

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ

3ο Μάθημα

Διδάσκων: Αν. Καθηγητής Ε. Αμανατίδης

ΤΕΤΑΡΤΗ 30/10/2019

Περίληψη

- Σχεδιασμός ΦΒ Πάρκων
 - Χωροθέτηση - Διαμορφώσεις χώρων
 - Σκιάσεις
 - Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός
 - ΦΒ πλαίσια
 - Αναστροφείς
 - Καλωδιώσεις - Αντικεραυνική Προστασία – Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός προστασίας εγκατάστασης
 - Συστήματα ανίχνευσης - ελέγχου
 - Ηλεκτρολογική διαστασιολόγηση
 - Συστοιχίες πλαισίων – Ηλεκτρολογικό διάγραμμα εγκατάστασης – Παραγωγή ενέργειας
 - Απώλειες
 - Κοστολόγηση – Βιωσιμότητα
-

Χωροθέτηση – Διαμορφώσεις Χώρων

- Ένα ΦΒ πλαίσιο πολυκρυσταλικού πυριτίου ~ 200 Watt έχει διαστάσεις 1.5 m²
- Ένα ΦΒ πλαίσιο λεπτών υμενίων ~ 150 Watt έχει διαστάσεις 1.5 m²

Εγκαταστάσεις ίδιας δυναμικότητας με ΦΒ πλαίσια υψηλότερης απόδοσης απαιτούν μικρότερη έκταση

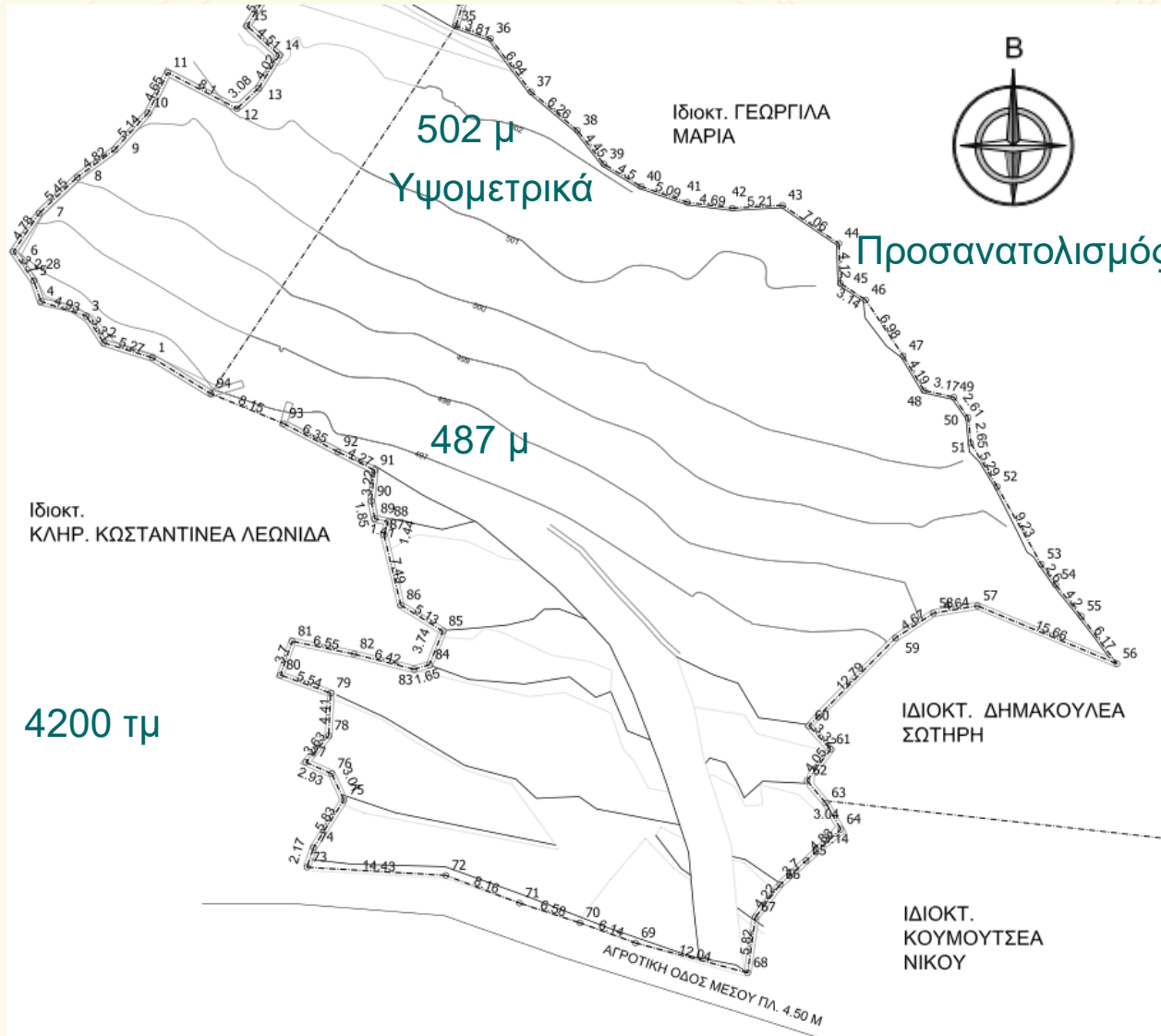
- Θεωρητικά μια εγκατάσταση 1 kWp θα απαιτούσε ~ 10 m²
- Στη πράξη λόγω πολεοδομικών διατάξεων και αποφυγής σκιάσεων μεταξύ των πλαισίων απαιτούνται 20-30 m² / 1kWp

Χαρακτηριστικά Παραδείγματα εγκαταστάσεις 100 kWp πραγματοποιούνται σε γήπεδα ~ 3 στρεμμάτων

