

Μέθοδοι θεωρητικού υπολογισμού και μέτρησης της απόδοσης PR (Performance Ratio) ενός Φωτοβολταϊκού Σταθμού, ανάλυση των παραγόντων που το επηρεάζουν καθώς τρόποι βελτίωσης του.

Καθηγήτης: κ. Τσίωλης Σπυρίδων
Σπουδαστής: Λούκας Αγαθοκλής

Αναγκαιότητα μέτρησης PR

- Το υψηλό επενδυτικό ενδιαφέρον στη ΦΒ τεχνολογία, θεσμοθέτησε την μέτρηση του PR ως δείκτη για την ποιότητα της εγκατάστασης και της εγγύησης της απόδοσης που παρέχει ο εγκαταστάτης στον επενδυτή.

Τι είναι το Performance Ratio (PR)

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\%$$

Όπου E_{out} η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του ΦΒ σταθμού
Και E_{in} η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια του ΦΒ σταθμού στην
επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων.

Εξοπλισμός ΦΒ πάρκου

Βασικός Εξοπλισμός

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Αντιστροφείς
- Βάσεις Στήριξης
- Γείωση
- Καλωδιώσεις και Οδεύσεις
- Πίνακας και Λοιπές Ασφαλιστικές Διατάξεις



Εξοπλισμός ΦΒ πάρκου

Λοιπός Εξοπλισμός

- Απαγωγί Κρουστικών και Κευρανικών Υπερτάσεων
- Συστήματα Ασφαλείας και Παρακολούθησης
- Σύστημα Τηλεμετρίας (Monitoring Systems)

Παράγοντες που επιρεάζουν το PR

- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διακύμανσης του Ηλιακού Φάσματος (f1)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Σκίασης (f2)
- Παράγοντας Οπτικών Απωλειών (f3)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Χαμηλής Ακτινοβολίας (f4)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Υψηλής Θερμοκρασίας (f5)

Παράγοντες που επιρεάζουν το PR

- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διαφόρων στα Χαρακτηριστικά των ΦΒ Πλαισίων (f6)
- Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της DC Καλωδίωσης (f7)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λειτουργίας των Σταθμών Μετατροπών σε Σημείο Διαφορετικό του Ακριβούς Σημείου Μέγιστης Ισχύος (f8)
- Παράγοντας Απόδοσης των Σταθμών Αντιστροφών (f9)

Παράγοντες που επιρεάζουν το PR

- Παράγοντας Απόδοσης Μετασχηματιστή του Σταθμού Μετατροπών (f10)
- Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της AC Καλωδίωσης (f11)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Επικάθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων (f12)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Ιδιοκαταναλώσεων των Σταθμών Μετατροπών των Μετασχηματιστών και των Οικίσκων Η/Μ εξοπλισμού (f13)
- Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λοιπών Ιδιοκαταναλώσεων των ΦΒ Σταθμών (f14)

Τύποι για υπολογισμό παραγόντων

$$\varepsilon = \tan^{-1}\left(\frac{L \cdot \sin\beta}{D - L \cdot \cos\beta}\right)$$

$$f2 = (-7 \times 10^{-5} - 5) \cdot \varepsilon^2 + 0,0015 \cdot \varepsilon + 0,973$$

$$eff(200) = \frac{P_{max}}{[area \times irradiation]}$$

$$eff(1000) = \frac{P_{max}}{[area \times irradiation]}$$

$$LIP = \frac{eff(200)}{eff(1000)}$$

$$f4 = (0,2773 \times low \text{ irradiation parameter}) + 0,7199$$

$$f5 = 1 - T_k(W_p) \times (T - T_{STC})$$

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$dV = R(L_X) \times I(L_X) + R(N) + I(N)$$

