



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ  
ΠΑΡΚΟΥ ΣΕ ΕΤΗΣΙΑ ΒΑΣΗ**

υπό

**ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ ΣΑΛΠΙΓΓΙΔΟΥ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13711/1  
Ημερ. Εισ.: 22-05-2015  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ  
2015  
ΣΑΛ



Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής      Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος  
(Επιβλέπων)      Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
                                 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής      Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας  
                                 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
                                 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής      Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος  
                                 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
                                 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τα παρακάτω πρόσωπα που μου συμπαράσταθηκαν με διάφορους τρόπους στη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταματέλο και την κυρία Ζιώγου που μου δώσανε την ευκαιρία για την εκπόνηση αυτής τη διπλωματικής, δίνοντας μου ταυτόχρονα την ευκαιρία να εργαστώ ουσιαστικά πρώτη φορά σαν μηχανολόγος μηχανικός. Τους είμαι ευγνώμων για την προθυμία τους και τη συνεχή συμπαράσταση όλο αυτό το διάστημα.

Ευχαριστώ ακόμα θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν σε όλη αυτή την προσπάθεια.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την αδερφή μου Χριστίνα και το σύντροφο μου Αθανάσιο.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την παρουσίαση του σχεδιασμού, του τρόπου λειτουργίας και την αξιολόγηση της απόδοσης ενός Φωτοβολταϊκού Πάρκου. Αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών κυψελών, οι κυριότεροι τύποι ΦΒ, και οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία τους. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά των στοιχείων που συνθέτουν το πάρκο καθώς και ο τρόπος σχεδιασμού του συγκεκριμένου ΦΒ πάρκου. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία της λειτουργίας και απόδοσης του ΦΒ πάρκου (αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς, προσπίπτουσα ακτινοβολία, θερμοκρασία περιβάλλοντος κτλ), παρουσιάζονται οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και εξετάζονται κάποιες ιδέες για βελτιστοποίηση της απόδοσης του ΦΒ πάρκου.

## Πίνακας περιεχομένων

### Contents

1	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	9
1.1	Ορισμός .....	9
1.2	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) .....	9
2	Ηλιακή ακτινοβολία .....	10
2.1	Μάζα αέρα AM .....	13
2.2	Γεωγραφικό πλάτος .....	15
2.3	Γωνία κλίσης $\beta$ .....	15
3	Η Φωτοβολταϊκή Κυψέλη .....	17
3.1	Ημιαγωγοί .....	17
3.2	Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	20
3.3	Διάταξη υλικών $\phi/\beta$ κυψέλης .....	21
3.4	Διατάξεις $\phi/\beta$ πλαισίων .....	22
4	Τύποι φωτοβολταϊκών .....	23
4.1	Μεγάλου πάχους .....	23
4.2	Λεπτής Στρώσης (thin film) .....	24
4.3	Λοιπές κατηγορίες .....	27
4.4	Παράγοντες μείωσης απόδοσης $\phi/\beta$ .....	28
5	Inverter (μετατροπέας) – PV ( $\phi/\beta$ πλαίσια) .....	31
5.1	PV ( $\phi/\beta$ πλαίσια) .....	31
5.1.1	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά .....	32
5.1.2	Μηχανικά χαρακτηριστικά .....	34
5.1.3	Θερμικά χαρακτηριστικά .....	34
5.2	Inverter .....	35
6	Φωτοβολταϊκό πάρκο .....	40

6.1	Πλεονεκτήματα των φ/β πάρκων .....	40
6.2	Σύντομη αναφορά οικονομικών στοιχείων .....	41
6.2.1	Έξοδα εγκατάστασης .....	41
6.2.2	Έσοδα – τιμή kWh .....	42
6.3	Διαστασιολόγηση – χωροθέτηση πάρκου .....	43
6.4	Εργασίες εγκατάστασης .....	44
6.4.1	Χωματοργικές εργασίες -εργασίες υποδομής .....	44
6.5	Σταθερές βάσεις στήριξης .....	44
6.5.1	Σταθερό μονοπάσαλο συστημα στήριξης .....	44
6.5.2	Τυπολογίες σταθερών συστημάτων στήριξης .....	45
6.6	Κινούμενες βάσεις (τράκερ) .....	46
7	Μετρητικά όργανα στο πάρκο.....	48
7.1	Πυρανόμετρο.....	48
7.1.1	Λειτουργία .....	48
7.1.2	Τοποθέτηση .....	48
7.1.3	Εφαρμογές.....	48
7.2	Αισθητήρας ακτινοβολίας .....	49
7.3	Αισθητήρας θερμοκρασίας.....	50
7.4	Αναλυτές ενέργειας .....	50
7.4.1	Χαρακτηριστικά: .....	51
7.4.2	Οφέλη .....	51
7.4.3	Εφαρμογές .....	52
7.5	Ρελέ (ηλεκτρονόμος προστασίας) .....	53
8	Ανάλυση στοιχείων σχεδίασης πάρκου.....	53
8.1	Διαστασιολόγηση με το Sunny Design .....	54
8.2	Sunny Design.....	55
8.3	Ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο πάρκου .....	59

9	Αποτελέσματα, επεξεργασία, καταγραφές.....	62
9.1	Υπολογιστικό μέρος.....	62
9.2	Συμπεράσματα .....	104
9.3	Προτάσεις Βελτιστοποίησης.....	105

### 1.1 Ορισμός

*“Γιατί τόσο ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας”, “Γιατί ολοένα και περισσότερος κόσμος στρέφεται στη φωτοβολταϊκή ενέργεια”;*

Ας ξεκινήσουμε αναλύοντας τον όρο ‘ανανεώσιμες πηγές ενεργείας’. (ΑΠΕ) είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αιολική, ηλιακή και 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 βιοαέρια, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ. Πιο απλά θεωρούμε ΑΠΕ οποιαδήποτε πηγή

1. ανεξάντλητη ( όπως η ηλιακή, η αιολική ενέργεια ) ή
2. που μπορεί να δημιουργηθεί ξανά το πολύ σε 3 με 4 χρόνια. Για παράδειγμα τα βιοκαύσιμα, η παραγωγή των οποίων γίνεται από καλαμπόκι, σόγια από λύματα ανθρώπων και ζώων κ.α. [1]

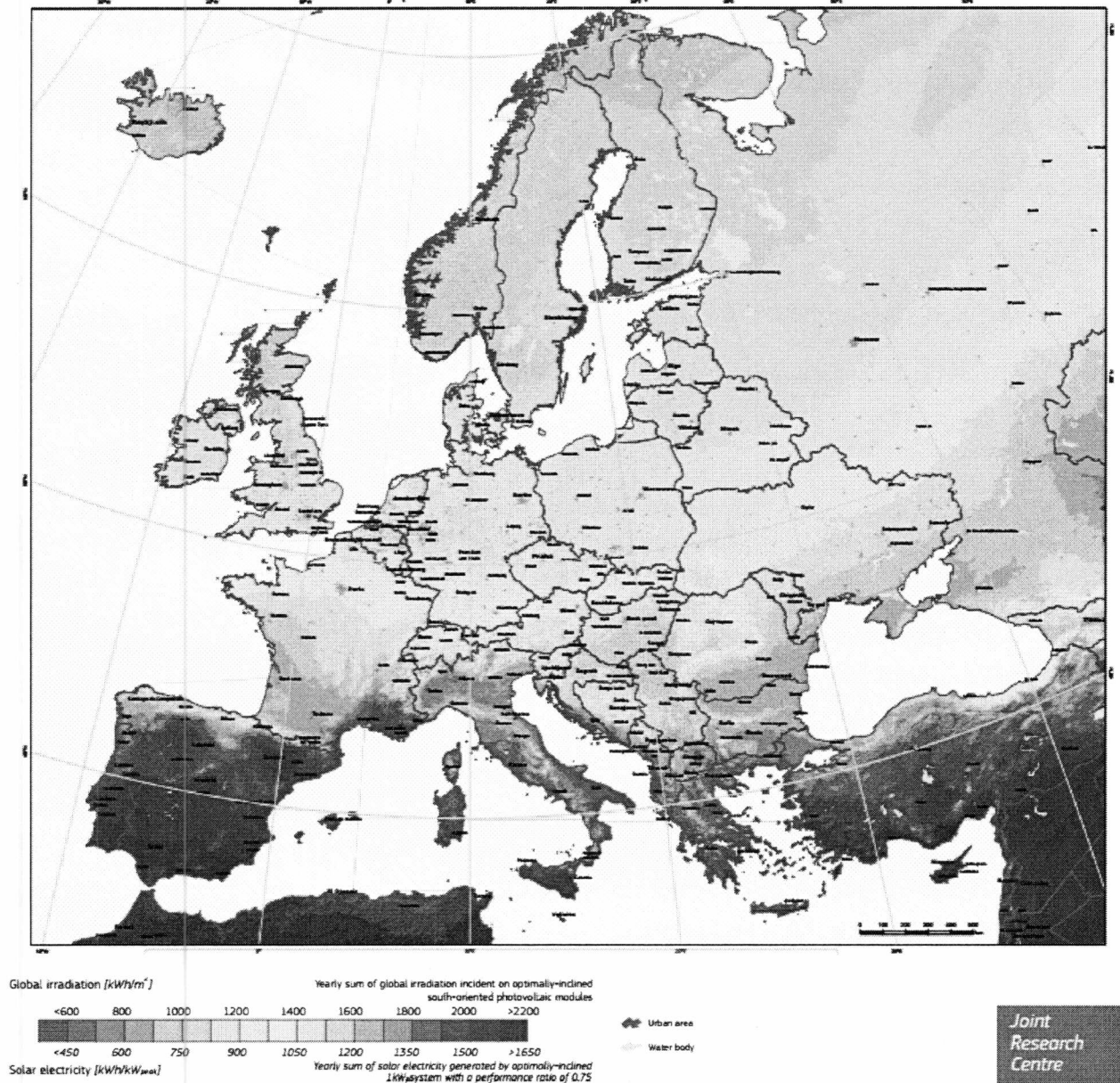
### 1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ (σύμφωνα με τον Ν 2773/1999) είναι η Ηλεκτρική Ενέργεια η προερχόμενη από:

1. Την εκμετάλλευση Αιολικής ή Ηλιακής Ενέργειας ή Βιομάζας ή Βιοαερίου.
2. Την εκμετάλλευση Γεωθερμικής Ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού Γεωθερμικού Δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο, σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις.
3. Την εκμετάλλευση της Ενέργειας από την Θάλασσα.
4. Την εκμετάλλευση Υδάτινου Δυναμικού με Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς.
5. Συνδυασμό των ανωτέρω.
6. Τη Συμπαράγωγή, με χρήση των Πηγών Ενέργειας, των (1) και (2) και συνδυασμό τους. [1]



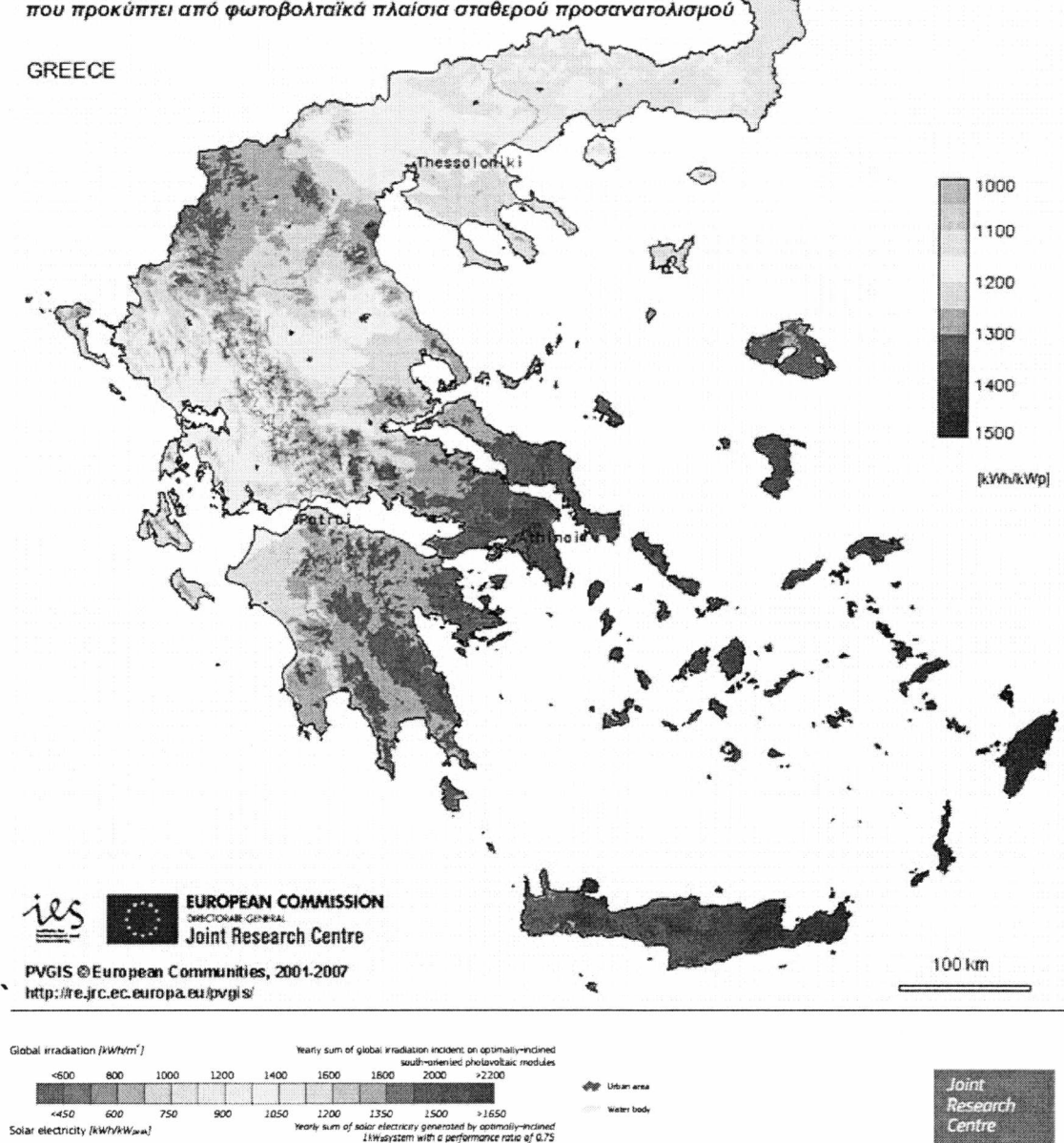
## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Εικόνα 2.1 Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια στις ευρωπαϊκές χώρες [2]

Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά ισχύος 1kw που προκύπτει από φωτοβολταϊκά πλαίσια σταθερού προσανατολισμού

GREECE



Εικόνα 2.2 Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα. [2]

Η ηλιακή ενέργεια – ακτινοβολία αποτελεί μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που προέρχεται από τον πυρήνα του ήλιου. Είναι άφθονη-ανεξάντλητη και φυσικά έχει μηδενικό κόστος. Στην παρούσα εργασία αποτελεί την “ α’ ύλη – κινητήριος δύναμη ”, δεν χρειάζεται καύση, επεξεργασία, γενικά οποιαδήποτε μορφή μετατροπής πριν την χρήση της. Αυτό είναι που την καθιστά << καθαρή >> μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον.

Το μέγεθος που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Με τον όρο αυτό προσδιορίζουμε τον ρυθμό με τον οποίο η ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια προσπίπτει σε μοναδιαία επιφάνεια, με μονάδα

μέτρησης  $W/m^2$ . Στην εξωτερική επιφάνεια της γης φτάνει ένα μικρό ποσοστό με τα  $1000 W/m^2$  να είναι η ακτινοβολία που φθάνει μια καθαρή μέρα στην επιφάνεια της θάλασσας.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή η οποία φτάνει απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ ), το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ), το υψόμετρο του τόπου ( $h$ ), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει ( $\beta$ ), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα.

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

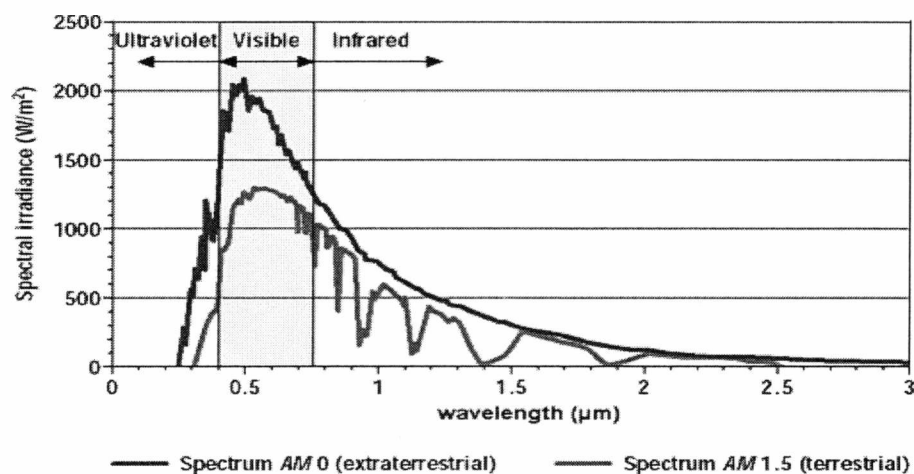
Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή.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

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου  $1,400-1,800 (kWh/(m^2.yr))$  ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση ( $W/m^2$ ) στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω την θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).

Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε κεκλιμένη ή/και περιστρεφόμενη επιφάνεια, είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Στην Ελλάδα η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

(ΕΜΥ) καταγράφει εδώ και πολλά χρόνια τις ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα (hr/day), αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις την ολική ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>) για διάφορες περιοχές της χώρας μας. [3]

Η **ηλιακή σταθερά** για τον πλανήτη μας είναι 1367 W/m<sup>2</sup> και ορίζεται ως η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη – ηλίου, ενός ηλιακού συστήματος.



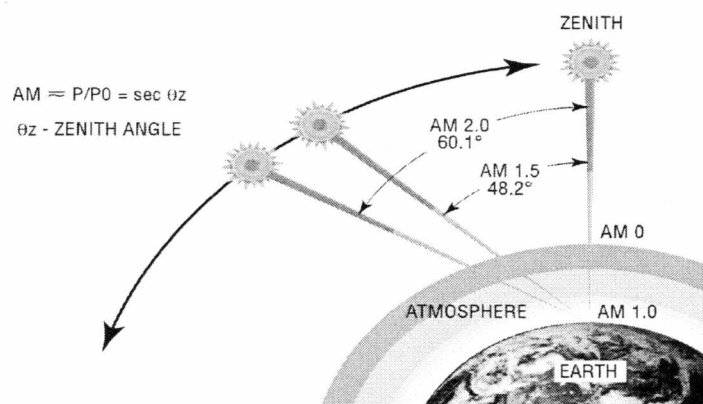
Εικόνα 2.3 : Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας [3]

## 2.1 Μάζα αέρα AM

Άλλο ένα μέγεθος που θα αναφερθεί παρακάτω είναι η **μάζα αέρα AM** και ορίζεται ως το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας και δίνεται από την σχέση

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad [3]$$

$\theta_z$  - ZENITH ANGLE



Εικόνα 2.4 : Μάζα αέρα σε διάφορες τιμές. [3]

όπου  $z(^{\circ})$  είναι η ζενιθία γωνία , δηλαδή , η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτινών και της διεύθυνσης του Ζενίθ του τόπου. Μπορούμε να πούμε ότι η αέρια μάζα δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα , σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της.

ΜΑΖΑ ΑΕΡΑ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΙΣΧΥΣ $W/m^2$
AM 0	Στο διάστημα, σε απόσταση ίση με την απόσταση γη-ηλίου	1367
AM 1	Ο ήλιος στο ζενίθ ( $z=0$ )	1000
AM 1,5	Ζενίθια γωνία $z=48,19^{\circ}$	830
AM 2	Ζενίθια γωνία $z=60^{\circ}$	700

[3]

## 2.2 Γεωγραφικό πλάτος

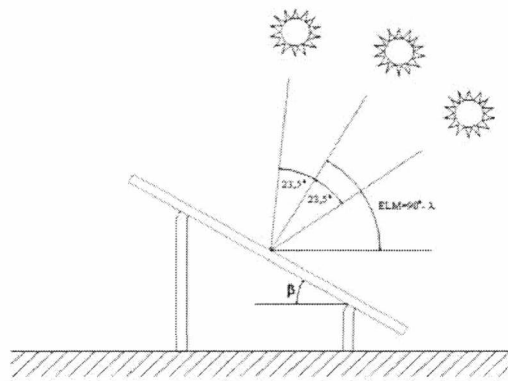
Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ορίζει την γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό

$$-90^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$$

## 2.3 Γωνία κλίσης β

Η γωνία μεταξύ της εν λόγω επιφάνειας(πάνελ) και του οριζοντίου επιπέδου

$$(0^{\circ} \leq \beta \leq 180^{\circ})$$



Εικόνα 2.5 : Γωνία κλίσης φ/β πλαισίων [4]



Κλίση $\beta$ (°)	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε	Χ	Θ
Αθήνα ( $\varphi=37,96^\circ$ , $L=23,92^\circ$ )															
7-14	70	84	118	151	190	201	217	206	158	117	84	67	1664	540	1124
23-33	86	97	126	151	181	188	204	202	166	133	104	85	1724	649	1092
42-52	98	103	124	137	154	156	171	178	159	140	118	99	1637	682	955
Ηράκλειο ( $\varphi=35,33^\circ$ , $L=25,15^\circ$ )															
5-12	73	90	133	175	211	216	221	207	173	129	94	73	1794	637	1203
20-30	87	101	140	174	202	203	210	203	180	143	112	89	1844	703	1172
38-48	96	107	140	163	180	177	185	186	176	151	124	101	1787	732	1067
Θεσσαλονίκη ( $\varphi=40,63^\circ$ , $L=22,93^\circ$ )															
9-16	62	75	105	140	174	183	203	182	141	101	69	58	1495	510	1024
25-35	77	87	111	139	166	171	191	178	148	114	85	74	1543	574	994
45-55	86	92	110	130	148	150	168	163	144	119	94	85	1490	597	903
Ιωάννινα ( $\varphi=39,67^\circ$ , $L=20,83^\circ$ )															
9-16	63	76	118	148	189	200	215	199	154	118	77	57	1614	539	1105
24-34	75	86	125	148	181	188	204	196	161	132	92	70	1659	596	1079
44-54	86	91	125	137	159	162	177	178	157	140	104	81	1596	624	969
Καλαμάτα ( $\varphi=36,07^\circ$ , $L=22,12^\circ$ )															
6-13	79	90	136	158	209	214	220	204	166	128	93	68	1766	624	1172
22-32	94	102	145	158	201	202	208	201	173	143	111	83	1820	692	1142
40-50	107	109	144	146	176	172	180	181	168	151	126	95	1754	726	1022
Κομοτηνή ( $\varphi=41,13^\circ$ , $L=25,42^\circ$ )															
10-17	67	79	117	151	188	205	212	198	160	120	77	63	1638	555	1114
26-36	80	89	124	151	180	192	201	195	166	134	92	78	1681	614	1084
46-56	91	95	123	139	157	164	173	175	161	142	104	90	1612	642	968
Λάρισα ( $\varphi=39,63^\circ$ , $L=22,42^\circ$ )															
9-16	59	78	121	160	203	210	218	202	160	114	79	57	1662	555	1154
24-34	75	92	131	160	193	194	203	198	170	132	101	76	1726	636	1118
44-54	83	96	131	151	175	173	182	184	167	138	112	85	1676	658	1032
Μυτιλήνη ( $\varphi=39,10^\circ$ , $L=26,53^\circ$ )															
9-16	63	80	122	161	209	216	222	205	167	124	81	62	1713	569	1180
24-34	80	94	132	161	198	199	207	201	177	145	104	82	1778	652	1142
43-53	87	99	131	152	179	177	185	186	173	152	114	92	1727	675	1052
Πάτρα ( $\varphi=38,25^\circ$ , $L=21,73^\circ$ )															
7-14	66	82	134	151	200	212	216	201	163	121	79	66	1692	578	1144
23-33	83	96	145	150	189	195	201	196	172	140	100	86	1753	660	1102
42-52	91	100	145	141	170	173	180	181	168	146	109	96	1699	682	1013

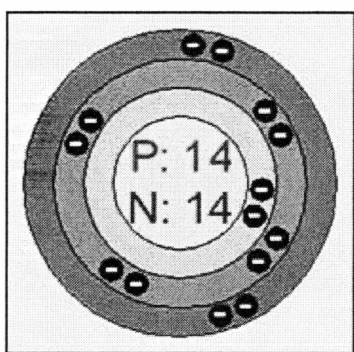
Εικόνα 2.6 .Βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πάνελ στην Ελλάδα. [5]

Από το 1839 με τον Alexandre Edmond Becquerel ξεκίνησε η ανακάλυψη των βασικών φαινομένων και των ιδιοτήτων των Φ / Β υλικών για να έρθει το 1904 ο Albert Einstein και να συντάξει την πιο ολοκληρωμένη (μέχρι τότε) θεωρία σχετικά με το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για αυτή του τη θεωρητική εξήγηση, του απονεμήθηκε το βραβείο Nobel το 1921.

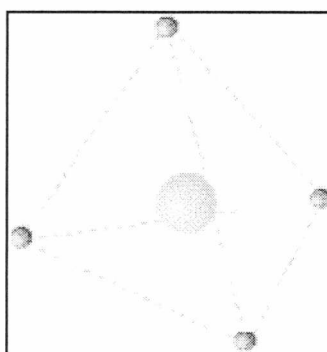
### 3.1 Ημιαγωγοί

Ημιαγωγός καλείται κάθε υλικό που επιτρέπει την διέλευση ηλεκτρικού φορτίου από μέσα του κάτω από κάποιες προϋποθέσεις, όπως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας ή η πρόσπτωση φωτός.

Οι ημιαγωγοί αποτελούν μια κατηγορία στερεών σωμάτων που χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων σε αντίθεση με τα μέταλλα που παρουσιάζουν μεγάλο πλήθος ελεύθερων ηλεκτρονίων και τους μονωτές που διαθέτουν ελάχιστα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Εκεί οφείλεται και η ιδιόρρυθμη συμπεριφορά τους. Από τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα τα κυριότερα ημιαγώγιμα είναι το Γερμάνιο (Ge), το Πυρίτιο (Si) και το Σελήνιο (Se). Ας δούμε ένα παράδειγμα ημιαγωγού για να αντιληφθούμε καλύτερα την συμπεριφορά του. Ο ατομικός αριθμός του πυριτίου είναι 14, με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, για να συμπληρωθεί όμως η εξωτερική στοιβάδα χρειάζονται συνολικά 8 ηλεκτρόνια, άρα θα πρέπει να μοιραστεί αλλά 4 με κάποιο άλλο άτομο. [1],[19]



Εικόνα 3.1 : Άτομο πυριτίου (Si) [6]



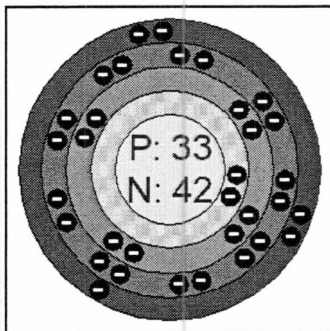
Εικόνα 3.2 : Άτομο πυριτίου (Si)

#### Ημιαγωγός τύπου n:

Αν σε ένα ημιαγωγό, όπως το Si προστεθεί μικρή ποσότητα πεντασθενούς στοιχείου (5  $e^-$  στην εξωτερική στοιβάδα) π.χ. Αρσενίου (As), τα 4 ηλεκτρόνια σθένους



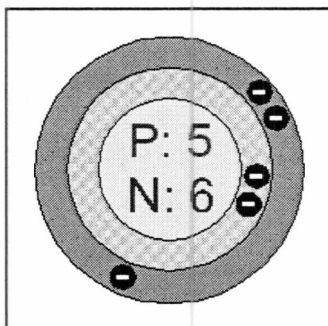
(δηλαδή της εξωτερικής στοιβάδας) του As θα δημιουργήσουν με τα αντίστοιχα 4 των γειτονικών ατόμων του Si ομοιοπολικούς δεσμούς και θα μείνει αδέσμευτο 1 ηλεκτρόνιο από το άτομο του As που μπορεί να απομακρυνθεί σχετικά εύκολα λόγω της θερμικής κίνησης, ακόμη και σε χαμηλή θερμοκρασία. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούμε τον n ημιαγωγό.



Εικόνα 3.3 : Άτομο Αρσενίου (As)

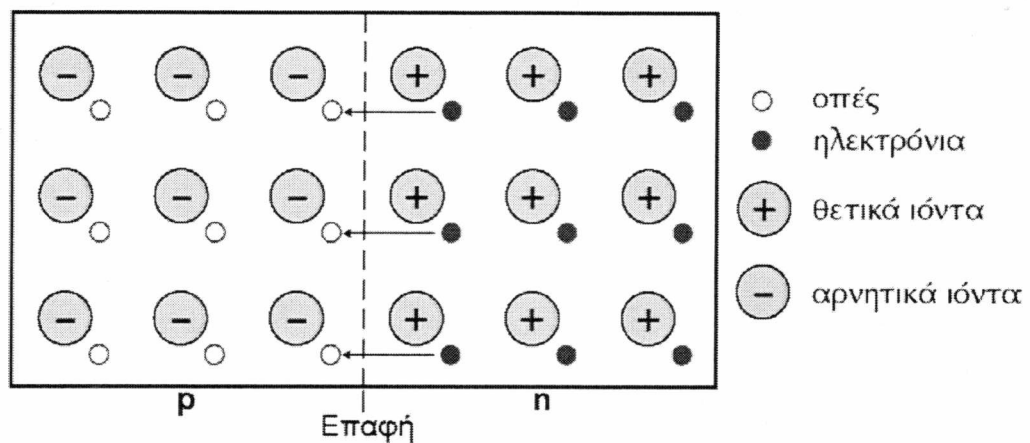
#### Ημιαγωγός τύπου p:

Ακριβώς η ίδια λογική εφαρμόζεται για τον ημιαγωγό τύπου p . Μόνο που τώρα χρησιμοποιούμε ένα τρισθενές υλικό το οποίο δημιουργεί ομοιοπολικούς δεσμούς με τα τρία ηλεκτρόνια σθένους τριών γειτονικών ατόμων Si . Άρα λείπει ένα ηλεκτρόνιο για συμπληρωθεί η εξωτερική στοιβάδα ( $4^{ος}$  ομοιοπολικός δεσμός ) η θέση του ηλεκτρονίου που λείπει ονομάζεται οπή.



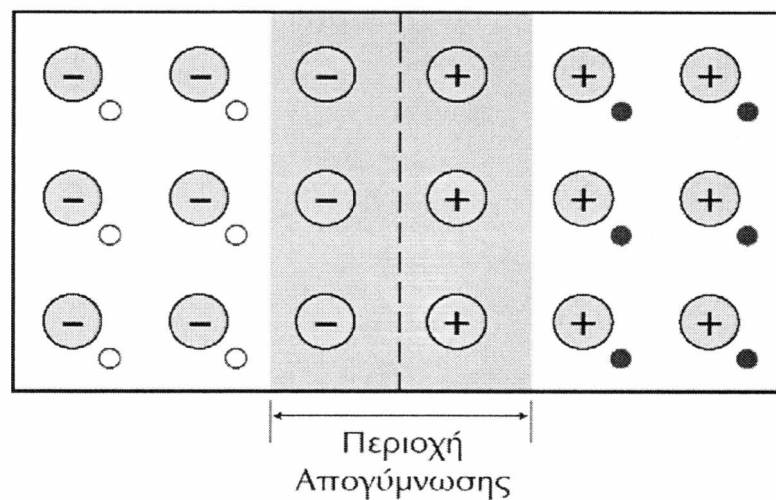
Εικόνα 3.4 : Άτομο Βορίου (B)

Όταν φέρουμε σε επαφή (ενώσουμε) δύο ημιαγωγούς με τα χαρακτηριστικά που προαναφέραμε , δημιουργείται μια περιοχή επαφής που ονομάζεται **επαφή p-n** . Αμέσως μετά την δημιουργία της **p-n** επαφής αρχίζει η διάχυση των ηλεκτρονίων που είναι σε πλεόνασμα από τον ημιαγωγό n προς τον ημιαγωγό p, και αντίστοιχα των οπών από το ημιαγωγό p προς τον n.



Εικόνα 3.5 : Δημιουργία περιοχή απογύμνωσης p-n ημιαγωγών. [3]

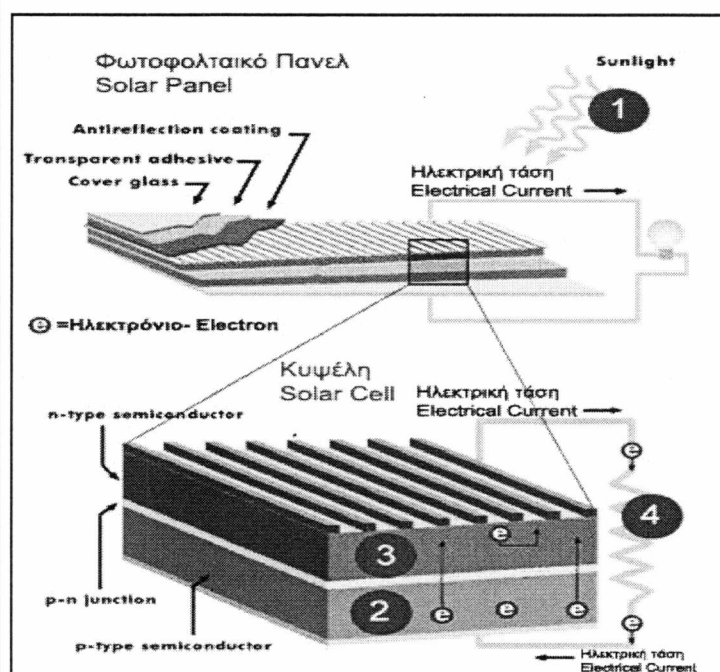
Τα εισερχόμενα ηλεκτρόνια στην περιοχή p εξουδετερώνουν ένα αριθμό οπών με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρνητικών ιόντων. Οι εισερχόμενες, (λόγω διάχυσης) οπές στην περιοχή n εξουδετερώνονται από τα ηλεκτρόνια της περιοχής αυτής και έτσι έχουμε τη δημιουργία θετικών ιόντων. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία μια περιοχής (1-2μm), όπου δεν υπάρχουν ούτε ελεύθερα ηλεκτρόνια ούτε οπές η οποία ονομάζεται « περιοχή απογύμνωσης». [19]



Εικόνα 3.6 : Περιοχή απογύμνωσης επαφής p-n ημιαγωγών [3]

### 3.2 Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο στηρίζεται στην ιδιαίτερη συμπεριφορά των ημιαγωγών υλικών που αναφέραμε προηγουμένως. Αναλυτικά τώρα, αφού φέρουμε σε επαφή τους δύο ημιαγωγούς  $p$ ,  $n$  και δημιουργηθεί η δίοδος (ή περιοχή απογυμνώσης) η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία με τη μορφή φωτονίων (πακέτων ενέργειας) προσδίδει ενέργεια στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του  $p$  ημιαγωγού τα οποία αποκτούν μια έντονη κινητικότητα και αρχίζουν να έλκονται από τις 'οπές' του  $n$  ημιαγωγού. Στην συνέχεια ακολουθούν το δρόμο προς την κάθοδο με αποτέλεσμα έχουμε μια **προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων (= ηλεκτρικό ρεύμα)**.