Χωροθέτηση – Διαμορφώσεις Χώρων

Βήμα 1: Ακριβής αποτύπωση γηπέδου

Συντεταγμένες



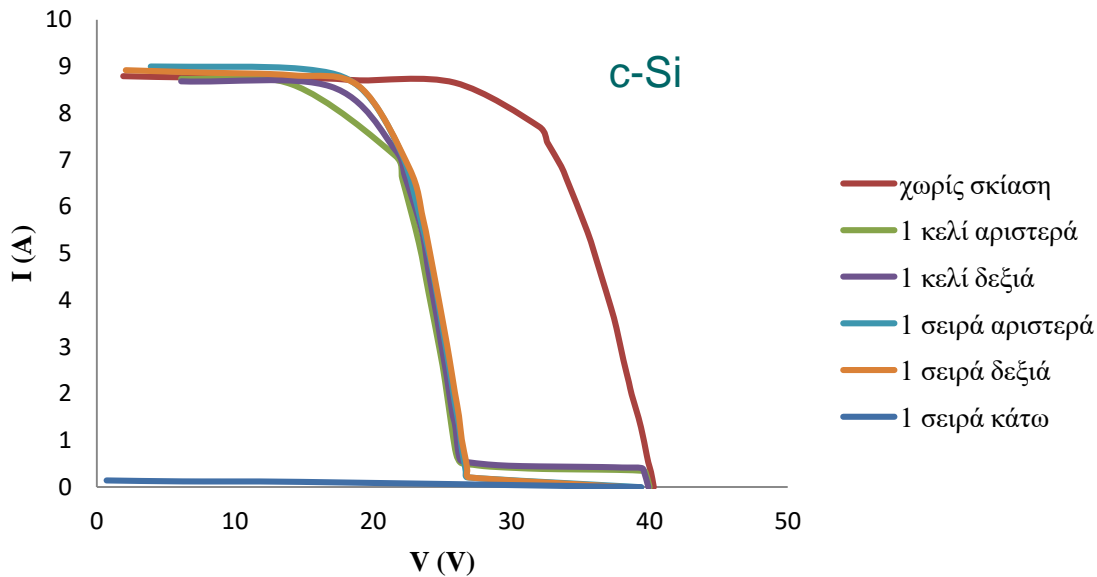
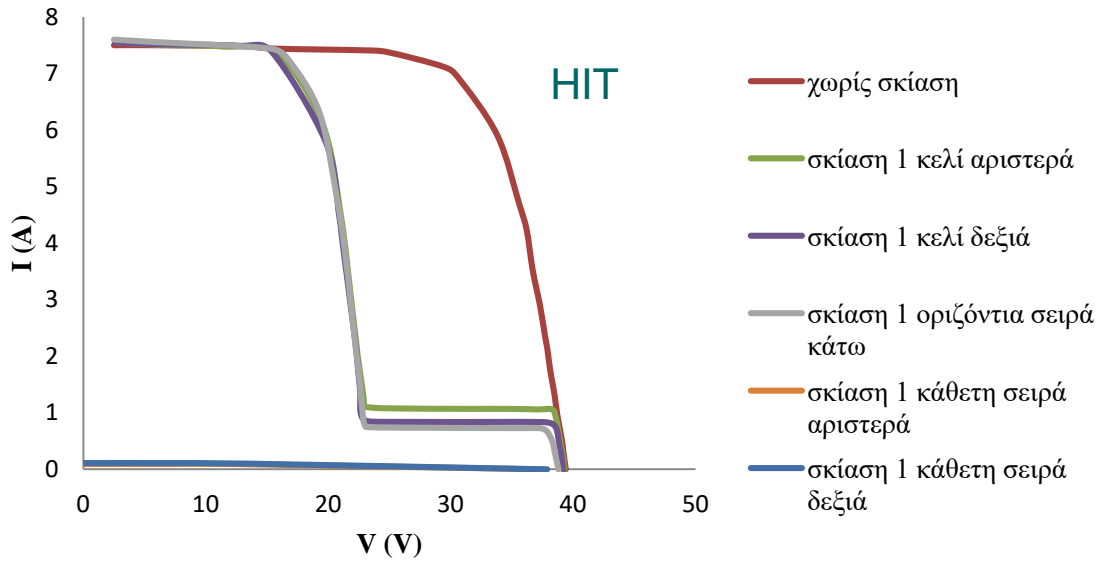
1	352453.74	4071021.21	1-2	7.12
2	352447.67	4071024.93	2-3	5.26
3	352442.64	4071026.48	3-4	3.31
4	352440.83	4071029.25	4-5	4.92
5	352436.14	4071030.74	5-6	2.29
6	352435.39	4071032.90	6-7	3.69
7	352433.28	4071035.93	7-8	4.77
8	352435.94	4071039.89	8-9	5.45
9	352439.90	4071043.64	9-10	4.81
10	352443.78	4071046.49	10-11	5.14
11	352447.22	4071050.31	11-12	4.65
12	352449.27	4071054.48	12-13	8.10
13	352456.46	4071050.76	13-14	3.08
14	352458.70	4071052.88	14-15	4.01
15	352460.83	4071056.28	15-16	4.51
16	352457.51	4071059.33	16-17	5.05
17	352460.19	4071063.61	17-18	5.73
18	352463.35	4071068.39	18-19	7.40
19	352459.20	4071074.52	19-20	4.40
20	352455.54	4071076.97	20-21	17.86
21	352438.44	4071082.11	21-22	15.75
22	352424.01	4071088.41	22-23	9.63
23	352414.41	4071089.13	23-24	11.37
24	352403.97	4071093.64	24-25	12.53
25	352396.10	4071103.39	25-26	10.11
26	352390.07	4071111.50	26-27	11.68
27	352384.30	4071121.66	27-28	19.29
28	352403.30	4071124.97	28-29	35.25
29	352431.06	4071103.24	29-30	12.37
30	352441.71	4071096.95	30-31	16.26
31	352455.33	4071088.06	31-32	14.26
32	352465.77	4071078.34	32-33	4.07
33	352468.86	4071075.69	33-34	9.72
34	352475.26	4071068.37	34-35	6.52
35	352481.05	4071065.38	35-36	6.36
36	352479.15	4071059.31	36-37	3.81
37	352482.74	4071058.03	37-38	6.94
38	352486.94	4071052.51	38-39	6.25
39	352491.74	4071048.50	39-40	4.46
40	352494.50	4071045.00	40-41	4.49
41	352498.34	4071042.68	41-42	5.09
42	352503.16	4071041.03	42-43	4.69
43	352507.81	4071040.44	43-44	5.21
44	352513.01	4071040.73	44-45	7.06
45	352518.86	4071036.77	45-46	4.12
46	352519.01	4071032.65	46-47	3.14
47	352521.63	4071030.92	47-48	6.98
48	352525.52	4071025.12	48-49	4.19
49	352527.69	4071021.53	49-50	3.17
50	352530.78	4071020.84	50-51	2.61
51	352532.28	4071018.70	51-52	2.64
52	352532.54	4071016.07	52-53	5.29
53	352535.28	4071011.54	53-54	9.23
54	352539.84	4071003.52	54-55	2.60
55	352541.34	4071001.40	55-56	4.20
56	352543.99	4070998.14	56-57	6.17
57	352547.69	4070993.20	57-58	15.66
58	352533.22	4070999.20	58-59	4.64

Επιλογή Χώρου - Διαμορφώσεις Χώρου

Πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη κατά την επιλογή ή πρέπει να διαμορφώνονται

- Έκταση γηπέδου
 - Κλίσεις γηπέδου
 1. Ευνοϊκή γωνία προς νότο
 2. Μικρή υψομετρική διαφορά μεταξύ ανατολής – δύσης (~ μηδενική γωνία)
 3. Γειτονικές παρεμποδίσεις – ορεινοί όγκοι να βρίσκονται στο Βορρά
-

