



# Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στη Γεωργία

## Ηλιακή Ενέργεια

Αγγελική Μαραγκάκη  
Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, PhD

# Φωτοβολταϊκά Υπολογισμός απόδοσης

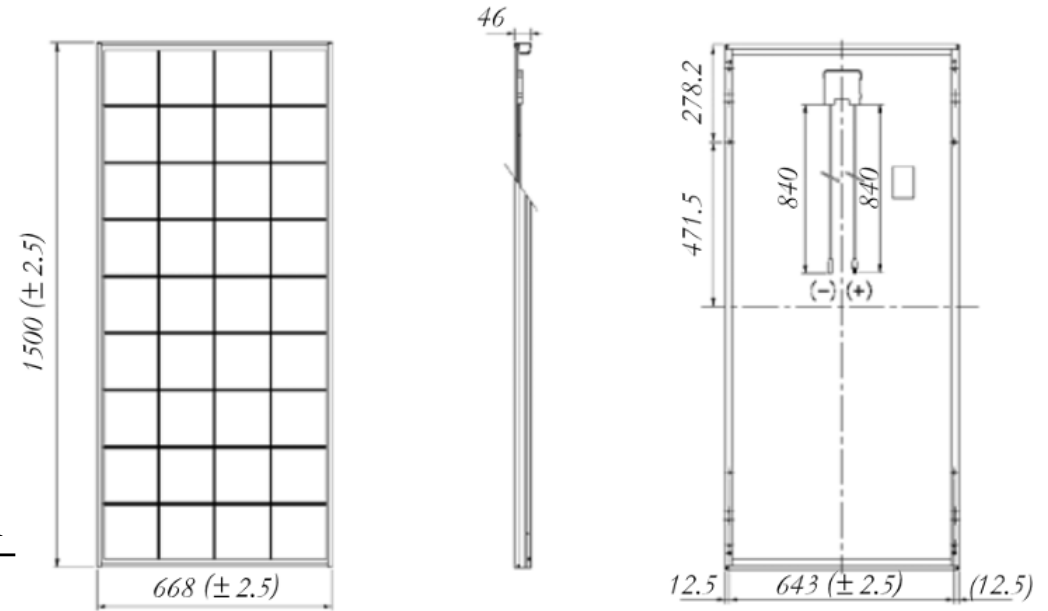
- $P_{mp}$  ή  $P_{max}$  μέγιστη ισχύς
  - $G_{STC}$  :  $1000 \text{ W/m}^2$  (ισχύς ανά  $\text{m}^2$  προσπιπτόμενης ηλιακής ακτινοβολίας) και Θερμοκρασία κυψελίδας :  $25$  βαθμοί Κελσίου
- A : Επιφάνεια στοιχείου ή πλαισίου

## SPECIFICATIONS

in mm

ΦΒ πλαίσιο  
ισχύος 135W

$$\eta_{STC} = \frac{P_{mp,STC} / A_{panel}}{G_{STC}}$$



Απόδοση ΦΒ στοιχείου – πλαισίου  
135 W

$$n = \frac{1000 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot 1.5 \cdot 0.668 \text{ m}^2$$

$$n = 0.1347 = 13.5 \% \text{ (ΦΒ Πλαίσιο)}$$

# Φωτοβολταϊκά Παραγόμενη ενέργεια και λόγος επίδοσης

$$E_{\Phi B} = P_p \cdot PR \cdot \frac{H_t}{G_{STC}}$$

- $P_p$ : Ονομαστική ισχύς (Watt, kW, MW)
- $E_{\Phi B}$ : Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- PR: Λόγος επίδοσης 0,75 -0,85 (ενδεικτικές τιμές)
- $H_t$ : προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο ΦΒ σύστημα
- $G_{STC}$  : 1000 W/m<sup>2</sup> και