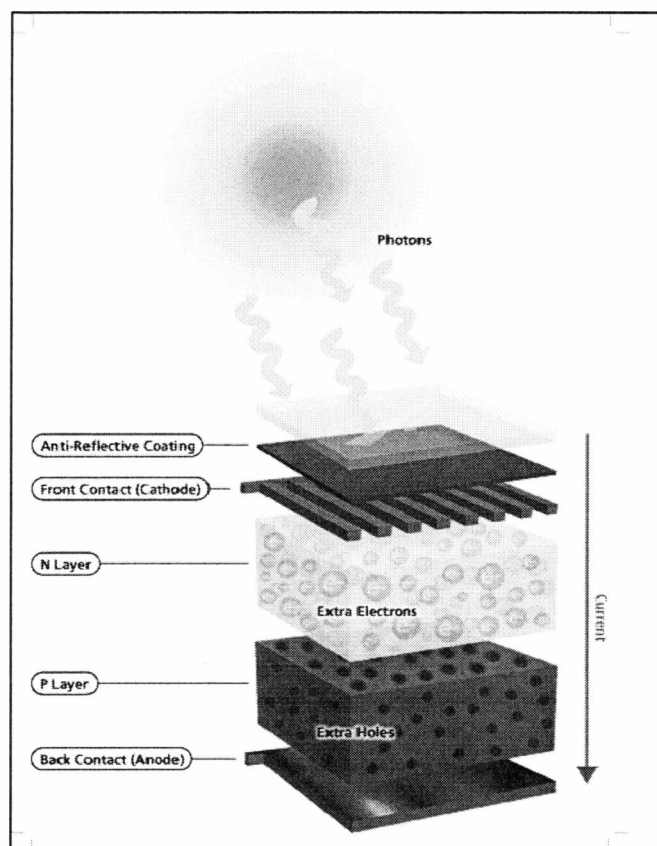


Εικόνα 3.7 : Απεικόνιση Φωτοβολταϊκού φαινομένου ,  
προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων. [7]

### 3.3 Διάταξη υλικών φ/β κυψέλης

Αφού έχουμε αναλύσει τους  $p$  και  $n$  ημιαγωγούς, την περιοχή απογύμνωσης και το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο μπορούμε τώρα να τα δούμε όλα μαζί σε μια φ/β κυψέλη.

Ξεκινάμε με τους δύο ημιαγωγούς, όπου και βρίσκονται στο κέντρο της κυψέλης και την περιοχή απογύμνωσης στο ενδιάμεσο τους. Ακριβώς κάτω από τον  $p$  ημιαγωγό (σε επαφή πάντα) βρίσκεται ένα μεταλλικό αγωγίμο έλασμα που λειτουργεί σαν κάθοδος, και σαν άνοδος το αντίστοιχο έλασμα στον  $n$  ημιαγωγό. Τα δύο αυτά ελάσματα κλείνουν το ηλ. Κύκλωμα (προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων) που δημιουργήθηκε από το Φ/Β φαινόμενο αφού βέβαια έχουμε συνδέσει στα άκρα τους κάποια αντίσταση. Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της κυψέλης είναι η ηλιακή ακτινοβολία, για αυτό το λόγο έχουν τοποθετηθεί πάνω από το μεταλλικό έλασμα της κυψέλης αντι-ανακλαστικές επιφάνειες για να έχουμε την μέγιστη δυνατή ακτινοβολία πάνω στους ημιαγωγούς μας. Φυσικά τέτοιες επιφάνειες έχουμε μόνο στην επάνω μεριά της κυψέλης μας. Τέλος υπάρχει μια γυάλινη επιφάνεια (κομμάτι ανθεκτικού γυαλιού) για την προστασία την κυψέλη μας από οτιδήποτε υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Να σημειωθεί κάτι παρά πολύ σημαντικό, πάντα τοποθετούμε τον ημιαγωγό  $n$  πάνω και τον ημιαγωγό  $p$  κάτω.

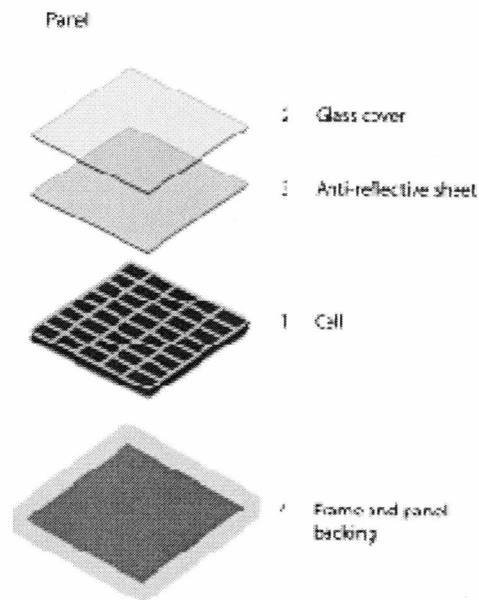


Εικόνα 3.8 : Διάταξη υλικών μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης

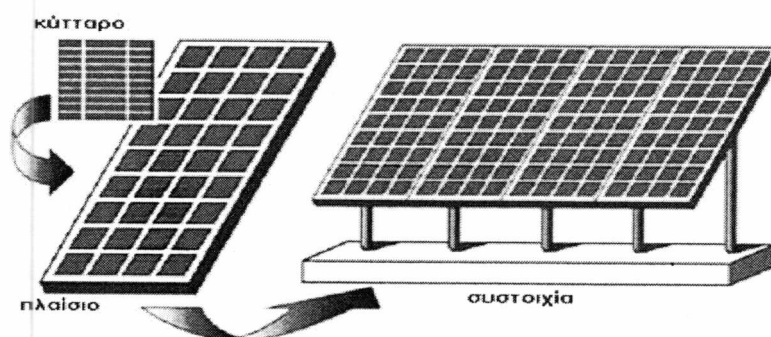
### 3.4 Διατάξεις φ/β πλαισίων

Κλείνοντας την ενότητα αυτή θα δούμε συνοπτικά την διάταξη των φ/β.

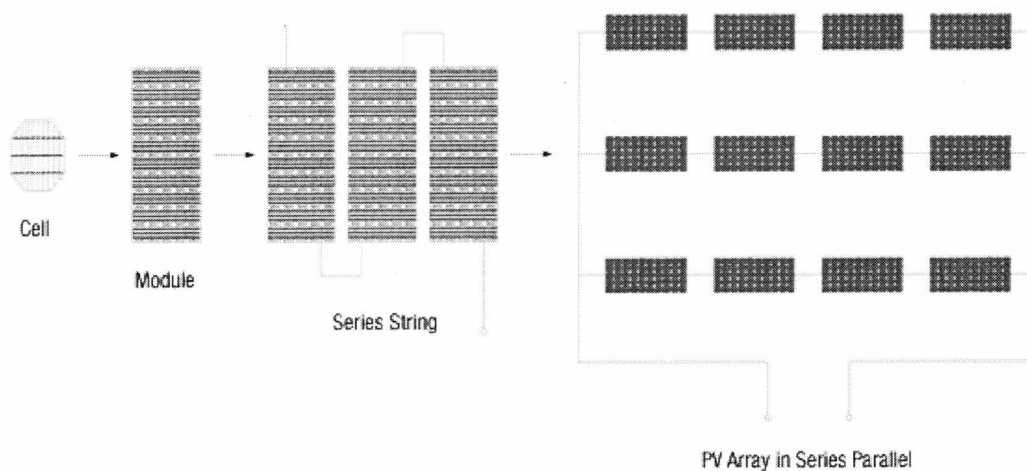
- 4 Κυψέλη
- 5 Πλαίσιο (πάνελ) → κυψέλες παράλληλα συνδεδεμένες
- 6 Συστοιχία → πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά
- 7 Πάρκο → μια ή περισσότερες συστοιχίες σε αγροτεμάχιο συνδεδεμένες στο δίκτυο



Εικόνα 3.9 Διάταξη φ/β πλαισίου. [6]



Εικόνα 3.10 : Διάταξη φ/β στοιχείων. [4]



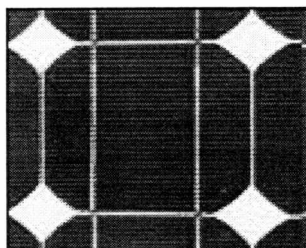
Εικόνα 3.11 : Διάταξη φ/β στοιχείων [4]

## 4 Τύποι φωτοβολταϊκών

### 4.1 Μεγάλου πάχους

#### ➤ Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

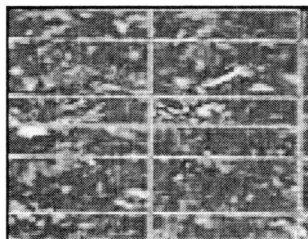
Το πάχος αυτών των φ/β στοιχείων κυμαίνεται στα 0,3 χιλιοστά και η απόδοσή τους από 15% έως 20%. Σε εργαστηριακές συνθήκες (ιδανικές) βέβαια η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι και το 23%. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν τον καλύτερο συνδυασμό απόδοση/επιφάνεια. Τέλος, η ονομασία τους οφείλεται στην κρυσταλλική δομή που απέκτησαν μετά την αντίστοιχη διαδικασία παραγωγής.



Εικόνα 4.1: Μορφή μονοκρυσταλλικού πυριτίου [8]

➤ **Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο**

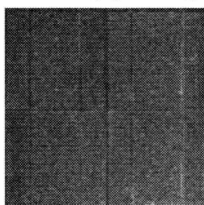
Ανάλογο είναι και το πάχος των Πολυκρυσταλλικών στοιχείων , 0.3 χιλιοστά με την απόδοσή τους να κυμαίνεται στο 13% με 15%. Σε εργαστηριακές συνθήκες η απόδοση φτάνει το 20%. Ο συνδυασμός της χαμηλής τιμής και της αρκετά υψηλής απόδοσης είναι το πλεονέκτημα που χαρακτηρίζει τον τύπο αυτό .



Εικόνα 4.2 : Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο[8]

➤ **Ταινία πυριτίου (Robbon Silicon)**

Αφορά μια σχετικά νέα τεχνολογία, με αισθητή μείωση στην χρήση πυριτίου (έως και 50%). Αυτός είναι και ο λόγος που ονομάστηκαν ταινίες (πυριτίου). Η απόδοση του φτάνει στο 12%-13% και σε εργαστηριακές συνθήκες έως και 18%.



Εικόνα 4.3 : Ταινία πυρίτιο [8]

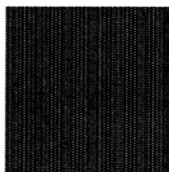
## 4.2 Λεπτής Στρώσης (thin film)

➤ **Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός**

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα

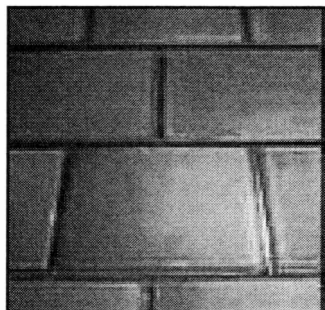
περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει εδώ είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



Εικόνα 4.4 : Δισεληνοινδιούχος Χαλκός. [8]

➤ **Άμορφου πυριτίου (Thin Film silicon-a -Si)**

Το πάχος του πυριτίου κυμαίνεται στα 0,0001 χιλιοστά. Αυτός ο τύπος φ/β στοιχείων μπορεί να μην έχει τόσο καλές αποδόσεις, συγκεκριμένα η απόδοσή του είναι στο 6% με 8% και σε εργαστηριακές συνθήκες επιτυγχάνεται μέχρι και 14%, αλλά είναι ο πιο αποδοτικός τύπος στην διάχυτη ακτινοβολία. Επίσης η χαμηλή του τιμή και το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ η απόδοση από τις υψηλές θερμοκρασίες είναι άλλα δυο πλεονεκτήματα που έχει. Φυσικά η ονομασία του προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο που είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.



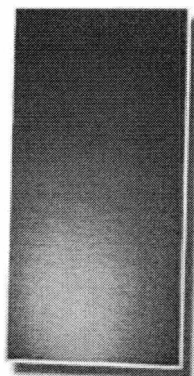
Εικόνα 4.5 : Άμορφου πυριτίου. [8]

➤ **Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)**

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα Φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για Φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης



του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

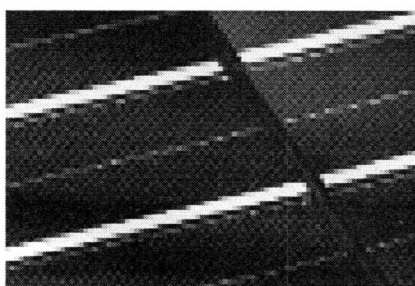


Εικόνα 4.6 : Τελλουριούχο Κάδμιο. [8]

➤ **Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)**

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

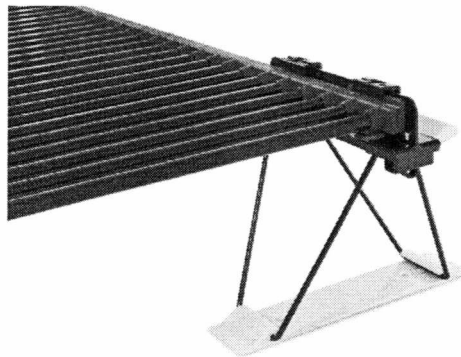
Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων ( solar concentrators ). Τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα να αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης τους, ενδείκνυνται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



Εικόνα 4.7: Αρσενικούχο Γάλλιο [8]

### ➤ **Solydra**

Είναι μια πρωτότυπη τεχνολογία στην αγορά των φ/β, το διαφορετικό στοιχείο με τα υπόλοιπα πάνελ είναι η κυλινδρική γεωμετρία τους και η δυνατότητα τους να απορροφούν την ηλιακή ενέργεια από κάθε κατεύθυνση (άμεση, έμμεση, και ανακλώμενο φως). Τα υλικά κατασκευής των πάνελ είναι χαλκός ίνδιο, γάλλιο και σεληνίο (CIGS) και ανήκουν στη κατηγορία thin - film . Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 7- 11 % .



Εικόνα 4.8 : solydra πάνελ [9]

## 4.3 Λοιπές κατηγορίες

### ➤ **Υβριδικά**

Τα υβριδικά φ/β στοιχεία όπως το ομολογεί και το όνομά τους είναι ο συνδυασμός κυρίως του μονοκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου . Στα πιο γνωστά υβριδικά φ/β χρησιμοποιούνται δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου επάνω , κάτω και ενδιάμεσα μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου .

Στο συνδυασμό αυτό οφείλονται οι πολύ υψηλές αποδόσεις (17% με 19% ), με ταυτόχρονη καλή απόδοση στις υψηλές θερμοκρασίες και στη διάχυτη ακτινοβολία . Όπως μπορούμε να φανταστούμε η τιμή του είναι ανάλογη των αποδόσεων του αρκετά υψηλή.

- **Νανοκρυσταλλικά φ/β στοιχεία πυριτίου (nc-Si)**
- **Οργανικά /Πολυμερή**

➤ CIS

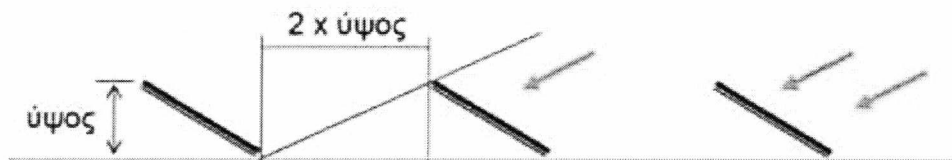
Η τεχνολογία CIS στα φ/β πήρε το όνομα της από τα στοιχεία που την συνθέτουν : Χαλκός (C) Ίνδιο (I) Σελίνιο (S). Είναι μια τεχνολογία που το τον τελευταίο καιρό καταλαμβάνει μερίδιο στην αγορά από τα *poli/mono* κρυσταλλικά πάνελ . Τα CIS πάνελ ανήκουν στην κατηγορία των Thin film . Ο λόγος για την αυξανόμενη ζήτησή τους είναι οι πολύ καλές αποδόσεις που έχουν σε καταστάσεις σκίασης, χαμηλής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών (χαμηλό θερμοκρασιακό συντελεστή τους (-0,31%)). Έχει την δυνατότητα να συνεχίζει την παραγωγή του ακόμα και όταν ένα μέρος του πλαισίου σκιάζεται, δηλαδή βγάζει εκτός μόνο τις κυψέλες που σκιάζονται. Ένα άλλο πλεονέκτημα όχι μόνο σε σύγκριση με τα πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου, αλλά και με την τεχνολογία Thin Films ( όπως το τελλουρικό κάδμιο) είναι η χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση. Η τεχνολογία CIS είναι απαλλαγμένη από μόλυβδο και κάδμιο χαρακτηρισμένες ως επικίνδυνες ουσίες. [10]

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα Μονοκρυσταλλικά, Πολυκρυσταλλικά και Άμορφου Πυριτίου φ/β είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα στο εμπόριο. Χρησιμοποιούντες για φ/β πάρκα , εγκαταστάσεις πάνω σε στέγες σπιτιών ακόμα και σε βιομηχανικά κτίρια αρκεί να πληρούν τις στατικές προδιαγραφές. Έχουν μετρηθεί οι αποδόσεις στο χρόνο, η γήρανση τους καθώς και η διάρκεια ζωής τους, πληροφορίες τις οποίες δεν έχουμε για τις πιο νέες τεχνολογίες κυψελών (αναφορές στις προηγούμενες παραγράφους).

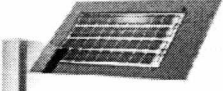
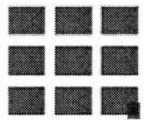
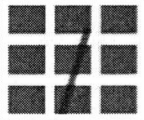
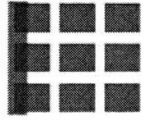
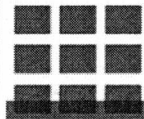
#### 4.4 Παράγοντες μείωσης απόδοσης φ/β

Για την εξέλιξη της τεχνολογία των φ/β πλαισίων και την βελτιστοποίηση των εγκαταστάσεων με αυτά απαραίτητη προϋπόθεση είναι να αναγνωρίσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση τους. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε μερικούς από αυτούς τους παράγοντες.

- **Σκίαση :** Η επίδραση της σκίασης στα φ/β συστήματα είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την απόδοσή τους και κατ'επέκταση της εγκατάστασης. Πιο αναλυτικά, υπάρχουν δύο αιτίες σκίασης. Η πρώτη είναι λόγω παροδικών καιρικών φαινομένων (σύννεφα, ομίχλη) και στην περίπτωση αυτή δεν μπορούμε να παρέμβουμε. Η δεύτερη αιτία είναι τα φυσικά εμπόδια (δέντρα, καμινάδες, κτίρια και η σκίαση μιας συστοιχίας από την άλλη ), τα οποία φυσικά μπορούμε να τα ελέγξουμε πριν την εγκατάσταση και να τα αποφύγουμε .



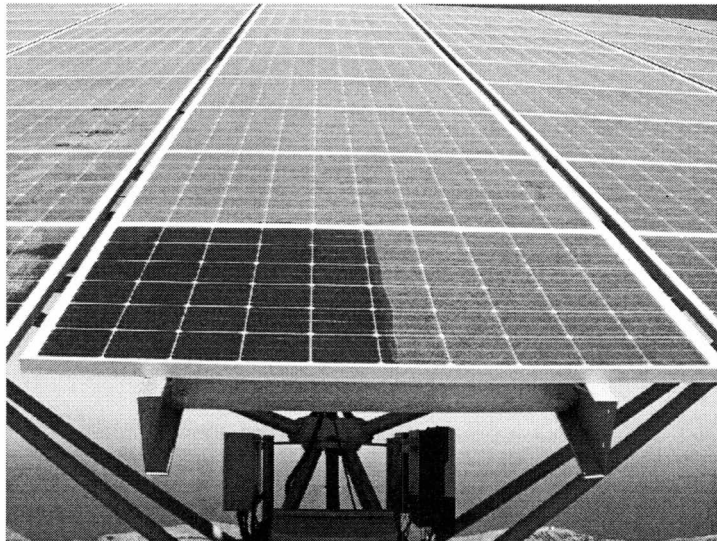
Εικόνα 4.9 Απαραίτητη απόσταση συστοιχιών για την αποφυγή σκιάσεων. [7]

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

Εικόνα 4.9 Απώλειες λόγω σκίασης. [4]

- **Αύξηση θερμοκρασίας :** Η θερμοκρασία είναι ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των πάνελ. Ο συντελεστής θερμότητας  $P_{max}$  στα τεχνικά φυλλάδια, μας δίνει το ποσοστό της πτώσης της απόδοσης για κάθε βαθμό που ανεβαίνει μετά τους NOCT (ονομαστική θερμοκρασία κυψέλης). Ανάλογα με τις θερμοκρασίες που επικρατούν στον τόπο της εγκατάστασης γίνεται και η επιλογή του πάνελ. Παρακάτω παραθέτουμε ένα πίνακα με διαφορετικούς συντελεστές των πάνελ.

- **Ρύπανση / Επικαθίσεις :** Η ρύπανση και οι επικαθίσεις (σκόνη από βροχές μικροσωματίδια σε περιοχές με έντονη ρύπανση, ακαθαρσίες πτηνών) είναι η αιτία πτώσης της απόδοσης που αντιμετωπίζεται ευκολότερα από τις υπόλοιπες αιτίες. Ειδικά στα πάρκα , χρειάζεται ένα απλό καθάρισμα με τα κατάλληλα καθαριστικά . Στις στέγες φυσικά αντιμετωπίζεται δυσκολότερα.



Εικόνα 4.10 Πάνελ μισό καθαρό μισό με επικαθίσεις [4]

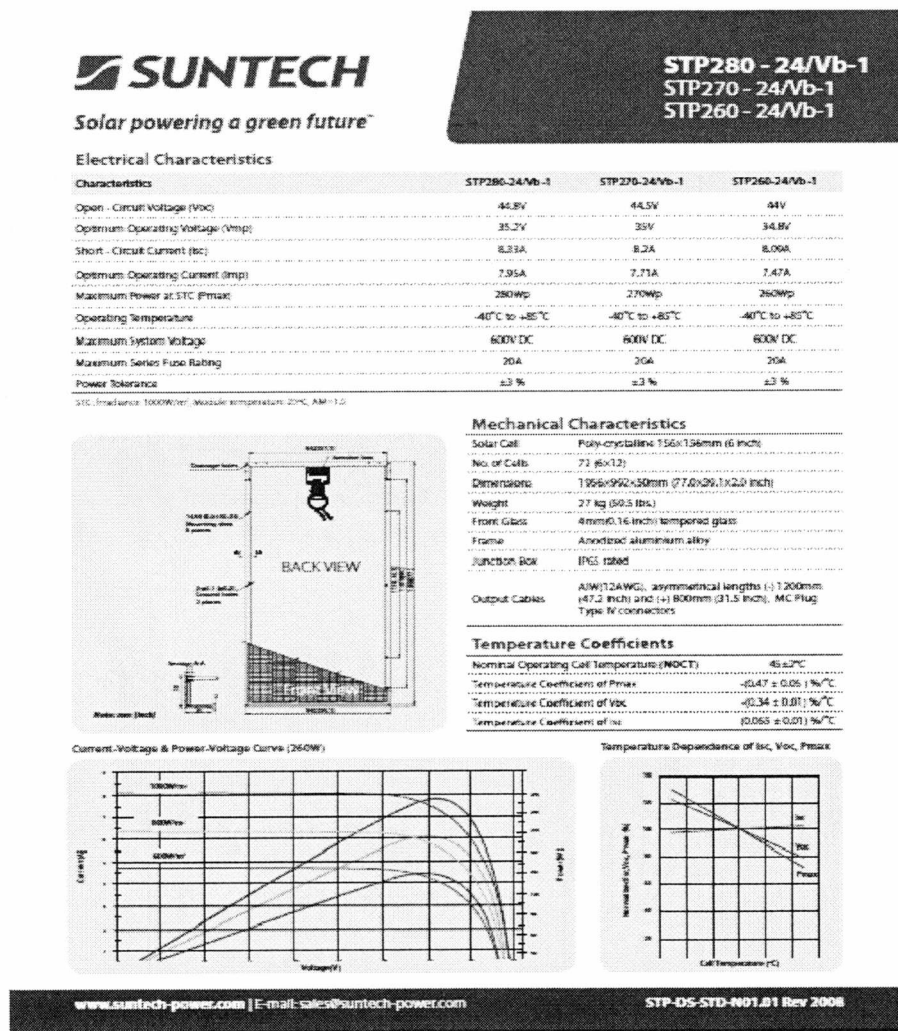
- **Γήρανση :** Η γήρανση των πλαισίων είναι κάτι το αναπόφευκτο και λογικό εξαιτίας της καθημερινής λειτουργίας τους μέσα στο πέρας των χρόνων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η έρευνα πάνω σε νέα υλικά είναι ο μονός τρόπος βελτίωσης της αιτίας αυτής .

## 5 Inverter (μετατροπέας) – PV (φ/β πλαίσια)

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε κάποια απαραίτητα, για την κατανόηση της εργασίας, ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά των πάνελ και inverter που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο Φωτοβολταϊκό Πάρκο που μελετήσαμε.

### 5.1 PV (φ/β πλαίσια)

Αρχικά παραθέτουμε το φύλλο δεδομένων (data sheet) των πάνελ που χρησιμοποιήσαμε, για να είναι πιο εύκολη η ανάλυση και να εξοικειωθούμε με τα χαρακτηριστικά που θα συναντάμε συνέχεια στο παρακάτω κεφάλαιο (υπολογισμοί). Να επισημάνουμε ότι η μορφή των φύλλων δεδομένων είναι ίδια για όλα τα πάνελ της αγοράς ανεξάρτητα ποιάς εταιρίας είναι.



Εικόνα 5.1 Data Sheet Suntech [11]

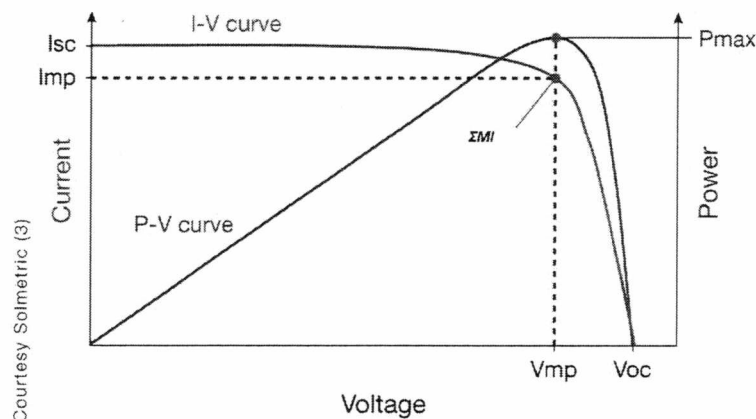
Open – Circuit Voltage ( <b>Voc</b> )	Τάση ανοιχτού κυκλώματος
Optimum Operating Voltage ( <b>Vmp</b> )	Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος ( <i>Vmp</i> )
Short – Circuit Current ( <b>Isc</b> )	Ρεύμα βραχυκυκλώσεως
Optimum Operating Current ( <b>Imp</b> )	Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος ( <i>Imp</i> )
Maximum Power at STC ( <b>Pmax</b> )	Μέγιστη ισχύς
Operating Temperature	Θερμοκρασία λειτουργίας
Maximum System Voltage	Μέγιστη τάση του συστήματος
Maximum Series Fuse Rating	Μέγιστη Ασφάλεια
Power Tolerance	Ανοχή

**Voc** → Τάση ανοιχτού κυκλώματος: λαμβάνεται όταν οι επαφές του πάνελ είναι αποσυνδεδεμένες.

**Isc** → Ρεύμα βραχυκυκλώσεως: λαμβάνεται όταν οι επαφές του πάνελ είναι συνδεδεμένες με αγωγό μηδενικής αντίστασης (οι επαφές έχουν βραχυκυκλώσει).

**ΣΜΙ**→ Σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) είναι το σημείο της χαρακτηριστικής στο οποίο το Φωτοβολταϊκό στοιχείο δουλεύει στη μέγιστη ισχύ. Γι' αυτό το σημείο ορίζονται το ρεύμα *Imp*, η τάση *Vmp* και η ισχύς *Pmax* .

**Pmax**→  $P_{max} = I_{mp} \times V_{mp}$



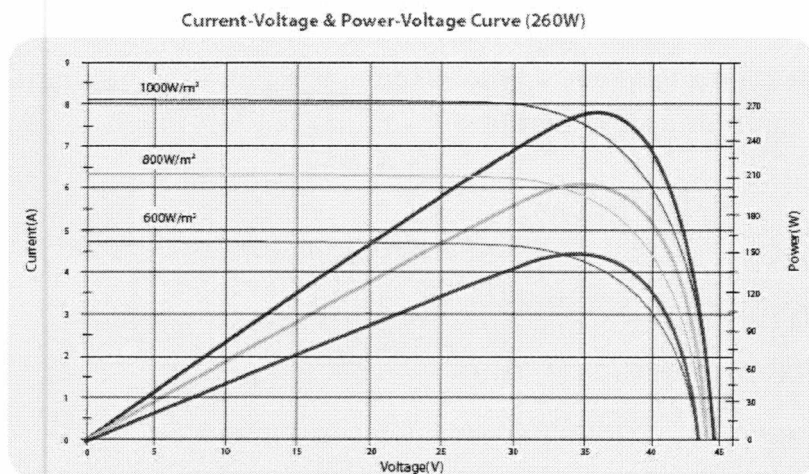
Εικόνα 5.2 Χαρακτηριστική I-V πλαισίων [3]

**Maximum System Voltage** → Μέγιστη τιμή τάσης αφορά την σύνδεση στο δίκτυο δηλαδή την μέγιστη τάση που πρέπει να έχει κάθε συστοιχία (string) . 1000V-600V

**Maximum Series Fuse Rating** → Είναι η τιμή της ασφάλειας που μπορεί να μπει στο κάθε στοιχείο / συστοιχία (υπενθύμιση: τα πάνελ είναι συνδεδεμένα στην σειρά άρα το κάθε ένα πάνελ διαρρέεται με το ίδιο ρεύμα, το οποίο ταυτίζεται με της συστοιχίας.)

Το διάγραμμα της ακτινοβολίας που βρίσκεται στο data sheet είναι απαραίτητο για τους υπολογισμούς μας και απαραίτητο για οποιαδήποτε εγκατάσταση. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι, όταν μεταβάλλεται η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας, έχουμε και μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V του στοιχείου (πάνελ).





**Εικόνα 5.3 Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους 25°C. [11]**

Τέλος θα αναφέρουμε μερικά ακόμα χαρακτηριστικά των πάνελ που βρίσκονται στο φύλλο.

#### 5.1.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Αριθμός κυψελών (κυψέλες /στοιχείο )
- Διαστάσεις mm (μήκος /πλάτος /πάχος)
- Βάρος kg
- Πρόσθια επικάλυψη ( υψηλής διαπερατότητας γυαλί)
- Οπίσθια επικάλυψη (λευκός πολυεστέρας )
- Πλαίσιο (αναδιωμένο αλουμίνιο)
- Κουτί σύνδεσης
- Καλώδια (αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους)

#### 5.1.3 ΘΕΡΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- NOCT (ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης)
- Συντελεστής θερμότητας  $I_{sc}$
- Συντελεστής θερμότητας  $V_{oc}$
- Συντελεστής θερμότητας  $P_{max}$

\*Οι παραπάνω συντελεστές μας δίνουν το ποσοστό επί της εκατό πτώσης της ισχύς / τάσης / ρεύματος για κάθε βαθμό κελσίου πάνω από την ονομαστική θερμοκρασία που έχει ορίσει ο κατασκευαστής .

\* **NOCT**: Nominal Operating Cell Temperature = Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης

Ακτινοβολία: 800W/m<sup>2</sup>

Ταχύτητα ανέμου = 1m/s

Φασματική κατανομή = AM 1.5 (air mass 1.5)

\* **STC**: Standard Test Conditions =

Ακτινοβολία: 1000W/m<sup>2</sup>

Θερμοκρασία των κυψελών = 25°C

Φασματική κατανομή = AM 1.5 (air mass 1.5)

## 5.2 Inverter

Ο inverter (αντιστροφέας ή μετατροπέας στα ελληνικά) είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα Φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο αντίστοιχο με αυτό του δικτύου. Οι αντιστροφείς μπορεί να είναι μικροί (string inverters) ή κεντρικοί, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος.

Στην τεχνολογία στοιχειοσειρών (string), η φωτοβολταϊκή γεννήτρια χωρίζεται σε επιμέρους επιφάνειες μονάδας και σε κάθε μία από τις επιμέρους "στοιχειοσειρές" αντιστοιχίζεται ένας ξεχωριστός μετατροπέας. Χάρη σε αυτή την τεχνολογία μειώνονται τα έξοδα του συστήματος, η εγκατάσταση απλοποιείται σημαντικά και αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση καθώς και η διαθεσιμότητα της εγκατάστασης.

Οι κεντρικοί μετατροπείς ενδείκνυνται ιδιαίτερα για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με ομοιογενή δομή (πλαίσια του ίδιου τύπου με ταυτόσημο προσανατολισμό και κλίση). Χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις άνω των 100 kWp και έχουν σχεδιαστεί για εξωτερική χρήση.

Στην περίπτωση μας έχουμε μικρούς μονοφασικούς inverter της SMA, συγκεκριμένα έχουμε τον Sunny mini 11000TL τον οποίο θα αναλύσουμε παρακάτω.

## SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL με Reactive Power Control



REACTIVE POWER CONTROL

### Ευελιξία

- Τροφοδοσία έργων ισχύος

### Υψηλή απόδοση

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 97,7 %
- Χωρίς μετασχηματιστή με τοπολογία H5
- Ευμεγής διαχείριση θερμοκρασίας OptiCool

### Αξιοπιστία

- SMA Power Balancer για τριφασική σύνδεση δικτύου
- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός διακόπτης απόλυτης φορτίου DC ESS
- Επιπρόσθετες ασφάλειες σταγισκαπρίν

### Ευκολία

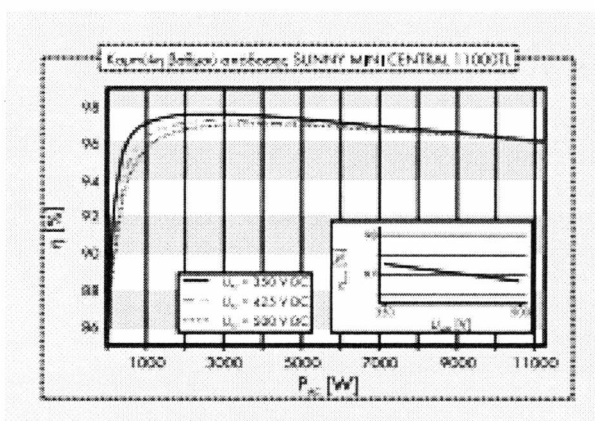
- Εύκολο σύστημα σύνδεσης DC SUNCLIX

## SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL με Reactive Power Control

Βέλτιστη ενσωμάτωση δικτύου με τροφοδοσία έργων ισχύος

Με στόχο τη δημιουργία ασφαλών δικτύων για το μέλλον. Οι συσκευές Sunny Mini Central 9000TL / 10000TL / 11000TL με Reactive Power Control αποτελούν την ιδανική λύση όταν απαιτείται παροχή έργων ισχύος στο σημείο τροφοδοσίας από τον πόρο του δικτύου ηλεκτρισμού. Με τους συγκεκριμένους μετατροπείς υλοποιούνται επίσης σχεδιασμοί εγκαταστάσεων, στους οποίους προκηθορίζεται ο συντελεστής μετασχηματισμού  $\cos \phi$ , καθώς και η αναλογία της έργων ισχύος. Με αυτό τον τρόπο, οι μεγάλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, κυρίως κλίμακας Μεγαςωπ, μπορούν να χρησιμοποιήσουν βέλτητα τη διαθέσιμη ισχύ του δικτύου διανομής. Και ταυτόχρονα μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην επιτυχία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny Mini Central 9000TL	Sunny Mini Central 10000TL	Sunny Mini Central 11000TL
Είσοδος (DC)			
Μέγιστη ισχύς DC (at cos φ= 1)	9300 W	10350 W	11400 W
Μέγιστη τάση DC	700 V	700 V	700 V
Είσοδος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	333 V - 500 V	333 V - 500 V	333 V - 500 V
Ονομαστική τάση DC	350 V	350 V	350 V
Ελάχιστη τάση DC / Τάση εκκίνησης	333 V / 800 V	333 V / 800 V	333 V / 800 V
Μέγιστο ρεύμα καόδου / ανά στοιχείο σειράς	28 A / 28 A	31 A / 31 A	34 A / 34 A
Αριθμός στοιχείων MPP / Στοιχεία σειράς ανά στοιχείο MPP	1 / 5	1 / 5	1 / 5
Εξόδος (AC)			
Ονομαστική ισχύς AC (at 230 V, 50 Hz)	9000 W	10000 W	11000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	9000 VA	10000 VA	11000 VA
Ονομαστική τάση, περιοχή τάσεων AC	220, 230, 240 V, 180 V - 260 V	220, 230, 240 V, 180 V - 260 V	220, 230, 240 V, 180 V - 260 V
Συχνότητα δικτύου, εύρος AC	50, 60 Hz, -6 Hz, +5 Hz		
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	40 A	44 A	48 A
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	0,8 υπερδιέγερση - 0,8 υποδιέγερση		
Φάσεις τροφοδοσίας / Ώδωσης σύνδεσης / Power Balancing	1 / 1 / *	1 / 1 / *	1 / 1 / *
Βαθμός απόδοσης			
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Euro-Eta (EBA)	97,7 % / 97,3 %	97,7 % / 97,2 %	97,7 % / 97,2 %
Διατάξεις προστασίας			
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC / προστασία από αντιστροφή τάσης	• / 0 (Ασφάλεια)	• / 0 (Ασφάλεια)	• / 0 (Ασφάλεια)
Αποξήλωση φορτίου DC ESS	•	•	•
Ανταγή σε βραχυκύκλωμα AC	•	•	•
Επιτήρηση βραχυκύκλωματος προς τη γη	•	•	•
Επιτήρηση δικτύου (SMA grid guard)	•	•	•
Γαλβανική απομόνωση / μονάδα επιτήρησης ρεύματος απόδοσης, ικανότητα σε όλα τα ρεύματα	- / *	- / *	- / *
Δυνατότητα ενσωμάτωσης στοιχείου υπέρτασης DC τύπου II	-	-	-
Ενσωματωμένος βολφρένιο στοιχείο	-	-	-
Κατηγορία προστασίας / Κατηγορία υπέρτασης	1 / III	1 / III	1 / III
Γενικά χαρακτηριστικά			
Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Βάρος	35 kg	35 kg	35 kg
Εύρος πλάι θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Εισαγωγή θορύβου, τυπική	≤ 42 dB(A)	≤ 45 dB(A)	≤ 46 dB(A)
Ισχύς απομόνωσης (Watt)	0,25 W	0,25 W	0,25 W
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή	Χωρίς μετασχηματιστή	Χωρίς μετασχηματιστή
Τύπος ψύξης	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Εύρος προστασίας ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας / Πιθανή απόδοση (ανά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP65	IP65 / IP65	IP65 / IP65
Κατηγορία κλάματος (κατά το πρότυπο IEC 60731-3-4)	ΔΚΔΗ	ΔΚΔΗ	ΔΚΔΗ
Εξοπλισμός			
Σύνδεση DC: SUNCLIX	•	•	•
Σύνδεση AC: Καγκιλιός συνδέσματος / Ελαστικός συνδέσμος	• / -	• / -	• / -
Οθόνη LCD / γραφικών	• / -	• / -	• / -
Διαστάσεις: Ε5485 / Δικτυοαπφ*	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Διάρκεια: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 χρόνια	• / 0 / 0 / 0 / 0	• / 0 / 0 / 0 / 0	• / 0 / 0 / 0 / 0
Πιστοποιητικό και εγκρίσεις (παραστάσεις κατόπιν αιτήματος)	CE, VDE 0136-1-1, EN 50438*, C10/C11		
* Δεν ισχύει για όλα τα εθνικά προσαρτήματα που προκύπτουν EN 50438			
• Βασικός εξοπλισμός • Προαιρετικά - Δεν διατίθεται			
Στοιχεία για αναρτισμένους συνδέσμους			
Λειτουργίες	SVC 9000TLRP-10	SVC 10000TLRP-10	SVC 11000TLRP-10



## Εξαρτήματα



Διασύνδεση Ε5485 ΔΕΣΗΑΔ



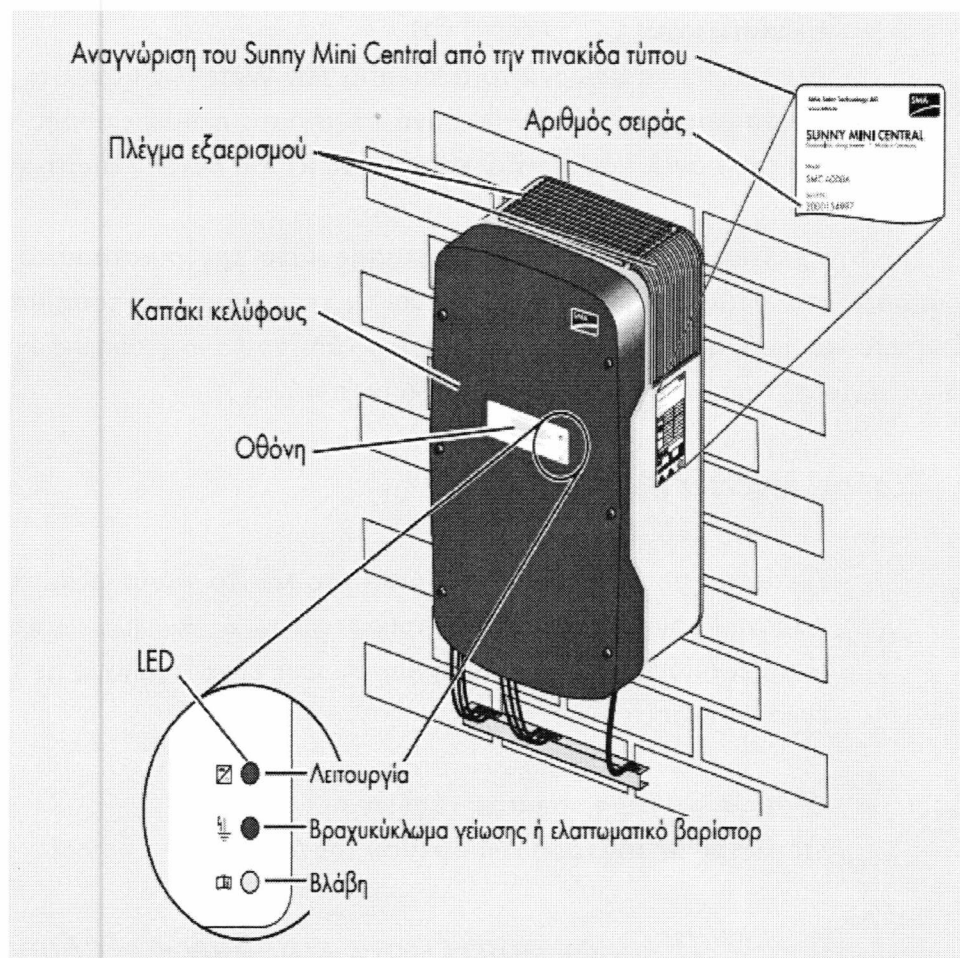
Μονάδα Προστασίας ΔΕΣΗΑΔ



SMA Power Balancing  
Καλώδιο Υ Ρ65-ΥCAB65-10

Εικόνα 5.4 Data Sheet [12]





Εικόνα 5.5 Εξωτερικά ο inverter / επεξήγηση φετινών ενδείξεων [12]

### Είσοδος inverter (DC) :

#### ➤ Μέγιστο ρεύμα εισόδου / ανά στοιχειοσειρά .

Δεν πρέπει να ξεπερνά το μέγιστο ρεύμα ανά στοιχειοσειρά που δίνεται από τα χαρακτηριστικά του πάνελ, σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί ο inverter

#### ➤ Μέγιστη τάση DC .

Δεν πρέπει να ξεπερνά τη μέγιστη τάση ανά στοιχειοσειρά που δίνεται από τα χαρακτηριστικά του πάνελ, σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί ο inverter

➤ **Μέγιστη ισχύς DC (@  $\cos \phi = 1$ ) .**

Δεν πρέπει να ξεπερνά το άθροισμα των Watt των πάνελ της συστοιχίας και ταυτόχρονα να μην ξεπερνά το μέγιστο ρεύμα εισόδου του inverter και του πάνελ / συστοιχία και της τάσης του πάνελ / συστοιχία .

Για την βελτιστοποίηση της εγκατάστασης κατά την διαστασιολόγηση πάντα κινούμαστε στα όρια του inverter χωρίς να τα ξεπερνάμε και τους υπολογισμούς παίρνουμε το ρεύμα βραχυκυκλώσεως και την τάση του ανοιχτού κυκλώματος ( γιατί είναι οι μέγιστες τιμές που μπορούν να πάρουν τα πάνελ )

**Έξοδος inverter (AC) :**

➤ **Μέγιστο ρεύμα εξόδου.**

Σχετίζεται με το ρεύμα στο δίκτυο της ΔΕΗ το οποίο εξαρτάται από την παροχή ( μονοφασικό ρεύμα , τριφασικό 1ης 2ης 3ης 4ης .... Τάξης) που έχει ζητηθεί από τον εγκαταστάτη και φυσικά είναι ανάλογο με την ισχύ της εγκατάστασης.

➤ **Ονομαστική τάση, περιοχή τάσεων AC**

Σχετίζεται με την τάση του δικτύου της ΔΕΗ

**Πίνακας συσχέτισης εισόδων – εξόδων**

<b>Είσοδος inverter (DC)</b>		<b>Έξοδος πάνελ</b>	
Μέγιστο ρεύμα εισόδου / ανά στοιχειοσειρά	34 A	20 A	Maximum Series Fuse Rating
Μέγιστη τάση DC	700 V	600V	Maximum System Voltage DC
Μέγιστη ισχύς DC (@ $\cos \phi = 1$ )	11400 W		

<b>Έξοδος inverter (AC)</b>		<b>Είσοδος δικτύου ΔΕΗ</b>	
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	48 <sup>A</sup>	Ανάλογα με την παροχή	Μέγιστο ρεύμα εισόδου ΔΕΗ

Με την πάροδο των χρόνων ο άνθρωπος με τις αυξημένες δραστηριότητές του προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στο περιβάλλον. Η αλόγιστη χρήση πετρελαίου και ορυκτών πόρων συντέλεσαν στην υποβάθμιση των πλουτοπαραγωγικών πηγών ενέργειας και στην ταυτόχρονη εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της τρύπας του όζοντος. Ωστόσο την τελευταία δεκαετία η ανθρωπότητα αντιλήφθηκε τις επιπτώσεων όλων αυτών στην υγεία με αποτέλεσμα να στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή 'ενέργειας'. Δημιούργησε πλήθος διατάξεων για την συλλογή και εκμετάλλευση αυτών. Παράδειγμα αποτελούν τα φ/β πάρκα και τα πάρκα με ανεμογεννήτριες.

Όπως προαναφέρθηκε μια μορφή ΑΠΕ είναι η ηλιακή ενέργεια, η οποία αποτελεί βάση για την δημιουργία ενός φ/β πάρκο. Με τον όρο φ/β πάρκο αναφερόμαστε σε ένα σύνολο φ/β πλασίων τοποθετημένα σε αγροτεμάχιο.

Η τοποθέτηση και η σύνδεση γίνεται βάση οικονομοτεχνικής μελέτης, τους παράγοντες της οποίας θα αναλύσουμε παρακάτω. Ορίζουμε αφενός αν το αγροτεμάχιο είναι κατάλληλο για την χρήση αυτή και αφετέρου την διάταξη με την οποία θα τοποθετηθούν και θα συνδεθούν τα φ/β πλαίσια, αρχικά μεταξύ τους στην συνέχεια στους inverter και τέλος στον δίκτυο της ΔΕΗ.

#### 6.1 Πλεονεκτήματα των φ/β πάρκων

##### Μερικά από τα πλεονεκτήματα των φ/β πάρκων είναι

- ✓ Μηδενική ρύπανση
- ✓ Αθόρυβη λειτουργία
- ✓ Ασφαλή λειτουργία εγκατάστασης
- ✓ Μηδενικό κόστος α' ύλης (ηλιακή ακτινοβολία-ενέργειας)
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής εγκατάστασης
- ✓ Ελάχιστη συντήρηση
- ✓ Δεν απασχολείται μόνιμο προσωπικό
- ✓ Δυνατότητα επέκτασης κάτω από κάποιες προϋποθέσεις
- ✓ Δυνατότητα παρακολούθησης εγκατάστασης από οποιοδήποτε υπολογιστή
- ✓ Με τα ελληνικά δεδομένα (υψηλά εγγυημένη τιμή) γίνεται σχετικά γρήγορη απόσβεση της επένδυσης.

## 6.2 Σύντομη αναφορά οικονομικών στοιχείων

### 6.2.1 ΞΕΟΔΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Παρακάτω θα αναλύσουμε, όχι λεπτομερώς, τα βασικά οικονομικά στοιχεία ενός φ/β πάρκου .

Για αν γίνει μια επένδυση όπως είναι το φ/β πάρκο χρειάζεται ένα μεγάλο κεφάλαιο, το οποίο είτε θα είναι με μερικό δανεισμό και κάποια ίδια κεφάλαια είτε εξ ολοκλήρου από ίδια κεφάλαια . Το κόστος για το οποίο μιλάμε ανέρχεται περίπου στα 2€ – 2.5 € /W . Δηλαδή ένα πάρκο 100kW κοστίζει περίπου 200.000€ – 250.000€. Στην τιμή συμπεριλαμβάνονται :

1. Βάσεις σταθερές (με trackers ανεβαίνει το κόστος περίπου στο 20 %)
2. Πάνελ
3. Inverter
4. Καλωδιώσεις /αντικεραυνικά , όλα τα απαραίτητα ηλεκτρολογικά στοιχεία
5. Περίφραξη
6. Μελέτη και εγκατάσταση (πάνελ-βάσεις-inverter-ηλεκτρολογικά )

Να επισημάνουμε ότι οι τιμές των υλικών και γενικά όλη η αγορά των φ/β μπορεί να αλλάξει από μέρα σε μέρα .

Υπάρχουν φυσικά και κάποια άλλα μηνιαία έξοδα τα οποία είναι :

1. Κόστος συντήρησης (τακτικός έλεγχος ή επιδιορθώσεις έκτακτων βλαβών )
2. Καθαρισμός πλαισίων και χωραφιού (ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα οποία προσδιορίζονται ανάλογα με την περιοχή ).
3. Κόστος ασφάλισης
4. Λογιστικά (το κάθε πάρκο συνιστά από μόνο του ξεχωριστή εταιρία)
5. Πιθανή φύλαξη πάρκου κόστος μόνιμου προσωπικού ή κόστος εταιρίας φύλαξης (σε μεγάλους σταθμούς)



## 6.2.2 ΈΣΟΔΑ – ΤΙΜΗ ΚWh

Παρακάτω βρίσκεται ένας πίνακας με της εγγυημένες τιμές (έσοδα πάρκου)

Χρόνος υπογραφής σύμβασης	Μήνας	Feed-in-tariffs (eurocents/kWh)				
		Οικιακές & εμπορικές στέγες ≤10 kWp	≤500 kWp	>500 kWp & <10 MWp	Μη διασυνδεδεμένα νησιά	≥ 10 MWp
2009	Φεβρουάριος	55,000	45,000	40,000	45,000	40,000
	Αύγουστος					
2010	Φεβρουάριος		44,105	39,204	44,105	39,204
	Αύγουστος					
2011	Φεβρουάριος		41,943	37,283	41,943	37,283
	Αύγουστος					
2012	Φεβρουάριος	49,638	33,623	29,838	35,356	20,886
	Αύγουστος	46,734	31,655	28,138	33,623	19,664
2013	Φεβρουάριος	44,669	30,256	26,894	31,655	18,795
	Αύγουστος	42,055	29,359	26,097	30,256	17,696
2014	Φεβρουάριος	40,197	28,061	24,943	29,359	16,913
	Αύγουστος	37,845	27,229	24,204	28,061	15,924
2015	Φεβρουάριος	36,172	26,025	23,134	27,229	15,220
	Αύγουστος	34,056	25,254	22,448	26,025	14,330
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά  μΟΤΣ <sub>v-1</sub> = Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος v-1		Μείωση ανά εξάμηνο όπως και την περίοδο 2012-2015	1,4*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,3*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,4*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,2*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>

Εικόνα 6.1 Πρώτος(χρονολογικά ) πίνακας εγγυημένων τιμών ανά εξάμηνο [4]

Μήνας/Έτος	Διασυνδεδεμένο		Μη Διασυνδεδεμένο
	≤100kW	>100kW	Ανεξαρτήτως Ισχύος
Φεβρουάριος 2013	0,120 €	0,950 €	0,100 €
Αυγουστος 2013	0,120 €	0,950 €	0,100 €
Φεβρουάριος 2014	0,115 €	0,900 €	0,950 €
Αυγουστος 2014	0,115 €	0,900 €	0,950 €
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,1xμΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,2xμΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,1xμΟΤΣ <sub>v-2</sub>

Εικόνα 6.2 Δεύτερος πίνακας εγγυημένων τιμών (αναδιαρθρωμένος) [4]

### 6.3 Διαστασιολόγηση – χωροθέτηση πάρκου

Από τα πρώτα στάδια της μελέτης ενός φ/β σταθμού είναι η διαστασιολόγηση του. Κατά το στάδιο αυτό αποφασίζεται η μέγιστη ισχύς του πάρκου καθώς και η ακριβής τοποθέτηση των πάνελ, των inverter και του σταθμού παρακολούθησης. Πιο αναλυτικά, αφού μελετηθεί το τοπογραφικό του αγροτεμαχίου και γίνει μια αυτοψία από τον εγκαταστάτη αποφασίζεται η χωροθέτηση – διαστασιολόγηση, δηλαδή πόσα panel θα μπουν σε κάθε συστοιχία (string) και πόσες συστοιχίες σε κάθε inverter. Αν πάλι υπάρχει κινούμενο σύστημα στήριξης (trackers) ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του (θα δούμε παρακάτω) μπαίνει και ο αντίστοιχος αριθμός από πάνελ. Βασική προϋπόθεση είναι κάθε συστοιχία ή tracker να μην σκιάζει το άλλο καθώς ο ήλιος αλλάζει γωνία στην διάρκεια της μέρας.

Πιο αναλυτικά,

- ♦ αφού αποφασιστεί η μέγιστη ισχύς του πάρκου περνάμε
- ♦ στην επιλογή των πάνελ. Επιλέγουμε την εταιρία παραγωγής, την ισχύ που θα έχουν τα πάνελ και κατ' επέκταση τον αριθμό των πανέλων που θα χρειαστούν.
- ♦ Ανάλογο με των αριθμό και την ισχύ των πλαισίων γίνεται και η διαστασιολόγηση στους inverter. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι όλες οι εταιρίες έχουν μια μεγάλη γκάμα από inverter, για το λόγο αυτό διαθέτουν η κάθε μια το δικό της λογισμικό με την βοήθεια του οποίων βρίσκουμε την βέλτιστη λύση(τεμάχια, τύπος).
- ♦ Από το λογισμικό που προαναφέραμε βρίσκουμε των αριθμό των πάνελ ανά συστοιχία και των αριθμό των συστοιχιών ανά inverter
- ♦ Στην συνέχεια κάνουμε την επιλογή των βάσεων. Αν θα είναι σταθερές ή κινούμενες.

Εδώ είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα παραπάνω βήματα έχουν γραφτεί με μια λογική σειρά, φυσικά είναι απαραίτητο, μέχρι να πάρουμε την βέλτιστη λύση, να κάνουμε κάποια βήματα μπρος πίσω.

## 6.4 Εργασίες εγκατάστασης

### 6.4.1 ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ -ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Το πρώτο βήμα που απαιτείται για την υλοποίηση του πάρκου είναι η εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών στο αγροτεμάχιο. Αρχικά είναι απαραίτητο για την εγκατάσταση των βάσεων να ελέγξουμε (και αν είναι απαραίτητο να αλλάξουμε) την κλίση του εδάφους, που πρέπει να είναι από ανατολικά και δυτικά μηδενική, παράγοντας που θα επηρεάσει κατ' επέκταση και την κλίση των πάνελ. Υπάρχουν φυσικά περιπτώσεις όπως σε πολύ ορεινές περιοχές όπου η κλίση αλλάζει κατά μήκος τις συστοιχίας.

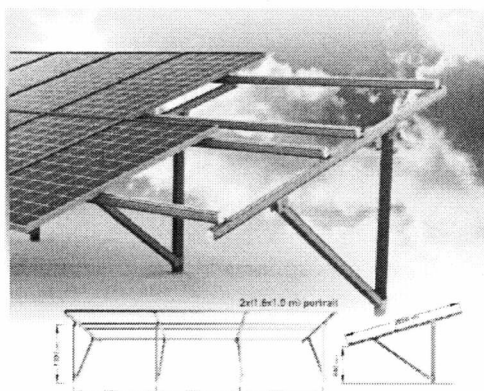
Ανάλογα με το σύστημα που έχουμε επιλέξει, πραγματοποιούνται εργασίες απαραίτητες για την στήριξη των βάσεων όπως πασσαλόπηξη, δημιουργία τσιμεντένιων βάσεων ή ένα απλό καθάρισμα στην περιοχή.

Παρακάτω θα δούμε τα δυο διαφορετικά είδη βάσεων στήριξης.

## 6.5 Σταθερές βάσεις στήριξης

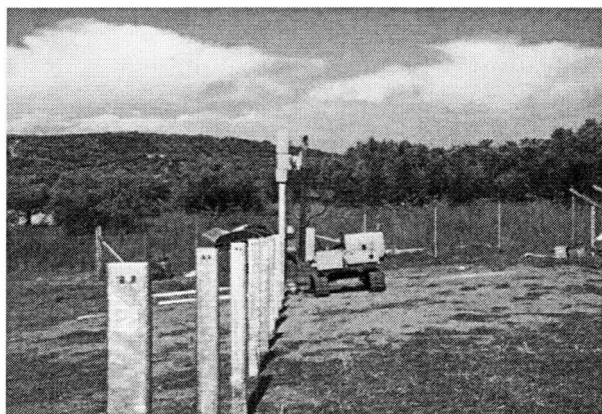
Οι σταθερές βάσεις είναι αυτές που έχουν σταθερή γωνία κλίσης ( $\beta$ ), φυσικά υπάρχουν κάποιες πολύ μικρές παραλλαγές ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του πάρκου.

### 6.5.1 ΣΤΑΘΕΡΟ ΜΟΝΟΠΑΣΑΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ



Εικόνα 6.3 Σταθερό μονοπάσαλο σύστημα στήριξης Aumil [13]

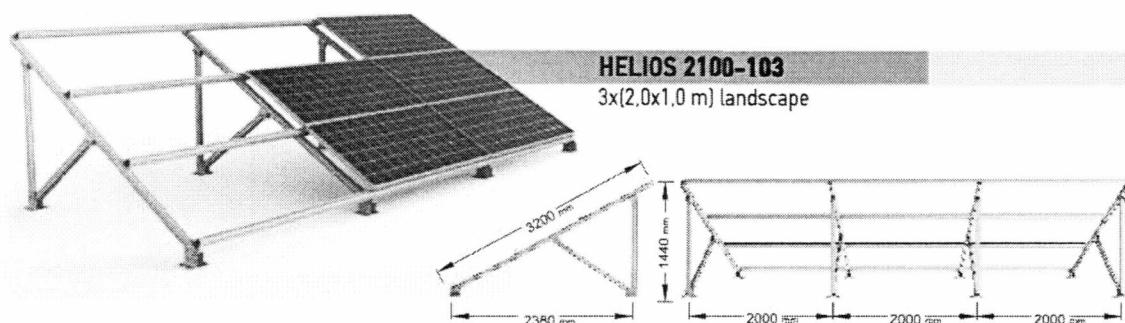
Το μονοπάσσαλο σύστημα στύριξης είναι και το πιο εβρέως διαδεδομένο. Έχει το ελάχιστο απαιτούμενο ποσοστό αλουμινίου και μικρό χρόνο συναρμολόγησης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την τοποθέτηση του είναι η πασσαλόπηξη .

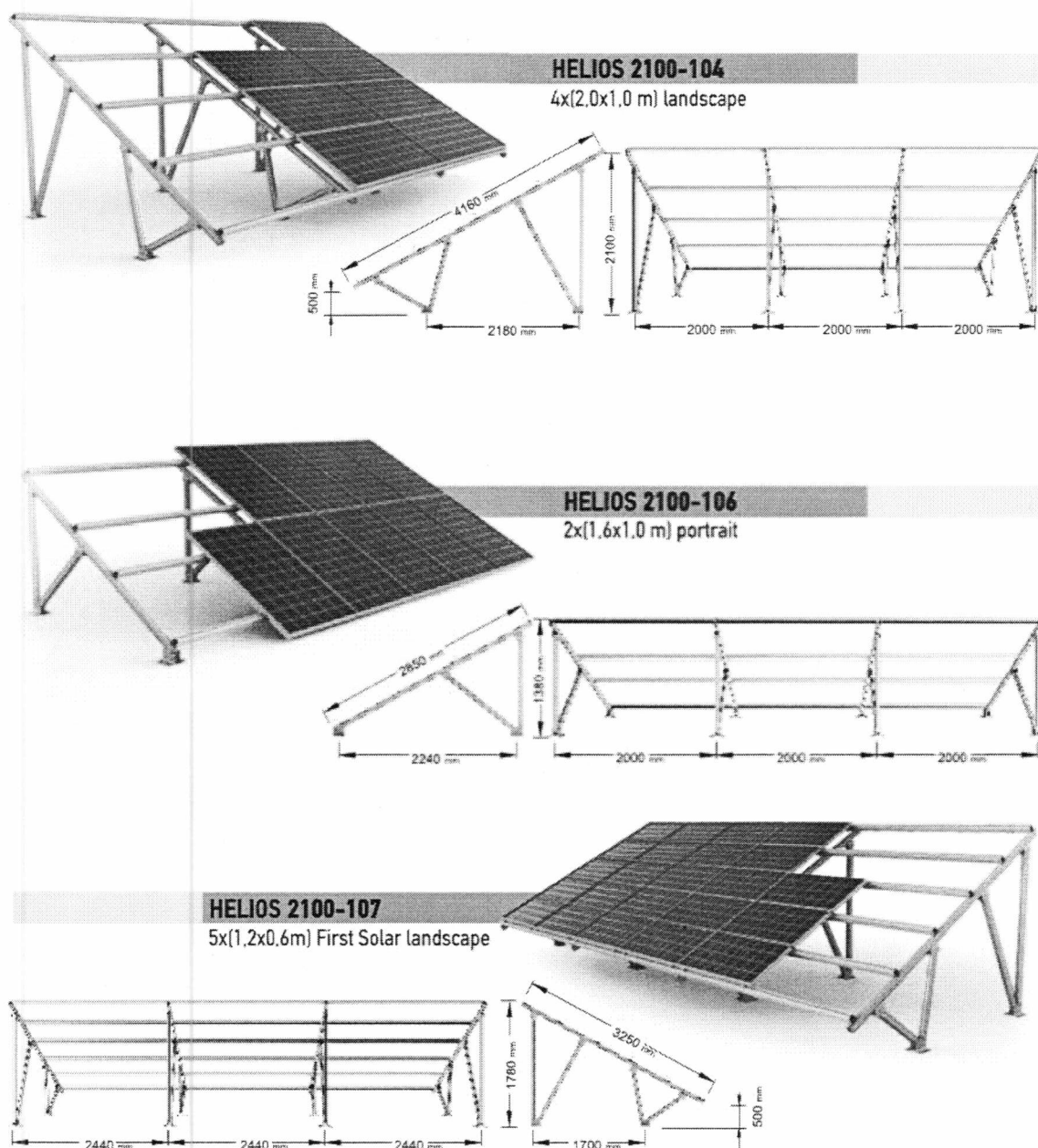


Εικόνα 6.4 Πασσαλόπηξη

#### 6.5.2 ΤΥΠΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι βάσεων , η επιλογή των οποίων εξαρτάται από τις διαστάσεις των πάνελ και την χωροθέτηση που έχει επιλέξει να κάνει ο εγκαταστάτης.



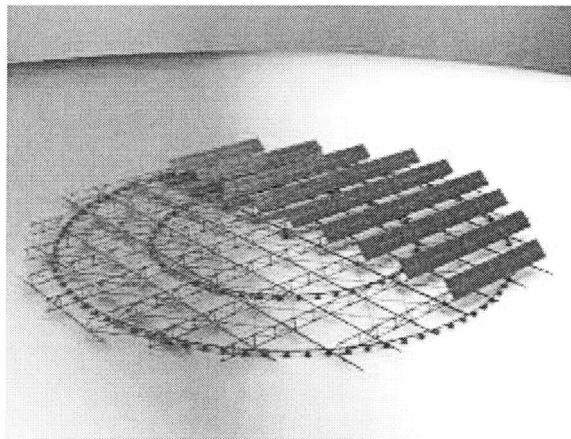


Εικόνα 6.5 Πακτώσεις, πάνω σε τσιμεντένιες βάσεις [13]

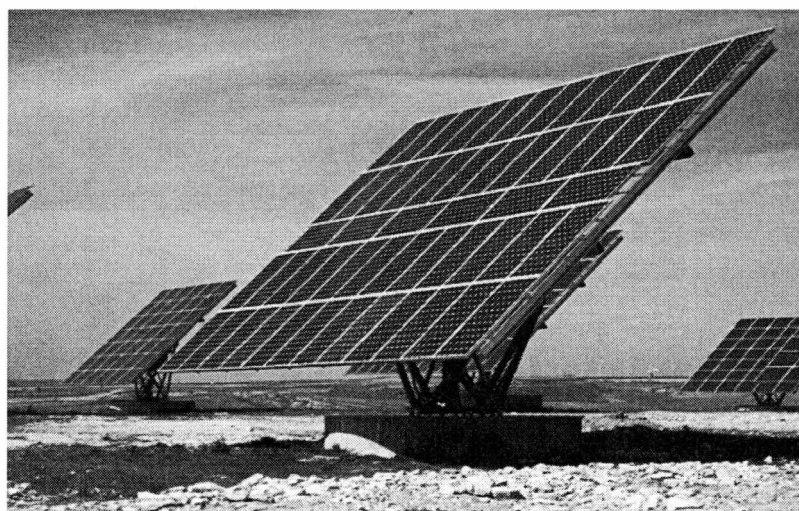
#### 6.6 Κινούμενες βάσεις (τράκερ)

Κινούμενες βάσεις ονομάζουμε τις βάσεις που ακολουθούν την πορεία του ηλίου είτε σε ένα είτε σε δύο άξονες. Το πλεονέκτημα αυτών των βάσεων είναι ότι αυξάνει την απόδοση που πάρκου κατά 20% (σύμφωνα με τα δεδομένα της εκάστοτε κατασκευάστρια εταιρίας) σε σχέση με τις σταθερές. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι, ότι καθιστούν το σύστημα στήριξη πολύπλοκο με αποτέλεσμα να χάνουν από την αξιοπιστία τους και αυξάνουν το κόστος συντήρησης και τον χρόνο επιδιόρθωσης. Να αναφέρουμε ότι σε περιπτώσεις έντονων καιρικών φαινομένων και

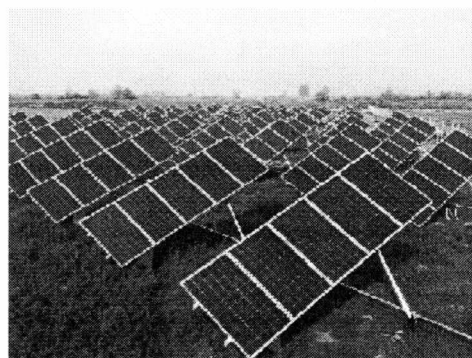
για την προστασία τους μπαίνουν σε κατάσταση ασφαλείας (έρχονται σε γωνία  $0^\circ$  )  
Παρακάτω θα δούμε μερικά παραδείγματα .