Σκιάσεις – σημαντικό πρόβλημα

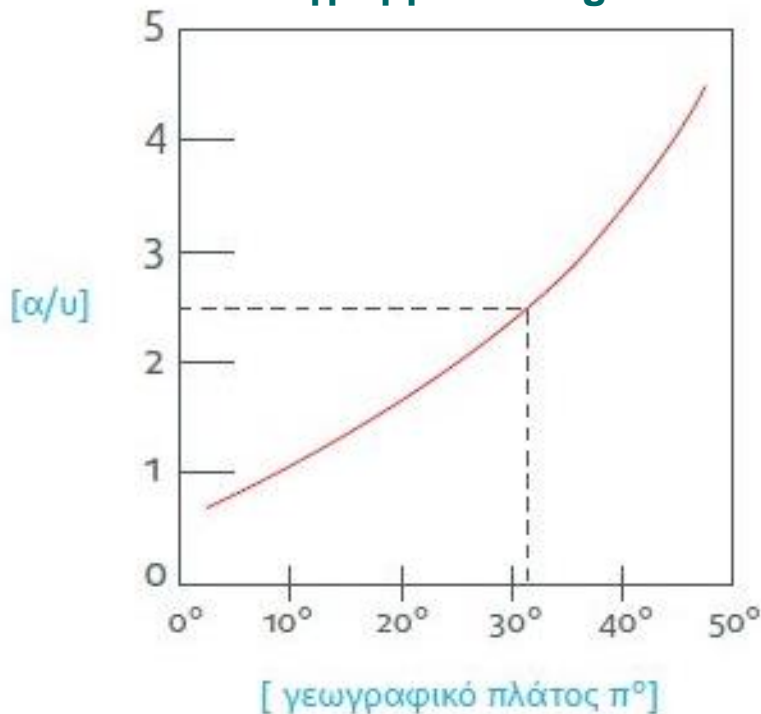


- ✓ Τεχνητή σκίαση πλαισίων και μετρήσεις καμπυλών τάσης - ρεύματος
- ✓ Παρόμοια συμπεριφορά απώλεια περίπου 40 % της ισχύος για πολύ μικρές σκιάσεις
- ✓ Απαιτείται προσεκτική σχεδίαση για αποφυγή τους

Σκιάσεις – Γενικοί κανόνες

- Σκιάσεις από ορεινούς όγκους και αντικείμενα γειτονικών χώρων
 - Πρέπει να λαμβάνονται υπ'όψην κατά την επιλογή χώρου
- Σκιάσεις μεταξύ των πλαισίων

Διάγραμμα Moneron

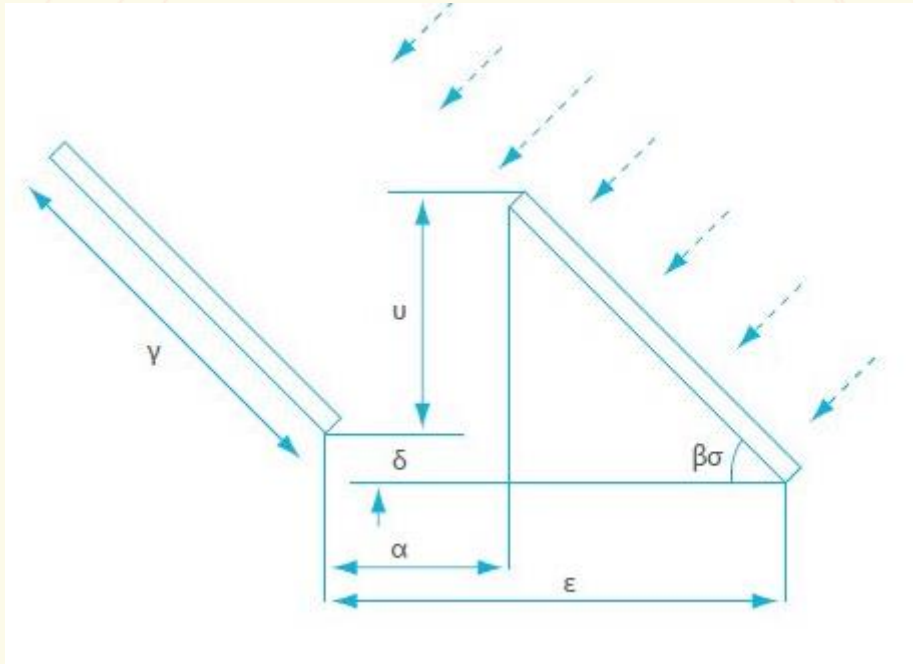


Εμπειρική συνάρτηση βέλτιστης απόστασης μεταξύ πλαισίων για αποφυγή σκιάσεων σε συνάρτηση γεωγραφικού πλάτους.

Το a είναι η απόσταση μεταξύ των πλαισίων και το u το ύψος της προβολής των πλαισίων στο οριζόντιο επίπεδο

$$\frac{a}{u} = 4.2 \times 10^{-3} \times \varphi^2 - 0.1661\varphi + 2.8652$$

Σκιάσεις



$$v = \gamma \sin \beta \sigma$$

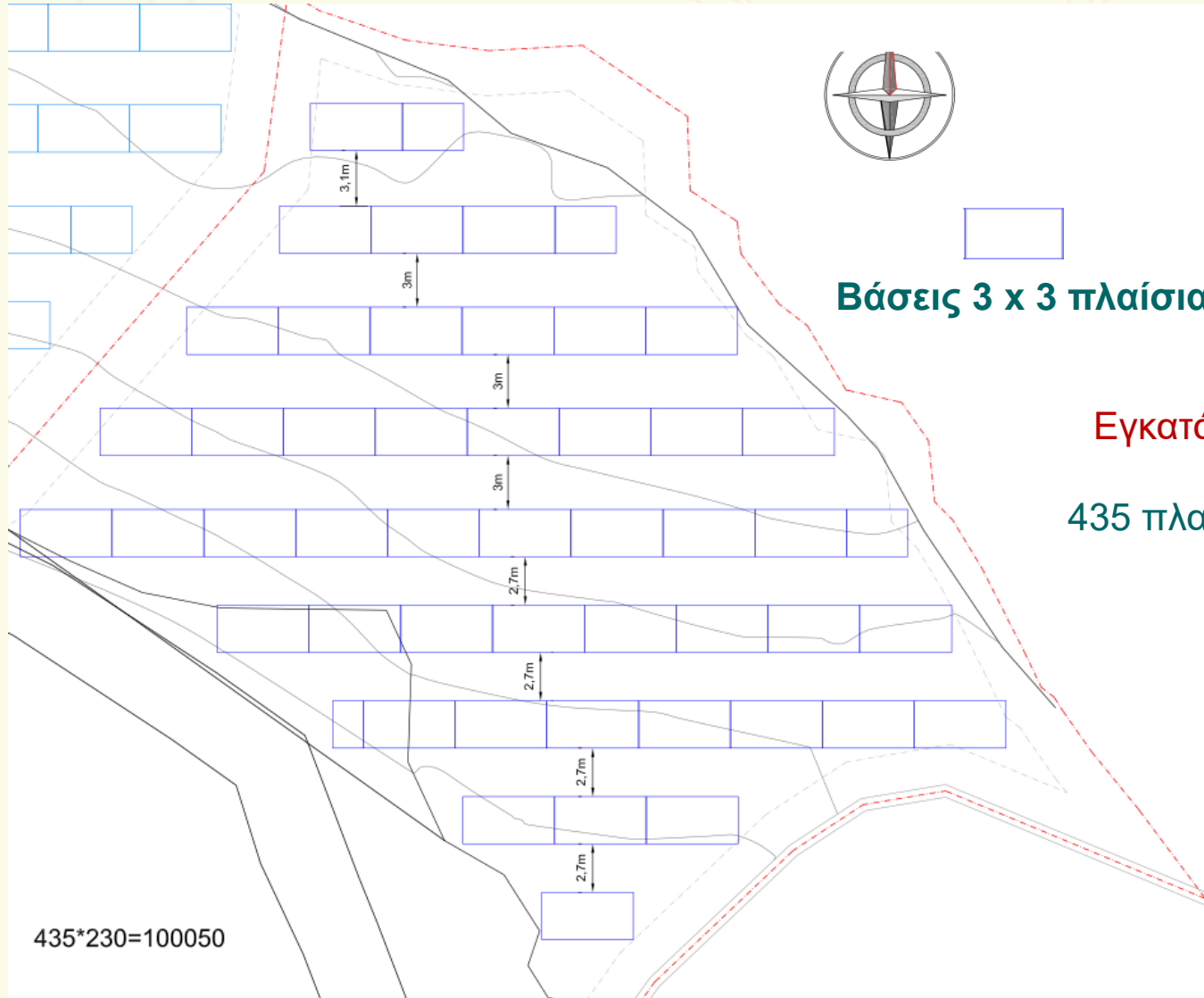
$$\frac{\alpha}{v} = \text{μεταβλητή διαγράμματος Μοnεγον}$$

