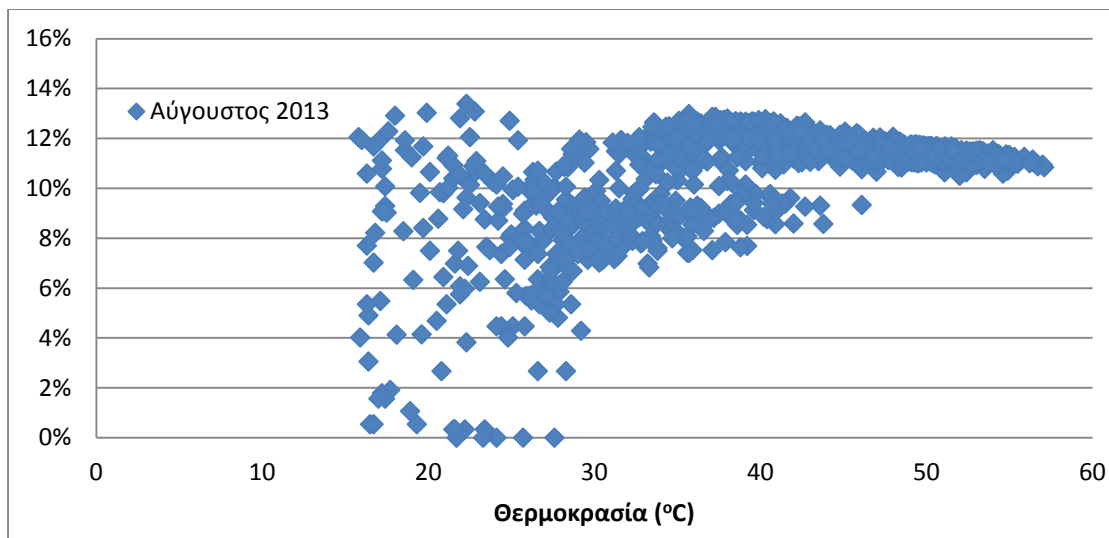
Ο βαθμός απόδοσης ενεργειακής μετατροπής δεν έχει αντίστοιχες τιμές και σε ένα μήνα θερμό και με πολλή ηλιοφάνεια όπως είναι ο όγδοος μήνας του έτους που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.40. Τα ποσοστά του σταθμού με τις σταθερές βάσεις είναι γενικά μεγαλύτερα εκτός από την ώρα που ανατέλλει ο ήλιος και τις απογευματινές ώρες. Για το πάρκο του Μοναστηρακίου ο βαθμός απόδοσης ξεκινάει με 4,16%, την επόμενη ώρα που αυξάνεται και η ηλιοφάνεια διπλασιάζεται, φτάνει τη μέγιστη τιμή του στις 09:00-10:00 12,93%, τις μεσημεριανές ώρες κυμαίνεται στο 11,5%, αυξάνεται για λίγο έως τις 19:00 στο 12,10% και το επόμενο δίωρο μειώνεται έως ότου μηδενίζεται. Παρόμοια πορεία εντός της ημέρας έχει και ο βαθμός απόδοσης του άλλου σταθμού αλλά με μικρότερες τιμές, από τις 07:00 μέχρι τις 09:00 είναι 10%, από τις 09:00 μέχρι τις 18:00 τις ώρες που η ένταση ακτινοβολίας έχει πολύ υψηλές τιμές βρίσκεται στο 11,5%, φτάνει μέχρι το 12,34% τη μέγιστη τιμή του στις 18:00-19:00 και μετά αρχίζει η κάθοδος μέχρι να δύσει ο ήλιος στις 21:00 περίπου. Κοινό χαρακτηριστικό και των δύο είναι η μείωση του ποσοστού απόδοσης τους τις ώρες που το ύψος του ηλίου είναι μεγαλύτερο από 50° από τις 11 π.μ. έως τις 4 μ.μ. και η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολία είναι πάνω 850 W/m<sup>2</sup>.





**Σχήμα 3.41-3.42:** Διαγράμματα πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ )-βαθμού απόδοσης ενεργειακής μετατροπής για τους δυο σταθμούς για τον Αύγουστο 2013.

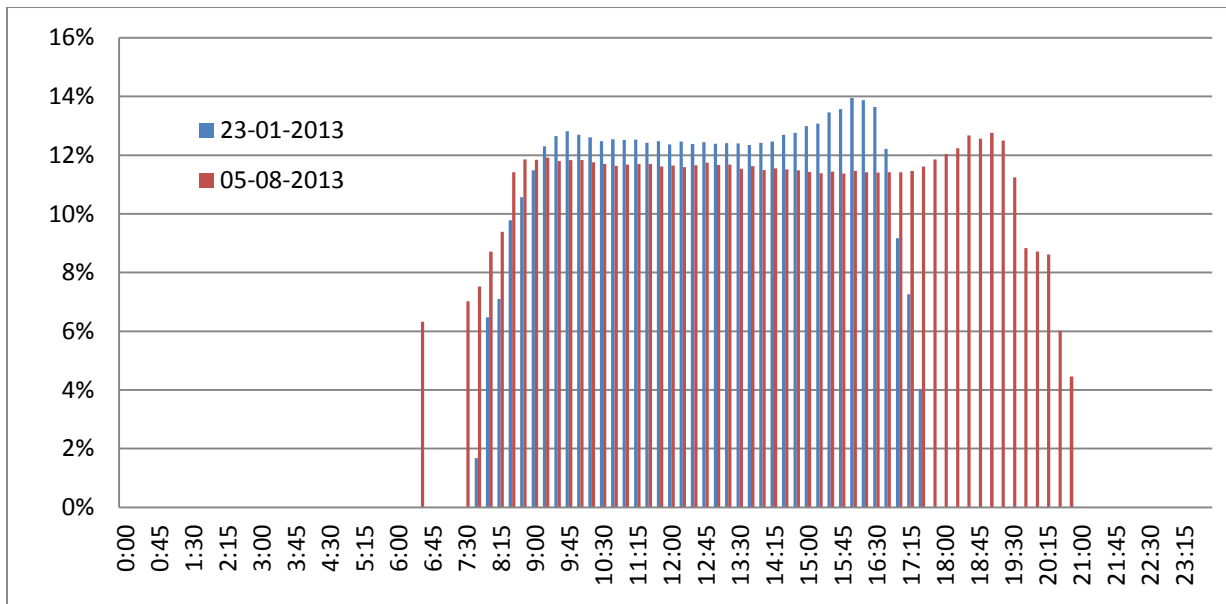
Το πρώτο που παρατηρούμε στα διαγράμματα των σχημάτων 3.41-3.42 απόδοσης είναι η συγκέντρωση ζευγών υψηλών τιμών έντασης ακτινοβολίας 350-700  $W/m^2$  σε αναντίστοιχους βαθμούς απόδοσης 7-10% στο πάρκο της Αγνάντιας ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο για το Μοναστηράκι. Αυτά τα ζεύγη προέρχονται από το διάστημα 7:15-8:15 που στο σταθμό με τον ηλιοστάτη η ακτινοβολία φτάνει απότομα σε μεγάλες τιμές και δεν ακολουθεί με τον ίδιο ρυθμό και η αποδιδόμενη ισχύς ενώ στο σταθμό με τις σταθερές βάσεις αυξάνεται ομαλότερα. Αντίθετα με τον Ιανουάριο τα περισσότερα ζεύγη τιμών εντοπίζονται στις υψηλές τιμές της ακτινοβολίας και στους δύο σταθμούς παρόλο που κατά τη διάρκεια του μήνα είχε πολλές νεφελώδεις ημέρες. Οι μέγιστοι βαθμοί ενεργειακής μετατροπής συναντώνται και στα δύο διαγράμματα για τιμές της ηλιοφάνειας από 250 με 400  $W/m^2$  και για μεγαλύτερες τιμές της ξεκινάει η πτωτική πορεία. Γίνεται αντιληπτό και στα δύο αλλά ειδικά στο δεξιό διάγραμμα φαίνεται πολύ έντονα η μείωση του ποσοστού όσο αυξάνει η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας. Στις μέγιστες τιμές 950-1000  $W/m^2$  ο βαθμός έχει πέσει περίπου δύο μονάδες στο 11% ενώ για τις ίδιες τιμές τον Ιανουάριο ήταν 12-13%.



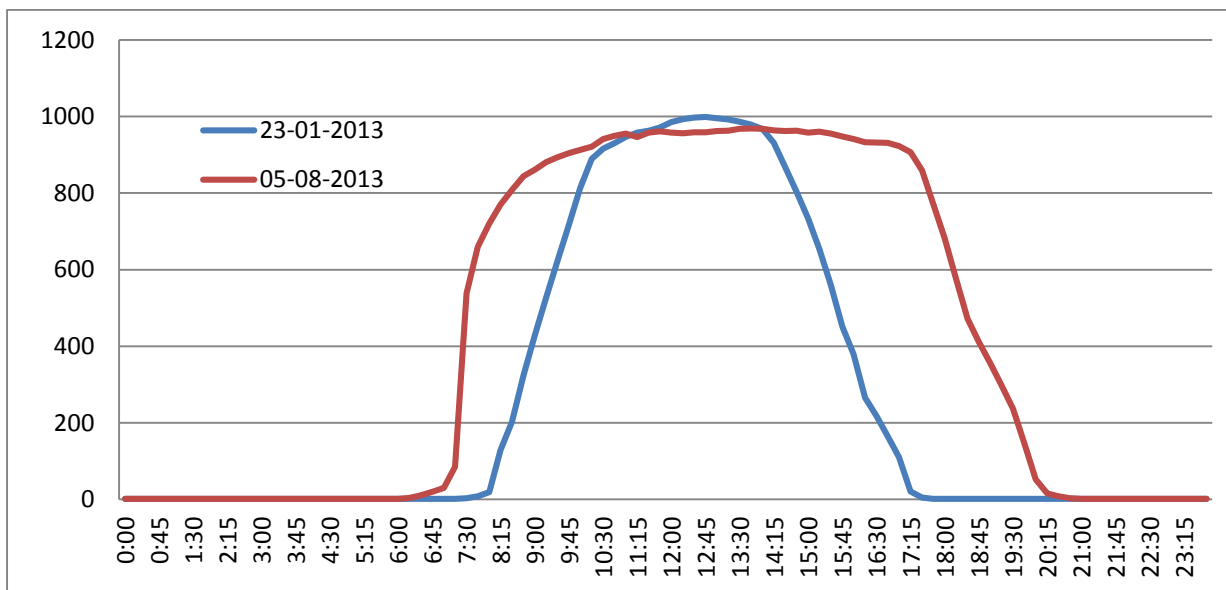
**Σχήμα 3.43:** Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίου –βαθμού απόδοσης για τον σταθμό της Αγνάντιας τον Αύγουστο 2013

Αρχικά θα πρέπει να τονισθεί η μεγάλη διαφορά που έχουν οι θερμοκρασίες σε σχέση με το χειμώνα, η μορφή του διαγράμματος 3.43 είναι ίδια αλλά μετατοπισμένο 15 °C δεξιότερα. Τους θερινούς μήνες αναπτύσσονται στα πλαίσια κατά τη λειτουργία τους από 17-25 °C το πρωί και αναπτύσσονται έως και 60 °C το ηλιακό μεσημέρι. Είναι κι εδώ ξεκάθαρο πως επηρεάζει η θερμοκρασία τον βαθμό απόδοσης, στους 35 °C τα ποσοστά κυμαίνονται στο 13% και όσο αυξάνει η θερμοκρασία αυτά μειώνονται μέχρι και δυο μονάδες (11% στους 57,1 °C). Γι' αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικό ένα τεχνικό χαρακτηριστικό που δίνουν οι κατασκευάστριες εταιρίες για τα πλαίσια η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης (Nominal Operating Cell Temperature- NOCT) που δείχνει την θερμοκρασία που αναπτύσσει το πλαίσιο σε συνθήκες λειτουργίας πεδίου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων προκύπτουν από δοκιμές πρότυπες συνθήκες ωστόσο στο πεδίο που θα εγκατασταθούν όπως για παράδειγμα ένα χωράφι θα αντιμετωπίσει συνθήκες υψηλότερων θερμοκρασιών και χαμηλότερης πυκνότητας ισχύος ακτινοβολία. Έτσι δίνεται η θερμοκρασία του πλαισίου σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 800 W/m<sup>2</sup>, θερμοκρασίας περιβάλλοντος 20 °C, ταχύτητα ανέμου 1 m/s και τοποθετημένα με ελεύθερη την πίσω πλευρά. Όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία NOCT τόσο αποδοτικότερο είναι το φ/β πλαίσιο, στην αγορά η πλειοψηφία των πλαισίων που κυκλοφορεί έχουν NOCT 44-48 °C και τα πλαίσια που έχουν χρησιμοποιηθεί στους φ/β σταθμούς που αναφέρεται η διπλωματική έχουν NOCT 44.8 °C [2].