Εικόνα 6.6 Μπαλαρίνα (μονό αξονικό σύστημα ) [4]



Εικόνα 6.7 Σύστημα δύο αξόνων [4]



Εικόνα 6.8 Σύστημα δύο αξόνων [13]



### 7.1 Πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ετυμολογία της λέξης πυρανόμετρο προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις πυρ (φωτιά), άνω (ψηλά) και μέτρο. Συγκεκριμένα το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Επίσης, χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της ανακλώμενης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας όταν τοποθετείται απέναντι στη θάλασσα.

#### 7.1.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Ο αισθητήρας του πυρανόμετρου είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι καλυμμένη από ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόκριση του οργάνου είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η πλευρά του αισθητήρα που είναι επιχρισμένη καλύπτεται από δύο ομόκεντρες διαφανείς ημισφαιρικές επιφάνειες, οι οποίες θα πρέπει να καθορίζονται συχνά.

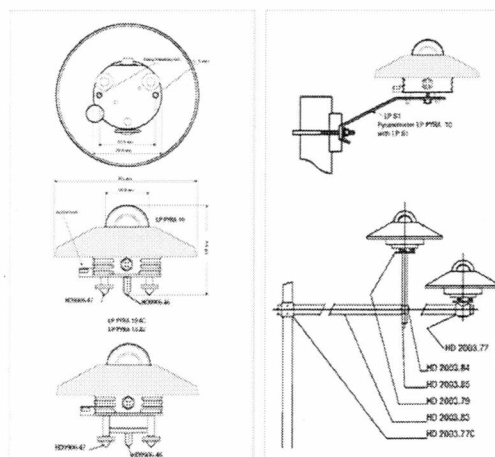
#### 7.1.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Πρέπει να τοποθετείται οριζόντια χωρίς ταλαντώσεις, να αποφεύγονται οι σκιάσεις από άλλα αντικείμενα και να μη γίνονται παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Τοποθετείται κοντά σε ηλιακούς συλλέκτες με την επιφάνεια του αισθητήρα στο επίπεδο του πίνακα.

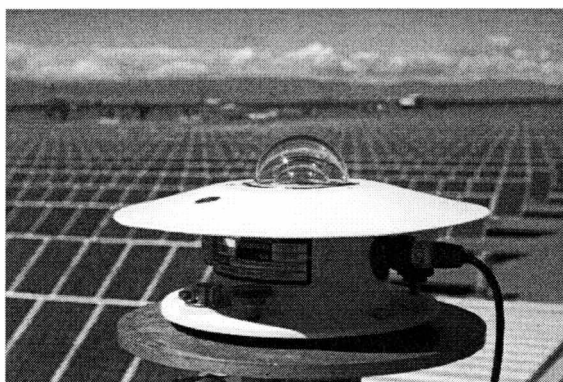
#### 7.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται σε επιστήμες όπως η μετεωρολογία, η κλιματολογία και η φυσική. Επιπρόσθετα το πυρανόμετρο είναι πολύ χρήσιμο όσον

αφορά μελέτες που είναι σχετικές με την ηλιακή ενέργεια. Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μετεωρολογικούς σταθμούς



Εικόνα 7.1 Όψεις πυρανόμετρου



Εικόνα 7.2 Πυρανόμετρο τοποθετημένο [14]

## 7.2 Αισθητήρας ακτινοβολίας

Αισθητήρας για την μέτρηση της ακτινοβολίας ο οποίος στις περισσότερες φορές τοποθετείται στην βάση των πάνελ για να έχουμε την ακτινοβολία στην κλίση των πάνελ .

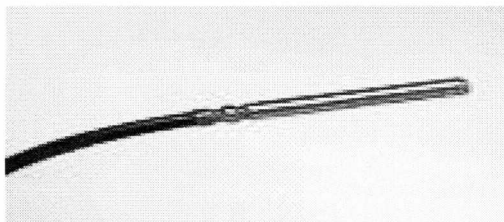


Εικόνα 7.3 FRONIUS ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ [14]



### 7.3 Αισθητήρας θερμοκρασίας

Αισθητήρας για την μέτρηση κυρίως της εξωτερικής θερμοκρασίας



Εικόνα 7.4 FRONIUS AMBIENT TEMPERATURE SENSOR [14]

### 7.4 Αναλυτές ενέργειας

Αναλυτές ενέργειας 96x96mm PowerLogic σειράς PM800 για δίκτυα HV και LV

- Οι αναλυτές ενέργειας PowerLogic σειράς PM800 προσφέρουν τις μετρήσεις υψηλής ακρίβειας που απαιτούνται για την επιτήρηση μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης, σε μια μονάδα 96 x 96 mm. Η οθόνη του είναι μεγάλη και επιτρέπει την επιτήρηση των τριών φάσεων και του ουδετέρου.
- Στα βασικά χαρακτηριστικά της σειράς PM800 περιλαμβάνονται, μια θύρα επικοινωνίας RS485 Modbus (ASCII και RTU), ψηφιακή είσοδος, ψηφιακή έξοδος, μετρήσεις αρμονικών THD και σηματοδότηση συναγερμών (alarm). Επίσης τα PM820 και PM850 προσφέρουν ρολόι πραγματικού χρόνου, δυνατότητα καταγραφής δεδομένων με ένδειξη χρόνου καταγραφής και ανάλυση αρμονικών ρεύματος και τάσης. Το PM850 είναι ο πρώτος αναλυτής της σειράς που προσφέρει απεικόνιση κυματομορφής. Και ο PM870 είναι ο πρώτος μετρητής που προσφέρει ανίχνευση διαταραχών τάσης καθώς και κυματομορφή.

•

#### 7.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

- Εγκαθίστανται εύκολα. Εγκατάσταση σε πίνακα με δύο μόνο συνδετήρες ή τοποθέτηση σε ράγα DIN με ή χωρίς απομακρυσμένη οθόνη
- Απευθείας σύνδεση μέχρι τα 600 VAC. Δεν απαιτούνται εξωτερικοί μ/σ για τις εισόδους μέτρησης τάσης
- Εύκολη πλοήγηση με αυτοκατευθυνόμενα μενού
- Μεγάλη, αντι-θαμπωτική οθόνη με λευκό φωτισμό παρέχει συνοπτική απεικόνιση ρεύματος, τάσης, ενέργειας και κατανάλωσης
- Καταγραφή δεδομένων και συναγερμοί (alarm) με ένδειξη χρόνου καταγραφής
- Επιτήρηση του μεγέθους και των γωνιών κάθε αρμονικής ξεχωριστά, βοηθά στην ανίχνευση προβλημάτων στο σύστημα (PM850 και PM870)
- Ανίχνευση διαταραχών τάσης και ρεύματος καθώς και ρυθμιζόμενη κυματομορφή (PM870)
- Ενσωματωμένη μνήμη
- Κατηγορία 0.5S IEC 62053-22 για μέτρηση ενέργειας. Ακριβής μέτρηση ενέργειας για κατηγοριοποίηση τιμολογίων, καταμερισμό κόστους, επαλήθευση χρεώσεων
- καμπύλες τάσης και βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη (PM850 και PM870)
- Πέντε κανάλια με δυνατότητα μέτρησης WAGES (νερού, αέρα, αερίου, ηλεκτρισμού, ατμού) σε όλα τα μοντέλα. Ένα κανάλι μπορεί να συγκεντρώσει παλμούς από πολλαπλές εισόδους.
- Προαιρετική απομακρυσμένη οθόνη (10m μακριά από τη μονάδα μέτρησης)
- Προαιρετική θύρα επικοινωνίας Ethernet προσφέρει πρωτόκολλο Modbus TCP/IP, μήνυμα με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο σε περίπτωση alarm, web server και πύλη Ethernet σε σειριακή πύλη. Συμβατοί με Transparent Ready – επίπεδο 1.

#### 7.4.2 ΟΦΕΛΗ

Ανάλυση ενέργειας και ποιότητας ισχύος σε μια μονάδα ο αναλυτής ενέργειας PowerLogic σειράς PM800 είναι σχεδιασμένος για:

- Μείωση του κόστους ενέργειας, βοηθώντας σας στη σωστή διαχείριση ενέργειας
- Να επεκτείνει τον χρόνο ζωής του εξοπλισμού
- Να βελτιώνει την αξιοπιστία του συστήματος ισχύος και να μειώνει τον χρόνο εκτός λειτουργίας βοηθώντας σας να παρακολουθήσετε, να αντιμετωπίσετε τα προβλήματα και να αποφύγετε ζητήματα αναφορικά με την ποιότητα της ισχύος
- να μετράει και να διαχειρίζεται μη ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιώντας έως και πέντε διαφορετικά κανάλια για βέλτιστη διαχείριση της ηλεκτρικής σας εγκατάστασης και μεγαλύτερη **παραγωγικότητα**.

#### 7.4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- Όργανα πίνακα
- Κατηγοριοποίηση τιμολογίου, καταμερισμός κόστους και επαλήθευση χρεώσεων
- Απομακρυσμένη παρακολούθηση μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Ανάλυση διαχείρισης ενέργειας και ποιότητας ισχύος

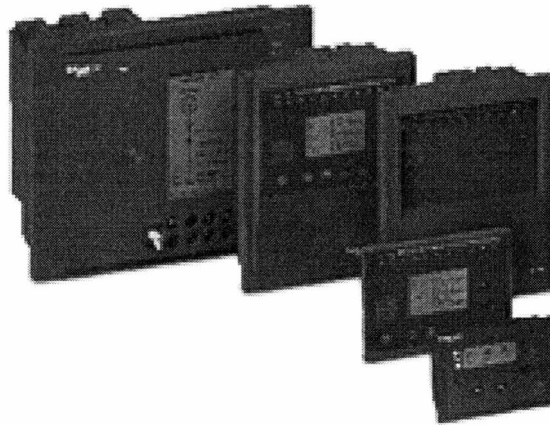


Εικόνα 7.5 PM800 SCHNEIDER [15]

## 7.5 Ρελέ (ηλεκτρονόμος προστασίας)

### Προστασία - ρελέ για απαιτητικές εφαρμογές

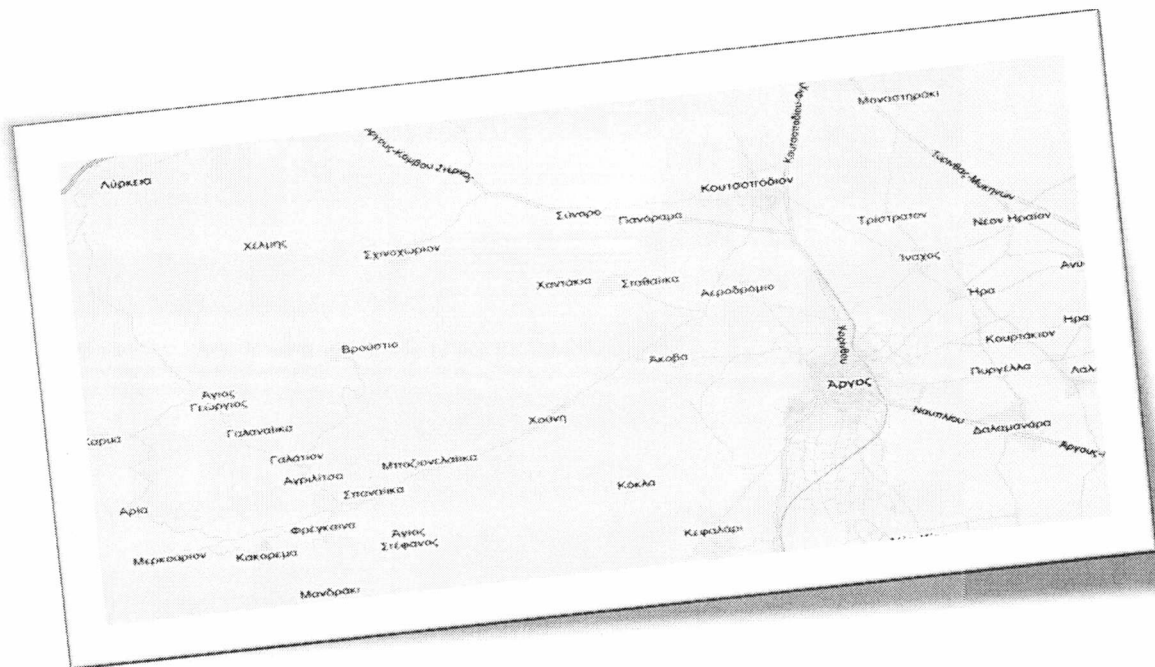
Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (H/N) είναι συσκευές που έχουν σκοπό τη συνεχή επιτήρηση ενός ηλεκτρικού μεγέθους (συνήθως ρεύμα) σε ένα τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Αν το μέγεθος ξεφύγει από τα όρια επιτήρησης, τότε αυτόματα δίνουν τις απαραίτητες εντολές (συνήθως εντολή ανοίγματος), με σκοπό να αποτρέψουν τις συνέπειες στον εξοπλισμό.



Εικόνα 2.1 Sepam σειρά 40 [15]

## 8 Ανάλυση στοιχείων σχεδίασης πάρκου

### Βασικά στοιχεία πάρκου



**Γεωγραφικό πλάτος -μήκος:** 37.650000–22.652222 (Αργολίδα, Βρούστη, 680μ υψόμετρο )

<b>Ισχύς Σταθμού:</b>	1.997 kWp
<b>Φ/Β Πλαίσια:</b>	STP 270-24Vd, 270-280 Wp, <u>Suntech Power</u>
<b>Αντιστροφείς:</b>	186 SMA <u>SMC 11000TL</u>
<b>Χρόνος υλοποίησης:</b>	4 μήνες
<b>Σύνδεση με δίκτυο:</b>	18 Αυγούστου 2009
<b>Αριθμός πλαισίων:</b>	7.254
<b>Πλαίσια / συστοιχία:</b>	13
<b>Συστοιχία /αντιστροφέα:</b>	3
<b>Συστοιχίες:</b>	558
<b>Αντιστοφείς :</b>	186
<b>Γωνία κλίσης :</b>	30°

#### 8.1 Διαστασιολόγηση με το Sunny Design

Από την εταιρία κατασκευής του πάρκου αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν 2 τύποι πάνελ τα suntech 280 Wp και suntech 270 Wp. Με δεδομένο τα Watt των πάνελ την μέγιστη ισχύ του πάρκου και την βοήθεια του λογισμικού της SMA Sunny Design προκύπτουν :

- Ο αριθμός των πλαισίων / συστοιχία
- Ο αριθμός συστοιχιών
- Ο αριθμός συστοιχιών / inverter
- Ο αριθμός των inverter

Η διαδικασία είναι η εξής, επιλέγουμε τον αριθμό την εταιρία κατασκευής και τον τύπο (Wp) του πάνελ , επιλέγουμε το βέλτιστο συνημίτονο (=1), ολοκληρώνουμε την διαδικασία και περιμένουν τον αυτόματο σχεδιασμό. Μαζί με τις δυνατές λύσεις το πρόγραμμα μας δίνει των αριθμό των πάνελ /συστοιχία και των αριθμό των συστοιχιών / inverter. Το Sunny Design μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε

ανάμεσα σε τουλάχιστον 10 δυνατές λύσεις. Παρακάτω παραθέτουμε το περιβάλλον του σχεδιαστικού προγράμματος την λύση που επιλέχθηκε και τις προτεινόμενες λύσεις και για τα δύο διαφορετικά πάνελ .

### Λύση

#### ➤ Suntech Power STP280Wp-24BVb

3861 πλαίσια

99 inverter

3 συστοιχίες / inverter

13 πλαίσια / συστοιχίες

#### ➤ Suntech Power STP270Wp-24Vb

3393 πλαίσια

86 inverter

3 συστοιχίες / inverter

13 πλαίσια / συστοιχίες

## 8.2 Sunny Design

### Λύση για το Suntech 280Wp [16]

[illegible]

## Περιβάλλον πιθανόν επιλογών [16]



Σύγκριση σχεδιασμών Τμήματος εργασία 1

	Τρέχων σχεδιασμός	Προτεινόμενος σχεδιασμός
Μονοπολικός	1x 58 900T-21 1x 58 3000T-21 1x 58 2500T-21	1x 58 900T-21 1x 58 3000T-21 1x 58 2500T-21
ΦΕ μονάδα	3861 x Suntech Power STP280-24/16	3861 x Suntech Power STP280-24/16
Επίδραση	3861	3861
Συνολικός αριθμός ανεγερτικών μονάδων	3861	3861
Μέγιστη ισχύς	1.08 MW	1.08 MW
Αριθμός ανεγερτικών	195	195
Οικονομική απόδοση	889.25 kW	889.25 kW
Ετήσια απόδοση	966.20 kW	966.20 kW
Σύστημα ενεργειακής	89.4 %	89.4 %
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (για το ποσοστό)**	1552.23 MWh	1552.23 MWh
Συνολική απόδοση	99.8 %	99.8 %
Ποσοστό απόδοσης (για το ποσοστό)**	84.6 %	84.6 %
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (για το ποσοστό)**	1441 kWh	1441 kWh
Αριθμός ενεργειακών % για τον ποσοστό**	---	---
Μήνυμα σχετικά με το ποσοστό	889.25 kW	889.25 kW



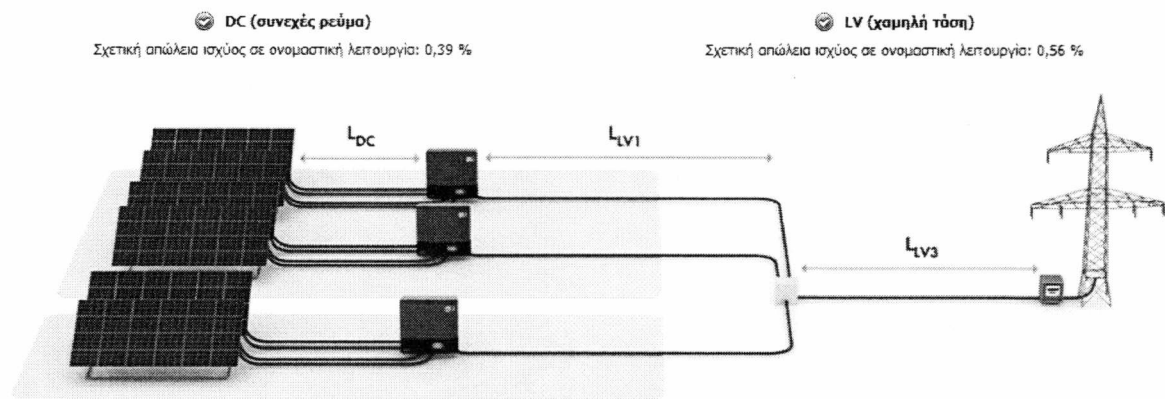
Συνδυάζονται φωτοβολταϊκές γεννήτριες και τύπος μετατροπής. Ο λόγος συνδυαστικής κενώσεως (μειωμένη ισχύς DC του μετατροπέα διαρρέεται δια της μείωσης ισχύος) βρίσκεται στο συνδυασμένο είδος τιμών (91% - 120%).

### 8.3 Ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο πάρκου

Σημαντικό ρόλο στην απόδοση του πάρκου παίζει η ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Παρακάτω παραθέτουμε ένα ηλ. σχέδιο και μια συνοπτική επεξήγηση του.

Ξεκινώντας να διευκρινίσουμε ότι το πάρκο μας χωρίζεται σε 3 μέρη όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα

- **DC πλευρά**
- **AC πλευρά**
- **Υποσταθμός ΔΕΗ (χαμηλής τάσης)**



Εικόνα 8.1 Τα μέρη του πάρκου

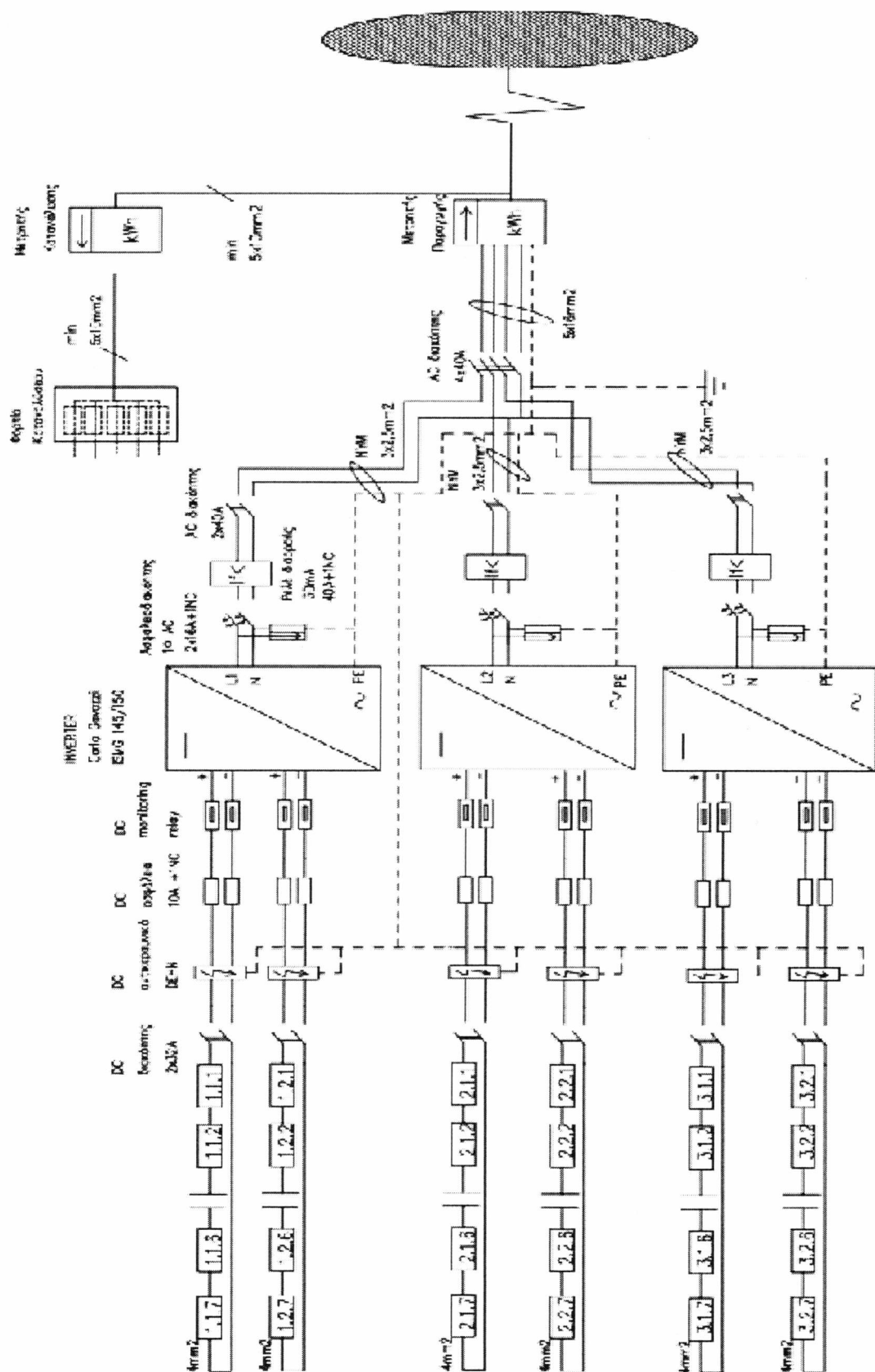
#### Ανάλυση σχεδίου

- **Αριστερό μέρος (DC):** Ξεκινάμε από τις συστοιχίες των πάνελ, στο τέλος των οποίων βάζουμε ένα διακόπτη DC, σε περιπτώσεις βλάβης κάποιου πάνελ να μπορούμε να παρέμβουμε.

Στην συνέχεια τοποθετούμε αντικεραυνικά - προστασία υπέρτασης για να αποφύγουμε την καταστροφή πάνελ σε διάφορες περιπτώσεις υπέρτασης. Ακολουθεί η απαραίτητη ασφάλεια DC για την προστασία του inverter.

Το ρελέ παρακολούθησης (monitoring relay) είναι το τελευταίο στοιχείο που μπαίνει πριν τον inverter, προγραμματίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις μας και ανοιγοκλείνει ανάλογα με τα ερεθίσματα που δέχεται κάνοντας και ταυτόχρονη παρακολούθηση της συστοιχίας.

- **Inverter** : Στην περίπτωση μας έχει επιλεχτεί μονοφασικός inverter και όχι τριφασικός, η μόνη διαφορά είναι ότι ανά τρείς του παραλληλίζουμε για περιέχουμε τριφασικό και να το στείλουμε στη ΔΕΗ. Ως γνωστό η ΔΕΗ δέχεται μόνο τριφασικό ρεύμα .
- **Δεξί μέρος (AC)** : Αμέσως μετά τον inverter βάζουμε τον απαραίτητο ασφαλειοδιακόπτη, την αντικεραυνική προστασία, το ρελέ διαρροής και τέλος τοποθετούμε έναν διακόπτη AC.



Εικόνα 8.2 Ενδεικτικό μονογραμμικό σχέδιο πάρκου

## 9 Αποτελέσματα, επεξεργασία, καταγραφές

### 9.1 Υπολογιστικό μέρος

Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που έγιναν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων

Συντελεστής απόδοσης  $n = \frac{P_m}{E \cdot A}$ , [3]

Όπου  $P_m$  μέγιστη ισχύς πλαισίου,  $E$  η προσπίπτουσα ακτινοβολία και  $A$  η επιφάνεια του πλαισίου

Η ισχύς φ/β πλαισίου όπως προκύπτει και από τη θεωρία ακολουθεί μια κατανομή ευθείας

Συντελεστές απόδοση  $Y_1$  για το πάνελ 280W και  $Y_2$  για πάνελ 270W

$$Y_1 = ax + b$$

$$Y_2 = ax + b$$

Οι συντελεστές μας  $a$  και  $b$  προκύπτουν από γραμμική παρεμβολή του διαγράμματος της ισχύος <<Current-Voltage & Power-Voltage Curve>>

Ο  $X$  είναι η ακτινοβολία κάθε χρονική στιγμή μετρημένη από αισθητήρα ακτινοβολίας στην κλίση των πάνελ

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής απόδοσης προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$\eta_t = 1 - [\gamma \times (T_c - T_{stc})], [3]$$

$\gamma$  είναι ο συντελεστής θερμότητας δίνεται από τον κατασκευαστή  $T_c$  θερμοκρασία στο περιβάλλον της κυψέλης και  $T_{stc}$  θερμοκρασία αναφοράς

Η ισχύς είναι άθροισμα

$$P = P_{\text{ακτ1}} + P_{\text{ακτ2}} + P_{\text{θερμ}} + P_{\text{θερμ}},$$

όπου

$$P_{\alpha\kappa\tau 1} = E \times A_1 \times Y_1$$

$$P_{\alpha\kappa\tau 2} = E \times A_1 \times Y_2$$

$$P_{\theta\epsilon\rho\mu} = E \times A_1 \times n$$

$$P_{\theta\epsilon\rho\mu} = E \times A_2 \times n$$

Παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επεξεργασίας για ένα έτος. Σημειώνεται ότι οι διαθέσιμες μετρήσεις είναι ανά 10 λεπτά στη διάρκεια του έτους . Τα αποτελέσματα χωρίστηκαν ανά μήνα και ανά ημέρα περνώντας τον μέσο όρο. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν κενά στα αποτελέσματα λόγω βλάβης των μετρητικών οργάνων που πιθανόν είχαν βγει εκτός λειτουργίας. Επίσης παραθέτουμε σε συγκριτικά διαγράμματα το υπολογιστικό μέρος με τα αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων . [18] έως [26]

***Οι μονάδες μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι***

***Ισχύς kW***

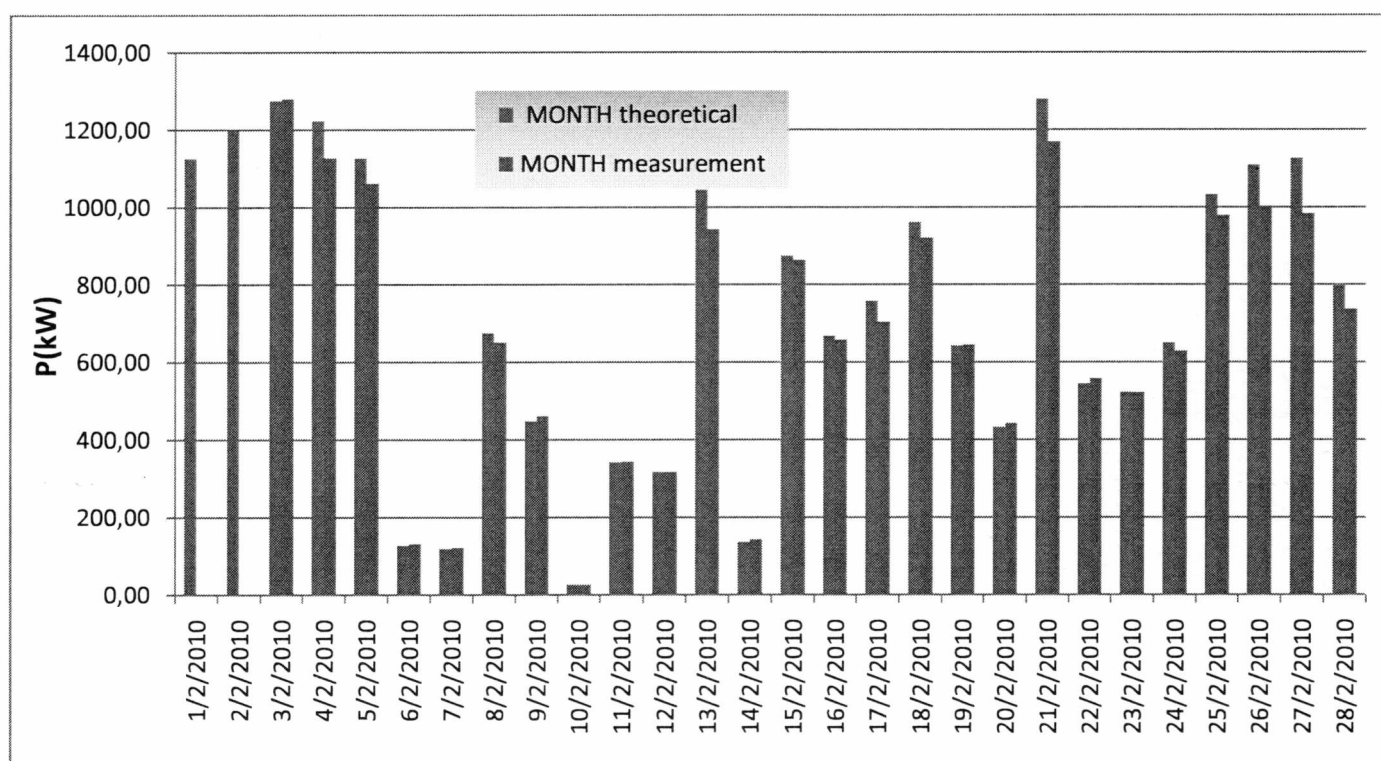
***θερμοκρασία °C***

***ακτινοβολία W/m<sup>2</sup>***

## Φεβρουάριος

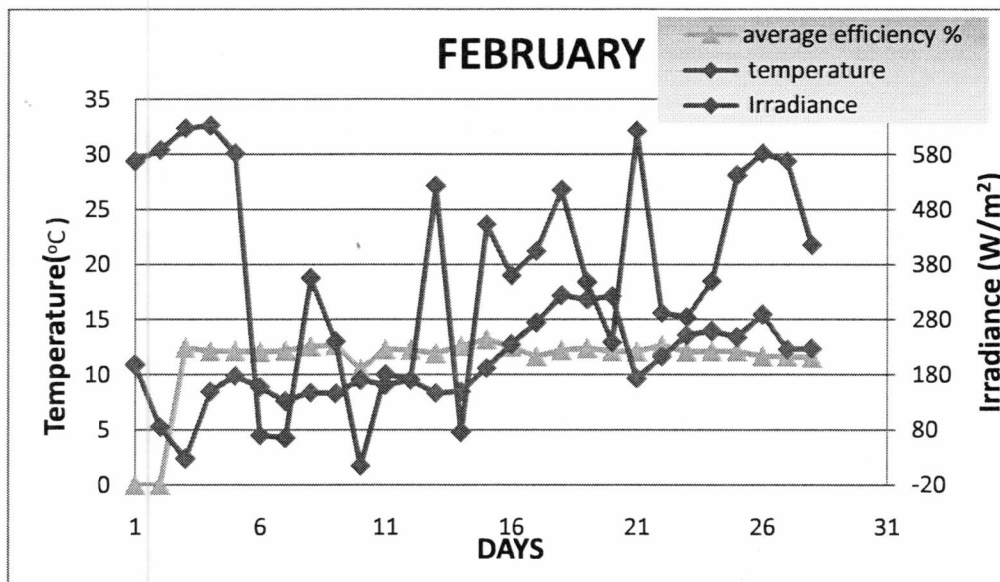
day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/2/2010	1126.39	#ΔΙΑΙΡ/0!	10.94	568
2/2/2010	1201.66	#ΔΙΑΙΡ/0!	5.29	589
3/2/2010	1275.15	1280.01	2.39	628
4/2/2010	1223.56	1128.21	8.49	633
5/2/2010	1126.97	1062.29	9.93	582
6/2/2010	127.35	131.48	8.87	70
7/2/2010	118.69	121.06	7.62	66
8/2/2010	674.59	650.85	8.41	355
9/2/2010	447.81	461.25	8.31	241
10/2/2010	26.51	26.73	9.53	15
11/2/2010	341.77	343.43	9.09	182
12/2/2010	316.80	316.83	9.52	172
13/2/2010	1045.61	943.56	8.35	523
14/2/2010	136.60	142.81	8.50	76
15/2/2010	874.90	864.45	10.63	453
16/2/2010	666.85	656.97	12.77	360
17/2/2010	757.95	703.81	14.74	404
18/2/2010	961.32	921.66	17.22	516
19/2/2010	641.85	644.63	16.81	348
20/2/2010	432.87	442.14	17.14	239
21/2/2010	1279.59	1169.86	9.70	624
22/2/2010	543.77	557.07	11.67	292
23/2/2010	522.22	521.74	13.59	284
24/2/2010	649.40	628.54	13.99	350