$$\epsilon = \alpha + \gamma \cos \beta \sigma$$

$$\delta = \epsilon \times \text{Κλίση εδάφους}$$

Για παράδειγμα για το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής της Πάτρας 38° ο λόγος α/v έχει τιμή 2.6 όταν δεν υπάρχει κλίση μεταξύ Β-Ν

Αρχική Τοποθέτηση πλαισίων στο γήπεδο





Εξοπλισμός

Εξοπλισμός ΦΒ Πάρκου

Απαραίτητος

- ΦΒ πλαίσια
 - Αναστροφείς (Inverters)
 - Βάσεις στήριξης πλαισίων
 - Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (καλωδιώσεις dc και AC, ασφαλειοδιακόπτες, μετασχηματιστής σύνδεσης με το δίκτυο ή μπαταρίες)
 - Αντικεραυνική προστασία
 - Συστήματα ανίχνευσης πρόσπτωσης ηλιακής ενέργειας – θερμοκρασίας (προαιρετικός)
 - Συστήματα αυτόματης καταγραφής παραγωγής ενέργειας
-

ΦΒ Πλαίσια

Επιλογή ΦΒ πλαισίων με βάση

- Αξιοπιστία, εγγυήσεις
- Κόστος
- Διαθέσιμο Χώρο
- Θερμοκρασιακό συντελεστή

Μετά την επιλογή τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενδιαφέρουν για τη σωστή διαστασιολόγηση του πάρκου

Conergy PM	220P	225P	230P	235P	240P
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ⁶					
Όνομαστική ισχύς (P_{nom})	220 W	225 W	230 W	235 W	240 W
Ανοχή ισχύος	+3 %	+3 %	+3 %	+3 %	+3 %
Απόδοση Φ/Β γεννήτριας (P_{nom})	13,20%	13,50%	13,80%	14,10%	14,39%
Τάση στο σημείο μεγ. ισχύος (V_{mp}) ⁷	30,20V	30,50V	30,84V	31,14V	30,68V
Ρεύμα στο σημείο μεγ. ισχύος (I_{mp}) ⁷	7,28 A	7,37 A	7,48 A	7,55 A	7,90 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) ⁷	36,90V	37,00V	37,32V	37,50V	37,32V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) ⁷	7,85 A	7,89 A	8,00 A	8,02 A	8,50 A
Θερμοκρασιακός συντελεστής (P_{mp})	-0,44 %/°C	-0,44 %/°C	-0,44 %/°C	-0,44 %/°C	-0,44 %/°C
Θερμοκρασιακός συντελεστής (V_{oc}), απόλυτος	-0,118V/°C	-0,119V/°C	-0,119V/°C	-0,119V/°C	-0,119V/°C
Θερμοκρασιακός συντελεστής (V_{oc}), ποσοστιαίος	-0,32 %/°C	-0,32 %/°C	-0,32 %/°C	-0,32 %/°C	-0,32 %/°C
Θερμοκρασιακός συντελεστής (I_{sc}), απόλυτος	3,2 mA/°C	3,2 mA/°C	3,2 mA/°C	3,2 mA/°C	3,2 mA/°C
Θερμοκρασιακός συντελεστής (I_{sc}), ποσοστιαίος	0,04 %/°C	0,04 %/°C	0,04 %/°C	0,04 %/°C	0,04 %/°C
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε 800 W/m ² , NOCT και AM 1,5					
Ισχύς (P_{mp})	170,70 Wp	181,74 Wp	185,78 Wp	189,82 Wp	193,85 Wp
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc})	34,78 V	34,87 V	35,18 V	35,35 V	35,54 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	6,92 A	6,96 A	7,05 A	7,07 A	7,15 A
Τάση (V_{mp})	30,44 V	30,74 V	31,08 V	31,39 V	31,72 V
Ρεύμα (I_{mp})	5,83 A	5,91 A	5,99 A	6,05 A	6,12 A

¹ Ανοχές διαστάσεων: +/-1 mm.

² Ονομαστική θερμοκρασία της κυψέλης στα 800 W/m² ακτινοβολίας, 20°C θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα ανέμου 1 m/s.

³ Σύμφωνα με IEC 61215 Ed. 2.

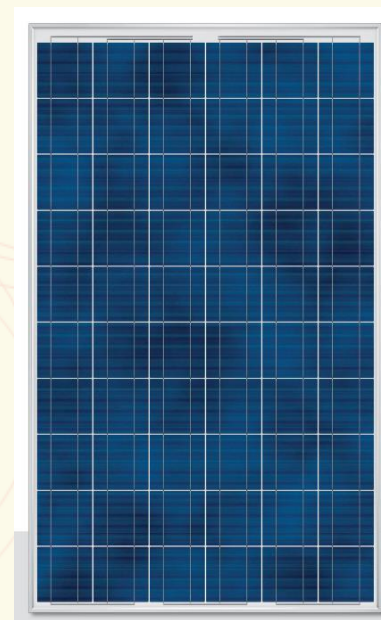
⁴ Ανοχές βάρους: +/-0,5 kg.