$$P_{strloss} = dV \times I$$

$$f7(4mm^2) = 100\% - \frac{P_{loss}}{P_{nom}} \times 100\%$$

$$P_{Loss AC} = \frac{3 \times L \times I^2}{A \times k}$$

Θεωρητικός υπολογισμός PR

Συντελεστές Απωλειών		Τιμή
f1	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διακύμανσης του Ηλιακού Φάσματος	0,995
f2	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Σκίασης	0,974923
f3	Παράγοντας Οπτικών Απωλειών	0,982
f4	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Χαμηλής Ακτινοβολίας	0,98428
f5	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Υψηλής Θερμοκρασίας	0,946
f6	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διαφόρων στα Χαρακτηριστικά των ΦΒ Πλαισίων	0,995
f7	Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της DC Καλωδίωσης	0,9976
f8	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λειτουργίας των Σταθμών Μετατροπέν σε Σημείο Διαφορετικό του Ακριβούς Σημείου Μέγιστης Ισχύος	0,995
f9	Παράγοντας Απόδοσης των Σταθμών Αντιστροφέν	0,984
f10	Παράγοντας Απόδοσης Μετασηματιστή του Σταθμού Μετατροπέν	0,989
f11	Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της AC Καλωδίωσης	0,99
f12	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Επικάθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων	0,98
f13	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Ιδιοκαταναλώσεων των Σταθμών Μετατροπέν των Μετασηματιστών και των Οικίσκων Η/Μ εξοπλισμού	0,99
f14	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λοιπών Ιδιοκαταναλώσεων των ΦΒ Σταθμών	0,998
PERFORMANCE RATIO (PR)		81,72%

$$PR = f1 * f2 * f3 * f4 * f5 * f6 * f7 * f8 * f9 * f10 * f11 * f12 * f13 * f14 \times 100\%$$

Θεωρητικός υπολογισμός PR

Τύποι

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

$$E_{in} = H_d \times TA \times n$$

$$A = L \times W$$

$$n = \frac{P}{A \times 1000 \text{ W/m}^2} \times 100\%$$

Nominal power of the PV system: 99.4 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature: 10.4% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.4%
Other losses (cables, inverter etc.): 7.0%
Combined PV system losses: 18.6%

Fixed system: inclination=28°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	293.00	9070	3.40	105
Feb	350.00	9790	4.12	115
Mar	472.00	14600	5.64	175
Apr	535.00	16000	6.55	196
May	560.00	17400	7.02	218
Jun	608.00	18200	7.79	234
Jul	606.00	18800	7.86	244
Aug	599.00	18600	7.75	240
Sep	505.00	15200	6.40	192
Oct	436.00	13500	5.35	166
Nov	314.00	9410	3.74	112
Dec	250.00	7740	2.92	90.4
Yearly average	461	14000	5.72	174
Total for year		168000		2090

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

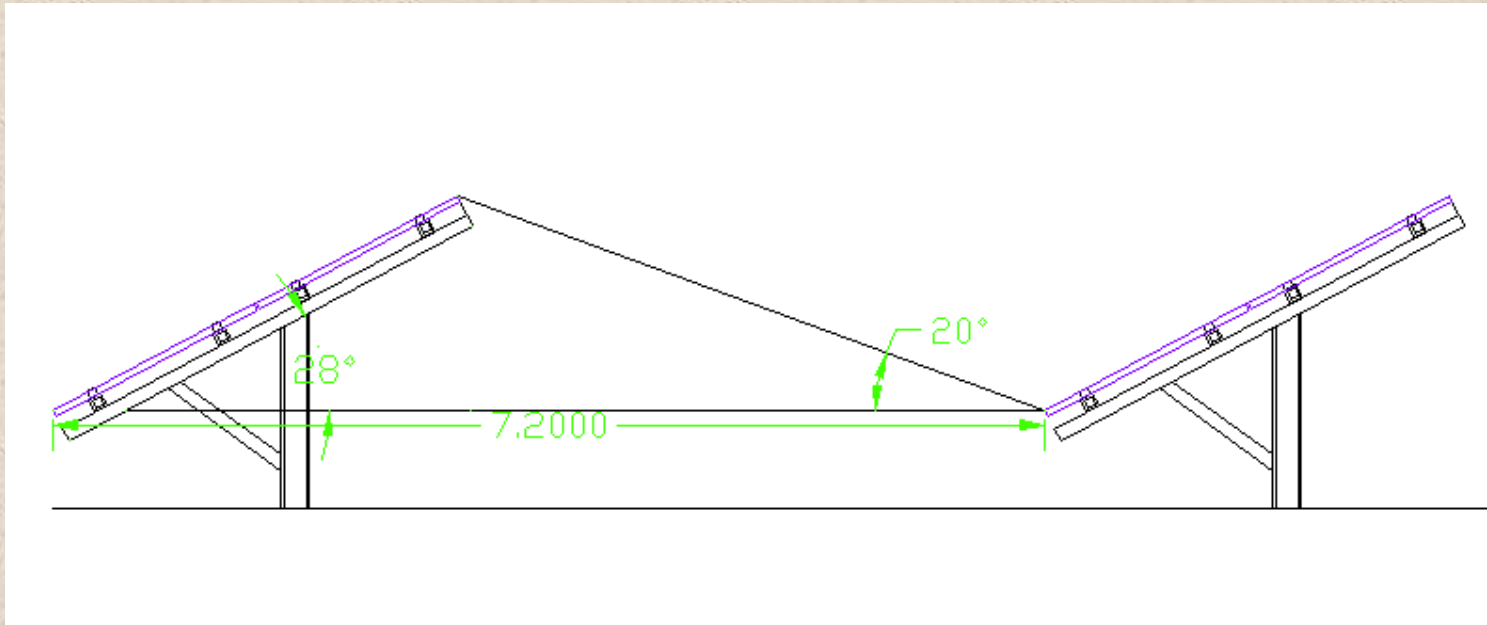
H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Τρόποι βελτιώσης του PR