25/2/2010	1032.89	979.15	13.44	542
26/2/2010	1109.86	1003.18	15.46	582
27/2/2010	1127.57	984.05	12.32	568
28/2/2010	797.12	736.76	12.41	415

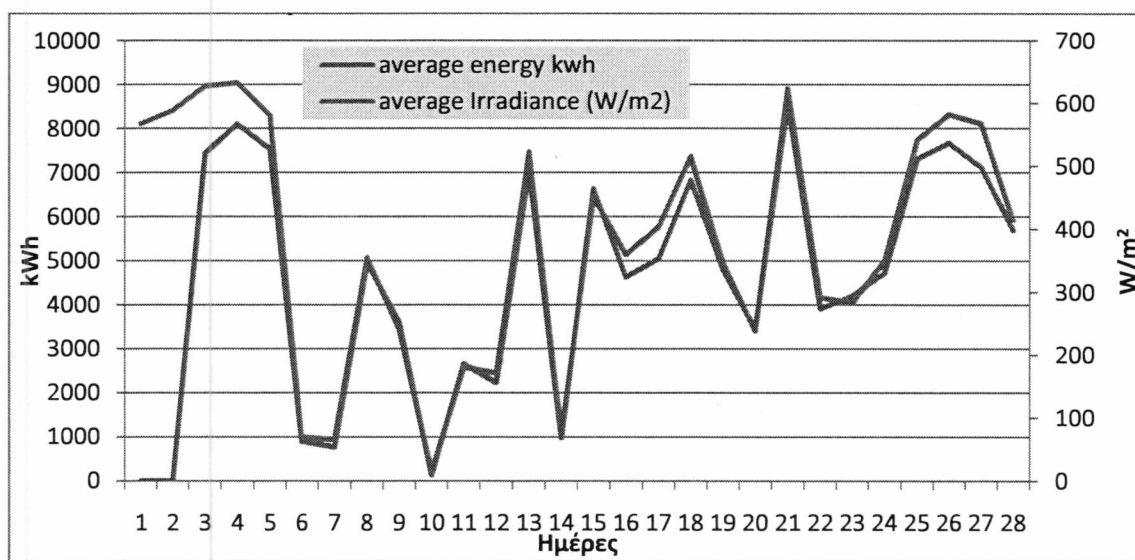


*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*





Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία, βαθμός απόδοσης πλαισίου

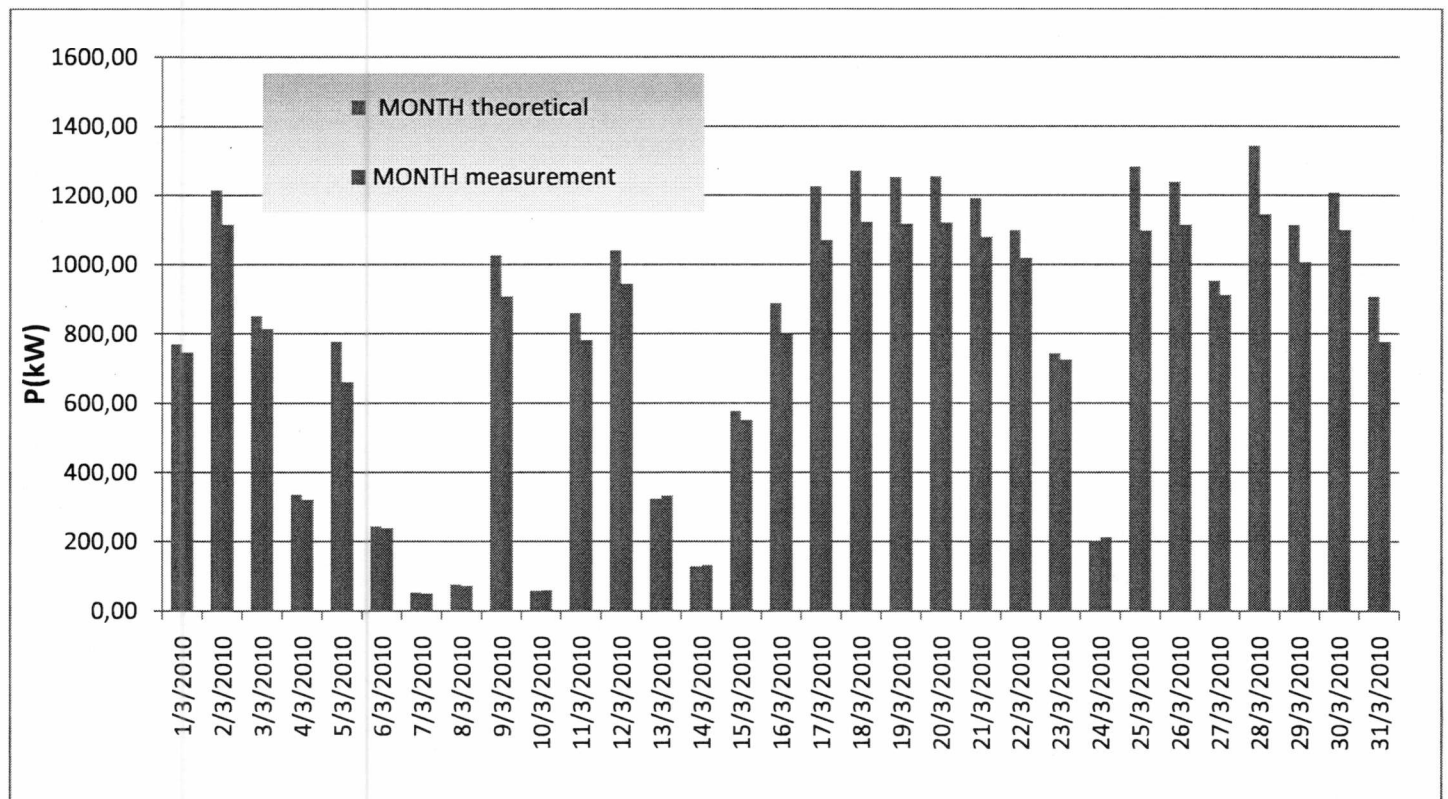


Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

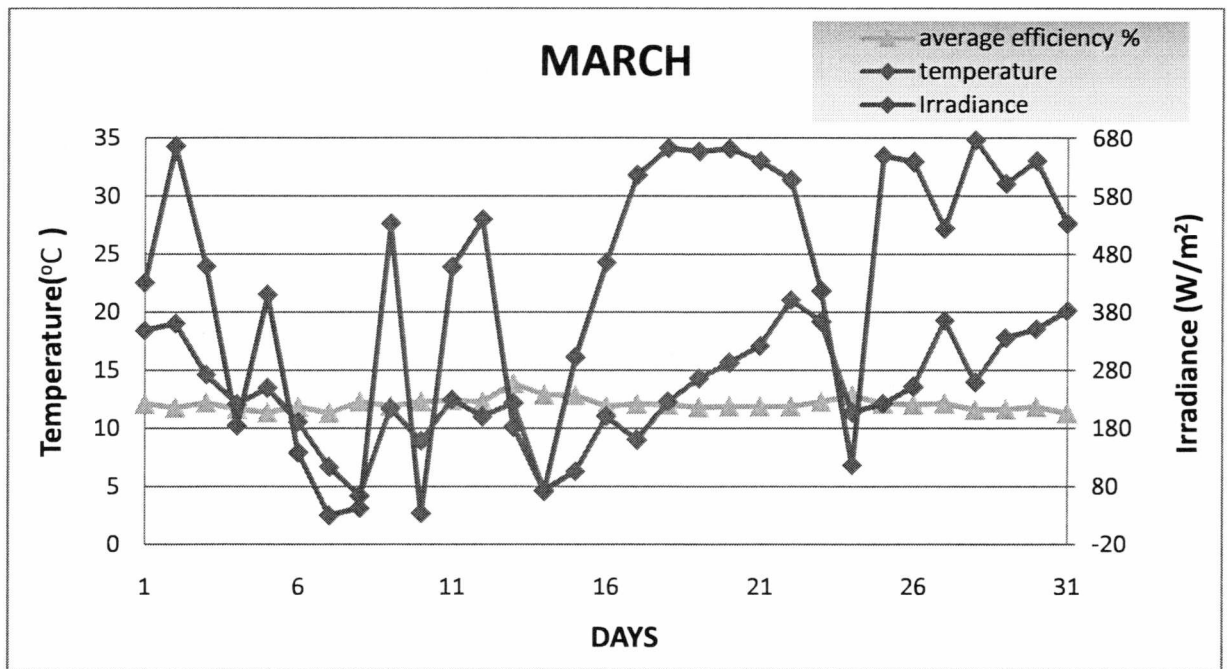
### Μάρτιος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/3/2010	769.68	746.62	18.41	431
2/3/2010	1214.67	1115.20	19.03	666
3/3/2010	850.70	813.66	14.62	459
4/3/2010	335.87	320.92	12.06	185
5/3/2010	776.50	661.18	13.47	411
6/3/2010	243.96	238.64	10.55	139
7/3/2010	52.83	50.18	6.68	30
8/3/2010	76.31	72.00	4.20	43
9/3/2010	1026.18	908.07	11.70	533
10/3/2010	58.89	59.21	8.92	34
11/3/2010	859.35	781.70	12.52	458
12/3/2010	1039.97	943.97	11.01	540
13/3/2010	324.21	332.97	12.19	183
14/3/2010	129.07	132.92	4.68	72
15/3/2010	576.98	551.18	6.32	303
16/3/2010	888.45	799.59	11.05	466
17/3/2010	1226.41	1069.69	9.01	616
18/3/2010	1270.47	1122.89	12.32	662
19/3/2010	1252.96	1117.75	14.30	657
20/3/2010	1254.37	1120.98	15.63	661
21/3/2010	1191.98	1079.12	17.08	640
22/3/2010	1098.47	1019.16	21.04	607
23/3/2010	743.77	725.61	19.18	416
24/3/2010	203.00	212.52	11.39	117
25/3/2010	1282.47	1098.33	12.10	649

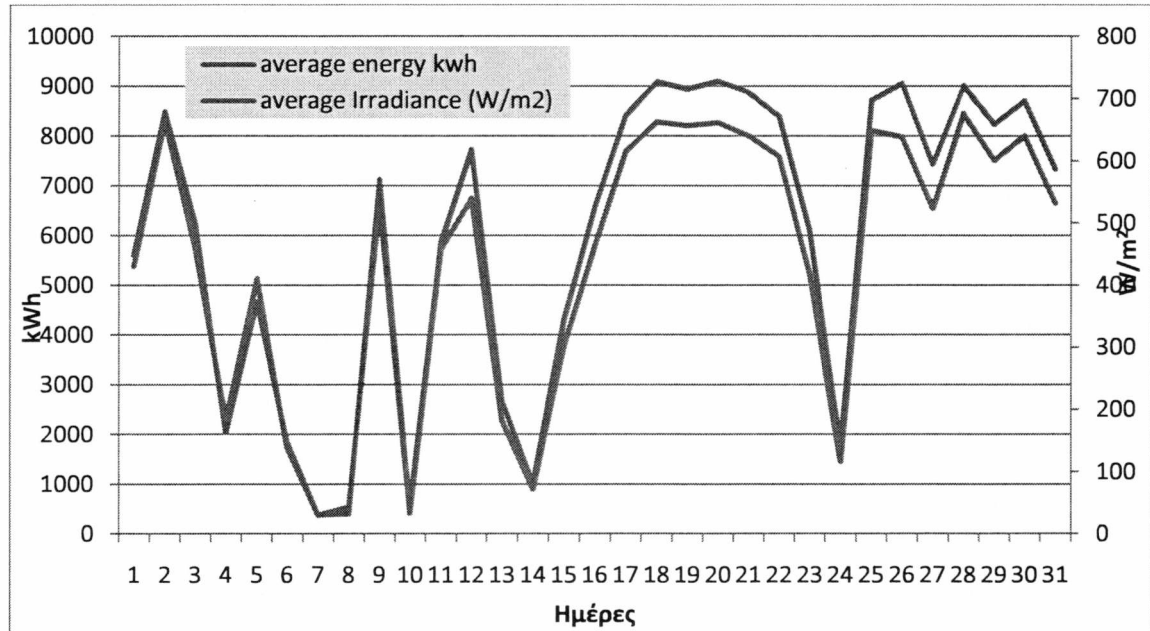
26/3/2010	1238.56	1114.95	13.59	639
27/3/2010	953.20	911.94	19.28	524
28/3/2010	1342.93	1145.05	13.97	676
29/3/2010	1114.60	1007.01	17.79	602
30/3/2010	1208.32	1100.11	18.54	641
31/3/2010	907.88	776.60	20.11	532



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου

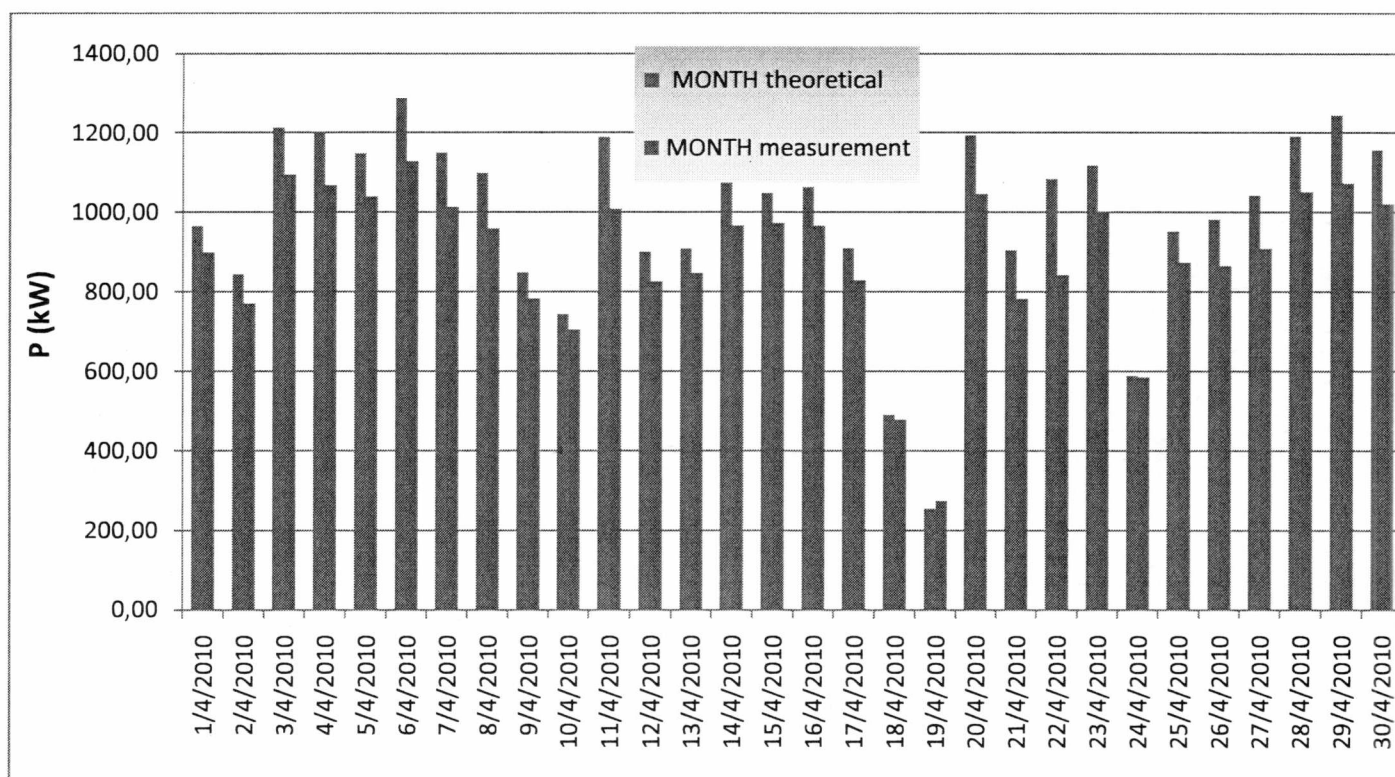


Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

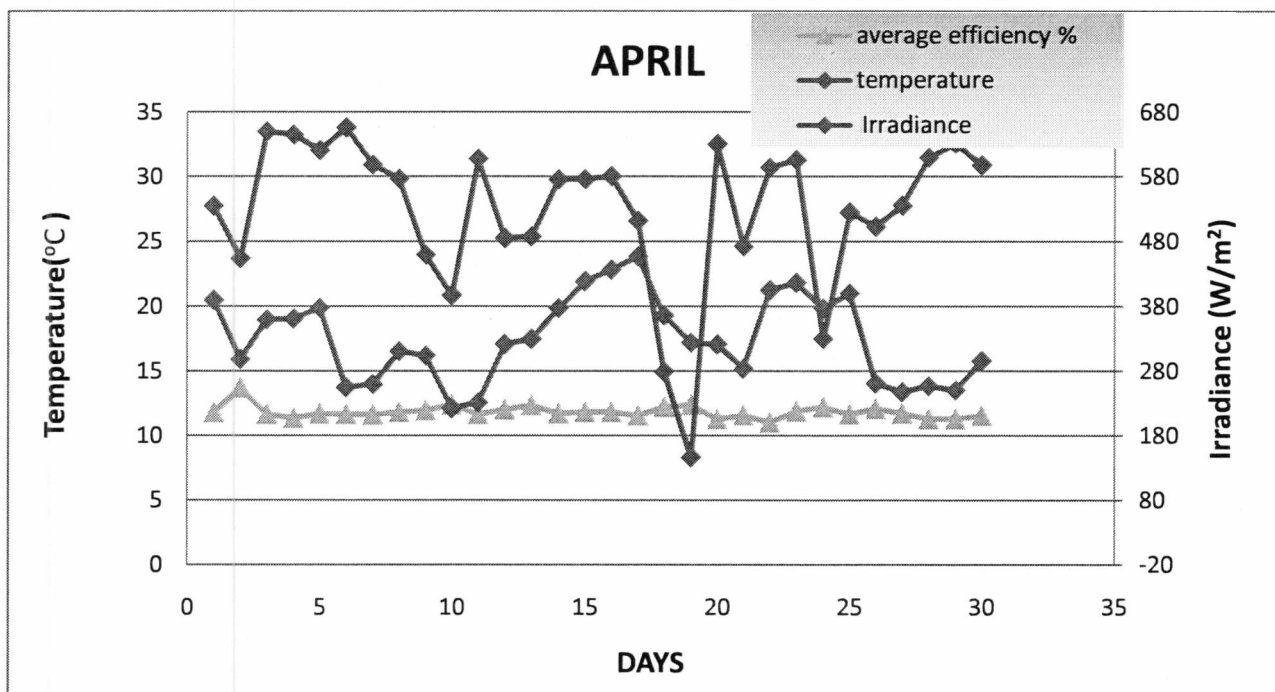
### Απρίλιος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/4/2010	964.96	898.53	20.49	535.09
2/4/2010	843.53	770.54	15.92	453.88
3/4/2010	1212.48	1093.15	18.98	650.45
4/4/2010	1200.23	1066.86	19.05	645.55
5/4/2010	1146.63	1038.82	19.91	621.63
6/4/2010	1287.05	1127.75	13.74	656.49
7/4/2010	1148.75	1012.72	14.00	598.89
8/4/2010	1097.46	958.08	16.54	577.34
9/4/2010	848.78	783.01	16.21	459.74
10/4/2010	744.10	705.33	12.13	397.49
11/4/2010	1188.80	1007.41	12.58	607.73
12/4/2010	900.44	825.38	17.09	485.14
13/4/2010	908.58	846.59	17.48	487.68
14/4/2010	1073.65	965.42	19.86	575.64
15/4/2010	1047.62	972.31	21.93	576.31
16/4/2010	1062.79	965.55	22.84	580.88
17/4/2010	909.00	828.90	23.84	511.84
18/4/2010	490.86	478.56	19.30	279.28
19/4/2010	255.05	274.58	17.19	146.36
20/4/2010	1193.33	1045.71	17.06	630.93
21/4/2010	904.03	782.45	15.19	472.50
22/4/2010	1083.13	841.77	21.28	594.17
23/4/2010	1116.68	999.65	21.81	606.16
24/4/2010	588.63	585.16	19.86	330.02
25/4/2010	950.92	873.26	21.02	525.35

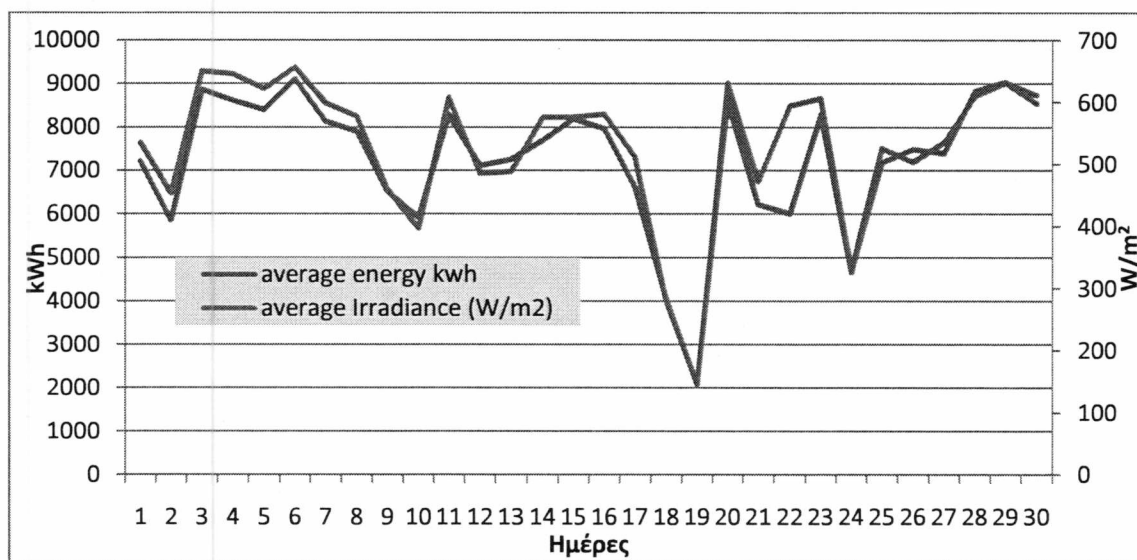
26/4/2010	980.69	865.22	14.05	503.12
27/4/2010	1041.41	908.21	13.39	535.60
28/4/2010	1190.74	1050.68	13.85	609.73
29/4/2010	1244.00	1072.17	13.51	631.40
30/4/2010	1155.87	1020.76	15.81	598.23



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία, βαθμός απόδοσης πλαισίου



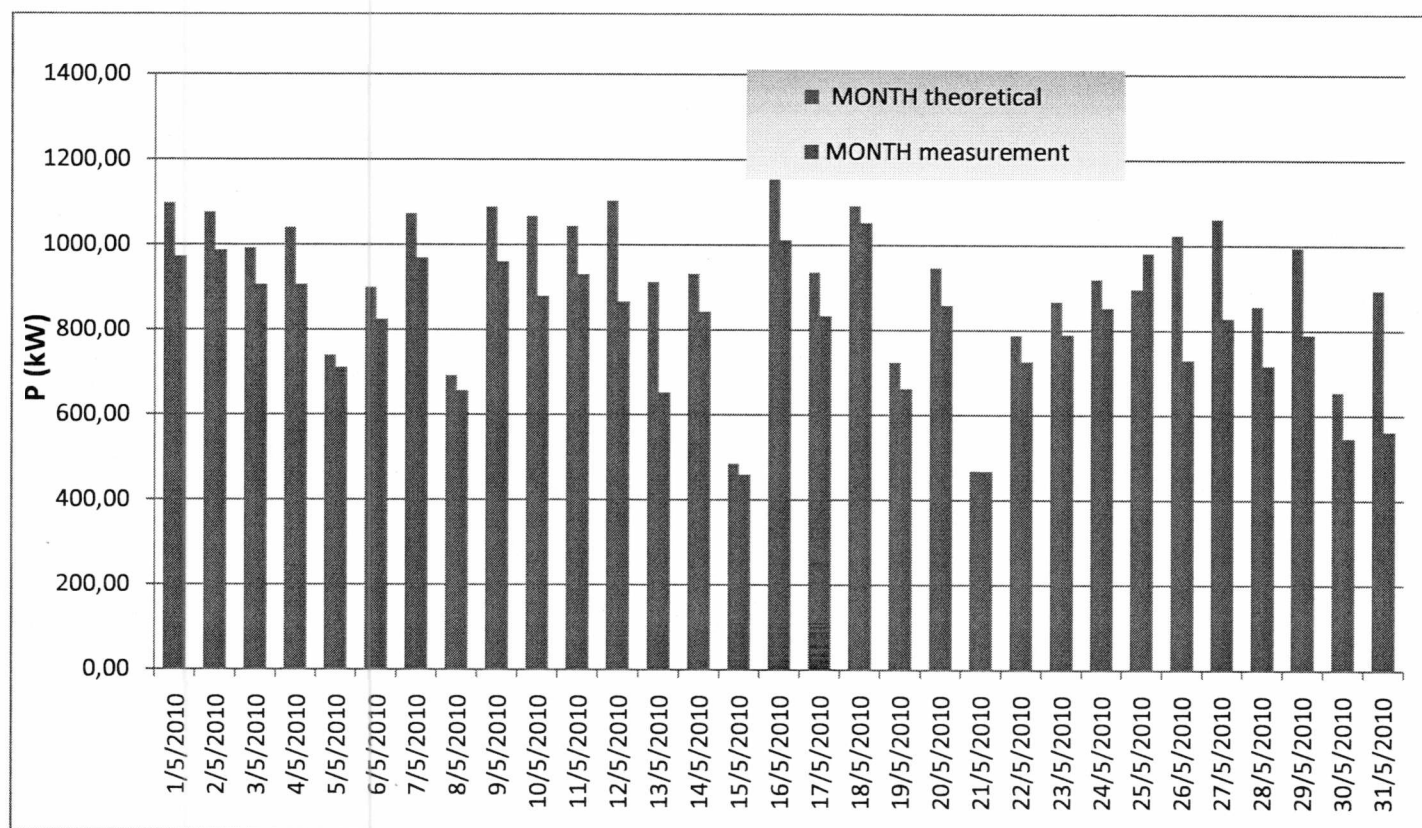
Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου



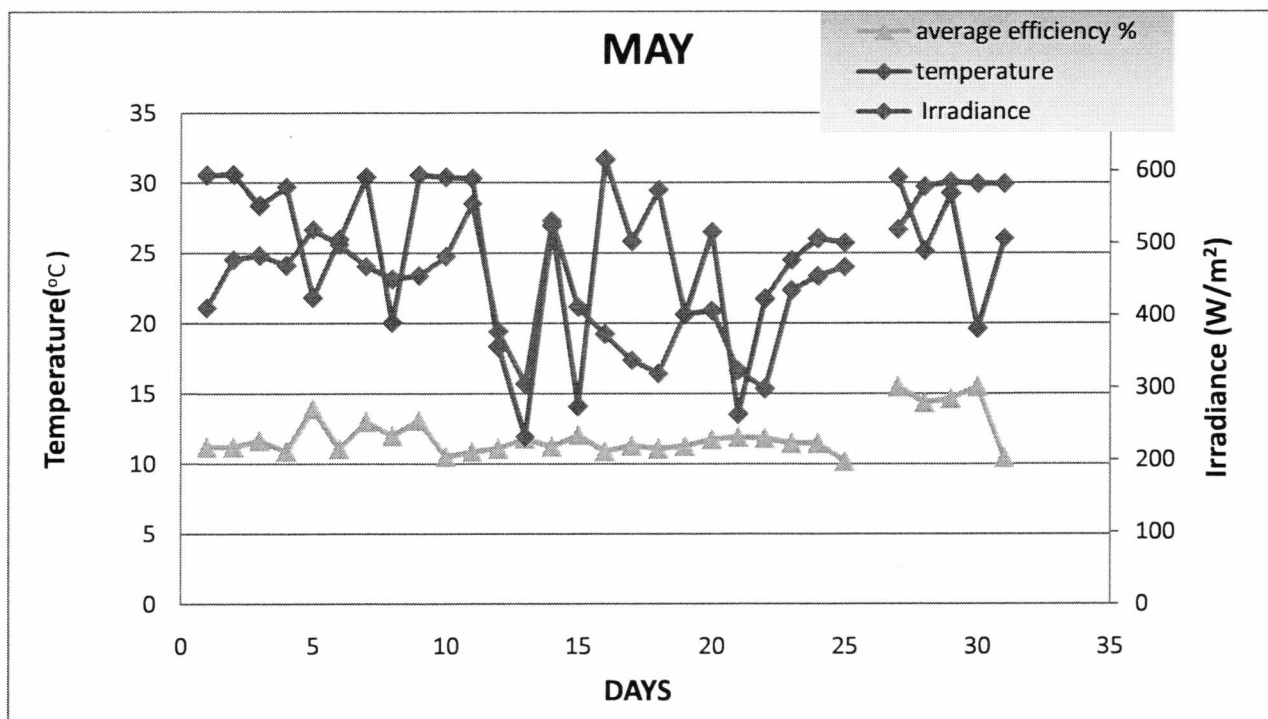
### **Μάιος**

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/5/2010	1098.18	972.58	21.09	593.63
2/5/2010	1075.94	987.12	24.54	594.72
3/5/2010	992.60	906.50	24.83	551.69
4/5/2010	1040.63	906.37	24.12	577.30
5/5/2010	739.37	711.58	26.68	424.27
6/5/2010	899.52	824.75	25.61	504.47
7/5/2010	1073.23	969.08	24.06	590.73
8/5/2010	691.72	656.60	23.14	389.68
9/5/2010	1089.22	960.41	23.39	593.47
10/5/2010	1067.02	879.30	24.74	590.71
11/5/2010	1043.38	930.46	28.55	588.72
12/5/2010	1102.96	866.28	19.44	356.50
13/5/2010	912.10	652.38	15.70	232.05
14/5/2010	931.61	843.01	27.31	524.05
15/5/2010	485.61	459.77	21.17	274.50
16/5/2010	1155.83	1011.53	19.23	615.26
17/5/2010	935.95	832.79	17.38	502.04
18/5/2010	1091.79	1052.68	16.44	573.37
19/5/2010	724.11	661.93	20.64	400.82
20/5/2010	946.78	858.56	20.90	515.20
21/5/2010	468.61	468.06	16.65	263.13
22/5/2010	787.31	726.08	15.36	422.27
23/5/2010	866.88	789.81	22.37	476.12
24/5/2010	919.82	852.38	23.37	506.06

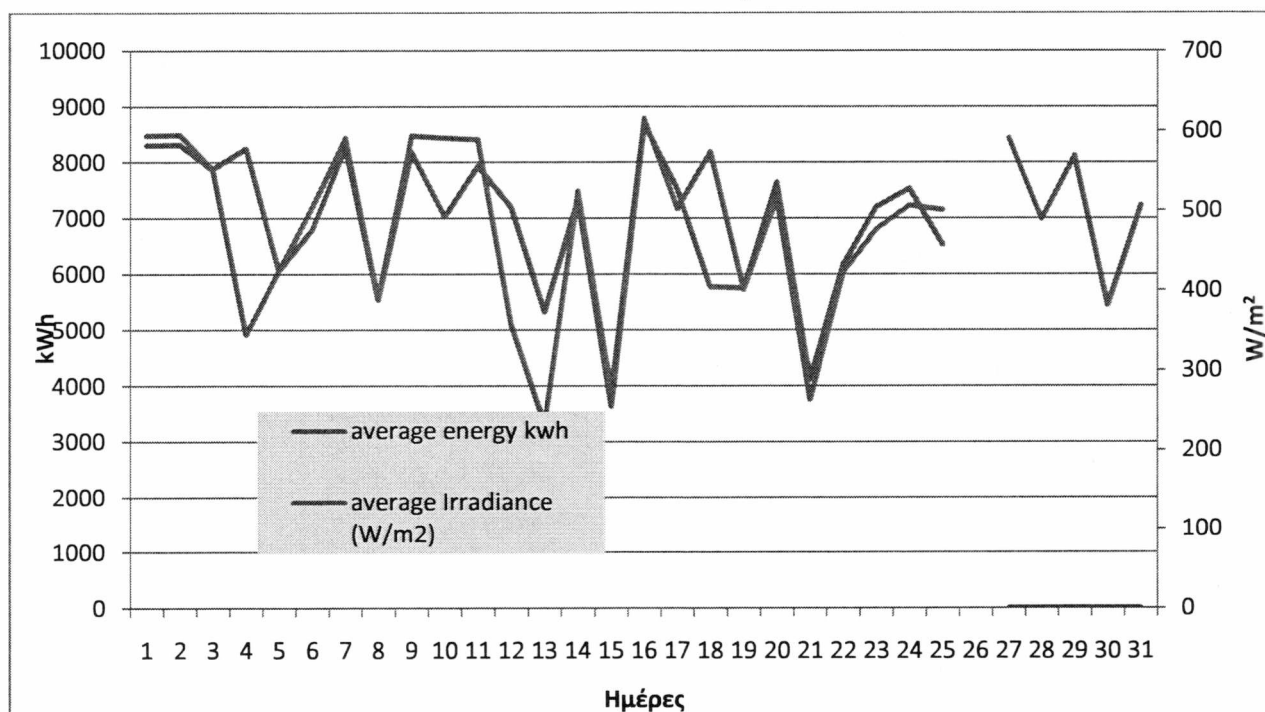
25/5/2010	896.45	981.81	24.02	500.29
26/5/2010	1024.14	730.56		0.00
27/5/2010	1062.00	828.38	26.68	590.53
28/5/2010	856.11	717.62	29.74	489.03
29/5/2010	995.36	790.01	30.07	568.56
30/5/2010	654.99	547.54	29.94	381.45
31/5/2010	893.75	563.61	29.96	506.11



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία, βαθμός απόδοσης πλαισίου