⁵ Σύμφωνα με του τρέχοντες όρους εγγύησης της Conergy AG.

⁶ Ως STC (Κανονικές Συνθήκες Λειτουργίας) ορίζονται: 1.000 W/m² ισχύος ακτινοβολίας, αέρια μάζα AM 1,5 (ASTM E892) και θερμοκρασία κυψέλης 25°C.

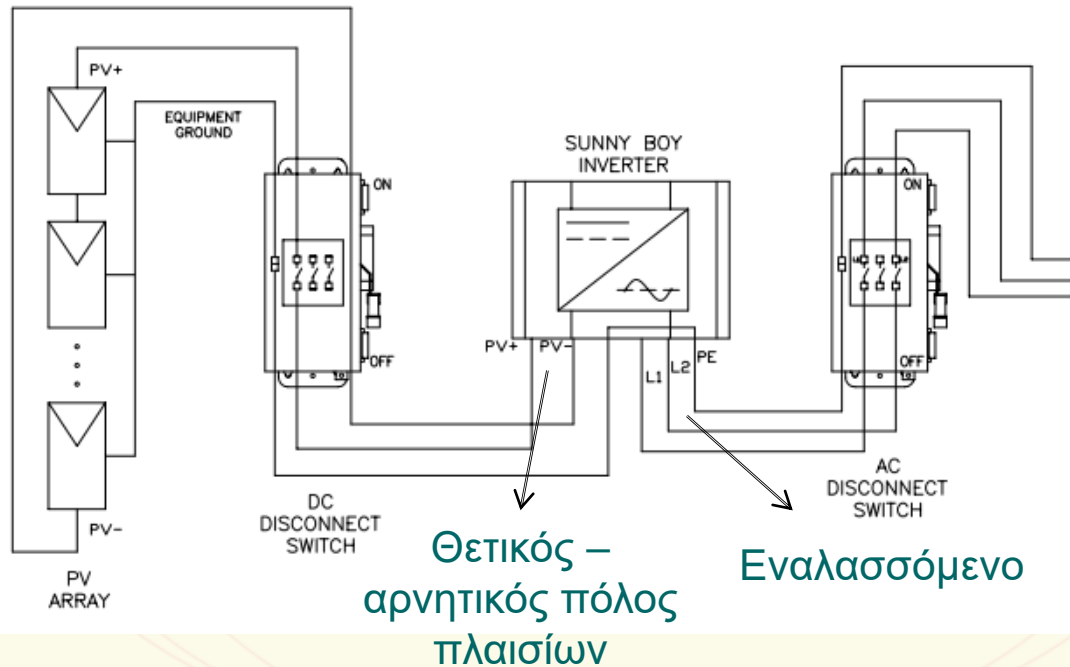
⁷ Τυπικές τιμές παραγωγής.

Διάθεση:



Αναστροφείς (inverters)

- Αναστροφείς είναι οι συσκευές που αναλαμβάνουν να μετασχηματίσουν το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα πλαίσια σε εναλλασόμενο



Επιλογή Αναστροφέα

- Με βάση το τύπο πλαισίων που έχουμε επιλέξει
- Με βάση την συνολική ισχύ εισόδου του
- Με βάση τις τάσεις εισόδου του
- Με βάση την απόδοσή του – απώλειες ενέργειας στη περιοχή λειτουργίας
- Με βάση το κόστος – αξιοπιστία – εγγυήσεις του

	SMC 6000TL	SMC 7000TL	SMC 8000TL
Input data			
Max. DC power	6200 W	7200 W	8250 W
DC voltage range	335 V - 700 V	335 V - 700 V	335 V - 700 V
Max. MPP voltage ($U_{MPP, max}$)	500 V	500 V	500 V
Max. input current ($I_{PV, max}$)	19 A	22 A	25 A
Max. no. of strings (parallel)	4	4	4
Output data			
Permanent AC power ($P_{AC, max}$)	6000 W at 40 °C	7000 W at 40 °C	8000 W at 40 °C
Nominal AC power ($P_{AC, nominal}$)	6000 W	7000 W	8000 W
Max. output current ($I_{AC, max}$)	27 A	31 A	35 A
Efficiency			
Maximum efficiency (η_{Max})	98 %	98 %	98 %
European standard efficiency (η_{Euro})	97.7 %	97.7 %	97.7 %
Mechanical data			
Weight	approx. 31 kg	approx. 32 kg	approx. 33 kg
Width/height/depth (mm)	468/613/242	468/613/242	468/613/242

**Τεχνικές
προδιαγραφές
εισόδου – εξόδου
αναστροφέων**

Συνδυασμός πλαισίων - Αναστροφέα

- Τα πλαίσια ομαδοποιούνται σε συστοιχίες
- Οι συστοιχίες περιλαμβάνουν πλαίσια που είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα παράλληλα και σε σειρά
- Κάθε συστοιχία συνδέεται με ένα αναστροφέα

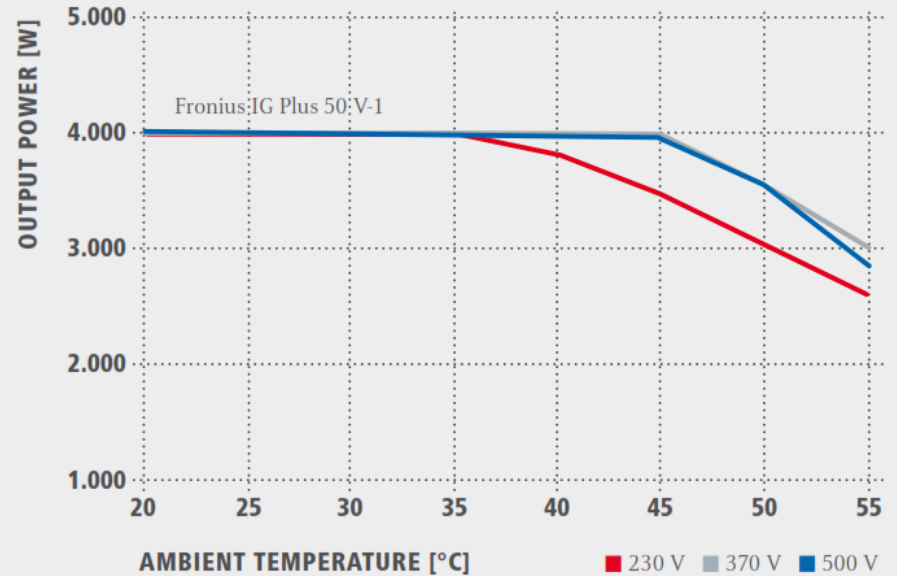
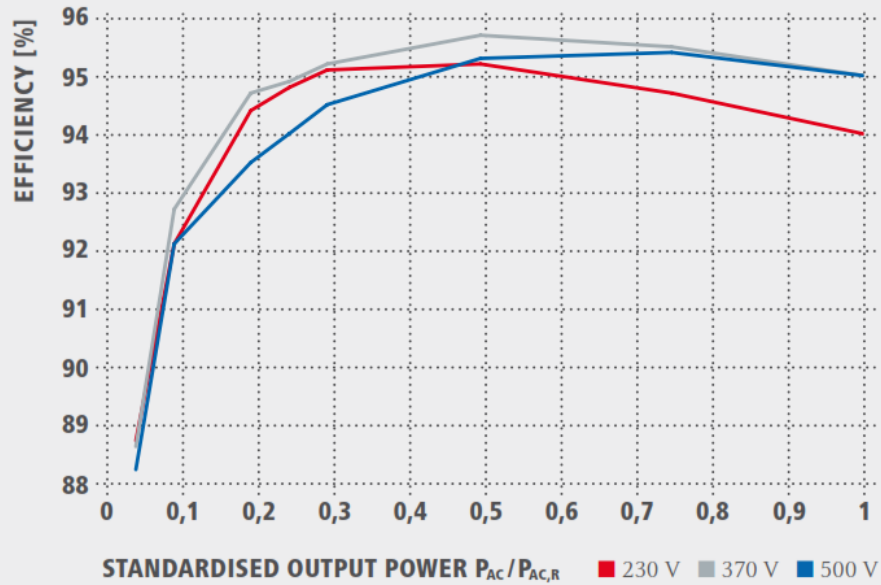