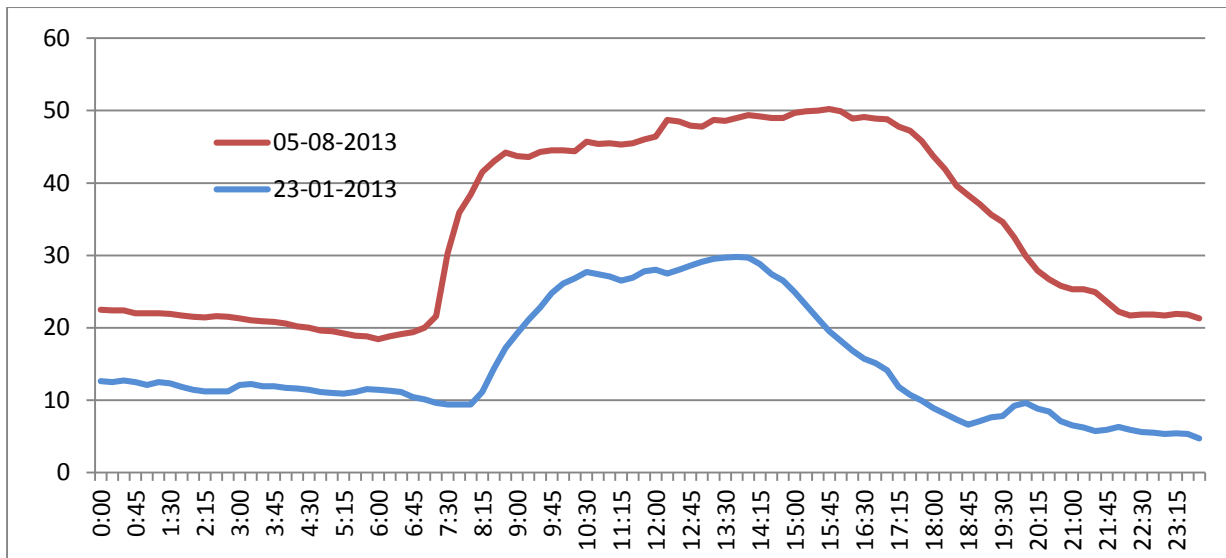
Επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν η εξέλιξη του βαθμού απόδοσης, της ηλιακής ακτινοβολίας και τη θερμοκρασίας πλαισίου για δύο τελείως αίθριες ημέρες την 5<sup>η</sup> Αυγούστου 2013 και την 23<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2013.



**Σχήμα 3.44 :** Ιστόγραμμα βαθμού απόδοσης ενεργειακής μετατροπής κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας.



**Σχήμα 3.45:** Διάγραμμα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών



**Σχήμα 3.46 :** Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίου κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών

Με τη βοήθεια των σχημάτων 3.44-3.46 θα δοθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στη μέγιστη ισχύ που αποδίδει ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Το διάστημα από τις 10:15 έως τις 14:15 έχουμε σχεδόν ίδια ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και στις δύο ημέρες ( $> 960 \text{ W/m}^2$ ) αλλά τεράστια διαφορά  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  στη θερμοκρασία των πλαισίων. Σε αυτό το χρονικό διάστημα ο βαθμός απόδοσης την ημέρα του Ιανουαρίου είναι 12,5% ενώ την θερμή μέρα του Αυγούστου κυμαίνεται στο 11,7-11,5 %, δηλαδή αυτό το τετράωρο παρόλο που είναι χειμώνας και το ύψος του ηλίου είναι πολύ χαμηλότερο ( $15^\circ - 30^\circ$ ) το πάρκο παρήγαγε 30 kWh περισσότερο.

# 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Οικονομική αποτίμηση φωτοβολταϊκών σταθμών

---

## 4.1 Εισαγωγή

Η οικονομική ανάλυση γίνεται με βάση παράγοντες όπως η διάρκεια σύμβασης, η τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας, η τραπεζική χρηματοδότηση, το θεσμικό και φορολογικό πλαίσιο και έχει σκοπό να βρεθεί το όφελος που θα αποκομιστεί από την επένδυση έως το τέλος της διάρκειας ζωής της. Αυτή η ανάλυση έγινε και πριν ολοκληρωθεί το έργο με βάση την ενεργειακή μελέτη που είχε συνταχθεί αλλά ξαναγίνεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής με βάση την πραγματική παραγωγή των φ/β σταθμών. Επίσης λήφθηκαν υπό όψη έκτακτες αλλαγές στη φορολογία που δεν είχαν συνεκτιμηθεί στην αρχική οικονομική μελέτη και υπολογίστηκε πως επηρεάζει την αποδοτικότητα της επένδυσης ενδεχόμενη αλλαγή του νομοθετικού πλαισίου που αφορά την τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας.

## 4.2 Βασικές έννοιες Αξιολόγησης Επενδύσεων

### 4.2.1 Χρηματοροή

Κάθε οικονομική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από μία διαχρονική ακολουθία εσόδων και εξόδων. Η ταμειακή ροή ή χρηματοροή προκύπτει από την διαφορά των δύο αυτών μεγεθών και μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Το διάστημα αναφοράς της χρηματοροής ορίζεται σύμφωνα με την περίοδο λειτουργίας της δραστηριότητας και συνήθως είναι ετήσια. Ως έξοδα ή αρνητικές χρηματοροές για μία επένδυση θεωρούνται το αρχικό κόστος εγκατάστασης, το λειτουργικό κόστος, οι εισφορές για ασφάλιση του εξοπλισμού, η φορολογία, η εξυπηρέτηση δανείων και θετικές θεωρούνται τα ίδια κεφάλαια, ο δανεισμός, τα έσοδα από την πώληση του παραγόμενου προϊόντος, επιδότηση. [20],[21]

Οι ταμειακές ροές που συμβαίνουν σε ένα επενδυτικό έργο κατά τη διάρκεια της ζωής του ανάγονται όλες στην ίδια χρονική στιγμή. Αυτό γιατί η σύγκριση τους θα πρέπει να γίνει σε κοινή βάση καθώς το κόστος του χρήματος μεταβάλλεται συνεχώς. Η μετατροπή γίνεται με τη βοήθεια του επιτοκίου αναγωγής ή συντελεστή επικαιροποίησης και μας δίνει την παρούσα αξία (P) μιας μελλοντικής χρηματοροής (S) μετά από n περιόδους ή το αντίστροφο σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους [23]:

$$S = P \times (1 + i)^n \quad (1)$$

$$P = \frac{S}{(1+i)^n} \quad (2)$$

### 4.2.2 Πληθωρισμός

Ανεξάρτητος από την χρονική αξία του χρήματος ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αξία μίας ταμειακής ροής είναι ο πληθωρισμός. Ο πληθωρισμός εκφράζει τη μείωση της αγοραστικής δύναμης του χρήματος, δηλ. το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου με το ίδιο ποσό μπορούν να αγοραστούν ολοένα και λιγότερα αγαθά [23]. Εκφράζεται με την αύξηση τιμών σε αγαθά και υπηρεσίες και η ποσοστιαία μεταβολή τους δίνεται από τον συντελεστή πληθωρισμού  $\pi$  (ετήσια βάση). Η μελλοντική αξία μιας χρηματοροής μετά από  $n$  περιόδους σε πληθωριστικό περιβάλλον δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$S = P \times \left(\frac{1+i}{1+\pi}\right)^n \quad (3)$$

Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης ενός επενδυτικού σχεδίου μπορεί είτε να αγνοηθεί τελείως ο πληθωρισμός, εάν στην οικονομία δεν υπάρχουν έντονα φαινόμενα πληθωρισμού (μέθοδος σταθερών τιμών) είτε να εφαρμοστούν οι συντελεστές πληθωρισμού στις μελλοντικές στα αγαθά/υπηρεσίες που υπόκεινται σε αυτά τα φαινόμενα κατά τη διάρκεια της επένδυσης.[22]

### 4.2.3 Κόστος Χρηματοδότησης

Αν τα ίδια κεφάλαια δεν είναι αρκετά για να καλύψουν το κόστος της επένδυσης, ο επενδυτής οδηγείται στη λύση του δανειακού κεφαλαίου. Το δάνειο χαρακτηρίζεται από το ποσό του δανείου, την περίοδο αποπληρωμής, το επιτόκιο του και τον τρόπο αποπληρωμής.

### 4.2.4 Αποσβέσεις

Με τη μέθοδο των αποσβέσεων επιδιώκεται η κατανομή του κόστους παγίων στοιχείων σε όλο το χρόνο ζωής τους και η αντίστοιχη επιβάρυνση του κόστους παραγωγής (με συνέπεια και την αντίστοιχη φορολογική ελάφρυνση).

Η πρακτική των αποσβέσεων συνίσταται στην αφαίρεση ενός συγκεκριμένου ποσού από τα ακαθάριστα κέρδη σε ετήσια βάση, μέχρις ότου το άθροισμα των ετήσιων αποσβέσεων να γίνει ίσο με την αξία αγοράς των πάγιων στοιχείων. Η επιβάρυνση αυτή δεν αποτελεί πραγματική ταμειακή εκροή κατά τα έτη της παραγωγικής λειτουργίας, αφού η δαπάνη για την απόκτηση του περιουσιακού στοιχείου σημειώθηκε κατά την χρονική στιγμή της απόκτησής του ο τρόπος υπολογισμού της απόσβεσης επηρεάζει τα καθαρά κέρδη και επομένως την απόδοση της επένδυσης [19]. Για το λόγο αυτό κατά την αξιολόγηση επενδυτικών στοιχείων είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται η μέθοδος απόσβεσης που προβλέπεται από το ισχύον φορολογικό καθεστώς. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων ενός παγίου περιουσιακού στοιχείου, πρέπει να είναι γνωστά:

- Η δαπάνη για την αγορά, μεταφορά, εγκατάσταση και όλα τα πιθανά έξοδα που απαιτούνται μέχρι την έναρξη της λειτουργίας του (αρχικό κόστος επένδυσης).



- Ο χρήσιμος χρόνος ζωής του.
- Η υπολειμματική αξία που αποτελεί τα πιθανά έσοδα που θα προκύψουν κατά την εκποίηση του περιουσιακού στοιχείου, μετά το χρήσιμο χρόνο ζωής του.