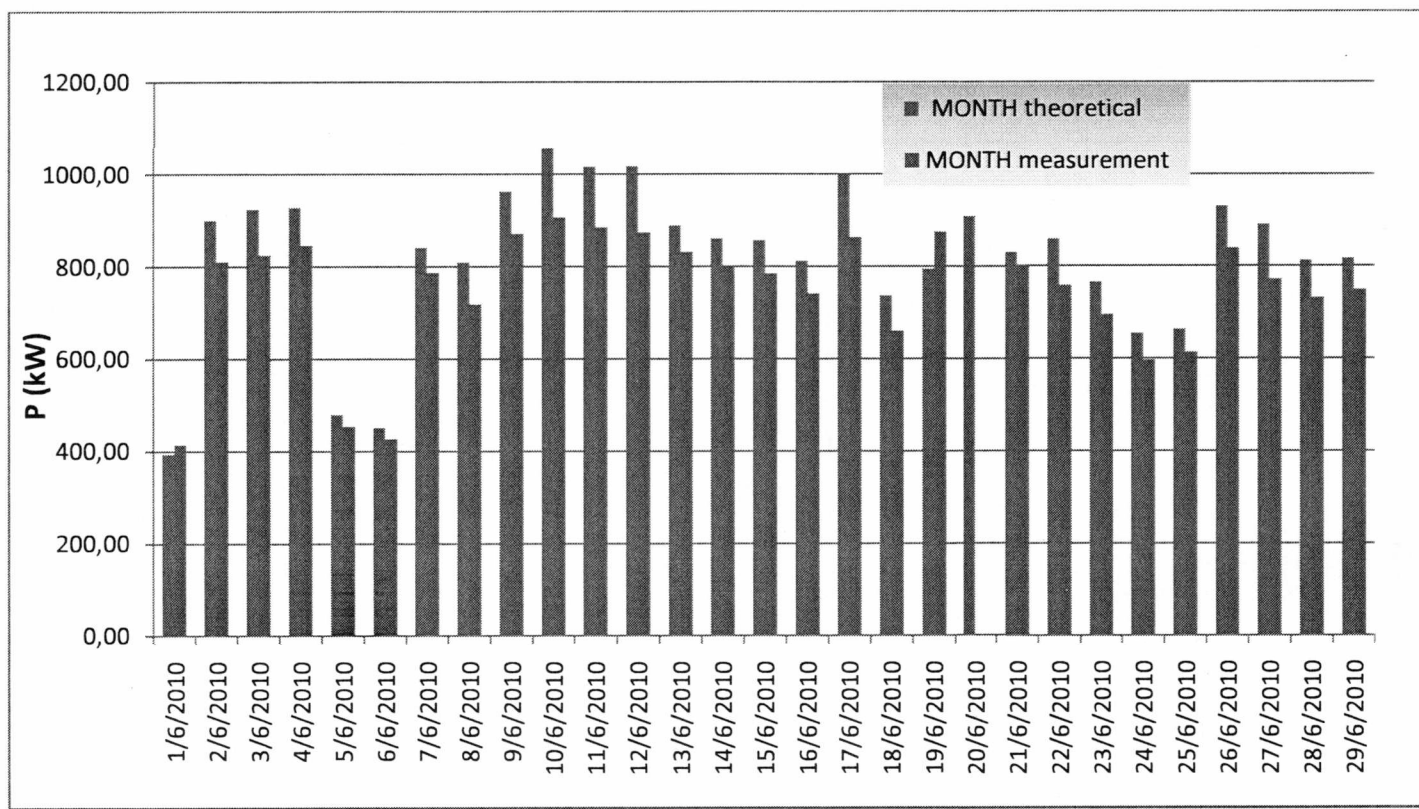


Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

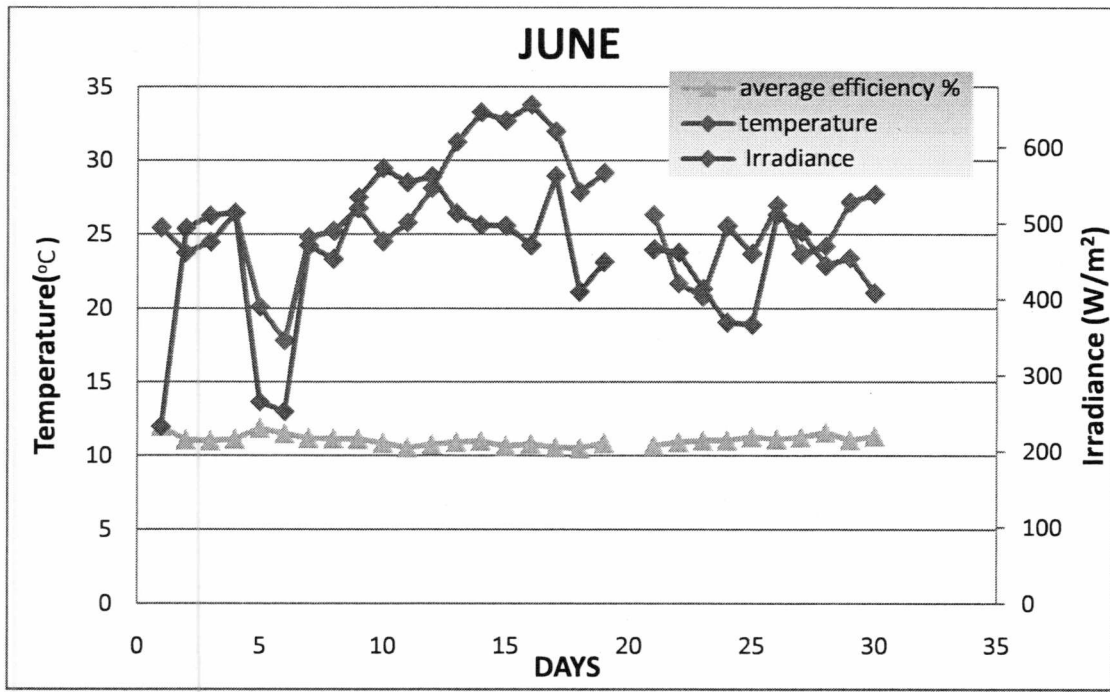
### Ιούλιος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/6/2010	393.78	413.86	25.44	233.04
2/6/2010	900.85	810.57	23.76	493.52
3/6/2010	924.12	825.03	24.50	509.93
4/6/2010	928.27	846.21	26.44	514.36
5/6/2010	478.87	453.57	20.12	265.58
6/6/2010	450.57	426.24	17.85	252.96
7/6/2010	841.17	786.72	24.81	471.43
8/6/2010	809.01	718.99	25.24	453.55
9/6/2010	962.63	871.44	26.75	534.18
10/6/2010	1056.63	907.05	24.54	572.43
11/6/2010	1016.17	884.92	25.81	554.24
12/6/2010	1017.74	874.10	28.11	561.83
13/6/2010	889.10	831.45	31.27	513.40
14/6/2010	860.81	802.27	33.28	497.93
15/6/2010	856.50	785.17	32.72	496.99
16/6/2010	811.90	741.75	33.81	471.55
17/6/2010	999.02	863.75	32.00	562.91
18/6/2010	737.03	660.52	27.86	410.34
19/6/2010	794.41	875.75	29.16	449.51
20/6/2010	909.20	0.00		0.00
21/6/2010	829.57	799.12	26.33	466.06
22/6/2010	858.50	758.26	21.68	462.49
23/6/2010	765.56	695.06	20.81	414.20
24/6/2010	653.99	596.15	25.55	370.11
25/6/2010	662.78	613.89	23.70	367.47

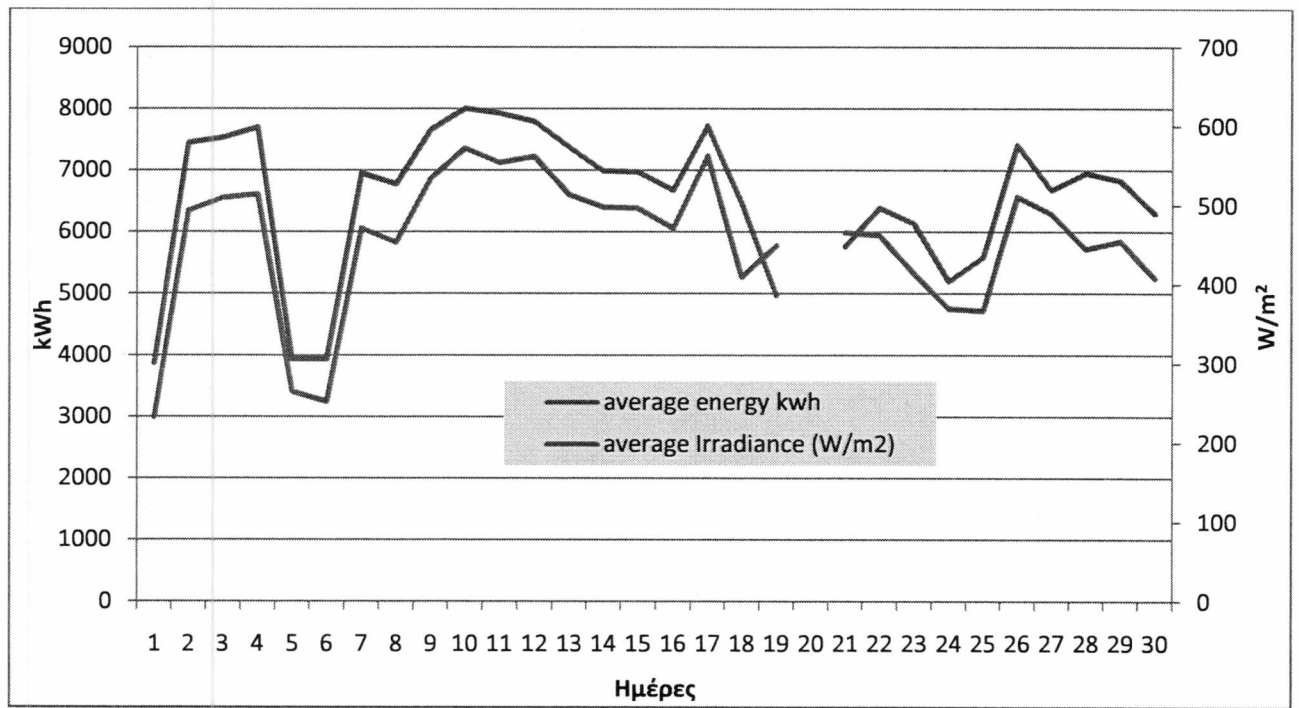
26/6/2010	929.11	839.23	26.98	511.34
27/6/2010	889.94	771.78	23.68	489.56
28/6/2010	812.27	731.05	24.21	445.19
29/6/2010	815.96	748.82	27.17	454.75
30/6/2010	729.23	661.95	27.71	408.52



Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου



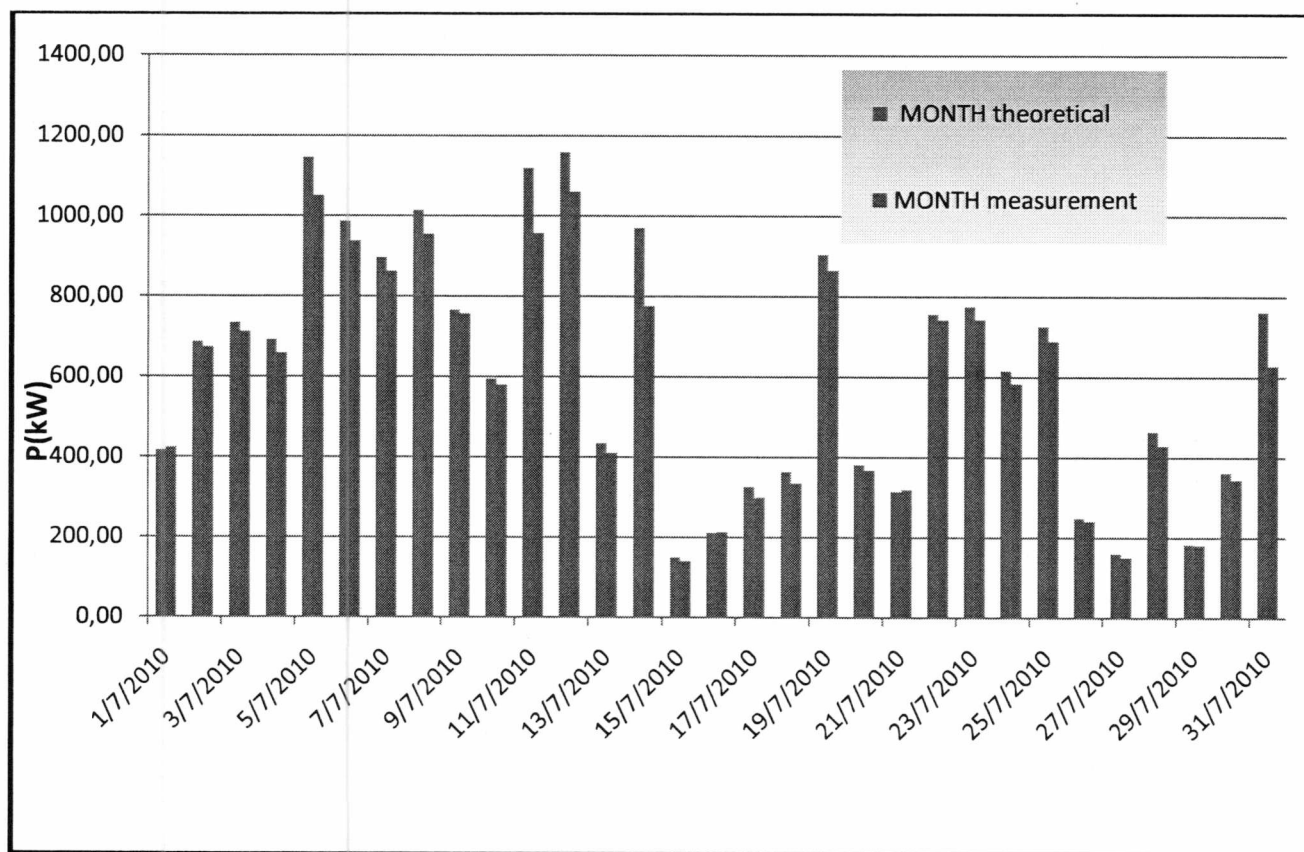
Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

### Ιούλιος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/7/2010	788.09	707.32	28.44	440.92
2/7/2010	684.89	536.29	26.80	384.62
3/7/2010	832.73	695.89	25.92	456.13
4/7/2010	980.02	853.05	26.86	540.29
5/7/2010	957.63	127.58	29.17	537.49
6/7/2010	860.23	#ΔΙΑΙΡ/0!		0.00
7/7/2010	792.81	540.84	28.49	441.61
8/7/2010	690.09	397.63	26.28	388.87
9/7/2010	1063.24	75.64	23.88	569.83
10/7/2010	1020.50	792.15	26.26	559.30
11/7/2010	902.72	589.94	26.38	502.73
12/7/2010	937.96	786.68	28.61	525.53
13/7/2010	941.84	846.33	30.33	532.37
14/7/2010	937.45	913.99	30.12	528.22
15/7/2010	1000.68	1036.89	30.50	560.52
16/7/2010	956.98	834.88	27.56	523.63
17/7/2010	1037.11	903.75	27.15	562.69
18/7/2010	1019.20	895.85	27.90	558.65
19/7/2010	872.42	772.86	26.99	476.54
20/7/2010	948.01	860.43	28.59	525.35
21/7/2010	827.05	751.25	29.42	469.03
22/7/2010	800.64	712.12	28.24	445.04
23/7/2010	1035.15	897.50	28.62	565.99
24/7/2010	951.90	850.35	32.32	546.20

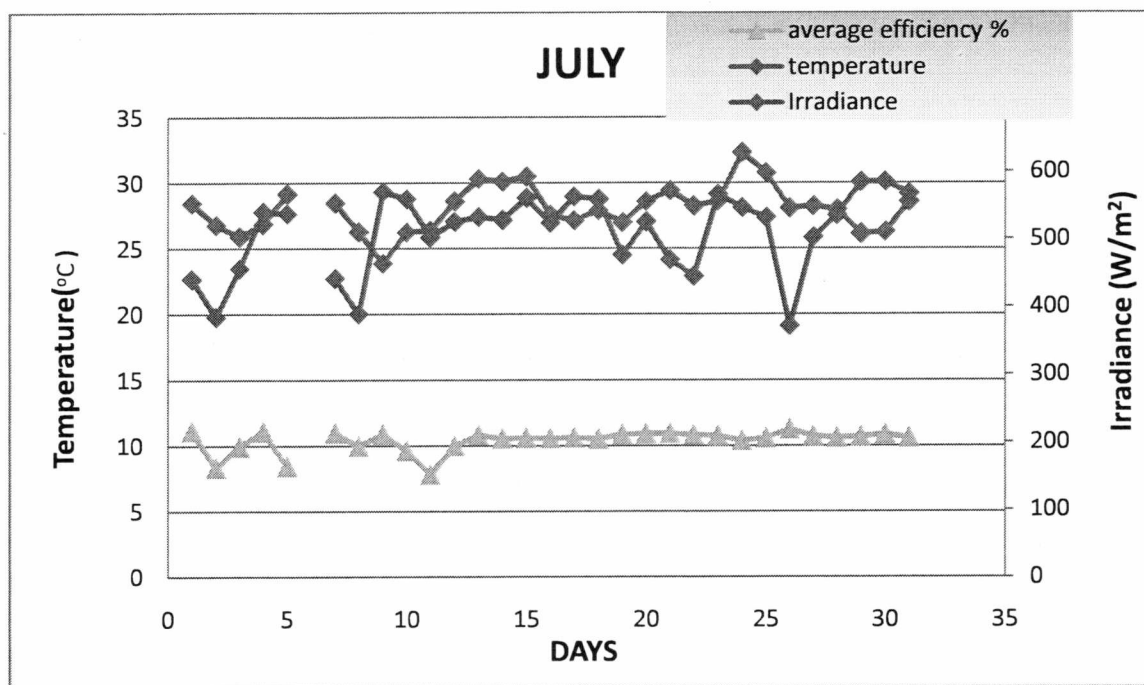


25/7/2010	949.72	841.74	30.78	531.66
26/7/2010	652.34	610.33	28.08	371.39
27/7/2010	899.53	803.40	28.25	502.62
28/7/2010	963.86	844.82	27.97	535.49
29/7/2010	1084.14	938.25	26.13	584.43
30/7/2010	1085.49	950.91	26.29	585.09
31/7/2010	1019.13	837.38	28.60	567.54

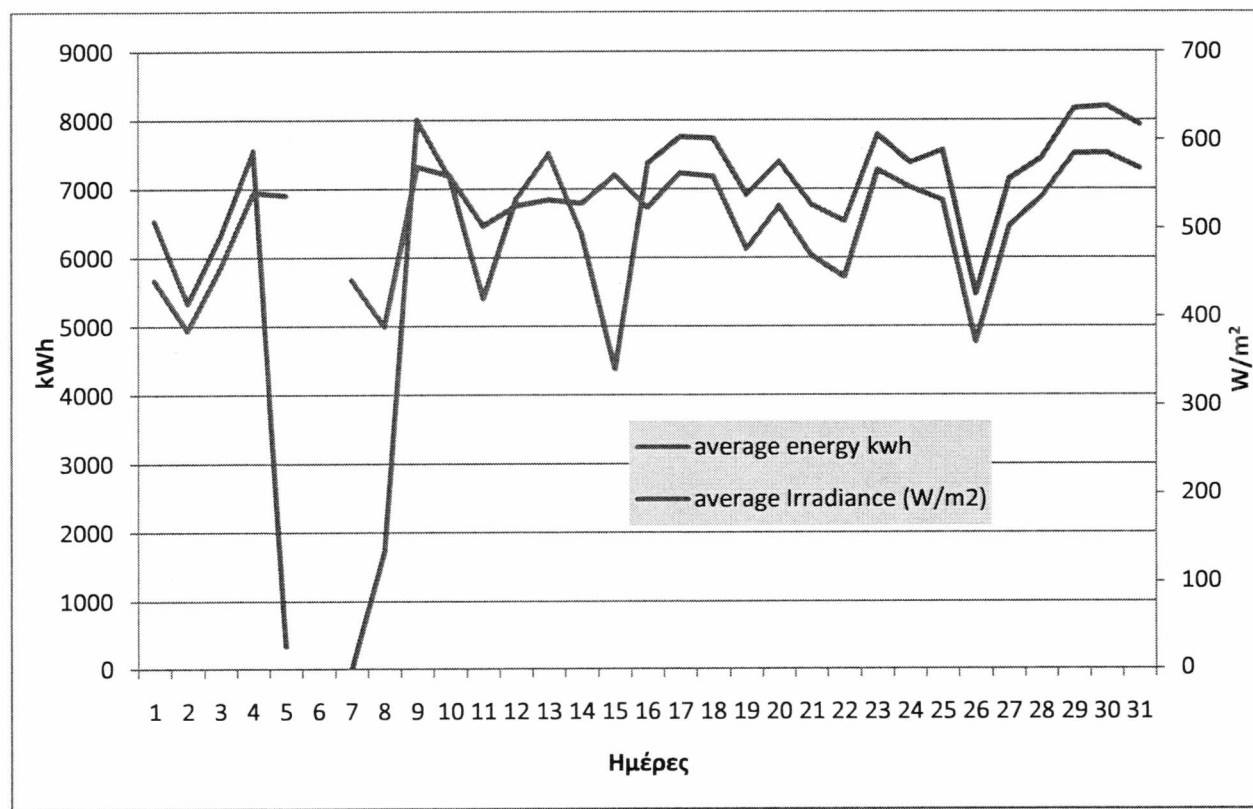


**Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου**





Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου

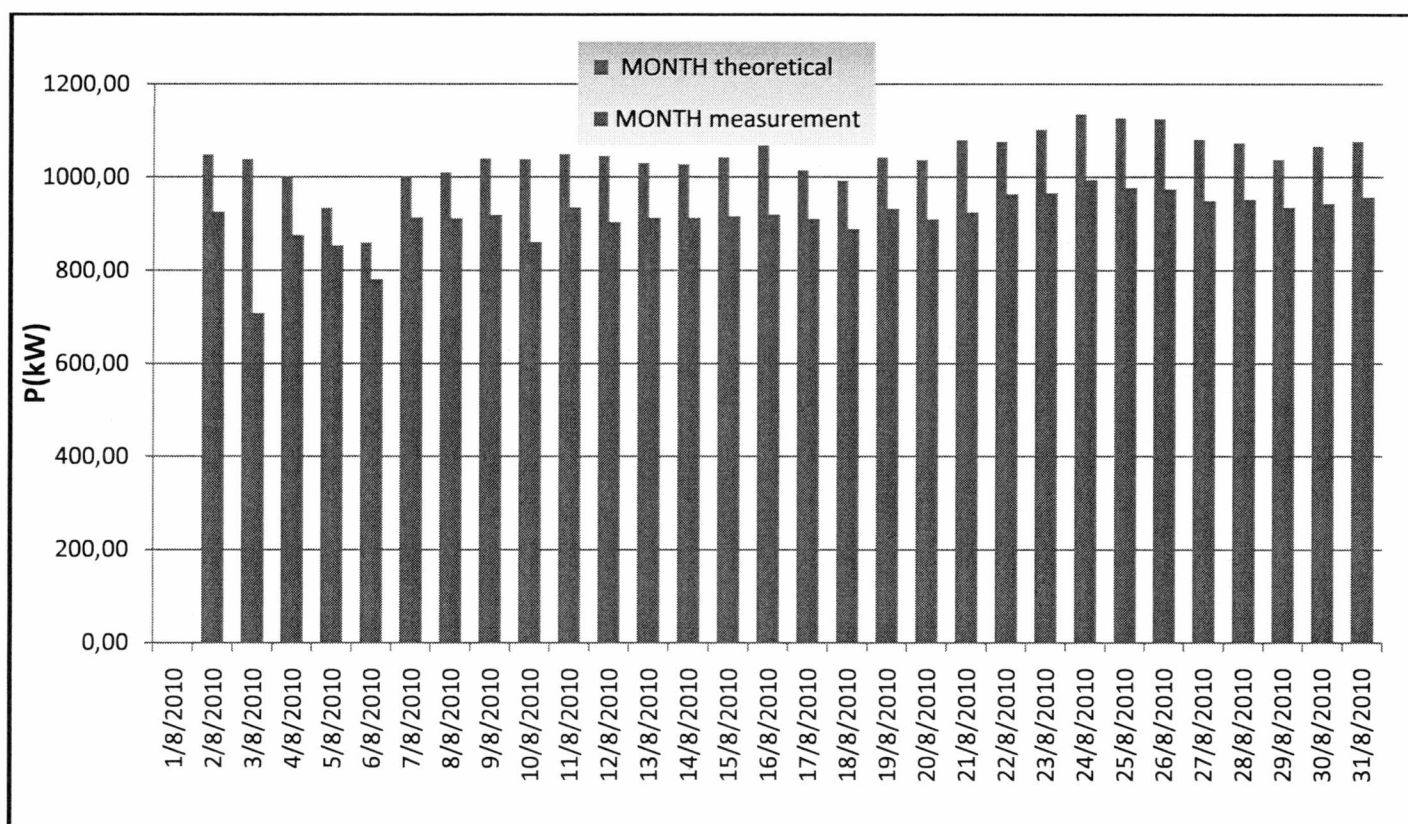


Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

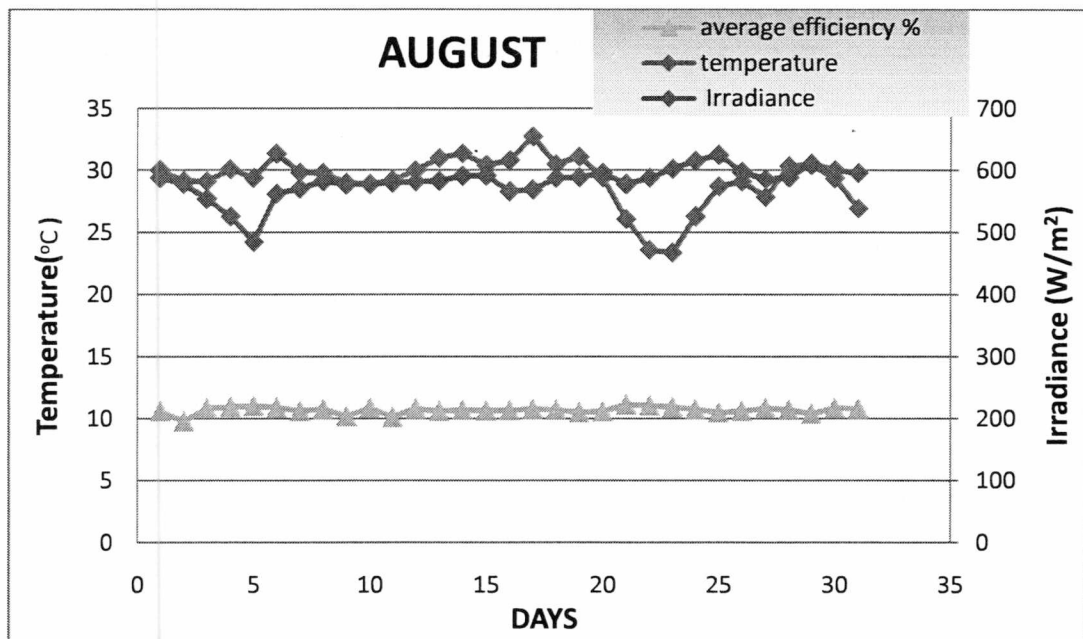
### Αύγουστος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/8/2010	1047.69	925.65	29.97	588.19
2/8/2010	1037.64	707.75	29.17	578.06
3/8/2010	999.74	875.65	29.09	554.13
4/8/2010	933.69	853.00	30.09	525.86
5/8/2010	858.89	781.33	29.38	484.69
6/8/2010	1000.77	913.23	31.35	562.33
7/8/2010	1009.67	911.24	29.82	570.56
8/8/2010	1039.01	918.36	29.77	582.45
9/8/2010	1038.11	860.46	28.99	577.20
10/8/2010	1048.99	934.84	28.88	577.71
11/8/2010	1045.02	903.20	29.21	579.93
12/8/2010	1029.26	912.27	29.99	581.48
13/8/2010	1026.83	912.23	30.99	582.96
14/8/2010	1041.97	915.37	31.36	590.69
15/8/2010	1072.90	919.90	30.42	591.58
16/8/2010	1014.48	910.02	30.78	565.78
17/8/2010	992.02	889.02	32.73	568.86
18/8/2010	1041.96	932.00	30.46	587.38
19/8/2010	1036.38	909.40	31.10	588.87
20/8/2010	1079.10	924.95	29.43	595.42
21/8/2010	1075.96	963.80	26.09	578.03
22/8/2010	1101.73	966.19	23.60	587.90
23/8/2010	1134.83	994.12	23.40	602.35
24/8/2010	1126.64	977.11	26.27	615.25
25/8/2010	1124.82	974.23	28.72	624.85

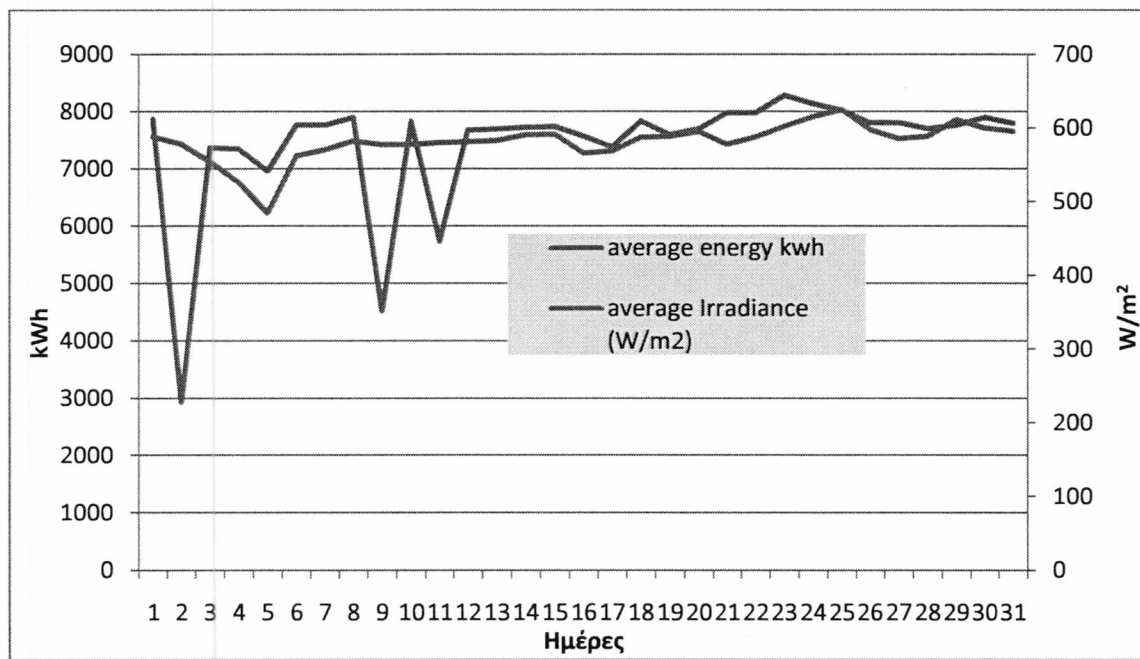
26/8/2010	1080.45	949.75	29.10	597.70
27/8/2010	1072.88	952.34	27.86	585.60
28/8/2010	1037.23	935.16	30.34	588.60
29/8/2010	1065.88	943.60	30.44	611.24
30/8/2010	1076.22	957.41	29.36	600.25
31/8/2010	1061.27	851.70	26.93	595.61



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία, βαθμός απόδοσης πλαισίου