Ο Υπολογισμός τάσης και ρεύματος μιας συστοιχίας γίνεται:

Η τάση είναι το άθροισμα των επιμέρους τάσεων των πλαισίων σε σειρά

Το ρεύμα είναι το άθροισμα των ρευμάτων των πλαισίων παράλληλα

Καμπύλες Απόδοσης Αναστροφεία



- Εξάρτηση από τάση εισόδου
- Εξάρτηση από θερμοκρασία

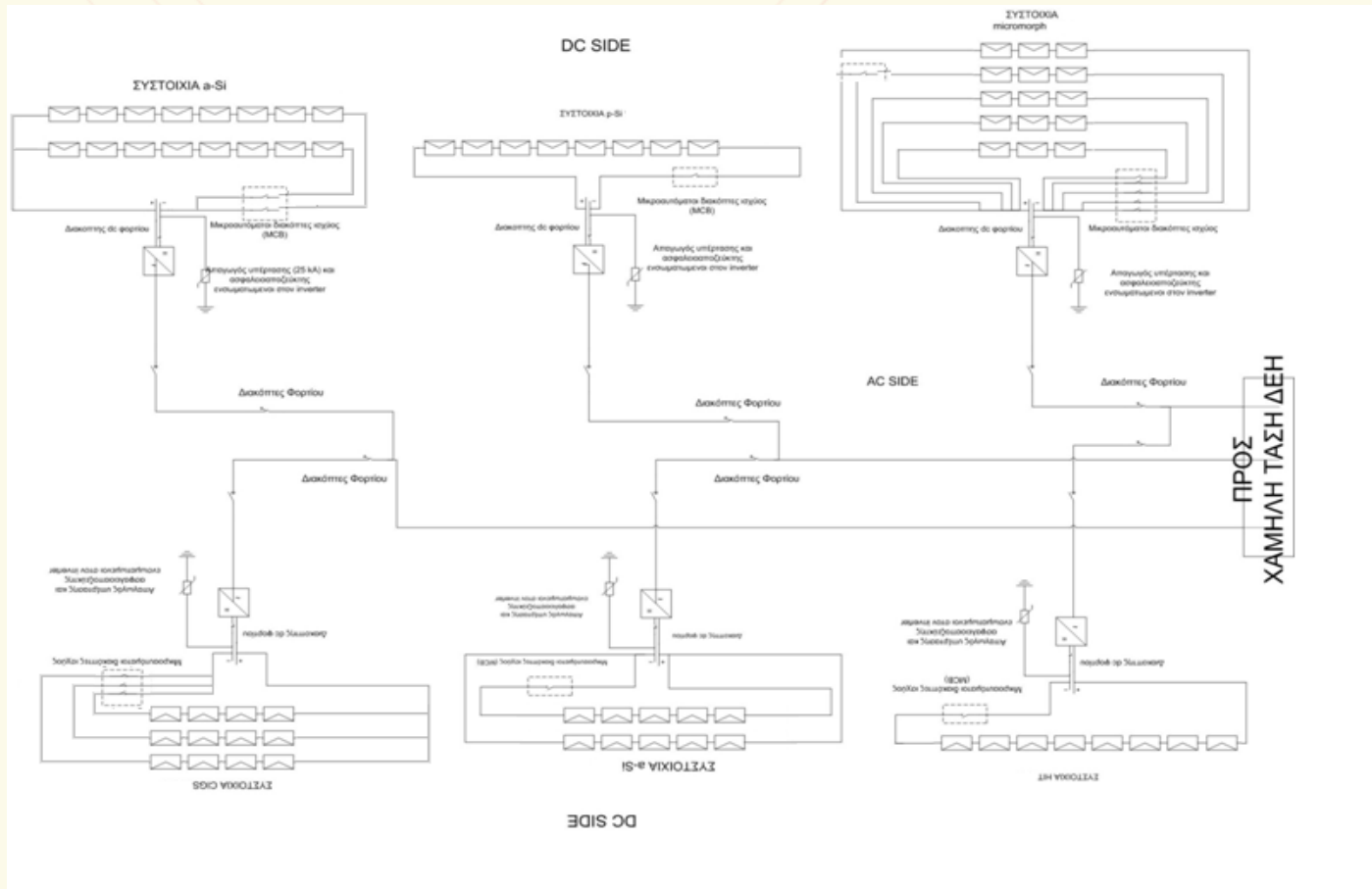
Απαιτείται προσεκτική διαστασιολόγηση για αποφυγή απωλειών

Συνδυασμός Πλαισίων - Αναστροφή

- Κατά το σχεδιασμό ενός πάρκου και το συνδυασμό πλαισίων – αναστροφή προσέχουμε τα ακόλουθα:
 - Ο αριθμός των συστοιχιών να είναι όσο το δυνατό μικρότερος. Για παράδειγμα για ένα πάρκο 100 kWp 7-8 συστοιχίες είναι αρκετές.
 - Η τάση και το ρεύμα μιας συστοιχίας στο σημείο μέγιστης ισχύος των πλαισίων δε πρέπει να ξεπερνάνε τις μέγιστες τάσεις και ρεύματα εισόδου του αναστροφέα όπως δίνονται από το κατασκευαστή
 - Οι συστοιχίες πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να οδηγούν στους αναστροφείς τάσεις και ρεύματα κοντά στο βέλτιστο λειτουργίας των αναστροφέων (μεγαλύτερη απόδοση)
-

Συνολικό ηλεκτρολογικό σκαρίφημα εγκατάστασης

- Το συνολικό σκαρίφημα περιλαμβάνει όλες τις συστοιχίες – αναστροφείς αλλά και τις καλωδιώσεις – διακόπτες