Η αξία που θα αποσβεστεί είναι η διαφορά μεταξύ του αρχικού κόστους επένδυσης και της υπολειμματικής αξίας. Με την κλασική σταθερή μέθοδο απόσβεσης, το ετήσιο ύψος της απόσβεσης ισούται με το πηλίκο της παραπάνω διαφοράς προς το χρήσιμο χρόνο ζωής. Στην πράξη η σταθερή μέθοδος εφαρμόζεται με τη χρήση ενός σταθερού ποσοστού (ή συντελεστή απόσβεσης) στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Για κάθε κατηγορία περιουσιακού στοιχείου, ισχύει ένας ανώτατος συντελεστής απόσβεσης που καθορίζεται νομοθετικά. Με τους νόμους περί κινήτρων οι συντελεστές αυτοί είναι δυνατόν να προσαυξηθούν ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης της επένδυσης. Η προσαύξηση αυτή, που επιτυγχάνεται και με άλλες μη σταθερές μεθόδους απόσβεσης (με τις οποίες το ετήσιο ύψος απόσβεσης μειώνεται με το χρόνο), αποτελεί μια έμμεση οικονομική ενίσχυση της επιχείρησης, ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της. Για φωτοβολταϊκές μονάδες ο κατώτατος συντελεστής ορίζεται ίσος με πέντε τοις εκατό (5%) και ο ανώτερος ίσος με επτά τοις εκατό (7%). [22]

### 4.3 Βασικά κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων

Η πραγματοποίηση μιας επένδυσης είναι ιδιαίτερα σημαντική απόφαση και επομένως είναι απαραίτητο πριν από τη λήψη της να προκριθεί από κάποια κριτήρια.

Για τον έλεγχο βιωσιμότητας ενός έργου είναι απαραίτητο να οριστεί ο χρονικός ορίζοντας της ανάλυσης. Ο χρονικός ορίζοντας για την οικονομική αξιολόγηση ενός τεχνικού συστήματος ή μιας δραστηριότητας εκ μέρους του κυρίου του συστήματος θα πρέπει να είναι μία από τις δύο χρονικές διάρκειες :

- Η φυσική ζωή του συστήματος, δηλαδή το διάστημα μέχρι τη στιγμή που το σύστημα θα παύσει να ικανοποιεί το σκόπο για τον οποίο σχεδιάστηκε.
- Η οικονομική ζωή του συστήματος, τη χρονική διάρκεια που αν μετά από αυτή το σύστημα συνεχίσει να λειτουργεί το όφελος για τον κύριο του έργου θα αρχίσει να μειώνεται [21]

#### 4.3.1 Κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας

Η δραστηριότητα θεωρείται οικονομικά βιώσιμη και αποδεκτή αν η παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών είναι μεγαλύτερη της επενδυτικής δαπάνης. Ως εκροές λογίζονται όλα τα έσοδα που είναι απαραίτητα για την δημιουργία του έργου αλλά και την λειτουργία του μέσα στο χρονικό διάστημα της ανάλυσης. Το προεξοφλητικό επιτόκιο προσδιορίζεται αναλόγως του επιχειρηματικού και γεωγραφικού χώρου και το βαθμό συντηρητισμού των επενδυτών. [20]

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+i)^t} - E_0 \quad (4)$$

ΚΠΑ = καθαρή παρούσα αξία  
 ΚΤΡ<sub>t</sub> = καθαρή ταμειακή ροή για το έτος t  
 i = επιτόκιο αναγωγής κεφαλαίων  
 E<sub>0</sub> = αρχικό κεφάλαιο επένδυσης

Όταν η καθαρή παρούσα αξία ΚΠΑ=0 σημαίνει ότι η ροή εσόδων θα είναι ίση με τη ροή εξόδων για το επιτόκιο αναγωγής που χρησιμοποιήθηκε.[19]

#### 4.3.2 Εσωτερικός βαθμός απόδοσης του κεφαλαίου (Internal Rate of Return – IRR)

Όπως η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας κι αυτή η μέθοδος ανήκει στην κατηγορία των προεξοφλητικών μελλοντικών ροών. Διαφέρουν στο ότι το κύριο ζητούμενο είναι το επιτόκιο προεξόφλησης και όχι η παρούσα αξία των ταμειακών ροών. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει την παρούσα αξία των ταμειακών ροών αν εφαρμοστεί σε αυτές. Απλούστερα η απόδοση είναι το επιτόκιο με το οποίο αν προεξοφλήσουμε όλες τις χρηματικές εισροές και εκροές θα έχουμε ποσό ίσο με το αρχικό κεφάλαιο.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1 + ΕΒΑ)^t} - E_0 = 0 \quad (5)$$

Για να είναι μια επένδυση οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει ο ΕΒΑ να είναι ο υψηλότερος δυνατός μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών που υπάρχουν, για παράδειγμα την το επιτόκιο για την κατάθεση αυτών των κεφαλαίων στην τράπεζα.[19],[21]

#### 4.4 Κοστολόγιο των έργων

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζεται αναλυτικά το κόστος για την κατασκευή του φ/β σταθμού της Αγνάντιας.

**Πίνακας 4.1 :** Ανάλυση κόστους για τον φ/β σταθμό Αγνάντιας

A/A	Κατηγορία έργων	Κόστος (€)	Ποσοστό επί του συνολικού κόστους
1	ΚΤΙΡΙΑΚΑ	6060.35	1.4%
2	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	354017.68	84.2%
3	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	3244.37	0.8%
4	ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΗΧ/ΚΟΥ & Λ.ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	6050	1.4%
5	ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ (ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΕΡΓΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ)	51012.81	12.1%
	Συνολικό κόστος	420385.21	100.0%

Ομοίως στον πίνακα 4.2 παρουσιάζεται το κόστος των εργασιών και του εξοπλισμού χωρισμένων ανά κατηγορία για το φ/β σταθμό στο Μοναστηράκι.

**Πίνακας 4.2 :** Ανάλυση κόστους για τον φ/β σταθμό στην τοποθεσία Μοναστηράκι

A/A	Κατηγορία έργων	Κόστος (€)	Ποσοστό επί του συνολικού κόστους
1	ΚΤΙΡΙΑΚΑ	2081.76	0.7%
2	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	244725.04	80.6%
3	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	4040.4	1.3%
4	ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΗΧ/ΚΟΥ & Λ.ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	1424.8	0.5%
5	ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ (ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΕΡΓΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ)	51458.88	16.9%
	Συνολικό κόστος	303730.88	100.0%

Στους πίνακες 4.1-4.2 βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη δαπάνη γίνεται για την αγορά του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Για τον σταθμό που έχει εγκατασταθεί ο ηλιακός ιχνηλάτης το κόστος του η/μ εξοπλισμού είναι 354017.68 € και αντιστοιχεί στο 84% του συνολικού αρχικού κόστους, αναλυτικότερα οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες και οι αντιστροφείς στοιχίζουν 206000 €, οι κινητές βάσεις 99000 € και 49000 € κόστισαν οι λοιπές εργασίες και ηλεκτρολογικό υλικό απαραίτητα για την εγκατάσταση. Στον σταθμό με τις σταθερές βάσεις ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (φ/β γεννήτριες, αντιστροφείς) και οι βάσεις στοιχίζουν 207000 €, ενώ 38000 € οι εργασίες και το υλικό που απαιτούνταν για την εγκατάσταση του. Στις ειδικές τεχνικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνεται η αντικεραυνική προστασία των φ/β σταθμών και στα τεχνικά έργα περιλαμβάνονται εργασίες όπως η κατασκευή της περίφραξης, οι χωματουργικές εργασίες για τη διαμόρφωση του χώρου, την εκκαφή θεμελίων και το υπόγειο δίκτυο καλωδιώσεων και η σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

## 4.5 Εφαρμογή των κριτηρίων ΚΠΑ και ΕΒΑ

Για την αποτίμηση της επένδυσης συντάχθηκαν πίνακες ταμειακών ροών σύμφωνα με την πραγματική ενεργειακή παραγωγή των δύο σταθμών εφαρμόστηκαν τα δύο κριτήρια του εδαφίου 4.2.

### 4.5.1 Περίπτωση φ/β σταθμού Αγνάντιας

Τα στοιχεία της επένδυσης, του δανείου και οι παραδοχές που έγιναν για την σύνταξη του πίνακα ταμειακών ροών που αφορά το φ/β πάρκο της Αγνάντιας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3 :

**Πίνακας 4.3 :** Δεδομένα επένδυσης φ/β σταθμού Αγνάντιας

Αρχικό κόστος εγκατάστασης	420385.21
Δανειακά κεφάλαια επένδυσης	126115.56
Ιδία κεφάλαια επένδυσης	294269.65
Πληθωρισμός	1.5%
Φορολογικός συντελεστής	26%
Επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων	3.5%
Ασφαλιστικές εισφορές	0.5%
Λειτουργικά έξοδα επένδυσης (% του αρχικού κόστους)	0,35%
Ετήσιο Μίσθωμα αγροτεμαχίου (% των ακαθ. Ετήσιων εσόδων)	0%
Ετήσια Παραγωγή φ/β σταθμού (kWh/kWp)	1990
Τιμή πώλησης ηλ. ενέργειας (€/kWh)	0.45
Ποσοστό ετήσιας αύξησης τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (%)	25% του ετήσιου πληθωρισμού
Ετήσια πτώση απόδοσης φ/β σταθμού	1%
Συντελεστής πάγιων αποσβέσεων	7%

Και τα στοιχεία του δανείου στο πίνακα 4.4.2

**Πίνακα 4.4.2 :** Δεδομένα δανείου

Ποσό Δανείου	126115.563
Επιτόκιο kd (%)	7%
Ετήσια Δόση Δανείου (€)	17956.01891
Περίοδος Εξόφλησης (έτη)	10

Η διάρκεια της σύμβασης πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στο διαχειριστή και η τιμολόγηση έχουν καθοριστεί από το νόμο 3468/2006, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις” όπου αναφέρεται :

Στο άρθρο 12

«...2. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για δέκα (10) έτη και μπορεί να παρατείνεται για δέκα (10), επιπλέον, έτη, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού, εφόσον αυτή υποβάλλεται τρεις (3), τουλάχιστον, μήνες πριν από τη λήξη της αρχικής σύμβασης. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Υβριδικούς Σταθμούς ισχύει για είκοσι (20) έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής...»

στο άρθρο 13 η τιμή ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με Εγκατεστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kWpeak, οι οποίες εγκαθίστανται σε ακίνητη ιδιοκτησίας ή νόμιμης κατοχής ή όμορα ακίνητα του ίδιου ιδιοκτήτη ή νομίμου κατόχου στο διασυνδεδεμένο δίκτυο είναι 450 €/MWh (παρατίθεται και ο αντίστοιχος πίνακας 4.4 από το νόμο 3468/2006) [24]

**Πίνακας 4.4 :** Τιμές για την αγορά του ηλεκτρικού ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειες (ΑΠΕ) ή μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) ή υβριδικούς σταθμούς του ν. 3468/2006

Είδος και πηγή της παραγωγής ενέργειας		Τιμή ενέργειας (EUR/MWh)	
		Συνδεδεμένα στο δίκτυο	Μη διασυνδεδεμένα Νησιά
α)	Αιολική ενέργεια	73	84,6
β)	Αιολική ενέργεια από θαλάσσια αιολικά πάρκα		90
γ)	Υδροηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από μικρές μονάδες μέχρι 15 MW	73	84,6
δ)	Ηλιακή ενέργεια, που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάρκα με εγκατεστημένη απόδοση > / = εκατό (100) kWpeak επί ακινήτων που βρίσκονται στην κυριότητα ή στην νομή ή σε όμορα ακινήτων του ίδιου ιδιοκτήτη ή νόμιμου κατόχου	450	500
ε)	Ηλιακή ενέργεια, που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάρκα με εγκατεστημένη απόδοση πάνω από (100) kWpeak	400	450
στ)	Ηλιακή ενέργεια, που παράγεται από μονάδες με τεχνολογία άλλη από φωτοβολταϊκά, με εγκατεστημένη απόδοση μέχρι και πέντε (5) Mw	250	270
ζ)	Ηλιακή ενέργεια, που παράγεται από μονάδες με τεχνολογία άλλη από φωτοβολταϊκά, με εγκατεστημένη απόδοση πάνω από πέντε (5) Mw	230	250
η)	Γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή, από αέρια	73	84,6
θ)	Από λοιπές πηγές ΑΠΕ	73	84,6
ι)	ΣΗΘΥΑ	73	84,6

Σύμφωνα με το άρθρο 5 του ν.3851/2010 ισχύει ότι «...Οι τιμές που καθορίζονται στον ανωτέρω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους, όπως αυτός καθορίζεται από την Τράπεζα της Ελλάδος...» [25]. Για την παρούσα ανάλυση ο πληθωρισμός θεωρήθηκε σταθερός και ίσος με 1,5%.