**1 kW = 1000 W**

**1 MW = 1000 kW = 1.000.000 W**

**1 GW = 1000 MW = 1.000.000.000 W**

## Φωτοβολταϊκά Ηράκλειο

$$E_{\Phi B} = P_p \cdot PR \cdot \frac{H_t}{G_{STC}}$$

1 kW

0,80

2050 kWh/m<sup>2</sup>

Ηλεκτρική παραγωγή από σύστημα ισχύος 1kW:  
**EΦB=1640 kWh**

1000  
W/m<sup>2</sup>

- $P_p$ : Ονομαστική ισχύς (Watt, kW, MW)
- $E_{\Phi B}$ : Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- PR: Λόγος επίδοσης 0,75 -0,85 (ενδεικτικές τιμές)
- $H_t$ : προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο ΦB σύστημα
- $G_{STC}$  : 1000 W/m<sup>2</sup> και

Το Ηράκλειο δέχεται, στο οριζόντιο επίπεδο, περί τις 1870 kWh/m<sup>2</sup> ηλιακής ενέργειας ανά έτος & περί τις 2050 kWh/m<sup>2</sup> σε κεκλιμένο επίπεδο με βέλτιστη κλίση και νότιο προσανατολισμό

**Φωτοβολταϊκά  
Ηλιακή ενέργεια Ht  
(kWh/m<sup>2</sup>)**

<b>Πόλη</b>	<b>Οριζόντιο επίπεδο</b>	<b>Κεκλιμένο επίπεδο</b>
Ηράκλειο	1870	2060
Αθήνα	1810	2030
Λάρισα	1670	1910
Θεσσαλονίκη	1630	1870
Ορεστιάδα	1570	1790
Μιλάνο	1460	1730
Βιέννη	1260	1480
Φρανκφούρτη	1180	1360

## Φωτοβολταϊκά Άσκηση

$$E_{\Phi B} = P_p \cdot PR \cdot \frac{H_t}{G_{STC}}$$


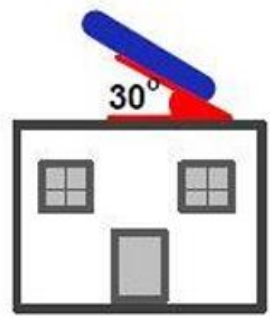

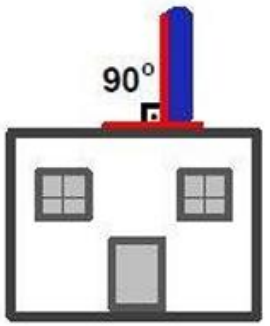
- $P_p$ : Ονομαστική ισχύς (Watt, kW, MW)
- $E_{\Phi B}$ : Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- PR: Λόγος επίδοσης 0,75 -0,85 (ενδεικτικές τιμές)
- $H_t$ : προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο ΦΒ σύστημα
- GSTC : 1000 W/m<sup>2</sup> και

Πόλη	Οριζόντιο επίπεδο	Κεκλιμένο επίπεδο
Ηράκλειο	1870	2060
Αθήνα	1810	2030

Ηλιακή ενέργεια  $H_t$  kWh/m<sup>2</sup>

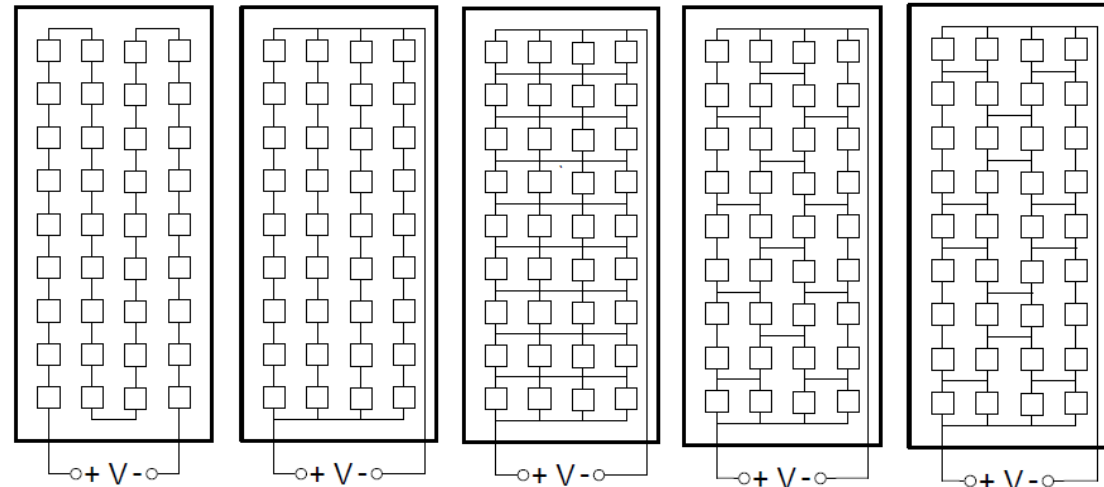
- Υπολογίστε την παραγόμενη ενέργεια για ένα φωτοβολταϊκό στην Αττική
- PR: Λόγος επίδοσης 0,75
- Ονομαστική ισχύς 0.75 kW