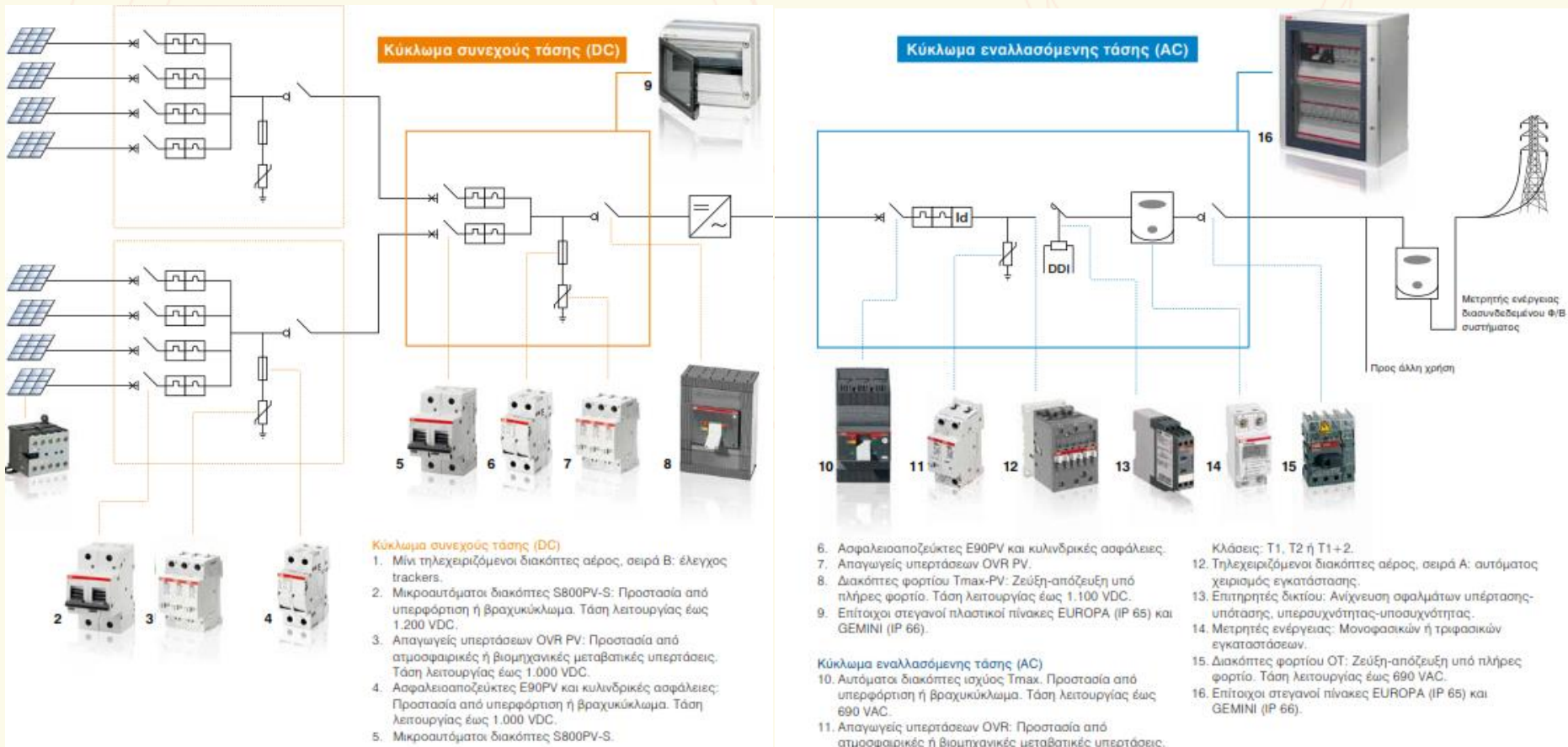


Παράδειγμα

Σκαρίφημα
εγκατάστασης στο
κτίριο Χημ.
Μηχανικών

Λοιπός εξοπλισμός

- Ασφαλιδοδιακόπτες και συστήματα ασφαλείας: Απαραίτητοι για τη προστασία των πλαισίων – εγκατάστασης



Προστασία και έλεγχος απαιτείται τόσο από την πλευρά του συνεχούς (πρίν τον αναστροφέα) όσο και από την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος (μετά τον αναστροφέα)

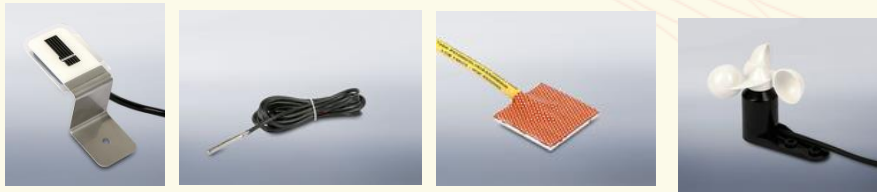
Λοιπός εξοπλισμός

• Καλωδιώσεις

- Σημαντική πηγή απωλειών ενέργειας λόγω του μεγάλου μήκους καλωδίων που απαιτούνται (~7-8 %)
- Γενική αρχή: Όσο μεγαλύτερη η διάμετρος των καλωδίων τόσο μικρότερη η αντίστασή τους και τόσο μικρότερες οι απώλειες

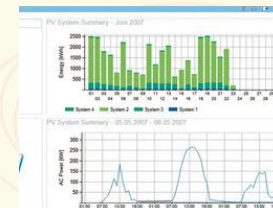
• Συστήματα ανίχνευσης

- Έλεγχος καλής λειτουργίας εγκατάστασης: Καταγραφή ηλιακής ενέργειας, ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, θερμοκρασίας πλαισίων, ταχύτητας ανέμου