- Βέλτιστος σχεδιασμός και εγκατάσταση
- Ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων (sorting)
- Επιλογή καλωδίων μεγαλύτερης διατομής.
- Επιλογή εξοπλισμού καλύτερης απόδοσης

Βέλτιστος Σχεδιασμός



$$\varepsilon = \tan^{-1}\left(\frac{L \cdot \sin\beta}{D - L \cdot \cos\beta}\right)$$

$$f2 = (-7 \times 10 - 5) \cdot \varepsilon^2 + 0,0015 \cdot \varepsilon + 0,973$$

Mismatch ΦΒ πλαισίων

Flash Report σε STC

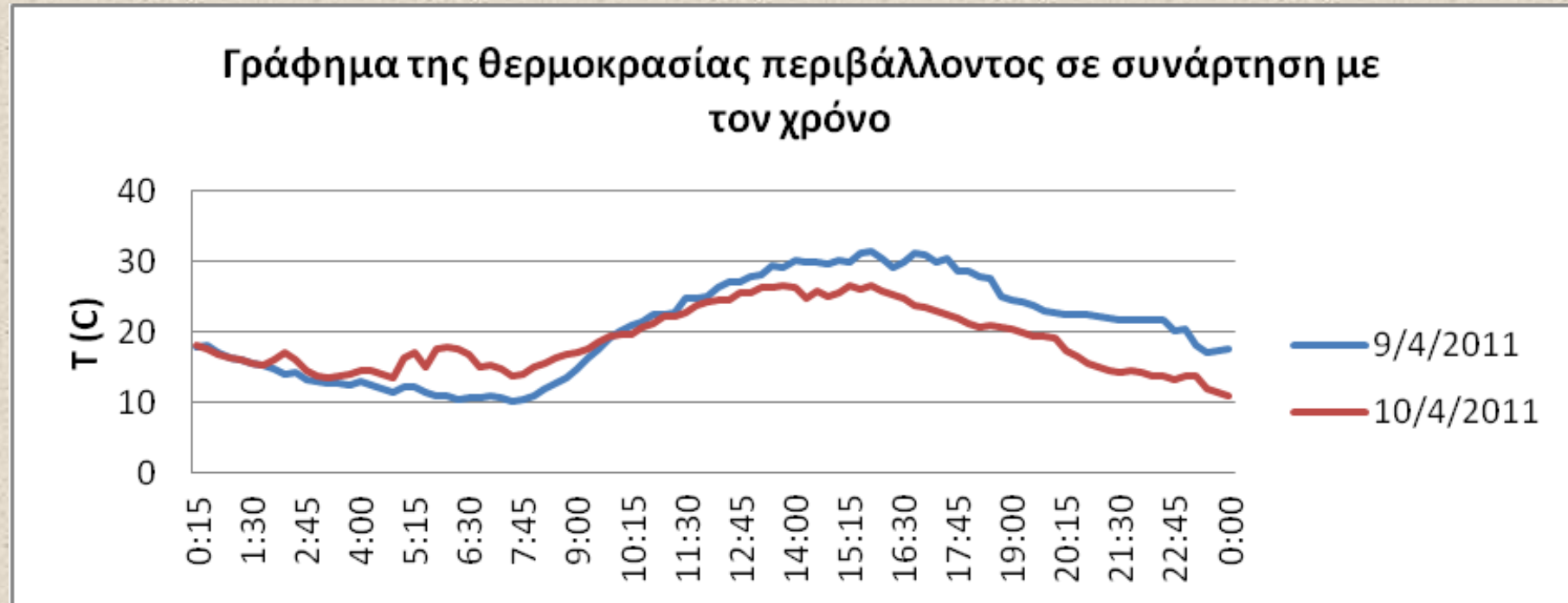
A/A	<u>Serien Nr</u>	<u>Box Nr</u>	<u>PmppSTC</u>	<u>StromMPP</u>	<u>SpannungMPP</u>	
1	101932020051	S1031100910P0200003	230	7,732	30,191	233,436812
2	101932020064	S1031100910P0200003	230	7,736	30,145	233,20172
3	101932020091	S1031100910P0200003	230	7,715	30,247	233,355609
4	101932020101	S1031100910P0200003	230	7,719	30,168	232,866792
5	101932020102	S1031100910P0200003	230	7,717	30,151	232,675267
6	101932020104	S1031100910P0200003	230	7,741	30,131	233,244071
7	101932020137	S1031100910P0200003	230	7,719	30,203	233,136957
8	101932020151	S1031100910P0200003	230	7,729	30,183	233,284407
9	101932020212	S1031100910P0200003	230	7,71	30,122	232,24062
10	101932020234	S1031100910P0200003	230	7,73	30,186	233,33778
11	101932020236	S1031100910P0200003	230	7,75	30,229	234,27479
12	101932020240	S1031100910P0200003	230	7,713	30,162	232,639506
13	101932020241	S1031100910P0200003	230	7,71	30,254	233,25834
14	101932020280	S1031100910P0200003	230	7,74	30,141	233,29134
15	101932020313	S1031100910P0200003	230	7,733	30,209	233,606197
16	101932020314	S1031100910P0200003	230	7,734	30,12	232,94808
17	101932020323	S1031100910P0200003	230	7,734	30,173	233,357982
18	101932020326	S1031100910P0200003	230	7,723	30,133	232,717159

Ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων

Pmpp (Watt)		
Χείριστη	99817,12	-0,69%
Τυχαία	99993,48	-0,52%
Βέλτιστη	100509,27	

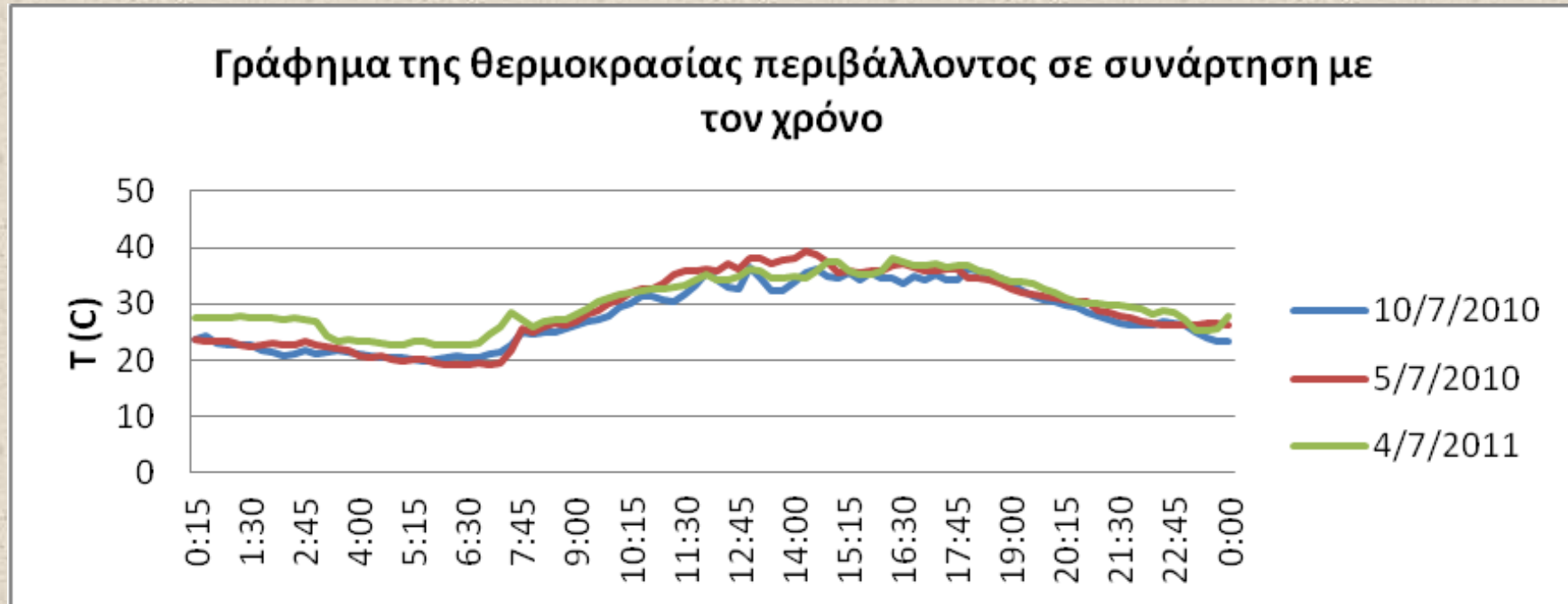