**Πίνακας 4.5 : Πίνακας ταμειακών ροών για το φ/β πάρκο της Αγνάντιας**

Έτος	Έξοδα				Δάνειο											Καθαρές ταμειακές ροές	
	Ενοίκιο	Λειτουργικά Έξοδα	Ασφάλεια	Σύνολο	Δόση	Τόκοι	Χρεολύσιο	Εναπομείναν Κεφάλαιο	Απόδοση Φ/Β σταθμού	Ετήσια παραγωγή ενέργειας		Ακαθάριστα Έσοδα	Αποσβέσεις	Φορολογητέο Εισόδημα	Φόρος	Ονομαστικές	ΚΠΡ
1	0	1500	2101.926	3601.926	17956.02	8828.089	9127.9295	116987.6335	100%	199000	0.45	89550	29426.9647	47693.01984	12400.19	55591.86988	55591.86988
2	0	1522.5	2133.455	3655.955	17956.02	8189.134	9766.8846	107220.7489	99%	197010	0.4516875	88986.95438	29426.9647	47714.90039	12405.87	54969.10642	53110.24775
3	0	1545.3375	2165.457	3710.794	17956.02	7505.452	10450.566	96770.18243	98%	195020	0.453381328	88418.42661	29426.9647	47775.21522	12421.56	54330.05747	50717.69
4	0	1568.517563	2197.939	3766.456	17956.02	6773.913	11182.106	85588.07629	97%	193030	0.455081508	87844.38351	29426.9647	47877.04986	12448.03	53673.87545	48410.76045
5	0	1592.045326	2230.908	3822.953	17956.02	5991.165	11964.854	73623.22272	96%	191040	0.456788064	87264.7917	29426.9647	48023.70864	12486.16	52999.65552	46186.13787
6	0	1615.926006	2264.371	3880.297	17956.02	5153.626	12802.393	60820.82939	95%	189050	0.458501019	86679.61764	29426.9647	48218.73004	12536.87	52306.4316	44040.61186
7	0	1640.164896	2298.337	3938.502	17956.02	4257.458	13698.561	47122.26853	94%	187060	0.460220398	86088.82762	29426.9647	48465.90308	12601.13	51593.17212	41971.07876
8	0	1664.767369	2332.812	3997.579	17956.02	3298.559	14657.46	32464.80841	93%	185070	0.461946224	85492.38773	29426.9647	48769.28493	12680.01	50858.77543	39974.53776
9	0	1689.73888	2367.804	4057.543	17956.02	2272.537	15683.482	16781.32609	92%	183080	0.463678523	84890.26393	29426.9647	49133.21965	12774.64	50102.06491	38048.08708
10	0	1715.084963	2403.321	4118.406	17956.02	1174.693	16781.326	0	91%	181090	0.465417317	84282.42196	29426.9647	49562.35829	12886.21	49321.78375	36188.92034
11	0	1740.811238	2439.371	4180.182	0	0	0	0	90%	179100	0.467162632	83668.8274	29426.9647	50061.68047	13016.04	66472.60825	47123.68258
12	0	1766.923406	2475.962	4242.885	0	0	0	0	89%	177110	0.468914492	83049.44566	29426.9647	49379.596	12838.69	65967.86574	45184.40688
13	0	1793.427257	2513.101	4306.528	0	0	0	0	88%	175120	0.470672921	82424.24197	29426.9647	48690.74903	12659.59	65458.11899	43319.08988
14	0	1820.328666	2550.797	4371.126	0	0	0	0	87%	173130	0.472437945	81793.18137	29426.9647	47995.09051	12478.72	64943.33168	41525.03598
15	0	1847.633596	2589.059	4436.693	0	0	0	0	86%	171140	0.474209587	81156.22872	8407.7042	68311.83147	17761.08	58958.45949	36423.46265
16	0	1875.3481	2627.895	4503.243	0	0	0	0	85%	169150	0.475987873	80513.34871	0	76010.10526	19762.63	56247.47789	33573.59188
17	0	1903.478321	2667.314	4570.792	0	0	0	0	84%	167160	0.477772827	79864.50584	0	75293.71374	19576.37	55717.34817	32132.52407
18	0	1932.030496	2707.323	4639.354	0	0	0	0	83%	165170	0.479564476	79209.66443	0	74570.31045	19388.28	55182.02973	30747.63552
19	0	1961.010954	2747.933	4708.944	0	0	0	0	82%	163180	0.481362842	78548.78862	0	73839.84433	19198.36	54641.4848	29416.85202
20	0	1990.426118	2789.152	4779.578	0	0	0	0	81%	161190	0.483167953	77881.84235	0	73102.26389	19006.59	54095.67528	28138.17332
Σύνολο		34685.50066	48604.24	83289.74	179560.2	53444.63	126115.56	637379.0963		3601900		1677608.15	420385.21		291327	1123431.193	821824.3966



Επίσης για ετήσια παραγωγή θεωρήθηκε η ενεργειακή παραγωγή του 2012 που ήταν 199000 kWh και ότι η κάθε έτος η απόδοση του συστήματος θα μειώνεται κατά 1%.

Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζεται αναλυτικά πως εξάγονται οι καθαρές ταμειακές ροές κάθε έτους. Τα λειτουργικά έξοδα έχουν θεωρηθεί σταθερά ίσα με 1500 € και οι ασφαλιστικές ίσες με το 0,5% του αρχικού κόστους και αναπροσαρμόζονται κάθε χρόνο με βάση τον πληθωρισμό που έχει θεωρηθεί 1,5%. Η δόση του δανείου ( $\Delta$ ), το χρεολύσιο ( $X$ ) και ο τόκος ( $T$ ) για κάθε έτος υπολογίζονται με βάση τους παρακάτω τύπους [23]:

$$\Delta = \left( k_d + \frac{k_d}{(1 + k_d)^N - 1} \right) \times K_d \quad (6)$$

$$X = \frac{k_d}{(1 + k_d)^N - 1} \times K_d \times (1 + k_d)^{t-1} \quad (7)$$

$$T = \Delta - X \quad (8)$$

Όπου  $k_d$  = επιτόκιο του δανείου

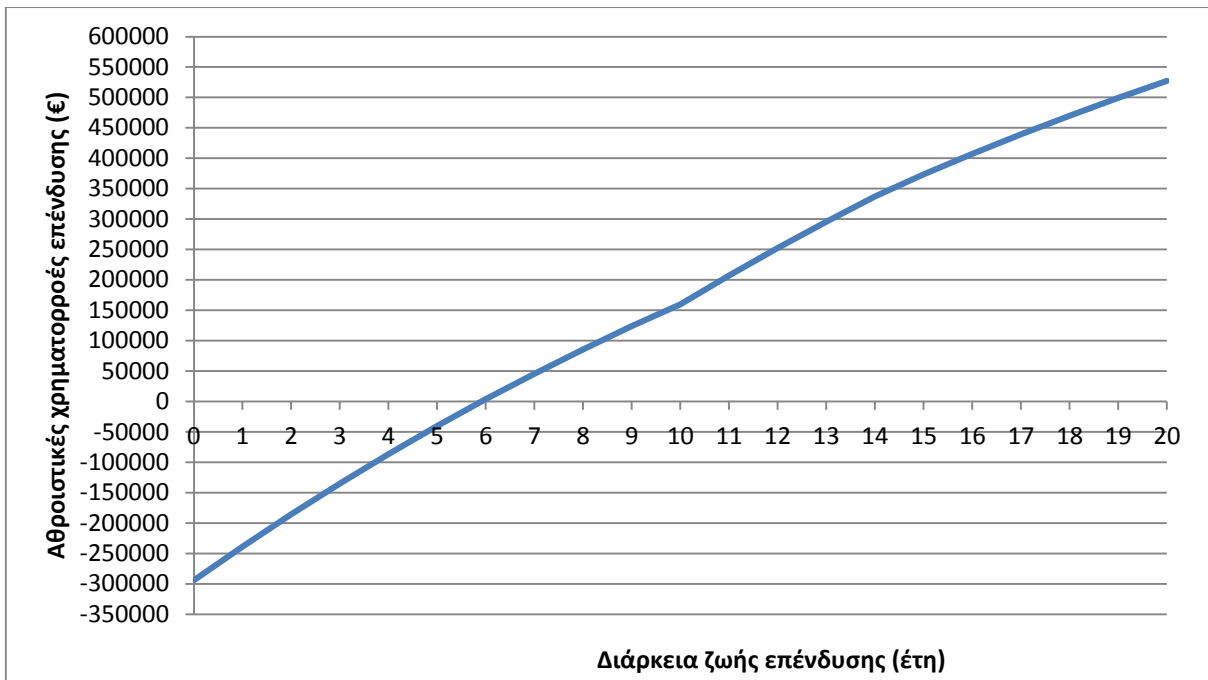
$K_d$  = δανειακό κεφάλαιο

$N$  = περίοδος αποπληρωμής δανείου σε έτη

Το εναπομείναν κεφάλαιο είναι το δανειακό κεφάλαιο του προηγούμενου έτους μείον το χρεολύσιο. Ακαθάριστα έσοδα είναι η εκάστοτε παραγωγή σε kWh κάθε έτους πολλαπλασιασμένη με την αντίστοιχη τιμή ανά kWh. Όπως βλέπουμε το ποσό της ετήσιας απόσβεσης με συντελεστή 7% είναι 29426,97 € η συνολική απόσβεση γίνεται σε 15 χρόνια για αυτό δεν υπάρχει υπολειμματική αξία στο τέλος του χρονικού ορίζοντα. Το ετήσιο φορολογητέο εισόδημα προκύπτει αν αφαιρέσουμε από τα ακαθάριστα έσοδα τις αποσβέσεις, το σύνολο των εξόδων και του τόκου κάθε έτους. Η ονομαστική ταμειακή ροή του έτους προκύπτει αν αφαιρέσουμε από τα ακαθάριστα έσοδα τις αποσβέσεις, τους φόρους, τα συνολικά έξοδα και τη δόση του δανείου και η παρούσα αξία της αν εφαρμόσουμε τον τύπο (2).

Από τον πίνακα 4.5 προκύπτει ότι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης για τα ίδια κεφάλαια είναι **IRR=18.0%** και η καθαρή παρούσα αξία είναι **ΚΠΑ=527554.75 €**. Ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ μεγαλύτερος σε σύγκριση με την αντίστοιχη απόδοση αν αντί για την επένδυση επιλέγαμε να τα τοποθετούσαμε στην τράπεζα (που είναι περίπου 3%) και η ΚΠΑ που είναι θετική καθιστούν την επένδυση συμφέρουσα.