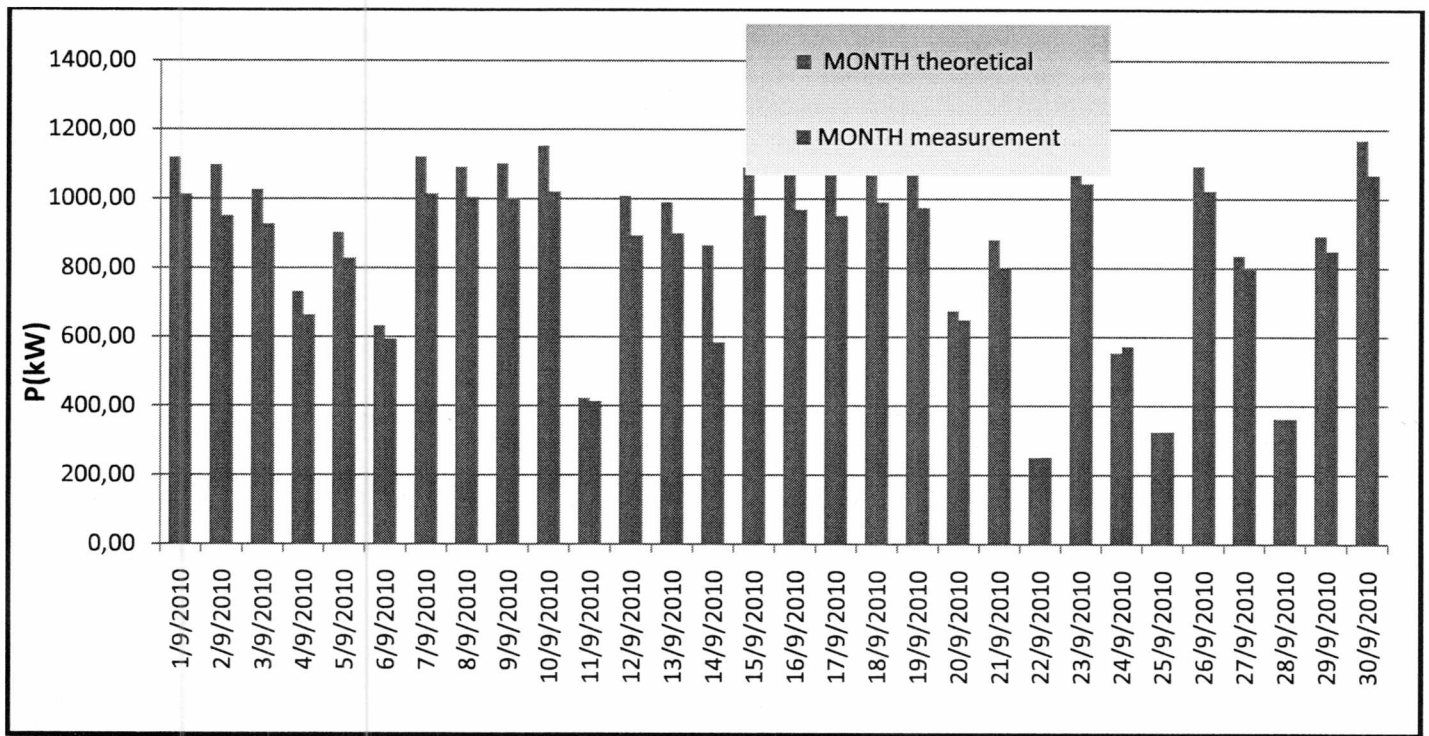


Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

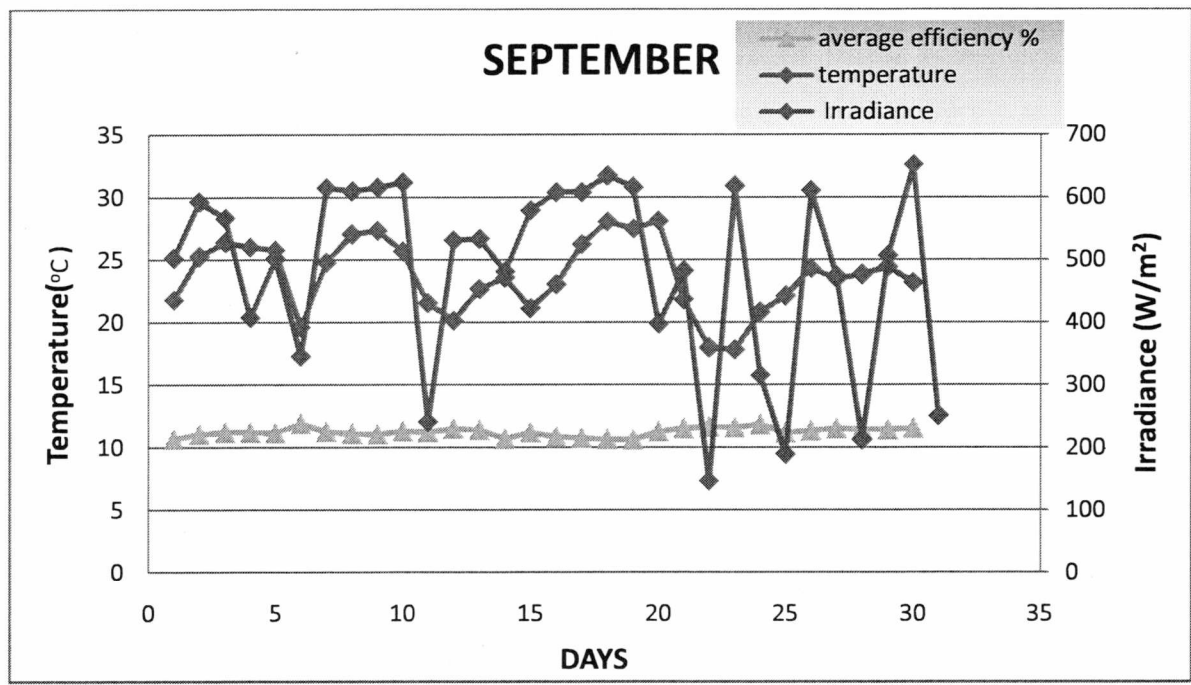
### Σεπτέμβριος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/9/2010	1119.32	1012.48	21.79	502.96
2/9/2010	1097.91	951.50	25.27	593.07
3/9/2010	1025.86	926.46	26.40	566.96
4/9/2010	731.49	664.44	26.02	407.46
5/9/2010	902.48	828.21	25.78	501.59
6/9/2010	632.56	594.00	19.60	345.59
7/9/2010	1121.29	1013.91	24.81	615.00
8/9/2010	1091.10	1004.22	27.04	610.03
9/9/2010	1101.62	997.73	27.34	615.53
10/9/2010	1152.67	1019.53	25.66	623.50
11/9/2010	422.43	413.27	21.52	240.99
12/9/2010	1007.39	893.64	20.14	531.20
13/9/2010	989.39	899.62	22.66	533.47
14/9/2010	865.80	584.65	23.56	481.32
15/9/2010	1090.22	951.99	21.13	579.33
16/9/2010	1127.81	968.44	23.04	608.22
17/9/2010	1075.69	951.05	26.26	607.95
18/9/2010	1104.17	990.28	28.07	634.28
19/9/2010	1073.68	973.92	27.46	616.08
20/9/2010	676.39	649.81	28.11	397.37
21/9/2010	881.74	799.57	21.80	482.05
22/9/2010	251.15	251.39	17.96	146.44
23/9/2010	1171.53	1043.53	17.80	618.22
24/9/2010	554.34	572.81	20.84	315.21
25/9/2010	325.41	325.79	22.09	189.66

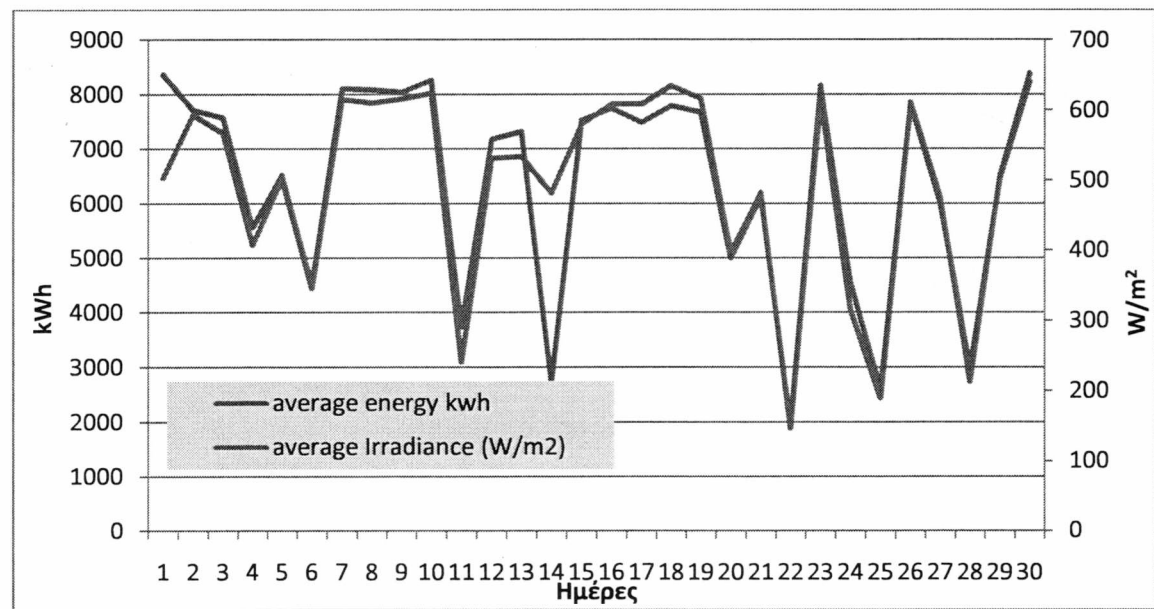
26/9/2010	1093.83	1022.24	24.33	610.58
27/9/2010	835.20	796.41	23.48	475.22
28/9/2010	363.04	363.27	23.82	212.77
29/9/2010	892.55	848.91	24.45	506.40
30/9/2010	1170.69	1069.31	23.18	651.99



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου



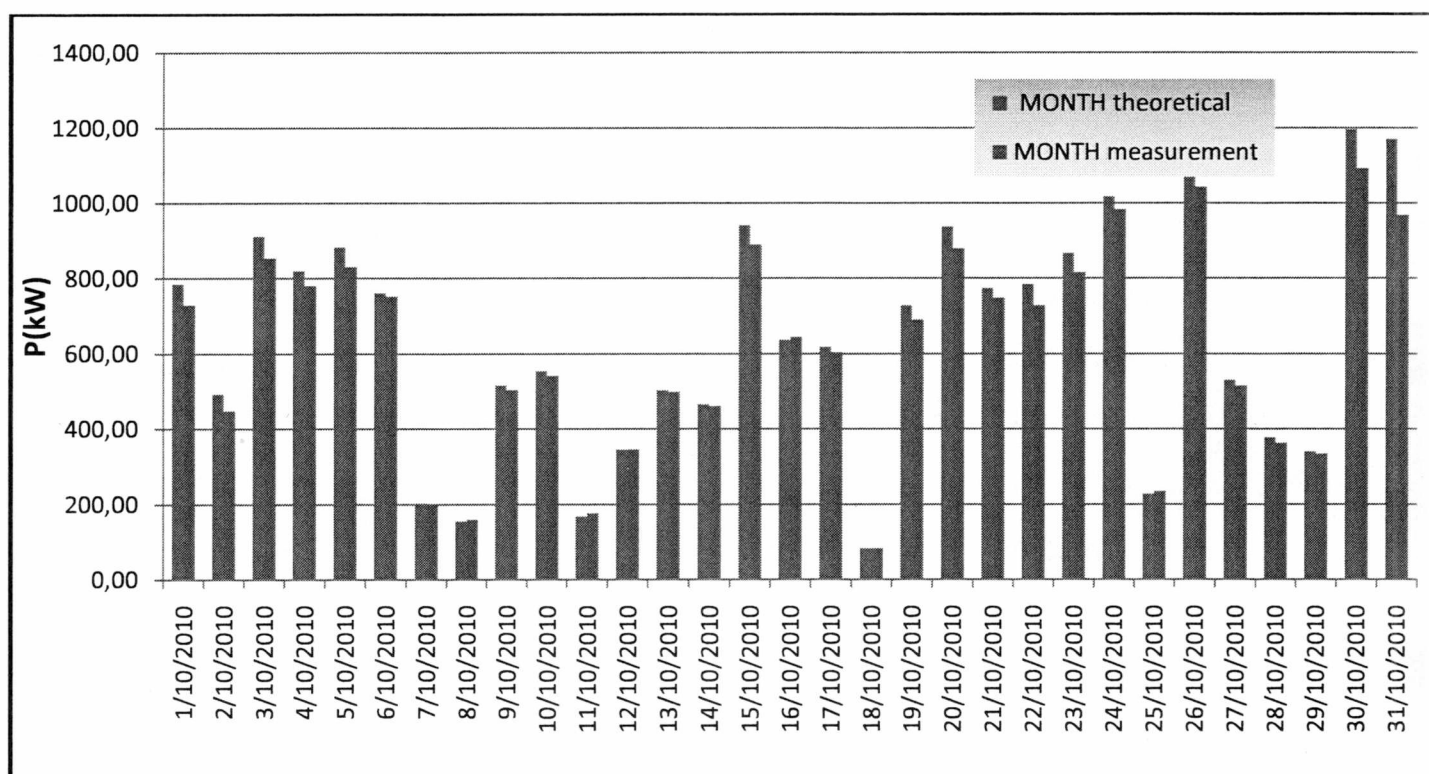
Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

### Οκτώβριος

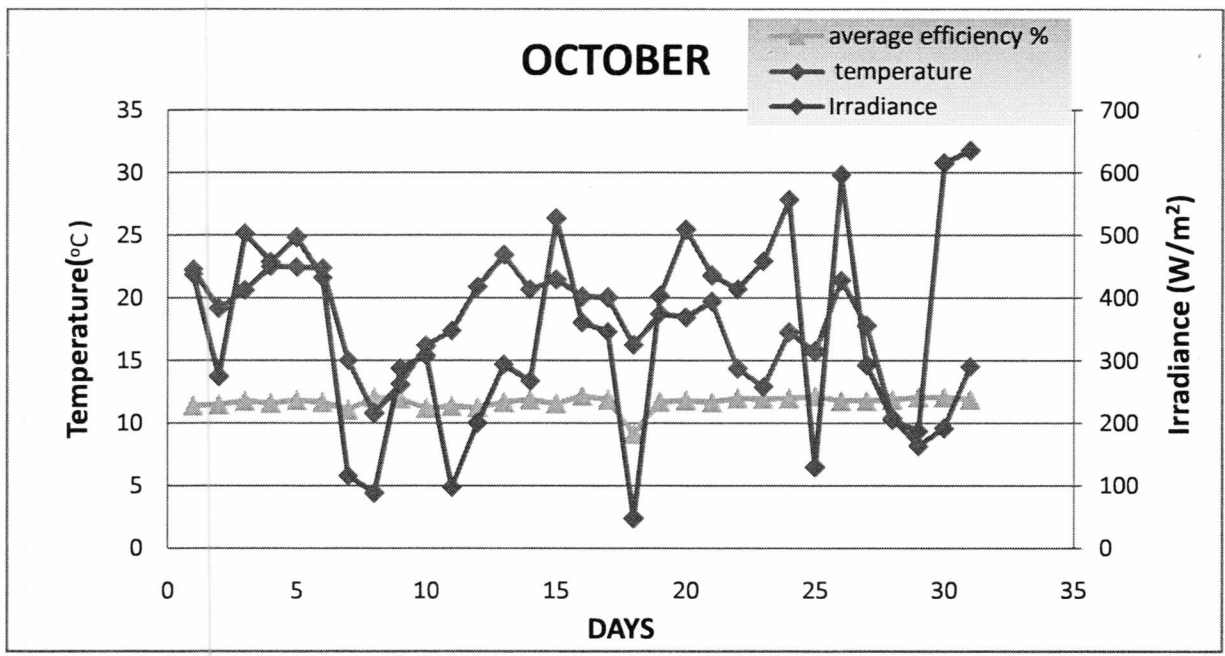
day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/10/2010	784.64	729.20	22.28	437.49
2/10/2010	493.22	448.53	19.17	275.25
3/10/2010	911.93	853.89	20.63	503.07
4/10/2010	820.29	780.50	22.51	457.68
5/10/2010	883.42	830.94	22.46	496.84
6/10/2010	761.14	752.09	22.37	432.57
7/10/2010	202.78	199.75	15.03	116.11
8/10/2010	155.15	159.74	10.81	88.56
9/10/2010	516.13	504.35	13.12	287.75
10/10/2010	554.37	541.81	16.20	308.31
11/10/2010	167.79	176.40	17.39	97.81
12/10/2010	345.39	346.68	20.91	200.25
13/10/2010	503.67	498.75	23.45	293.92
14/10/2010	465.57	460.31	20.67	267.85
15/10/2010	941.12	889.94	21.46	527.40
16/10/2010	636.83	643.90	20.09	360.51
17/10/2010	618.09	603.09	20.07	346.23
18/10/2010	82.47	82.83	16.27	48.21
19/10/2010	728.29	690.77	18.75	402.89
20/10/2010	937.22	879.97	18.47	509.31
21/10/2010	773.44	747.86	19.73	435.83
22/10/2010	784.09	728.92	14.38	413.79
23/10/2010	866.39	815.39	12.92	458.51
24/10/2010	1017.51	983.91	17.25	557.15
25/10/2010	227.56	234.99	15.74	130.13



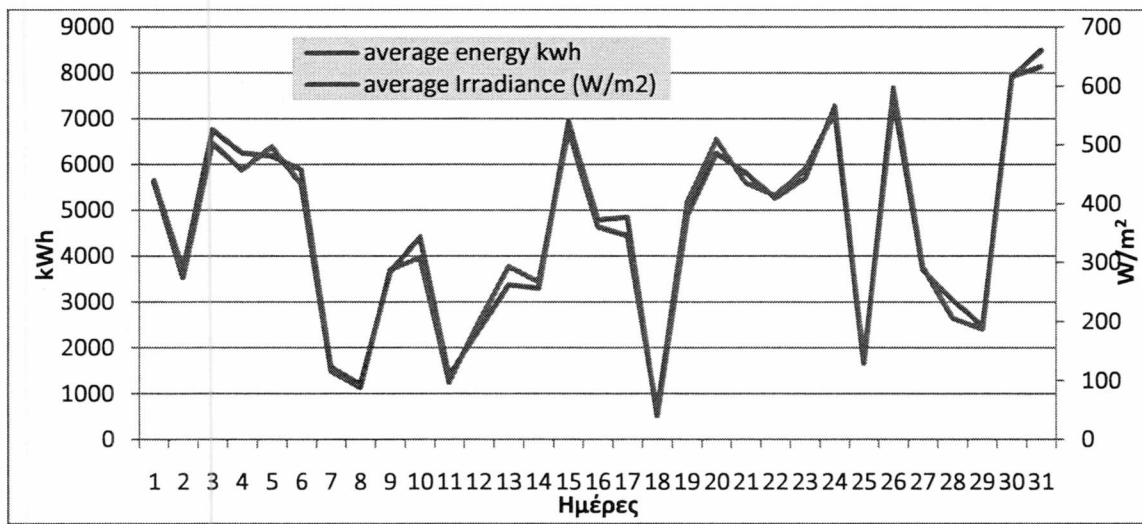
26/10/2010	1072.03	1043.43	21.41	596.94
27/10/2010	530.63	515.06	17.79	293.26
28/10/2010	378.18	363.83	10.42	205.84
29/10/2010	340.14	334.39	8.21	187.66
30/10/2010	1196.13	1093.23	9.61	616.16
31/10/2010	1170.56	968.69	14.54	635.38



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου

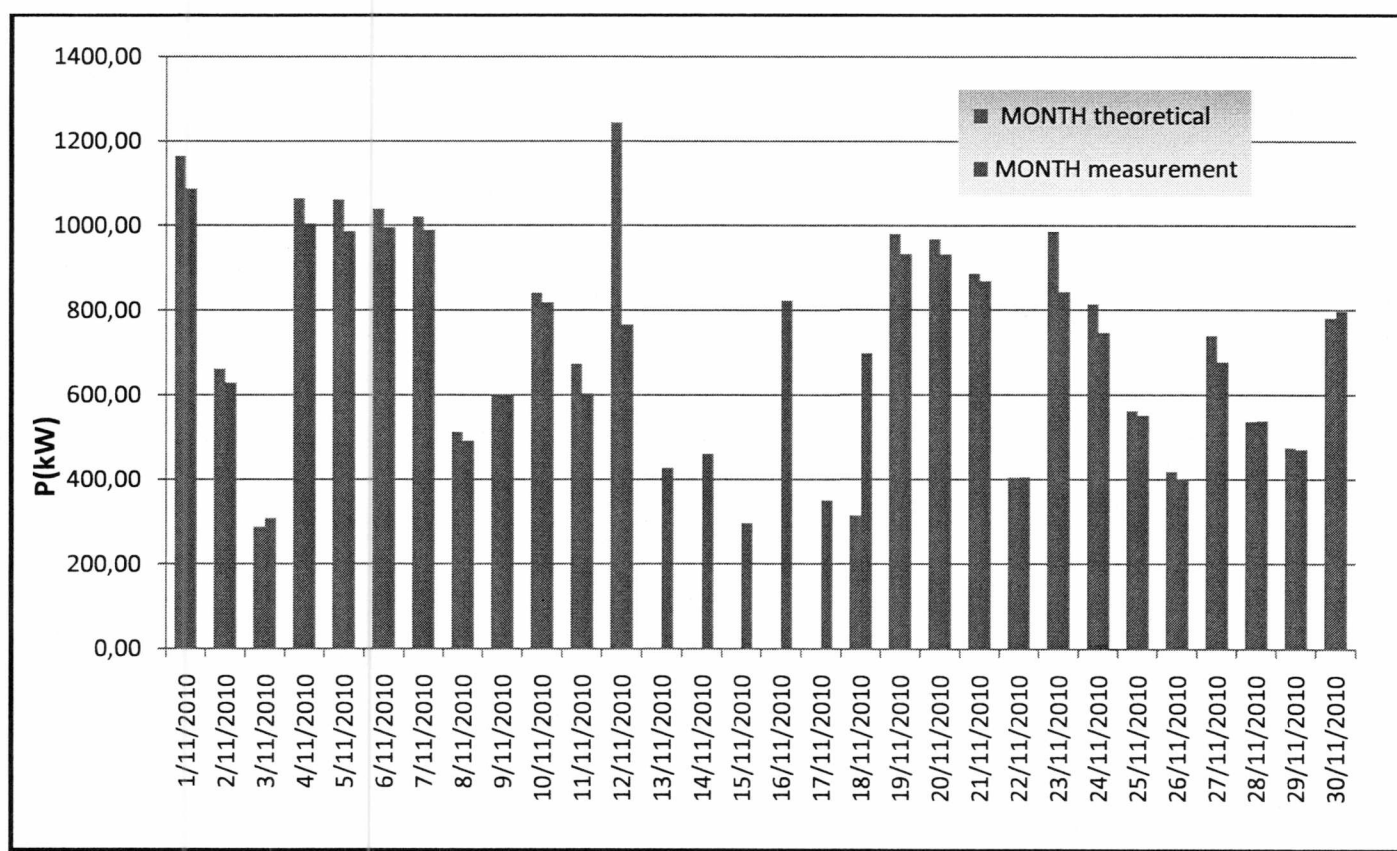


Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

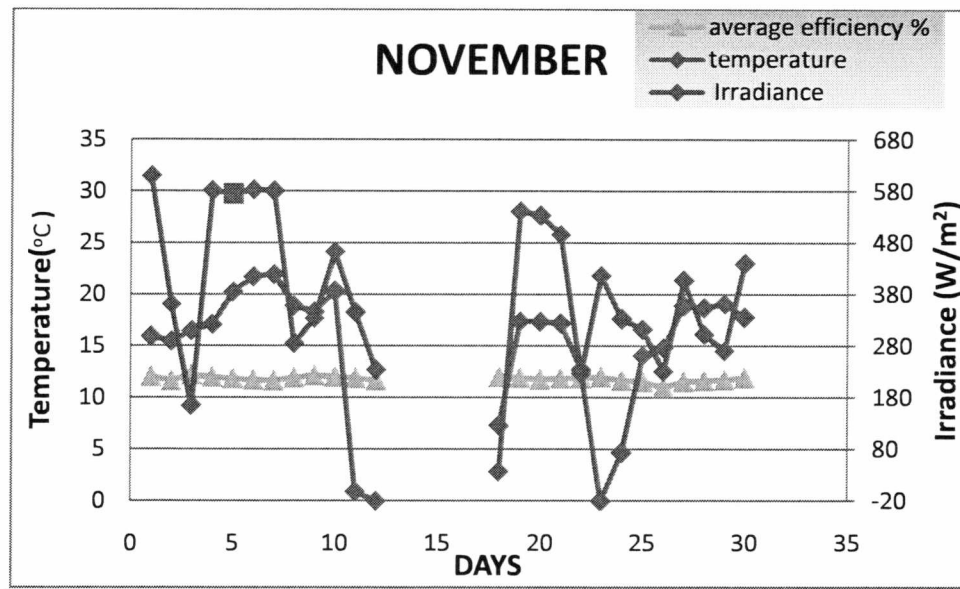
### **Νοέμβριος**

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/11/2010	1163.89	1086.99	15.93	609.59
2/11/2010	661.46	628.71	15.45	361.16
3/11/2010	287.71	307.97	16.52	165.52
4/11/2010	1063.71	1004.20	17.11	581.29
5/11/2010	1060.94	985.68	20.25	575.09
6/11/2010	1039.30	994.81	21.74	583.54
7/11/2010	1021.04	988.65	21.96	580.87
8/11/2010	512.13	491.80	18.91	285.03
9/11/2010	598.34	597.81	18.32	334.05
10/11/2010	841.43	818.27	20.30	463.00
11/11/2010	673.22	603.29	0.88	345.64
12/11/2010	1244.11	765.93	0.00	233.76
13/11/2010	#ΔΙΑΠ/0!	426.74		0.00
14/11/2010	#ΔΙΑΠ/0!	460.53		0.00
15/11/2010	#ΔΙΑΠ/0!	296.57		0.00
16/11/2010	#ΔΙΑΠ/0!	822.49		0.00
17/11/2010	#ΔΙΑΠ/0!	350.67		0.00
18/11/2010	314.68	697.99	7.29	36.79
19/11/2010	978.25	931.69	17.39	541.70
20/11/2010	966.58	930.69	17.37	533.34
21/11/2010	885.17	867.53	17.19	495.37
22/11/2010	404.58	405.28	12.69	227.77
23/11/2010	986.21	841.52	0.00	416.66
24/11/2010	814.06	747.38	4.69	332.20
25/11/2010	561.86	551.29	14.06	312.47

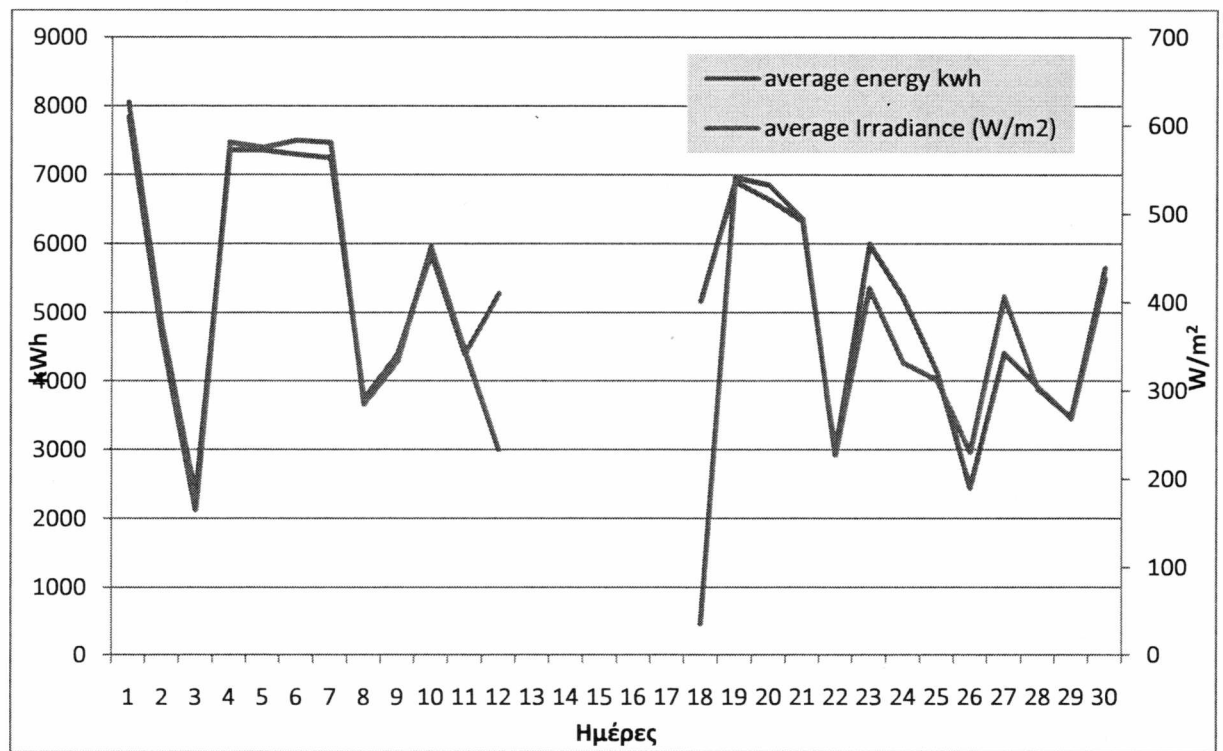
26/11/2010	417.99	400.13	14.81	230.49
27/11/2010	739.59	677.00	18.92	407.14
28/11/2010	537.08	538.75	18.69	302.82
29/11/2010	474.73	470.91	19.10	270.38
30/11/2010	781.17	796.07	17.77	439.56



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



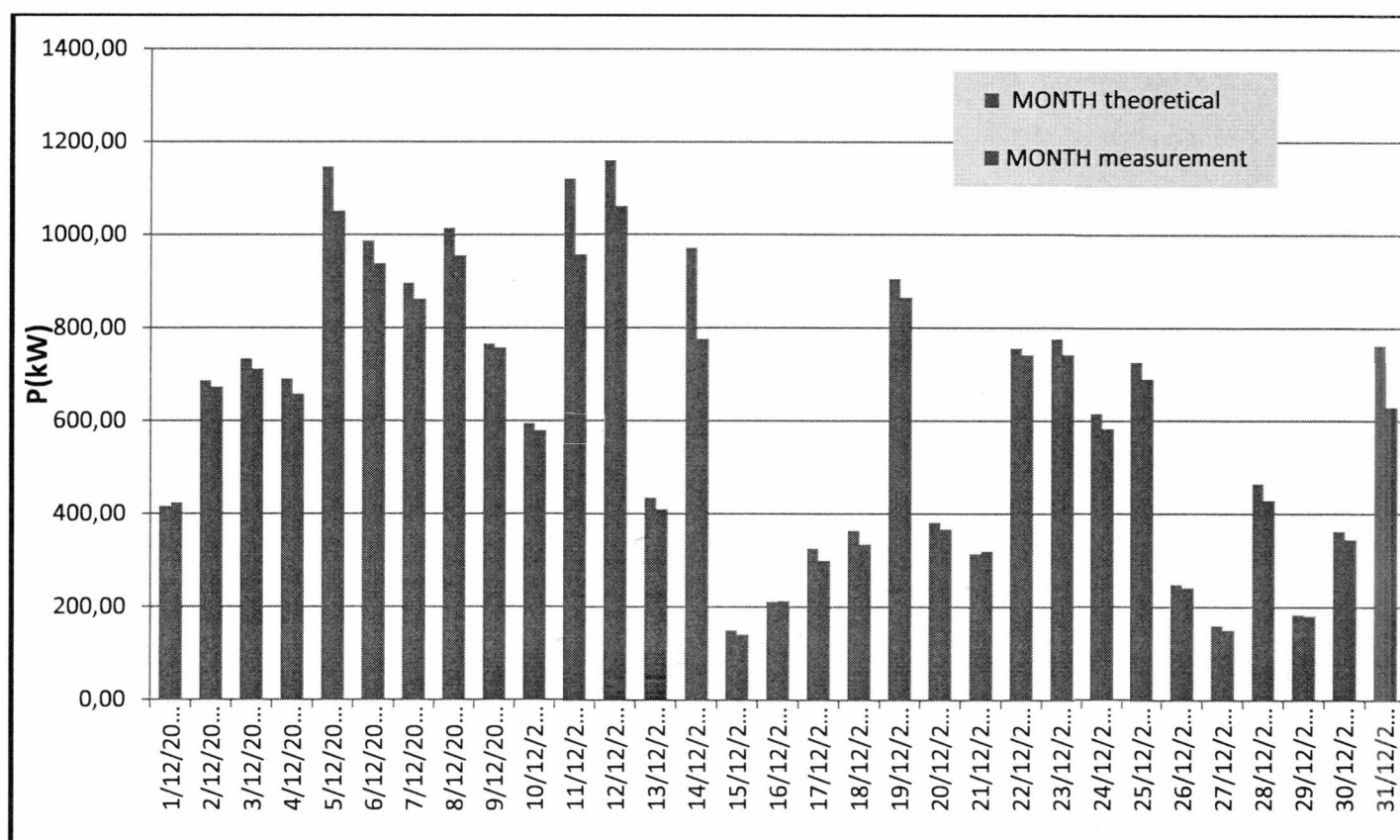
Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου



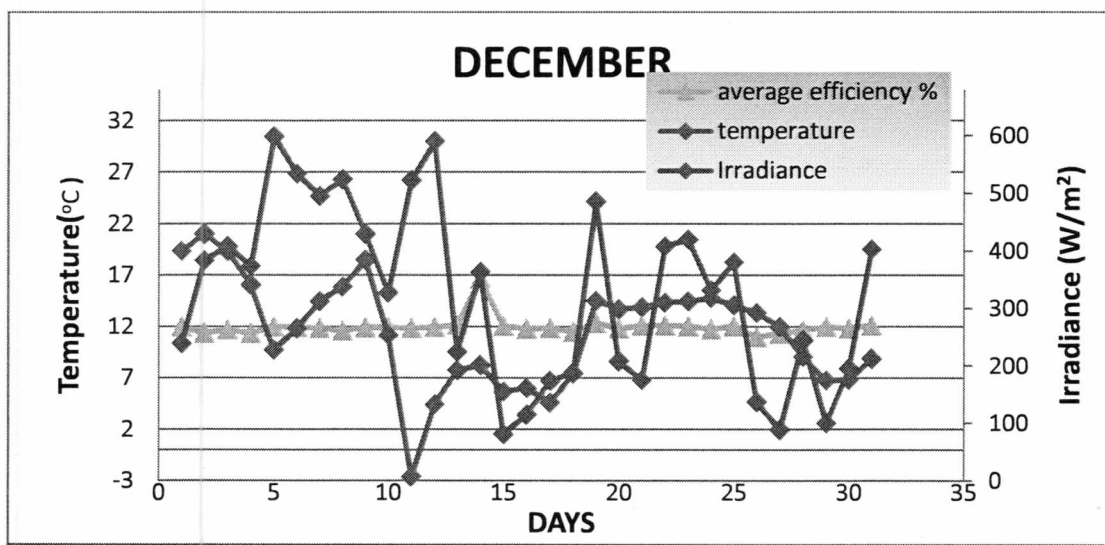
### Δεκέμβριος

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/12/2010	416.74	424.00	19.35	239.03
2/12/2010	686.76	673.63	21.03	383.95
3/12/2010	733.90	712.05	19.34	408.37
4/12/2010	691.34	658.51	16.07	373.96
5/12/2010	1146.47	1051.02	9.75	599.22
6/12/2010	987.00	937.82	11.83	534.22
7/12/2010	896.38	862.43	14.48	495.59
8/12/2010	1013.93	955.17	15.91	524.80
9/12/2010	765.94	757.23	18.47	429.96
10/12/2010	594.36	579.53	11.17	327.68
11/12/2010	1119.32	956.93	-2.59	523.26
12/12/2010	1158.92	1060.64	4.42	590.54
13/12/2010	434.28	409.96	7.77	224.93
14/12/2010	970.71	776.17	8.25	363.76
15/12/2010	149.87	140.63	5.68	81.47
16/12/2010	211.46	212.66	6.02	114.96
17/12/2010	325.80	299.85	4.60	174.01
18/12/2010	363.80	334.49	7.44	188.49
19/12/2010	904.27	864.89	14.51	486.45
20/12/2010	381.57	367.46	13.72	207.97
21/12/2010	314.40	319.73	13.91	175.34
22/12/2010	756.34	741.72	14.35	408.37
23/12/2010	775.62	742.54	14.47	420.18
24/12/2010	615.82	583.76	14.82	331.82
25/12/2010	725.87	689.28	14.08	380.95