- Η ταξινόμηση των ΦΒ πλαισίων ελαχιστοποιεί το mismatch των ΦΒ πλαισίων

Πάραδειγμα PR (Άνοιξη)



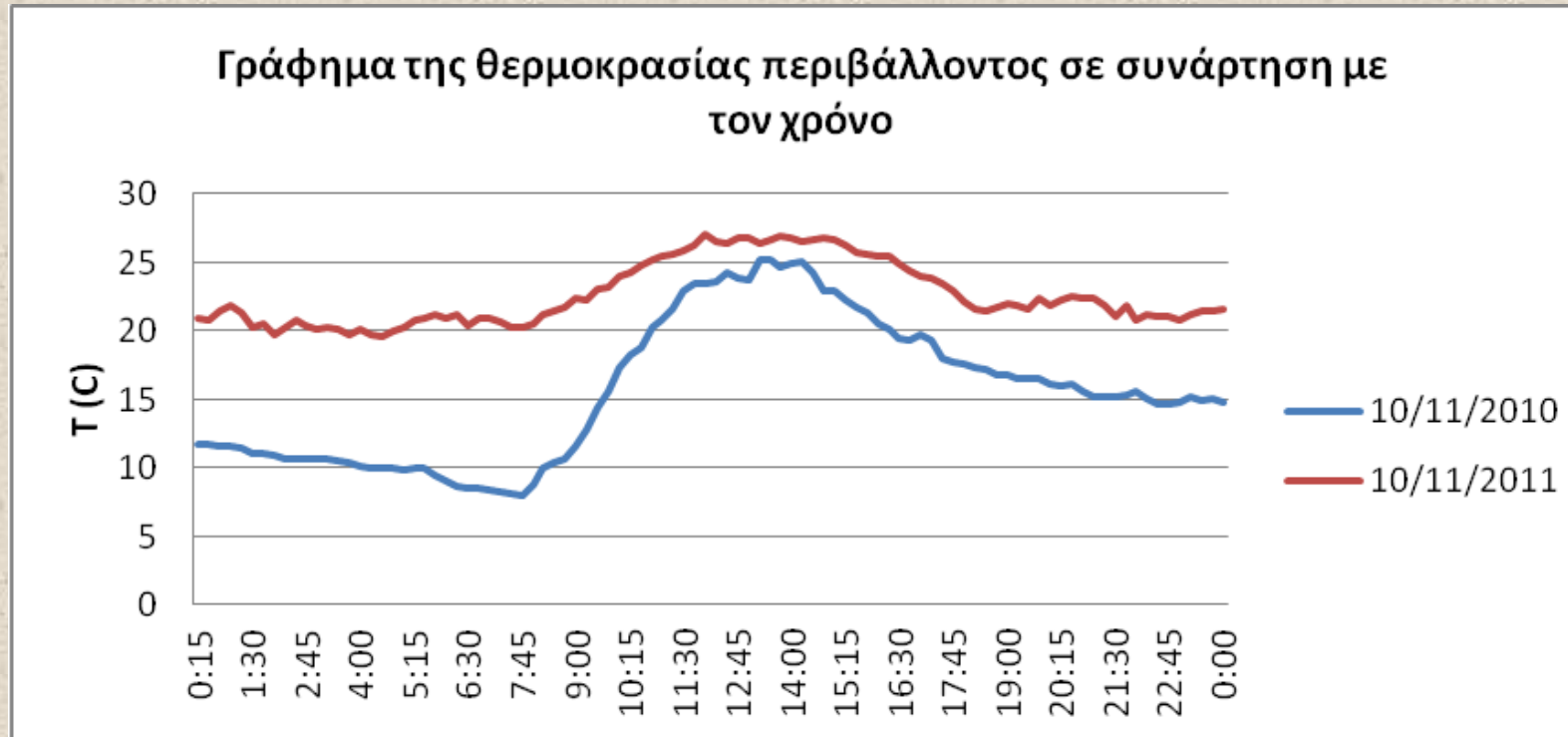
	9/4/2011	10/4/2011
MAX	31,53	26,68
AVERAGE	20,48	18,76
MIN	10,29	11,07
PR	77,01%	78,51%