Στο διάγραμμα 4.1 φαίνεται η αθροιστική καθαρή παρούσα αξία των ταμειακών ροών ανά έτος και ότι η απόσβεση του αρχικού κόστους της επένδυσης γίνεται στα 6 χρόνια από την έναρξη λειτουργίας του φ/β σταθμού.



**Σχήμα 4.1 :** Αθροιστικές χρηματικές ροές φ/β σταθμού Αγνάντιας

Ο σύνταξη του πίνακα ταμειακών ροών επαναλήφθηκε, αυτή τη φορά λαμβάνοντας υπό όψη την έκτακτη εισφορά που επιβλήθηκε με το νόμο 4093/2012 :

«...1. Επιβάλλεται έκτακτη ειδική εισφορά αλληλεγγύης στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, η οποία υπολογίζεται επί του τιμήματος των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνουν χώρα κατά το χρονικό διάστημα από 1.7.2012 έως και 30.6.2014 και αφορά τους λειτουργούντες σταθμούς, καθώς και όσους σταθμούς τεθούν σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιηθεί η σύνδεσή τους εφεξής. Η ειδική εισφορά αλληλεγγύης υπολογίζεται ως εκατοστιαίο ποσοστό επί του, προ Φ.Π.Α., τιμήματος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, που εγχέεται από τον Παραγωγό στο Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο ή στα ηλεκτρικά συστήματα των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, και ανέρχεται:

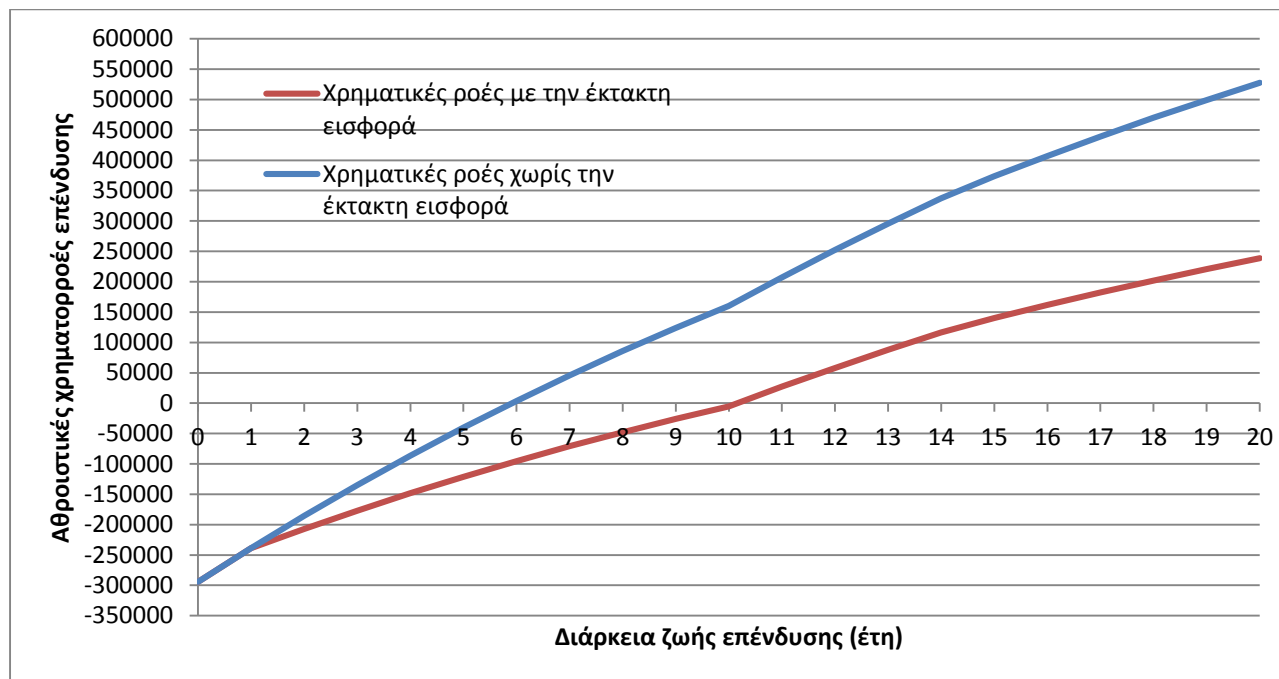
α) Σε είκοσι πέντε τοις εκατό (25%) για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς που τέθηκαν σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιήθηκε η σύνδεσή τους έως 31.12.2011...» [26]

Η έκτακτη εισφορά αλληλεγγύης θεσμοθετήθηκε για χρονικό διάστημα δύο ετών αλλά στην ανάλυση θεωρήθηκε ότι θα παραμείνει μέχρι το τέλος της εικοσαετίας, λόγω του ασταθούς περιβάλλοντος που έχει δημιουργήσει η παρούσα οικονομική κατάσταση.

**Πίνακας 4.6 : Πίνακας ταμειακών ροών για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας (με την εκτακτή εισφορά του ν. 4093/2012)**

Έτος	Έξοδα				Δάνειο											Καθαρές ταμειακές ροές	
	Ενοίκιο	Λειτουργικά Έξοδα	Ασφάλεια	Σύνολο	Δόση	Τόκοι	Χρεολύσιο	Εναπομεινάν Κεφάλαιο	Απόδοση Φ/Β σταθμού	Ετήσια παραγωγή ενέργειας		Ακαθάριστα Έσοδα	Αποσβέσεις	Φορολογητέο Εισόδημα	Φόρος	Ονομαστικές	ΚΠΡ
1	0	1500	2101.92605	3601.926	17956.02	8828.089	9127.929505	116987.6335	100%	199000	0.45	89550	29426.9647	47693.01984	12400.18516	55591.86988	55591.86988
2	0	1522.5	2133.454941	3655.955	17956.02	8189.134	9766.88457	107220.7489	99%	197010	0.451688	88986.95438	29426.9647	47714.90039	12405.8741	32722.36782	31615.81432
3	0	1545.3375	2165.456765	3710.794	17956.02	7505.452	10450.56649	96770.18243	98%	195020	0.453381	88418.42661	29426.9647	47775.21522	12421.55596	32225.45082	30082.80317
4	0	1568.517563	2197.938616	3766.456	17956.02	6773.913	11182.10614	85588.07629	97%	193030	0.455082	87844.38351	29426.9647	47877.04986	12448.03296	31712.77957	28603.11021
5	0	1592.045326	2230.907696	3822.953	17956.02	5991.165	11964.85357	73623.22272	96%	191040	0.456788	87264.7917	29426.9647	48023.70864	12486.16425	31183.45759	27174.58175
6	0	1615.926006	2264.371311	3880.297	17956.02	5153.626	12802.39332	60820.82939	95%	189050	0.458501	86679.61764	29426.9647	48218.73004	12536.86981	30636.52719	25795.13382
7	0	1640.164896	2298.336881	3938.502	17956.02	4257.458	13698.56086	47122.26853	94%	187060	0.46022	86088.82762	29426.9647	48465.90308	12601.1348	30070.96522	24462.74958
8	0	1664.767369	2332.811934	3997.579	17956.02	3298.559	14657.46012	32464.80841	93%	185070	0.461946	85492.38773	29426.9647	48769.28493	12680.01408	29485.6785	23175.47677
9	0	1689.73888	2367.804113	4057.543	17956.02	2272.537	15683.48233	16781.32609	92%	183080	0.463679	84890.26393	29426.9647	49133.21965	12774.63711	28879.49893	21931.42523
10	0	1715.084963	2403.321175	4118.406	17956.02	1174.693	16781.32609	0	91%	181090	0.465417	84282.42196	29426.9647	49562.35829	12886.21316	28251.17826	20728.76449
11	0	1740.811238	2439.370992	4180.182	0	0	0	0	90%	179100	0.467163	83668.8274	29426.9647	50061.68047	13016.03692	45555.4014	32295.08112
12	0	1766.923406	2475.961557	4242.885	0	0	0	0	89%	177110	0.468914	83049.44566	29426.9647	49379.596	12838.69496	45205.50432	30963.31642
13	0	1793.427257	2513.10098	4306.528	0	0	0	0	88%	175120	0.470673	82424.24197	29426.9647	48690.74903	12659.59475	44852.05849	29682.3432
14	0	1820.328666	2550.797495	4371.126	0	0	0	0	87%	173130	0.472438	81793.18137	29426.9647	47995.09051	12478.72353	44495.03633	28450.31102
15	0	1847.633596	2589.059458	4436.693	0	0	0	0	86%	171140	0.47421	81156.22872	8407.7042	68311.83147	17761.07618	38669.40231	23889.25259
16	0	1875.3481	2627.895349	4503.243	0	0	0	0	85%	169150	0.475988	80513.34871	0	76010.10526	19762.62737	36119.14072	21559.17625
17	0	1903.478321	2667.31378	4570.792	0	0	0	0	84%	167160	0.477773	79864.50584	0	75293.71374	19576.36557	35751.22171	20617.94091
18	0	1932.030496	2707.323486	4639.354	0	0	0	0	83%	165170	0.479564	79209.66443	0	74570.31045	19388.28072	35379.61363	19713.65443
19	0	1961.010954	2747.933339	4708.944	0	0	0	0	82%	163180	0.481363	78548.78862	0	73839.84433	19198.35952	35004.28765	18844.94819
20	0	1990.426118	2789.152339	4779.578	0	0	0	0	81%	161190	0.483168	77881.84235	0	73102.26389	19006.58861	34625.21469	18010.50245
Σύνολο		34685.50066	48604.23826	83289.74	179560.2	53444.63	126115.563	637379.0963		3601900		1677608.15	420385.21		291327.0295	726416.655	533188.2558

Από τον πίνακα 4.6 προκύπτει παρούσα αξία **ΚΠΑ=238918.6€** θετική μεν, αλλά μειωμένη κατά 55% και ο νέος εσωτερικός βαθμός απόδοσης κεφαλαίου είναι **IRR=10,73%** μειωμένος κατά 40%. Ωστόσο η επένδυση παραμένει συμφέρουσα και με πολύ καλό βαθμό απόδοσης συγκριτικά με τις εναλλακτικές επιλογές. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται ότι παρατείνεται και η απόσβεση του αρχικού κόστους του έργου κατά 4 χρόνια και ολοκληρώνεται στα 10 έτη.



**Σχήμα 4.2 :** Αθροιστικές χρηματικές ροές για το φ/β σταθμό Αγνάντιας με την έκτακτη εισφορά και χωρίς την έκτακτη εισφορά.

#### 4.5.2 Περίπτωση φ/β σταθμού στο Μοναστηράκι

Τα στοιχεία της επένδυσης και του δανείου παρουσιάζονται στους πίνακες 4.7 και 4.8 αντίστοιχα

**Πίνακας 4.7 :** Δεδομένα δανείου

Ποσό Δανείου	91119.27
Επιτόκιο $k_d$ (%)	7%
Ετήσια Δόση Δανείου (€)	12973.33
Περίοδος Εξόφλησης (έτη)	10

**Πίνακας 4.8 :** Δεδομένα επένδυσης φ/β σταθμού Μοναστηρακίου

Αρχικό κόστος εγκατάστασης	303730.88
Δανειακά κεφάλαια επένδυσης	91119.27
Ιδία κεφάλαια επένδυσης	212611.62
Πληθωρισμός	1.5%
Φορολογικός συντελεστής	26%
Επιτόκιο αναγωγής ιδίων κεφαλαίων	3.5%
Ασφαλιστικές εισφορές	0.5%
Λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	1500
Ετήσιο Μίσθωμα αγροτεμαχίου (% των ακαθ. Ετήσιων εσόδων)	0%
Ετήσια Παραγωγή φ/β σταθμού (kWh/kWp)	1660
Τιμή πώλησης ηλ. ενέργειας (€/kWh)	0.45
Ποσοστό ετήσιας αύξησης τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (%)	25% του ετήσιου πληθωρισμού
Ετήσια πτώση απόδοσης φ/β σταθμού	1%
Συντελεστής πάγιων αποσβέσεων	7%

Η διάρκεια της σύμβασης είναι 20 έτη και η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας είναι 450 €/MWh με βάση το νόμο 3468/2006 όπως ισχύουν για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας. Ισχύει επίσης η αναπροσαρμογή των τιμών με το 25% του ετήσιου πληθωρισμού από τον νόμο 3851/2010.