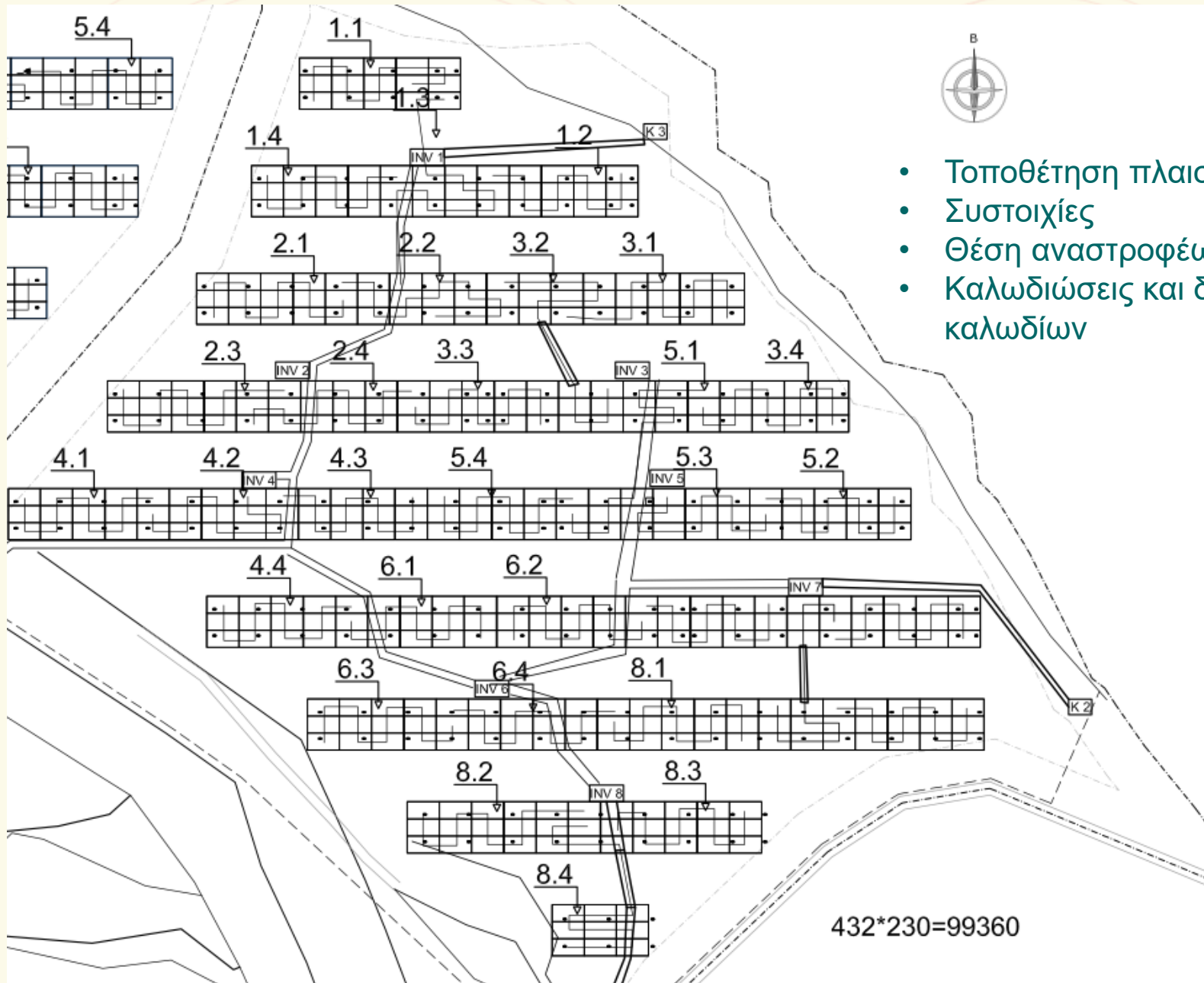


• Συστήματα καταγραφής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

- Άμεσος έλεγχος εγκατάστασης



Τελική αποτύπωση ΦΒ πάρκου



- Τοποθέτηση πλαισίων
- Συστοιχίες
- Θέση αναστροφών
- Καλωδιώσεις και διαδρομές καλωδίων

432*230=99360

Απώλειες εγκατάστασης

- Από τη προσπίτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ένα μικρό ποσοστό θα μετασχηματισθεί σε ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα με το τύπο των πλαισίων
- **Οι απώλειες στην ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα πλαίσια είναι κατά προσέγγιση**
 - 7-10 % στις καλωδιώσεις
 - 5-10 % στους αναστροφείς

Μια «καλή» εγκατάσταση έχει κατά μέσο ετήσιο όρο απώλειες της τάξης του 15-20 % δηλαδή μια εγκατάσταση ονομαστικής ισχύος 100 kWp μπορεί να θεωρηθεί ως εγκατάσταση πραγματικής ισχύος 80 – 85 kWp

Παράδειγμα υπολογισμού ενέργειας

Εγκατάσταση 100 kWp
(667 πλαίσια 150 Wp)
Πλαίσια σε σταθερή γωνία 30 ο
Επιφάνεια Πλαισίων 933 μ2

Μήνας	H_o Ενέργεια σε επιφάνεια κλίσης 30ο kWh/m2	$H_{TOT}=H_o \times A$ Ολική ενέργεια στην επιφάνεια κάλυψης σε kWh	$H_{mod}=H_{tot} \times \eta$ Εκμεταλεύσιμη ενέργεια στην επιφάνεια κάλυψης από απόδοση modules (12 %)	$H_{loss}=H_{mod} \times losses$ Απώλειες σε καλωδιώσεις - inverters 20 %	Τελική Παραγόμενη ενέργεια (kWh)	$H_{grid}=H_{mod} - H_{loss}$
1	80	74640	8956.8	1791.36	7165.44	
2	92	85836	10300.32	2060.064	8240.256	
3	138	128754	15450.48	3090.096	12360.38	
4	165	153945	18473.4	3694.68	14778.72	
5	200	186600	22392	4478.4	17913.6	
6	205	191265	22951.8	4590.36	18361.44	
7	221	206193	24743.16	4948.632	19794.53	
8	216	201528	24183.36	4836.672	19346.69	
9	184	171672	20600.64	4120.128	16480.51	
10	134	125022	15002.64	3000.528	12002.11	
11	99	92367	11084.04	2216.808	8867.232	
12	81	75573	9068.76	1813.752	7255.008	
Σύνολο	1815	1693395	203207.4	40641.48	162565.9	

Για τις περισσότερες περιοχές της Ελλάδος ισχύει ότι για πλαίσια σε σταθερές βάσεις 1kWp θα παράγει 1450 – 1650 kWh ανά έτος

Κόστος - Βιωσιμότητα

Ενδεικτικό κόστος εγκατάστασης 100 kW

Είδος	Τιμή μονάδας	Ποσότητα	Φ/Β 100 kW
Κόστος γής	-	-	-
Κόστος διαμόρφωσης του χώρου	-	-	10.000
Κόστος Φ/Β πλαισίων	0,6 €/Wp	100.000	60.000
Κόστος των πλαισίων στήριξης των Φ/Β modules	0.2 €/Wp	100.000	20.000
Κόστος των αναστροφέων τάσης DC/AC inverters	0.4 €/Wp	100.000	40.000
Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (πίνακες, καλωδιώσεις κλπ)	0.06 €/Wp	100.000	6.000
Κόστος σύνδεσης με δίκτυο της ΔΕΗ	0.12 €/Wp	100.000	12.000
Κόστος αντικεραυνικής προστασίας	-	-	5.000
Κόστος συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου	-	-	5.000
		Σύνολο	~158.000

Κέρδη από πώληση στη ΔΕΗ

1kWp → 1550 kWh

Τιμή kWh πώλησης στη ΔΕΗ σήμερα 0,225 €/kWh

Συνολική παραγωγή 155000 kWh

Συνολικά έσοδα πρό φόρων ~ 35000 €

Απόσβεση σε 8 – 10 χρόνια ανάλογα και με άλλες παραμέτρους (φόροι, δανεισμός)