Πάραδειγμα PR (Καλόκαιρι)



	10/7/2010	5/7/2010	4/7/2011
MAX	36,58	39,31	38,26
AVERAGE	27,88	28,92	30,21
MIN	19,85	19,23	22,61
PR	78,53%	76,90%	75,27%

Πάραδειγμα PR (Φθινόπωρο)



	10/11/2010	10/11/2011
MAX	25,22	27,05
AVERAGE	15,61	22,65
MIN	7,93	19,61
PR	82,60%	80,70%

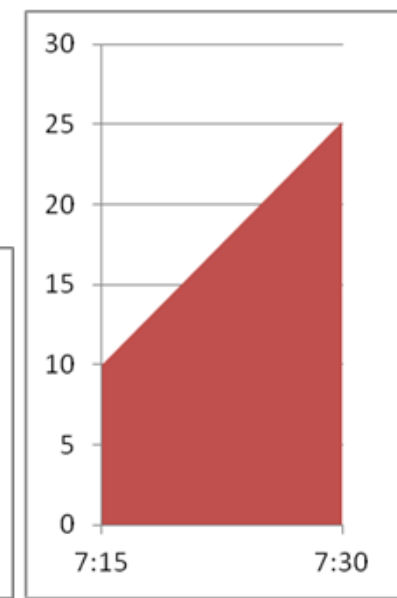
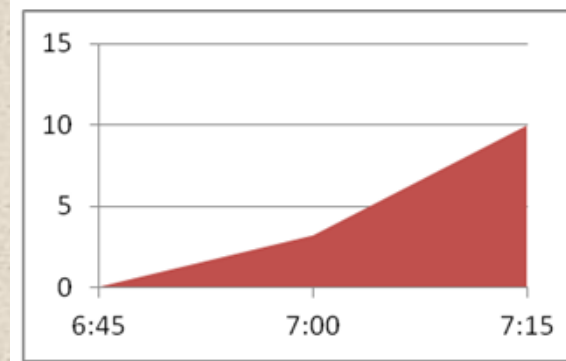
Σχεδιασμός Διάταξης Μέτρησης PR



Υπολογισμός Συνολικής Πρ. Ηλιακής Ακτινοβολίας - Ενέργειας

Μέθοδος Newton – Raphson

Time	Hd (W/m ²)	E (Wh/m ²)
6:45	0	0
7:00	3,1842	0,398025
7:15	9,9918	1,647
7:30	25,1442	4,392



Σας ευχαριστώ πολύ!!!

ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