Η οικονομική μελέτη έγινε με βάση την ετήσια ενεργειακή παραγωγή του σταθμού για το 2012 που ήταν 166000 kWh και θεωρήθηκε ετήσια πτώση στην απόδοση του σταθμού ίση με 1%.

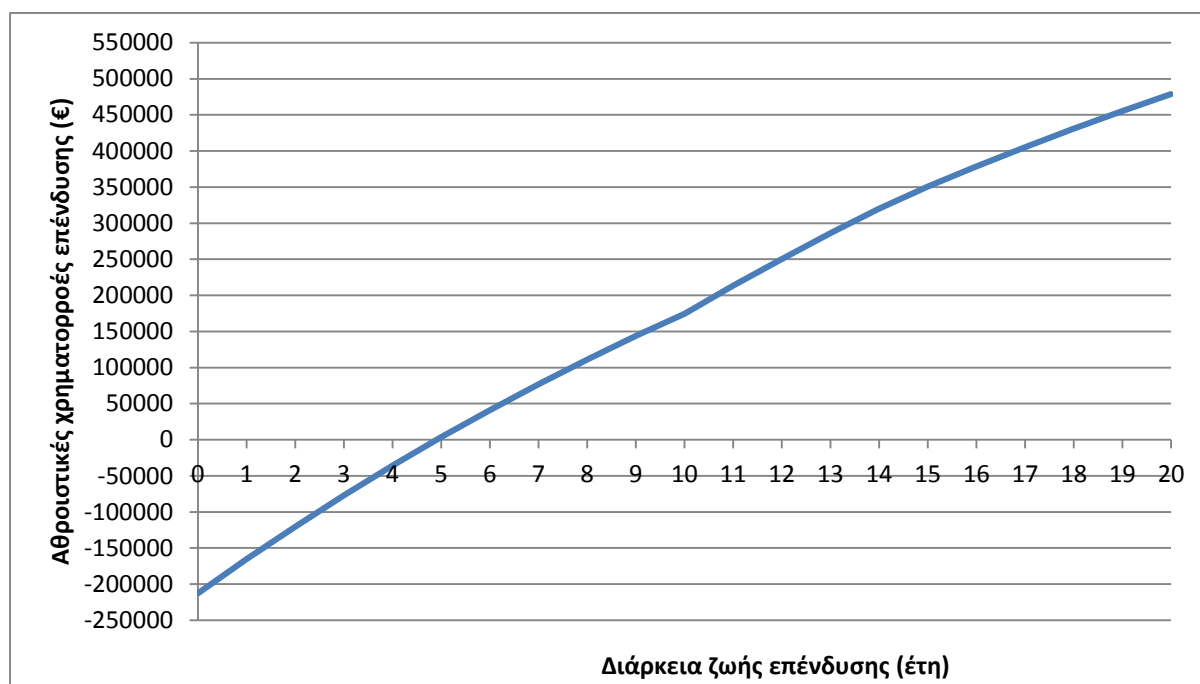
Το δάνειο που επισυνάφθηκε ήταν της τάξης των 91119.27 € ,τοκοχρεωλυτικό με επιτόκιο 7% και η ετήσια δόση του 12973.33 € όπως φαίνεται στον πίνακα 4.7. Τα χρεολύσια και οι τόκοι για κάθε έτος υπολογίζονται από τους τύπους (6), (7) και (8).

**Πίνακας 4.9 : Πίνακας ταμειακών ροών για το φ/β σταθμό στο Μοναστηράκι**

Έτος	Έξοδα				Δάνειο				Καθαρές ταμειακές ροές								
	Ενοίκιο	Λειτουργικά Έξοδα	Ασφάλεια	Σύνολο	Δόση	Τόκοι	Χρεολύσιο	Εναπομείναν Κεφάλαιο	Απόδοση Φ/Β σταθμού	Ετήσια παραγωγή ενέργειας	Ετήσια τιμή πώλησης παραγόμενης ενέργειας €/kWh	Ακαθάριστα Έσοδα	Αποσβέσεις	Φορολογητέο Εισόδημα	Φόρος	Ονομαστικές	ΚΠΡ
1	0	1500	1518.654	3018.654	12973.33	6378.349	6594.984853	84524.28017	100%	166000	0.45	74700	21261.16184	44041.83519	11450.88	47257.13503	47257.13503
2	0	1522.5	1541.434	3063.934	12973.33	5916.7	7056.633793	77467.64638	99%	164340	0.4516875	74230.32375	21261.16184	43988.52807	11437.02	46756.03882	45174.91673
3	0	1545.3375	1564.556	3109.893	12973.33	5422.735	7550.598158	69917.04822	98%	162680	0.453381328	73756.07446	21261.16184	43962.28413	11430.19	46242.65394	43168.01226
4	0	1568.517563	1588.024	3156.542	12973.33	4894.193	8079.140029	61837.90819	97%	161020	0.455081508	73277.22444	21261.16184	43965.32758	11430.99	45716.36422	41233.54123
5	0	1592.045326	1611.844	3203.89	12973.33	4328.654	8644.679831	53193.22836	96%	159360	0.456788064	72793.74584	21261.16184	44000.04066	11440.01	45176.5121	39368.72034
6	0	1615.926006	1636.022	3251.948	12973.33	3723.526	9249.807419	43943.42094	95%	157700	0.458501019	72305.6107	21261.16184	44068.97476	11457.93	44622.39574	37570.85985
7	0	1640.164896	1660.562	3300.727	12973.33	3076.039	9897.293939	34046.127	94%	156040	0.460220398	71812.79088	21261.16184	44174.86223	11485.46	44053.26595	35837.36024
8	0	1664.767369	1685.471	3350.238	12973.33	2383.229	10590.10451	23456.02249	93%	154380	0.461946224	71315.25811	21261.16184	44320.62913	11523.36	43468.32288	34165.70886
9	0	1689.73888	1710.753	3400.492	12973.33	1641.922	11331.41183	12124.61066	92%	152720	0.463678523	70812.98398	21261.16184	44509.40874	11572.45	42866.71248	32553.47683
10	0	1715.084963	1736.414	3451.499	12973.33	848.7227	12124.61066	0	91%	151060	0.465417317	70305.93992	21261.16184	44744.55614	11633.58	42247.52272	30998.31592
11	0	1740.811238	1762.46	3503.272	0	0	0	0	90%	149400	0.467162632	69794.09723	21261.16184	45029.6637	11707.71	54583.11298	38694.9957
12	0	1766.923406	1788.897	3555.821	0	0	0	0	89%	147740	0.468914492	69277.42704	21261.16184	44460.44443	11559.72	54161.89072	37097.9549
13	0	1793.427257	1815.731	3609.158	0	0	0	0	88%	146080	0.470672921	68755.90034	21261.16184	43885.58043	11410.25	53736.49135	35561.91249
14	0	1820.328666	1842.967	3663.295	0	0	0	0	87%	144420	0.472437945	68229.48798	21261.16184	43305.03069	11259.31	53306.88455	34084.64336
15	0	1847.633596	1870.611	3718.245	0	0	0	0	86%	142760	0.474209587	67698.16064	6074.617668	57905.2981	15055.38	48924.53826	30224.68883
16	0	1875.3481	1898.67	3774.019	0	0	0	0	85%	141100	0.475987873	67161.88888	0	63387.87033	16480.85	46907.02404	27998.3626
17	0	1903.478321	1927.151	3830.629	0	0	0	0	84%	139440	0.477772827	66620.64307	0	62790.01424	16325.4	46464.61054	26796.41558
18	0	1932.030496	1956.058	3888.088	0	0	0	0	83%	137780	0.479564476	66074.39345	0	62186.30519	16168.44	46017.86584	25641.32877
19	0	1961.010954	1985.399	3946.41	0	0	0	0	82%	136120	0.481362842	65523.1101	0	61576.70052	16009.94	45566.75838	24531.37197
20	0	1990.426118	2015.18	4005.606	0	0	0	0	81%	134460	0.483167953	64966.76297	0	60961.15724	15849.9	45111.25636	23464.87669
Σύνολο	0	34685.50066	35116.86	69802.36	129733.3	38614.07	91119.26502	460510.2924		3004600		1399411.824	303730.8834		256688.8	943187.3569	691424.5982



Από την αξιολόγηση της επένδυσης για τα ίδια κεφάλαια προκύπτει καθαρή παρούσα αξία ίση με **ΚΠΑ=478813 €** και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης κεφαλαίου ίσος με **IRR=21.37%**. Αναλυτικά τις ονομαστικές και παρούσες ταμειακές ροές μπορούμε να τις δούμε στον πίνακα 4.9. Ο βαθμός απόδοσης των ιδίων κεφαλαίων είναι εξαιρετικά μεγάλος και καθιστά την επένδυση όχι μόνο βιώσιμη αλλά και ιδιαίτερα συμφέρουσα. Η αποπληρωμή των ιδίων κεφαλαίων γίνεται όπως βλέπουμε στο σχήμα 4.3 γίνεται στα 5 έτη.



**Σχήμα 4.3 :** Αθροιστικές χρηματοροές

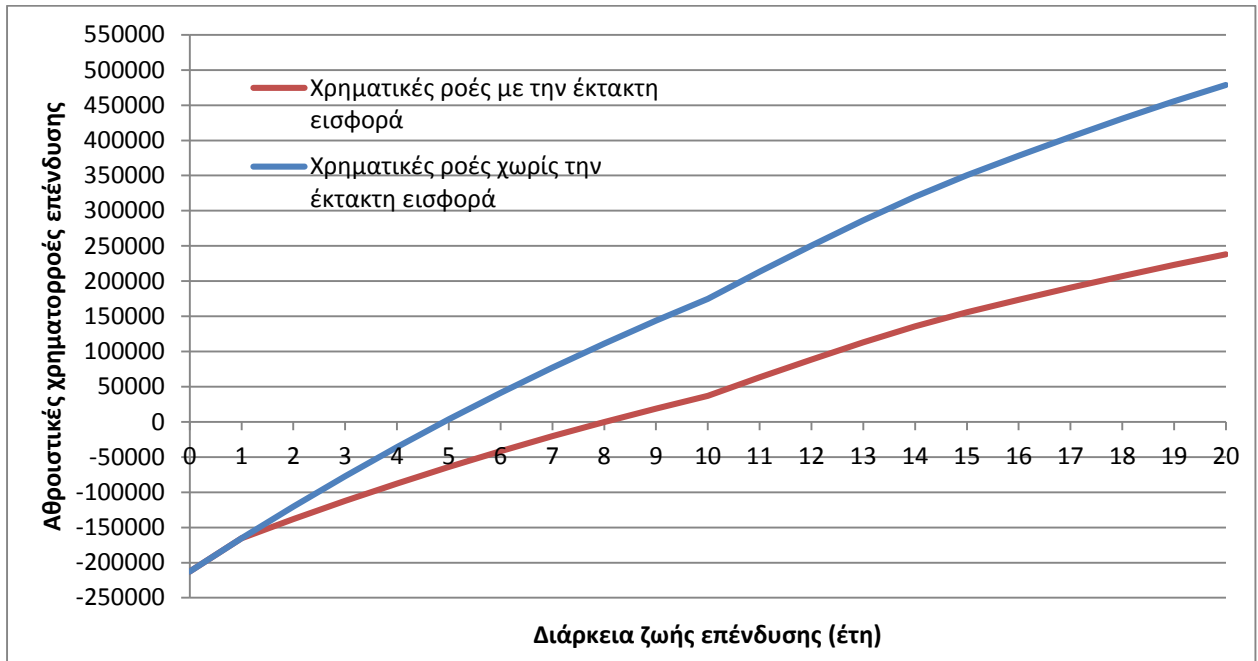
Η ανάλυση επαναλαμβάνεται για να δούμε πόσο θα μειώσει τους δείκτες της ΚΠΑ και του εσωτερικού δείκτη απόδοσης η επιβολή έκτακτης εισφοράς από τον νόμο 4093/2012, όπως αναλύθηκε και εφαρμόστηκε για τον φ/β σταθμό της Αγνάντιας στο εδάφιο 4.4.1. Η εισφορά είναι το 25% επί των ακαθάριστων εσόδων και επιβλήθηκε για 2 χρόνια αλλά στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε ότι καταβάλλεται μέχρι το τέλος του χρονικού ορίζοντα της επένδυσης.