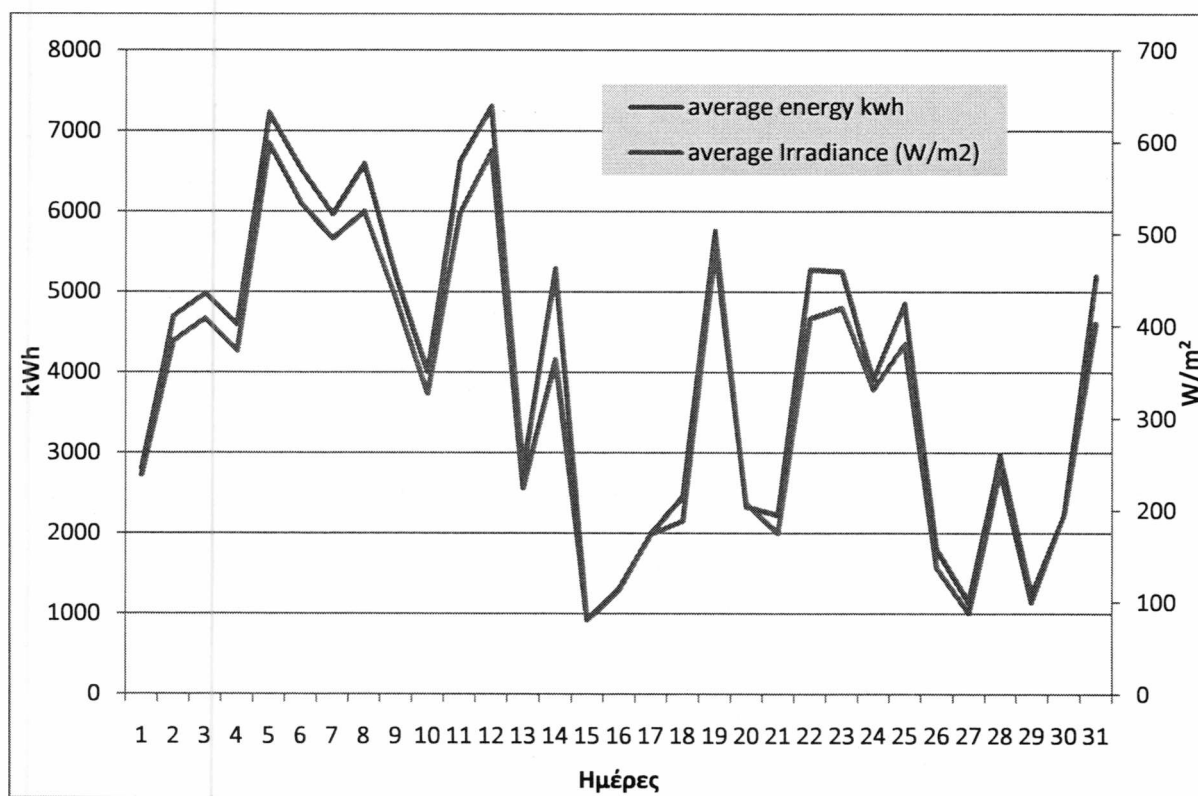
26/12/2010	<b>248.26</b>	<b>241.25</b>	13.38	137.50
27/12/2010	<b>160.00</b>	<b>150.29</b>	11.96	88.95
28/12/2010	<b>464.33</b>	<b>428.98</b>	9.10	244.25
29/12/2010	<b>183.80</b>	<b>181.11</b>	6.76	100.80
30/12/2010	<b>362.32</b>	<b>344.58</b>	6.83	195.97
31/12/2010	<b>762.02</b>	<b>628.79</b>	8.88	403.44



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου



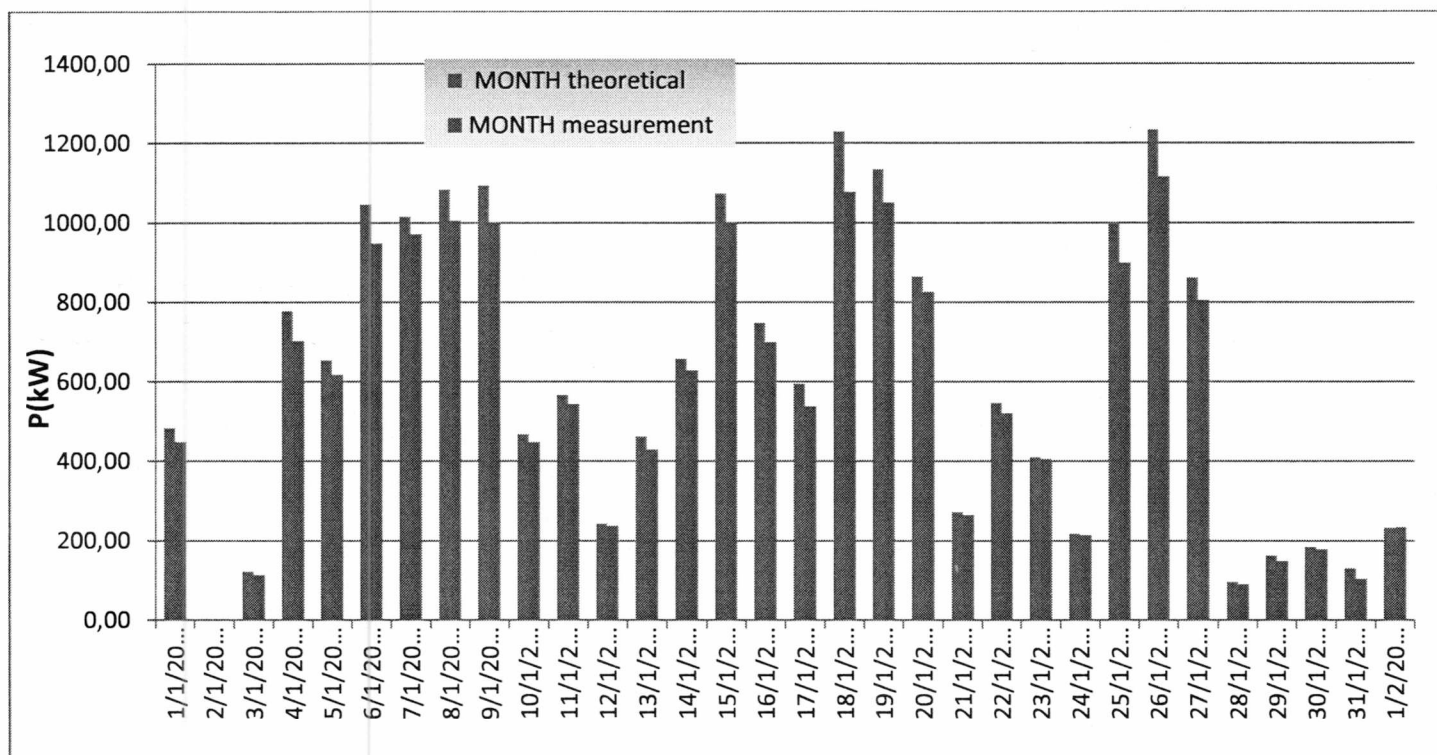
Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου



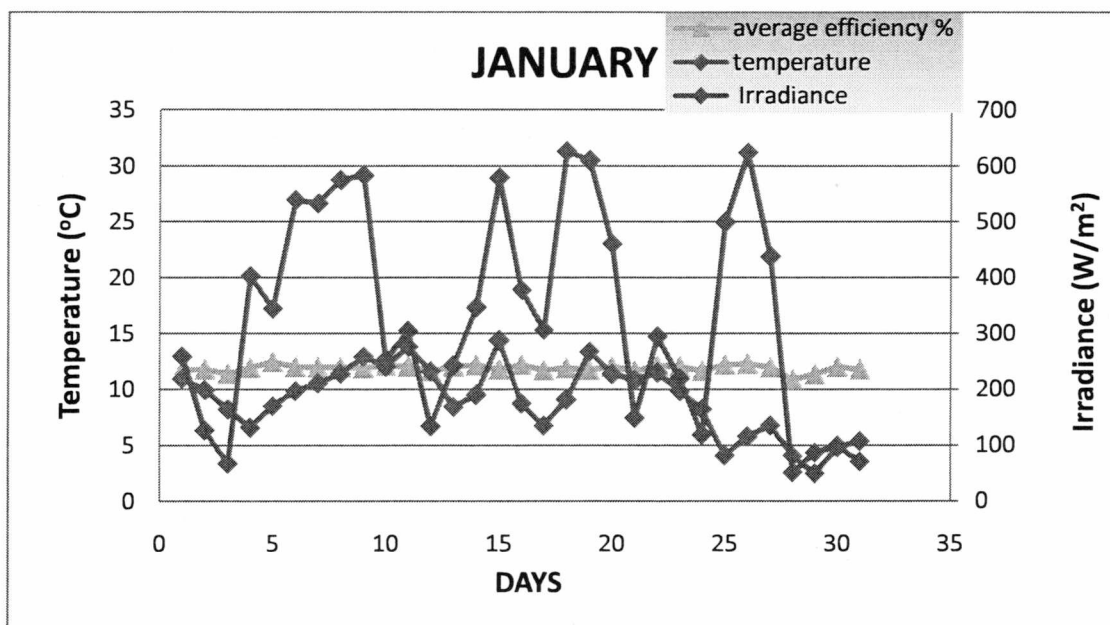
**Ιανουάριος**

day	month theoretical	month measurement	avg temperature	avg irradiance
1/1/2011	482.84	448.13	10.98	259.40
1/2/2011	232.29	233.58	9.97	127.24
3/1/2011	122.26	113.43	8.25	67.99
4/1/2011	778.34	702.69	6.60	403.17
5/1/2011	653.41	617.14	8.53	344.76
6/1/2011	1046.05	948.28	9.86	539.52
7/1/2011	1014.90	971.09	10.56	533.42
8/1/2011	1083.01	1005.47	11.43	575.27
9/1/2011	1093.50	997.79	12.94	583.73
10/1/2011	467.61	448.33	12.05	253.89
11/1/2011	565.86	543.76	13.84	305.35
12/1/2011	242.75	237.45	11.62	134.10
13/1/2011	461.96	429.50	8.44	242.96
14/1/2011	657.91	628.09	9.52	346.99
15/1/2011	1073.44	997.71	14.38	579.14
16/1/2011	747.92	699.72	8.75	378.22
17/1/2011	594.21	537.99	6.76	306.25
18/1/2011	1228.52	1077.07	9.08	626.50
19/1/2011	1133.69	1050.64	13.38	610.19
20/1/2011	864.82	826.68	11.39	461.10
21/1/2011	271.67	264.59	10.88	149.04
22/1/2011	545.65	519.79	11.52	295.03
23/1/2011	410.40	406.17	9.86	219.93
24/1/2011	217.85	214.28	8.22	119.08
25/1/2011	996.66	899.12	4.10	499.51

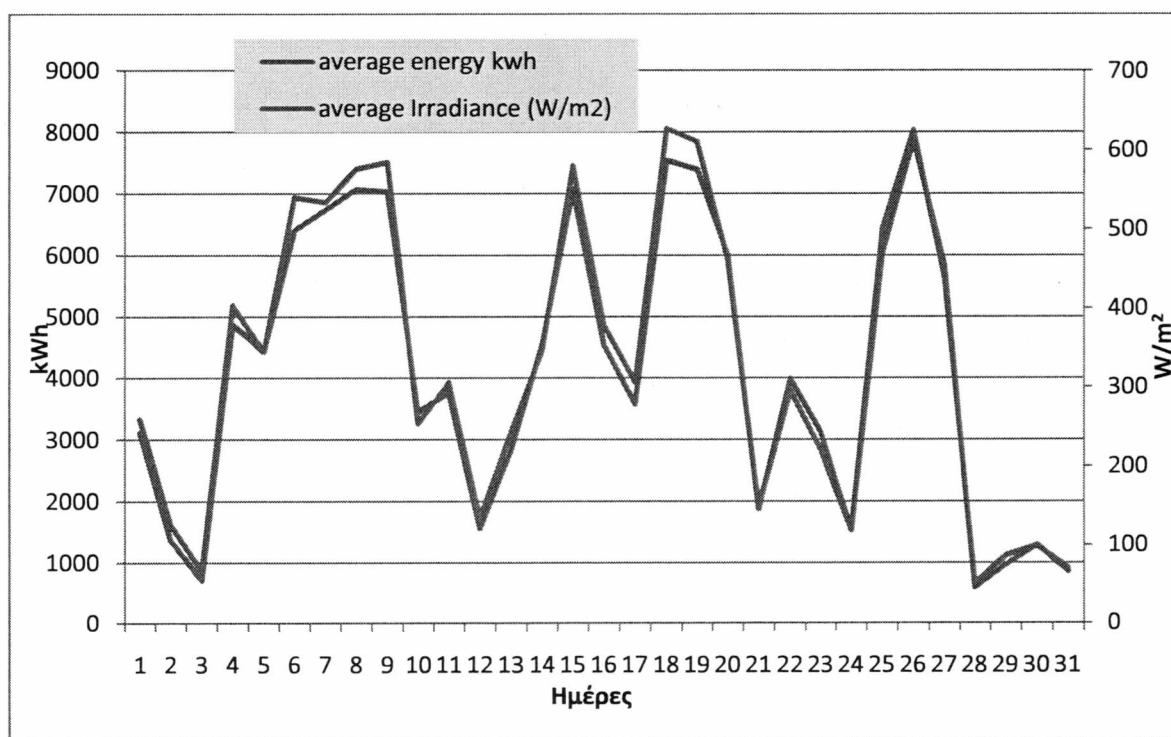
26/1/2011	1233.76	1116.23	5.79	624.42
27/1/2011	862.32	805.48	6.79	438.01
28/1/2011	96.14	90.31	4.08	52.07
29/1/2011	162.42	148.75	2.49	87.11
30/1/2011	184.09	178.42	4.84	99.56
31/1/2011	130.86	104.56	5.38	71.50



*Μέσης ημερήσιας ισχύς πάρκου*



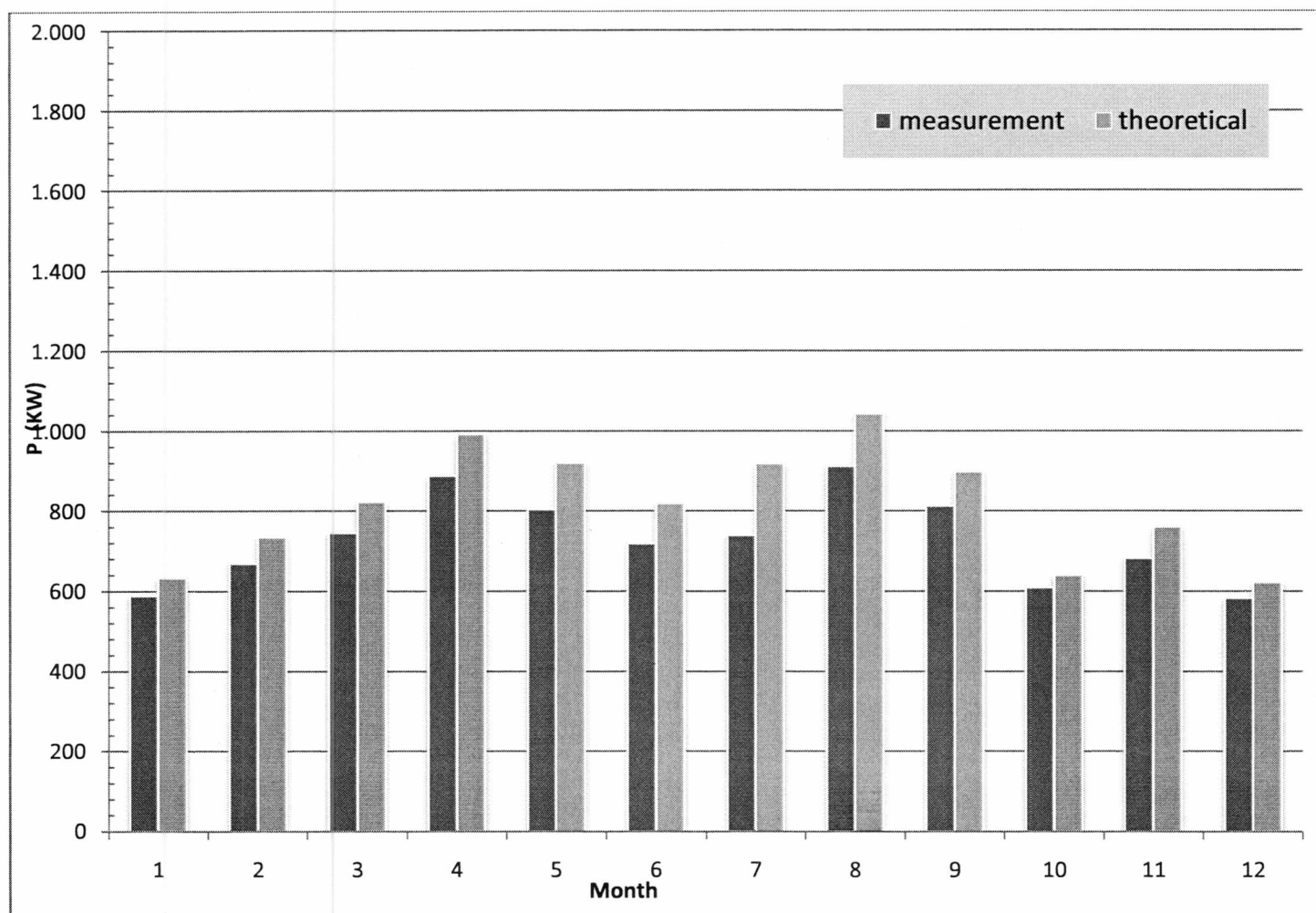
Μέση ημερήσια θερμοκρασία, ακτινοβολία , βαθμός απόδοσης πλαισίου



Μέση ημερήσια παραγωγή και ακτινοβολία πάρκου

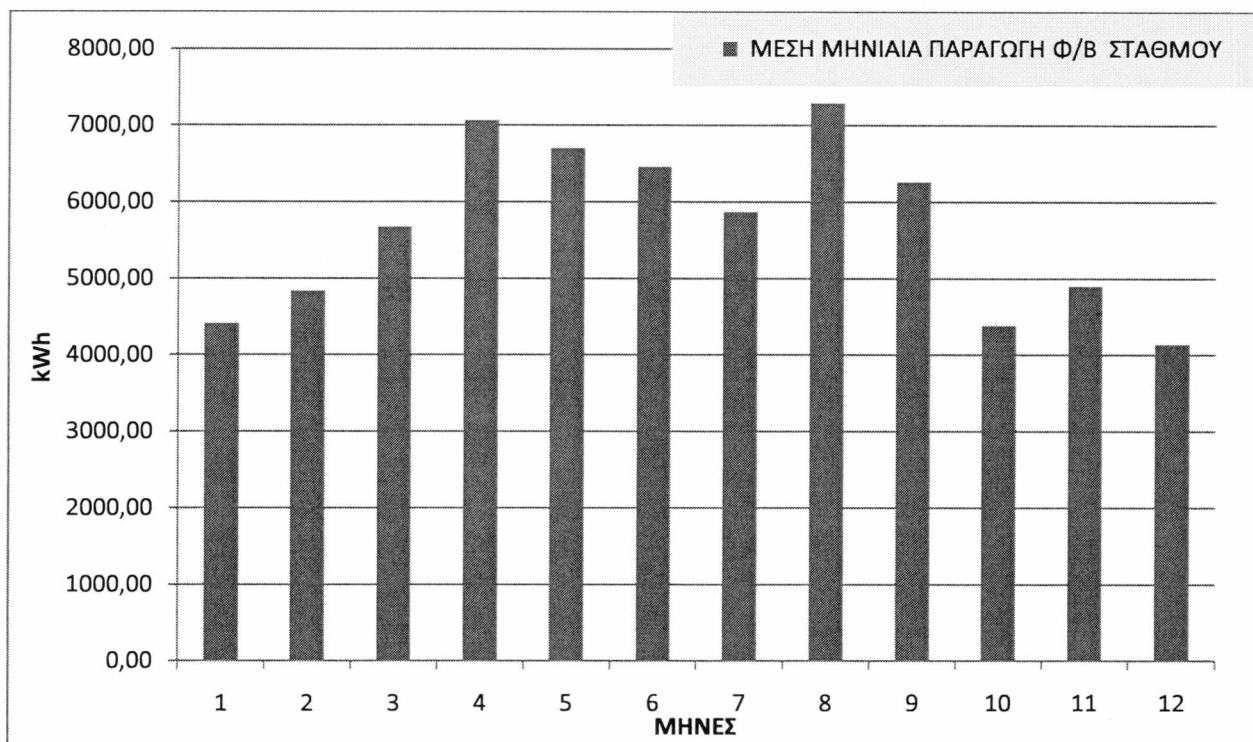
## Μέση μηνιαία ισχύς

Παρακάτω παραθέτουμε ένα διάγραμμα που απεικονίζει την θεωρητική (υπολογισμένη) την μετρήσιμη (εξήχθησαν από τα μετρητικά όργανα)



Μέση μηνιαία ισχύς

### Μέσης μηνιαίας απόδοσης σταθμού



Διάγραμμα μέσης μηνιαίας απόδοσης (kWh) φ/β σταθμού

### Ανάλυση της ετήσιας απόδοσης

Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που έγιναν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων

$$\text{Συντελεστής απόδοσης } n = \frac{P_m}{E \cdot A}$$

Όπου  $P_m$  μέγιστη ισχύς πλαισίου,  $E$  η προσπίπτουσα ακτινοβολία και  $A$  η επιφάνεια του πλαισίου

Η ισχύς φ/β πλαισίου όπως προκύπτει και από τη θεωρία ακολουθεί μια κατανομή ευθείας

Συντελεστές απόδοσης  $Y_1$  για το πάνελ 280W και  $Y_2$  για πάνελ 270W

$$Y_1 = ax + b$$

$$Y_2 = ax + b$$

Οι συντελεστές μας **a** και **b** προκύπτουν από γραμμική παρεμβολή του διαγράμματος της ισχύος <<Current-Voltage & Power-Voltage Curve>>

Ο **X** είναι η ακτινοβολία κάθε χρονική στιγμή μετρημένη από αισθητήρα ακτινοβολίας στην κλίση των πάνελ

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής απόδοσης προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$\eta_t = 1 - [\gamma \times (T_c - T_{stc})],$$

$\gamma$  είναι ο συντελεστής θερμότητας δίνεται από τον κατασκευαστή  $T_c$  θερμοκρασία στο περιβάλλον της κυψέλης και  $T_{stc}$  θερμοκρασία αναφοράς

Η ισχύς είναι άθροισμα

$$P = P_{\alpha\kappa\tau 1} + P_{\alpha\kappa\tau 2} + P_{\theta\epsilon\rho\mu} + P_{\theta\epsilon\rho\mu} ,$$

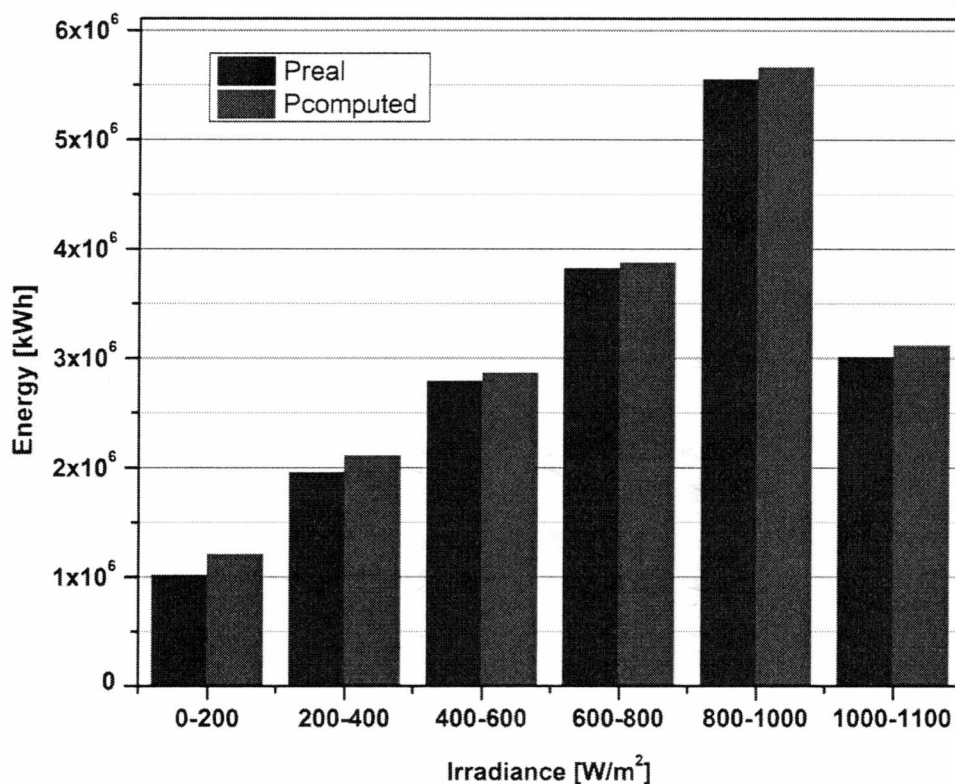
όπου

$$P_{\alpha\kappa\tau 1} = E \times A_1 \times Y_1$$

$$P_{\alpha\kappa\tau 2} = E \times A_1 \times Y_2$$

$$P_{\theta\epsilon\rho\mu} = E \times A_1 \times n$$

$$P_{\theta\epsilon\rho\mu} = E \times A_2 \times n$$



Ετήσια απόδοση του ΦΒ πάρκου όπως αναλύεται σε έξι κύριες κλάσεις προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Σύγκριση πραγματικής μετρημένης απόδοσης με αυτήν που υπολογίζεται με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα που παραθέσαμε παραπάνω παρατηρούμε μια διαφορά στα αποτελέσματα των μετρητικών οργάνων και υπολογισμένων από εμάς. Η διαφορά που παρατηρείται οφείλεται στους παράγοντες που αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια.

- Επικαθίσεις
- Απώλειες από καλωδιώσεις
- Γήρανση (στην περίπτωση μας όχι γιατί η εγκατάσταση είχε μόλις ένα χρόνο λειτουργίας)
- Θερμοκρασία (η οποία συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς)

## 9.2 Συμπεράσματα

- Η μελέτη της λειτουργίας και απόδοσης για ένα πλήρες έτος, ενός Φ/Β πάρκου σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μας επέτρεψε να κατανοήσουμε καλύτερα τη συμπεριφορά του και τα προβλήματα ρύθμισης και παρακολούθησης της λειτουργίας του.
- Αρχικά παρουσιάστηκε ο τρόπος σχεδιασμού του ΦΒ πάρκου και συζητήθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά του, μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά, καθώς και ο τρόπος μέτρησης της λειτουργίας του.
- Έγινε επεξεργασία των μετρητικών δεδομένων, και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για τις αδυναμίες και αστοχίες του μετρητικού και καταγραφικού συστήματος. Παρατηρήθηκε ότι έλειπαν αρκετές μετρήσεις ακτινοβολίας όσο και ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 6 υπήρχαν αρκετά τυχαία μετρητικά σφάλματα.
- Κατά τον έλεγχο των δεδομένων των ΦΒ συστημάτων παρατηρήθηκε συστηματική απόκλιση προς τα κάτω στον βαθμό απόδοσης των πλαισίων όταν η κάθετα προσπίπτουσα ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 0-400 W/m<sup>2</sup>.

Ο μέσος βαθμός απόδοσης του ΦΒ πάρκου για όλο το έτος βρέθηκε ίσος με 12%, τιμή που συμφωνεί με τα γνωστά από τη βιβλιογραφία για τη συγκεκριμένη τεχνολογία ΦΒ πλαισίων.



### 9.3 Προτάσεις Βελτιστοποίησης

#### Κλίση ΦΒ πλαισίων

Παρακάτω βλέπουμε ένα διάγραμμα με τις παραγόμενες kWh κάθε μήνα σε τρεις διαφορετικές κλίσεις με τα ίδια κλιματολογικά δεδομένα από το Join research center–European Commission στην περιοχή του πάρκου και ισχύ ίδια με του πάρκου .

Παρατηρούμε μια αισθητή διαφορά στην παραγωγή ενέργειας μεταξύ των 29 και 30 μοιρών. Εδώ θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η ακρίβεια της μια μοίρας κατά την εγκατάσταση είναι αρκετά δύσκολη και ταυτόχρονα με το πέρασ των χρόνων είναι πολύ πιθανή η αλλαγή των μοιρών κλίσης (κυρίως στα πάρκα). Τα πιθανά αίτια είναι η χαλάρωση των συνδέσεων κάτω από έντονες ανεμοπιέσεις και η καθίζηση του εδάφους λόγω βροχοπτώσεων χιονοπτώσεων.



## **Έλεγχος κατάστασης**

### **Οπτικός Έλεγχος**

- Ηλεκτρολογικές συνδέσεις
- Γειώσεις φ/β πλαισίων & βάσεων στήριξης
- Αντικεραυνική προστασία φ/β εγκατάστασης

### **Συνθήκες περιβάλλοντος**

- Καταγραφή στο χρόνο της θερμοκρασίας και της υγρασίας περιβάλλοντος με καταγραφικά
- Καταγραφή στο χρόνο της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας
- Hot-spot σε φ/β πάνελ και σε ηλεκτρολογικό υλικό με θερμοκάμερα

### **Αξιολόγηση ρευμάτων**

- Πλευρά AC
- Πλευρά DC

### **Εντοπισμός προβλημάτων**

- Αβίδωτα καλώδια
- Καμένες κλέμες
- Έλεγχος μηχανικών συσφίξεων
- Κραδασμοί

Με τις παραπάνω ενέργειες και φυσικά με τακτούς χρονικά ελέγχους εξασφαλίζουμε την σωστή λειτουργία του πάρκου και ταυτόχρονα την μέγιστη δυνατή παράγωγη .

### Καθαρισμός

Ο καθαρισμός των πλαισίων από τις επικαθήσεις εξασφαλίζει την καλύτερη-μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας και ταυτόχρονα την καλύτερη απόδοση των πάνελ άρα και περισσότερη παραγόμενη ενέργεια. Σημειώνεται ότι επικαθήσεις σημαντικού μεγέθους και αδιαφάνειας που παραμένουν επί μακρόν χωρίς να καθαριστούν, μπορεί να οδηγήσουν λόγω hot spots σε ζημιές σε ολόκληρο το πλαίσιο.

## Βιβλιογραφία

- [1] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης: <<Φωτοβολταϊκά Συστήματα>> , Εκδόσεις ΖΗΤΗ 2011.
- [2] EU/JRC: Computation scheme of solar radiation database. Ιστοσελίδα: <http://re.jrc.ec.europa.eu> 2015
- [3] Σταμάτης Δ. Πέρδιος : <<Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις >> ,ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ Σέλκα - 4Μ, 2011.
- [4] Σ.Ε.Φ : Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών. Ιστοσελίδα εταιρίας: (<http://helapco.gr/>) 2014
- [5] Υ.Π.Ε.Κ.Α : Υπουργείο περιβάλλοντος ενέργειας και κλιματικής αλλαγής , <<Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών >> Α' έκδοση , Αθήνα Ιούλιος 2010.
- [6] Μπινώλη Μαρία: <<Προσομοίωση λειτουργίας φωτοβολταϊκού πλαισίου και έλεγχος απόδοσης του.Διπλωματική>> Εργασία, ΕΜΠ 2010.
- [7] Μωυσής Δαμιανίδης, Η.Μ. -Γεώργιος Κατσαρός, Δρ Η.Μ. - Ματθαίος Τόλης, Μ.Μ.- Φώτιος Στεργιόπουλος, Η.Μ. << Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων >> Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη Απρίλιος 2011
- [8] Helios Systems : Φωτοβολταϊκά συστήματα. Ιστοσελίδα εταιρίας: [www.selasenergy.gr](http://www.selasenergy.gr) 2014
- [9] Solydra : Εταιρία παραγωγής φ/β πλαισίων . Ιστοσελίδα εταιρίας: <https://solyndra-info.com>. Έκλεισε το 2011
- [10] Olympic: Engineering consulting . Ιστοσελίδα εταιρίας: <http://www.oleng.eu> 2014
- [11] SUNTECH SOLAR: Τεχνικές προδιαγραφές ΦΒ πάνελ STP 280/24. Ιστοσελίδα εταιρίας: [www.suntreksolar.com/solarElectricity/files/Suntech\\_Solar/STP260-270-280\\_24Vb\\_Dec31-N01.01.pdf](http://www.suntreksolar.com/solarElectricity/files/Suntech_Solar/STP260-270-280_24Vb_Dec31-N01.01.pdf)
- [12] SMA Solar Technology: Οι μετατροπείς Sunny Mini Central. Ιστοσελίδα εταιρίας: <http://www.sma-hellas>.
- [13] Alumil Solar. Παραγωγή φ/β βάσεων. Ιστοσελίδα εταιρίας [www.alumilsolar.com](http://www.alumilsolar.com)

- [14] Sungate. Εταιρία πώλησης μετρητικών και άλλων οργάνων. Ιστοσελίδα εταιρίας : [www.sungate.gr](http://www.sungate.gr)
- [15] Schneider- Electric : Εταιρία παραγωγής ηλεκτρολογικού υλικού και μετρητικών οργάνων. Ιστοσελίδα εταιρίας (<http://www.schneider-electric.com>)
- [16] SMA Sunny design . Πρόγραμμα διαστασιολόγηση φ/β εγκαταστάσεων. Ιστοσελίδα εταιρίας: <http://www.sma-hellas>.
- [17] ABB. Εταιρία παραγωγής ηλεκτρολογικού υλικού. Ιστοσελίδα εταιρίας (<http://www.abb.com>)
- [18] Κατριάδης Κ. Ιωάννης Γκατζής Χ. Αθανάσιος: Μέτρηση βαθμού απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων και μελέτη της εξάρτησής του από τη θερμοκρασία. Διπλωματική Εργασία 2008
- [19] Ντρίβας Ν. <<Μελέτη ημιαγωγών>>
- [20] Ζαφειρίου Λάζαρος, Αποστόλου Αριστοτέλης :Μέθοδοι βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Μέτρηση του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων συναρτήσει της θερμοκρασίας. Διπλωματική Εργασία, 2010
- [21] ΓΕΩΡΓΙΟΣ Σ. ΛΕΝΤΖΑΣ, ΘΩΜΑΣ Κ. ΜΠΟΥΜΠΟΥΛΗΣ: Ανάπτυξη μοντέλου ισόδυναμου φωτοβολταϊκού σταθμού. Υλοποίηση ανιχνευτή σημείου μέγιστης απόδοσης – MPP tracker. Διπλωματική Εργασία, 2009
- [21] ΡΟΥΜΠΑΚΙΑΣ ΗΛΙΑΣ: Αξιολόγηση Απόδοσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Πραγματικές Συνθήκες Λειτουργίας. Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΠΘ, 2012
- [22] Elias Roumpakias, Olympia Zogou, Anastassios Stamatelos: Correlation of actual efficiency of photovoltaic panels with air mass. Renewable Energy, 02/2015
- [23] Antonio Luque and Steven Hegedus (Eds.): *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [24] Andreas Wagner, <<Photovoltaic Engineering>>. Berlin, 1999.
- [25] California Energy Commssion: *A guide to photovoltaic (PV) system design and installation. Consultant Report 500-01-020, June 2001.*

[26] European Photovoltaic Industry Association: Ιστοσελίδα: (<http://www.epia.gov>)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124384