Όλες οι ταμειακές ροές για το φ/β σταθμό στο Μοναστηράκι με την επίδραση της έκτακτης εισφοράς και πως προκύπτουν βρίσκονται στο πίνακα 4.10. Ο εσωτερικός δείκτης απόδοσης κεφαλαίου γίνεται **IRR=13,41%** και η καθαρή παρούσα αξία **ΚΠΑ= 238041 €** μείωση κατά 37% και 50% αντίστοιχα. Παραμένει ωστόσο μια ελκυστική επένδυση αφού έχει μεγάλη καθαρή παρούσα αξία και ΕΒΑ.

**Πίνακας 4.10 :Πίνακας ταμειακών ροών για το φ/β σταθμό στο Μοναστηράκι (με την έκτακτη εισφορά του ν.4098/2012)**

Έξοδα					Δάνειο											Καθαρές ταμειακές ροές	
Έτος	Ενοίκιο	Λειτουργικά Έξοδα	Ασφάλεια	Σύνολο	Δόση	Τόκοι	Χρεολύσιο	Εναπομείναν Κεφάλαιο	Απόδοση Φ/Β σταθμού	Ετήσια παραγωγή ενέργειας	Ετήσια τιμή πώλησης παραγόμενης ενέργειας €/kWh	Ακαθάριστα Έσοδα	Αποσβέσεις	Φορολογητέο Εισόδημα	Φόρος	Ονομαστικές	ΚΠΡ
1	0	1500	1518.654417	3018.654417	12973.3334	6378.3486	6594.984853	84524.28017	100%	166000	0.45	74700	21261.16184	44041.83519	11450.88	47257.13503	47257.13503
2	0	1522.5	1541.434233	3063.934233	12973.3334	5916.6996	7056.633793	77467.64638	99%	164340	0.4516875	74230.32375	21261.16184	43988.52807	11437.02	28198.45788	27244.88684
3	0	1545.3375	1564.555747	3109.893247	12973.3334	5422.7352	7550.598158	69917.04822	98%	162680	0.453381328	73756.07446	21261.16184	43962.28413	11430.19	27803.63532	25954.99108
4	0	1568.517563	1588.024083	3156.541646	12973.3334	4894.1934	8079.140029	61837.90819	97%	161020	0.455081508	73277.22444	21261.16184	43965.32758	11430.99	27397.05811	24710.57672
5	0	1592.045326	1611.844444	3203.88977	12973.3334	4328.6536	8644.679831	53193.22836	96%	159360	0.456788064	72793.74584	21261.16184	44000.04066	11440.01	26978.07563	23509.83433
6	0	1615.926006	1636.022111	3251.948117	12973.3334	3723.526	9249.807419	43943.42094	95%	157700	0.458501019	72305.6107	21261.16184	44068.97476	11457.93	26545.99306	22351.01385
7	0	1640.164896	1660.562443	3300.727339	12973.3334	3076.0395	9897.293939	34046.127	94%	156040	0.460220398	71812.79088	21261.16184	44174.86223	11485.46	26100.06823	21232.42232
8	0	1664.767369	1685.470879	3350.238249	12973.3334	2383.2289	10590.10451	23456.02249	93%	154380	0.461946224	71315.25811	21261.16184	44320.62913	11523.36	25639.50835	20152.4218
9	0	1689.73888	1710.752942	3400.491822	12973.3334	1641.9216	11331.41183	12124.61066	92%	152720	0.463678523	70812.98398	21261.16184	44509.40874	11572.45	25163.46648	19109.42724
10	0	1715.084963	1736.414237	3451.4992	12973.3334	848.72275	12124.61066	0	91%	151060	0.465417317	70305.93992	21261.16184	44744.55614	11633.58	24671.03774	18101.90451
11	0	1740.811238	1762.46045	3503.271688	0	0	0	0	90%	149400	0.467162632	69794.09723	21261.16184	45029.6637	11707.71	37134.58867	26325.40855
12	0	1766.923406	1788.897357	3555.820763	0	0	0	0	89%	147740	0.468914492	69277.42704	21261.16184	44460.44443	11559.72	36842.53396	25235.13572
13	0	1793.427257	1815.730817	3609.158074	0	0	0	0	88%	146080	0.470672921	68755.90034	21261.16184	43885.58043	11410.25	36547.51627	24186.53586
14	0	1820.328666	1842.966779	3663.295446	0	0	0	0	87%	144420	0.472437945	68229.48798	21261.16184	43305.03069	11259.31	36249.51256	23178.08887
15	0	1847.633596	1870.611281	3718.244877	0	0	0	0	86%	142760	0.474209587	67698.16064	6074.617668	57905.2981	15055.38	31999.9981	19769.01611
16	0	1875.3481	1898.67045	3774.01855	0	0	0	0	85%	141100	0.475987873	67161.88888	0	63387.87033	16480.85	30116.55182	17976.28725
17	0	1903.478321	1927.150507	3830.628829	0	0	0	0	84%	139440	0.477772827	66620.64307	0	62790.01424	16325.4	29809.44977	17191.28591
18	0	1932.030496	1956.057765	3888.088261	0	0	0	0	83%	137780	0.479564476	66074.39345	0	62186.30519	16168.44	29499.26748	16437.10333
19	0	1961.010954	1985.398631	3946.409585	0	0	0	0	82%	136120	0.481362842	65523.1101	0	61576.70052	16009.94	29185.98086	15712.59791
20	0	1990.426118	2015.179611	4005.605729	0	0	0	0	81%	134460	0.483167953	64966.76297	0	60961.15724	15849.9	28869.56561	15016.66883
Σύνολο	0	34685.50066	35116.85919	69802.35984	129733.334	38614.069	91119.26502	460510.2924		3004600		1399411.824	303730.8834		256688.8	612009.4009	450652.7421

Η αποπληρωμή των ιδίων κεφαλαίων γίνεται σε 8 χρόνια όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.4 των αθροιστικών ταμειακών ροών της επένδυσης .



Σχήμα 4.4 : Διάγραμμα αθροιστικών ταμειακών ροών για το φ/β σταθμό στο Μοναστηράκι



## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Σύνοψη-Συμπεράσματα

---

Η σύνοψη της παρούσας διπλωματικής και τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν αποτυπώνονται στα παρακάτω σημεία.

Όσον αφορά την κατασκευή των φωτοβολταϊκών σταθμών :

- Η κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου με τον ηλιακό ιχνηλάτη στην τοποθεσία Αγνάντια διήρκησε 5 μήνες. Σήμερα με την εμπειρία έχει αποκτηθεί στην Ελλάδα ένα φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 100 kWp αν δεν συντρέχουν εξωτερικοί λόγοι χρειάζεται για να ολοκληρωθεί περίπου 1 μήνα. Η μεγάλη καθυστέρηση που υπήρξε οφειλόταν εν μέρει στην απειρία του συνεργείου που είχε αναλάβει την εγκατάσταση αλλά κυρίως στην εκπρόθεσμη παραλαβή του συστήματος στήριξης του ηλιακού ιχνηλάτη. Η εταιρία δεν παρήγαγε η ίδια τα μέλη του συστήματος στήριξης αλλά την ευθύνη είχαν εξωτερικά μηχανουργεία και επίσης οι εργασίες για την κατασκευή του πάρκου είχαν συμπέσει με την μεγάλη απεργία οχημάτων Δ.Χ. του 2010. Έτσι οι εργασίες ξεκίνησαν το Σεπτέμβριο 2010 (07/09/10) και η σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η έγινε 22 Ιανουαρίου 2011.
- Η κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου ολοκληρώθηκε σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα διάρκειας 45 ημερών. Σε αυτό συνέβαλλε ότι οι εργασίες ήταν καλύτερα συντονισμένες, το συνεργείο είχε την εμπειρία από δύο προηγούμενα αντίστοιχα έργα και ότι έπρεπε να μην ξεπεραστεί το χρονικό όριο της σύνδεσης με το δίκτυο που όριζε η σύμβαση για να εξασφαλιστεί η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας. Από κατασκευαστικής άποψης ήταν απλούστερο έργο, η μόνη ιδιαιτερότητα του ήταν η μεγάλης έκτασης χωματοουργική διαμόρφωση του χώρου. Το μοναδικό πρόβλημα ήταν η καθυστερημένη παράδοση ορισμένου αριθμού βάσεων από την προμηθεύτρια εταιρία για 10 ημέρες με συνέπεια την αντίστοιχη καθυστέρηση της τοποθέτησης τους και την εγκατάσταση των πλαισίων. Οι εργασίες ξεκίνησαν Μάιο 2011 (18/5/11) και η σύνδεση με το δίκτυο έγινε 30 Ιουνίου 2011.

Τα συμπεράσματα για την ενεργειακή απόδοση που έχουν προκύψει από τη λειτουργία των πάρκων :

- Η ετήσια παραγωγή του φ/β πάρκου με τον ηλιακό ιχνηλάτη την περίοδο λειτουργίας από 09/2011 έως 09/2012 ήταν 200067 kWh χωρίς να υπάρχουν στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία. Οι θερινοί μήνες είναι και οι πιο παραγωγικοί συνεισφέροντας το 36% της συνολικής παραγωγής, αντίθετα οι χειμερινοί μόλις το 13%, οι εαρινοί 29% και του φθινοπώρου με 22%. Η παραγωγή για το δεύτερο έτος λειτουργίας (09/2012-09/2013) ήταν 187850 kWh (μειωμένη κατά 6%) και η ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο για το συγκεκριμένο διάστημα ήταν 1615193 kWh. Οι θερινοί μήνες συμμετείχαν και πάλι με 36,2% στη συνολική παραγωγή αν

και ο Μάιος είχε περισσότερη ηλιοφάνεια και παραγωγή από τον Ιούνιο, οι χειμερινοί με 12%, οι εαρινοί με 28,4% και του φθινοπώρου με 23,4%.

- Η ετήσια παραγωγή του πάρκου με τις σταθερές βάσεις ήταν για το πρώτο έτος λειτουργίας 164916 kWh (09/2011-09/2012) με συνολική ηλιακή ενεργειακή απολαβή 1364034 kWh. Το 34% της ενέργειας παράχθηκε τους θερινούς μήνες, ακολουθούν οι εαρινοί με 29%, του φθινοπώρου με 23% και ο χειμώνας με το 14%. Η επόμενη περίοδος ( 09/2012-09/2013) όπως συνέβη και στο γειτονικό φ/β σταθμό ήταν πιο φτωχή με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 157805 kWh γιατί είχαμε και μικρότερη ενεργειακή απολαβή 1327098 kWh μειωμένες κατά 4,3% και 2,7% αντίστοιχα σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο. Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών παράχθηκε το 34% της ηλεκτρικής ενέργειας, το 28% κατά τους εαρινούς μήνες, το 25% το φθινόπωρο και το 13% το χειμώνα.
- Ο φ/β σταθμός με το σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης έχει πάντα μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση από τον σταθμό με τις σταθερές βάσεις αλλά όχι την αναμενόμενη. Τα προσδοκώμενα ενεργειακά οφέλη από το σύστημα ιχνηλάτησης όταν έγινε η επένδυση ήταν 35% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με σταθερές βάσεις. Το πρώτο έτος λειτουργίας των δύο σταθμών απέδωσε 21% και το δεύτερο 19% περισσότερη ενέργεια. Για την εξεταζόμενη διετία (09/2011-09-2013) οι μήνες που καταγράφηκε η βέλτιστη λειτουργία του συστήματος ήταν οι Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος με 25%,37% και 33% την πρώτη χρονιά και 29%,31% και 26% τη δεύτερη. Το σύστημα την χειρότερη του απόδοση την κατέγραψε και τα δύο έτη τους μήνες Νοέμβριο – Φεβρουάριο προσφέροντας από 13% (Νοέμβριος '11 – Ιανουάριος '13) έως 2% (Φεβρουάριος '13) παραπάνω ενέργεια. Το μικρό όφελος που έχουμε από το σύστημα ιχνηλάτησης σε σχέση με σταθερές βάσεις κατά τους μήνες με μικρή ηλιοφάνεια εξηγείται γιατί τις ημέρες που βρέχει ή ο ουρανός είναι καλυμμένος με νεφώσεις το μεγαλύτερο ποσοστό ακτινοβολίας που δέχονται τα πλαίσια είναι διάχυτη οπότε δεν έχει σημασία αν είναι σταθερά η ακολουθούν την πορεία του ηλίου.
- Η μέχρι σήμερα επίδοση των δύο φωτοβολταϊκών σταθμών θεωρείται ικανοποιητική. Ο λόγος επίδοσης για το πάρκο με τις σταθερές βάσεις ήταν 88,3% και 87,2% για τον πρώτο και τον δεύτερο χρόνο λειτουργίας τους αντίστοιχα. Το πάρκο με το σύστημα ιχνηλάτησης για το δεύτερο χρόνο που υπάρχουν δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία έχει λόγο επίδοσης 84,9%.
- Το φ/β πάρκο με τον ηλιακό ιχνηλάτη μετέτρεψε την περίοδο (09/2012-09/2013) το 11,6% της ενέργειας που δέχτηκε από τον ήλιο σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φ/β πάρκο με τις σταθερές βάσεις μετέτρεψε το 12% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και τα δύο έτη λειτουργίας του. Ο βαθμός ενεργειακής μετατροπής που παρουσιάζουν τα δύο φωτοβολταϊκά συστήματα αυξομειώνεται σχεδόν με τον ίδιο τρόπο, από τα διαθέσιμα δεδομένα παρατηρήθηκε ότι αυξάνεται τους μήνες Νοέμβριο με Μάρτιο ενώ τις χαμηλότερες τιμές τις έχει του θερινούς μήνες. Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο βαθμός απόδοσης μεταβάλλεται ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες που



επικρατούν (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία) εκτός από τις στιγμές που ανατέλλει και δύει ο ήλιος όπου παίρνει σχεδόν μηδενικές τιμές.

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα φ/β πλαίσια επηρεάζουν άμεσα τον βαθμό απόδοσης ενεργειακής μετατροπής των πλαισίων και συνεπώς ολόκληρου του συστήματος. Αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ωστόσο η αύξηση της θερμοκρασίας έχει αρνητική επίδραση στην τιμή του. Στο εξεταζόμενο σύστημα οι μέγιστοι βαθμοί απόδοσης παρατηρήθηκαν σε αίθριες και κρύες ημέρες όπου το περιβάλλον δεν επιτρέπει στα πλαίσια να αναπτύξουν υψηλή θερμοκρασία.

Τέλος στοιχεία και συμπεράσματα που αφορούν τα οικονομικά των φωτοβολταϊκών σταθμών :

- Το ποσό που δαπανήθηκε για την κατασκευή του πάρκου με τις σταθερές βάσεις ήταν 303731 € και το πάρκο με τον ηλιακό ιχνηλάτη στοίχισε 420385 €, 38% περισσότερο από το πρώτο. Το χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης ήταν 30% δανειακά και 70% ίδια κεφάλαια για τον κάθε ένα φ/β σταθμό. Με βάση αυτά τα δεδομένα και τις θεωρήσεις που αναλύθηκαν στο υποκεφάλαιο 4.5 συντάχθηκαν πίνακες ταμειακών ροών για να υπολογιστούν οι δείκτες αξιολόγησης επενδύσεων όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 για τα ίδια κεφάλαια και στον 5.2 για το σύνολο της επένδυσης :

**Πίνακας 5.1 :** Δείκτες αξιολόγησης επένδυσης για τους εξεταζόμενους φ/β σταθμούς (ιδία κεφάλαια)

	Φ/β σταθμός με σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης			Φ/β σταθμός με σύστημα σταθερών βάσεων		
	Χρόνος απόσβεσης (έτη)	ΕΒΑ	ΚΠΑ (Ευρώ)	Χρόνος απόσβεσης (έτη)	ΕΒΑ	ΚΠΑ (Ευρώ)
Αρχική σύμβαση	6	18.0 %	527555 €	5	21.37 %	478813 €
Μετά την επιβολή εισφοράς 25%	10	10.73 %	238919 €	8	13.41%	238041 €

**Πίνακας 5.2 :** Δείκτες αξιολόγησης επένδυσης για τους εξεταζόμενους φ/β σταθμούς (ως προς το σύνολο της επένδυσης)

	Φ/β σταθμός με σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης			Φ/β σταθμός με σύστημα σταθερών βάσεων		
	Χρόνος απόσβεσης (έτη)	ΕΒΑ	ΚΠΑ (Ευρώ)	Χρόνος απόσβεσης (έτη)	ΕΒΑ	ΚΠΑ (Ευρώ)
Αρχική σύμβαση	8	11,79 %	586560 €	7	17,85 %	547939 €
Μετά την επιβολή εισφοράς 25%	10	6,61%	301008 €	9	11,66%	287855 €

Αξίζει να αναφερθεί και το σταθμισμένο κόστος ενέργειας των φ/β σταθμών το οποίο είναι 0.1724 €/kWh για το φ/β σταθμό της Αγνάντιας και 0.1525 €/kWh για το σταθμό στο Μοναστηράκι.

- Εάν υπήρχε η εμπειρία που αποκομίστηκε από την έρευνα αγοράς, την κατασκευή και την λειτουργία των δύο αυτών φ/β σταθμών επί 2,5 έτη δε θα προτιμούταν και πάλι το σύστημα στήριξης του ηλιακού ιχνηλάτη. Δεν προτείνεται τουλάχιστον ως λύση για την κατασκευή φ/β σταθμού σε περιοχή που έχει αντίστοιχα ποσοστά ηλιοφάνειας με την περιοχή της Αλεξανδρούπολης, ίσως σε άλλη περιοχή με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια να καθιστά την εγκατάσταση πιο αποδοτική και κατά συνέπεια την επένδυση πιο συμφέρουσα.
- Προτείνεται να μελετηθεί η λειτουργία και η ενεργειακή απόδοση των σταθμών και σε μελλοντική χρονική στιγμή. Πρώτον για να γίνει καταγραφή των αγνώστων προβλημάτων που θα ανακύψουν αλλά κυρίως για την παρατήρηση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος. Δηλαδή να εξεταστεί αν η πτώση της απόδοσης του συστήματος είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών του εξοπλισμού ή εάν θα υπάρξει μεγαλύτερη απόκλιση.

## 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Βιβλιογραφία

---

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω βιβλιογραφικές αναφορές :

1. **Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα**, Μαμάσης Νίκος 2012
2. **Φωτοβολταϊκά συστήματα**, Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, 2009
3. **Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων**, ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Μωυσής Δαμιανίδης, Η.Μ. Γεώργιος Κατσαρός, Δρ Η.Μ. Ματθαίος Τόλης, Μ.Μ. Φώτιος Στεργιόπουλος, Η.Μ.
4. **Φωτοβολταϊκή τεχνολογία**, Κ. Καγκαράκη, 1992
5. **Renewables 2013 Global Status Report**, REN21
6. **The PV Market in Greece**, S.Tselepis, 2012
7. **Στατιστικά ελληνικής αγοράς 2012, 2013**, Σ.Ε.Φ.
8. **Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**, Υ.Π.Ε.Κ.Α.
9. **Evergreen ES-A Series photovoltaic panels**, Data Sheet
10. **PVI-10.0-TL-OUTD- PVI-12.5-TL-OUTD**, Data Sheet
11. **Έντυπο προδιαγραφών διαξονικού tracker «ΝΕΔΑ»**
12. **Donauer Photovoltaic ground-mounted systems**, installation instruction
13. **STRING RIBBON SILICON SOLAR CELLS WITH 17.8% EFFICIENCY**, D.S. Kim, \*A.M. Gabor, V. Yelundur, A. D. Upadhyaya, V. Meemongkolkiat, A. Rohatgi
14. **PERFORMANCE COMPARISON OF FIXED, 1-, AND 2-AXIS TRACKING SYSTEMS FOR SMALL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH MEASURED DIRECT BEAM FRACTION**, John W. Robinson, Brian W. Raichle
15. **QUANTIFYING LOW-LIGHT BEHAVIOUR OF PHOTOVOLTAIC MODULES BY IDENTIFYING THEIR IRRADIANCE-DEPENDENT EFFICIENCY FROM DATA SHEETS**, Bert Herteleer, Jan Cappelle, Johan Driesen
16. **The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency**, V.Jafari Fesharaki, Majid Dehghani, J. Jafari Fesharaki, Hamed Tavasoli, 2011
17. **Measuring irradiance, temperature and angle of incidence effects on photovoltaic modules in Auburn Hills Michigan**, Michael S. Buday, 2011
18. <http://www.empa.ch/plugin/template/empa/1351/131438/---/l=2>
19. **Σημειώσεις Μαθήματος Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων**, Δ. Καλιαμπάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., Δ. Δαμίγος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π. Αθήνα 2008
20. **Οικονομικά για μη οικονομικούς**, Κωνσταντίνος Ανδριόπουλος, Αθήνα 2012
21. **Συστημική Μεθοδολογία και τεχνική οικονομική**, Δημήτριος Παναγιωτακόπουλος, Θεσσαλονίκη 2008
22. **Τεχνοοικονομική μελέτη φωτοβολταϊκού πάρκου 100 kWp**, Τσόγκας Αναστάσιος, 2009

- 23. Σημειώσεις Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, Στ. Παπαθανασίου, Επ. Καθ. ΕΜΠ, Αθήνα 2012**
- 24. Ν.3468/2006, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις”, ΦΕΚ 129Α/29-6-2006**
- 25. Ν.3851/2010, “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, ΦΕΚ 85Α/4-6-2010**
- 26. Ν.4093/2012 Έκτακτη εισφορά για ΑΠΕ - Κατάργηση 18μηνου, ΦΕΚ 222Α/12/11/2012**