# Φωτοβολταϊκά Προσανατολισμός ΦΒ συστημάτων

 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	 30°	 0°	 90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	50%kWh <sub>(max)</sub>
Νότιοανατολικός - Δυτικός	95%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	60%kWh <sub>(max)</sub>
Νότιος	<b>kWh<sub>(max)</sub></b>	90%kWh <sub>(max)</sub>	60%kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειοανατολικός - Δυτικός	95%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	30%kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειος	60%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	20%kWh <sub>(max)</sub>

**Φωτοβολταϊκή Συστοιχία**

Αποτελείται από πλαίσια κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους (σε σειρά και παράλληλα)

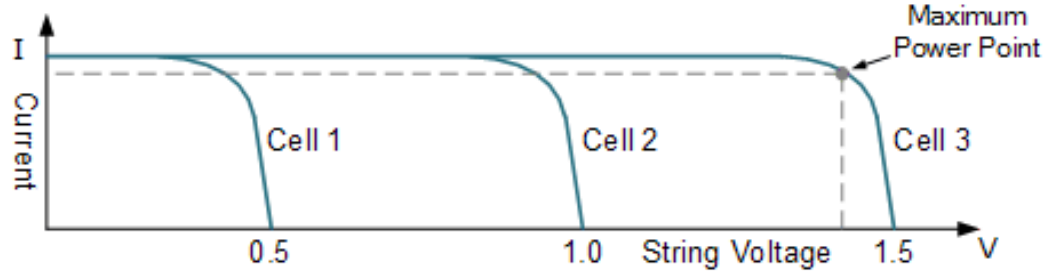
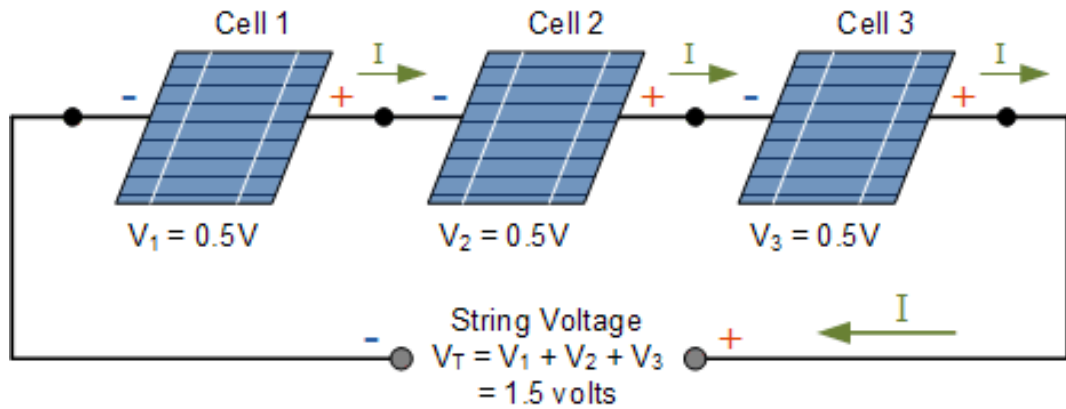


Περιορισμοί στο σχεδιασμό μιας συστοιχίας:

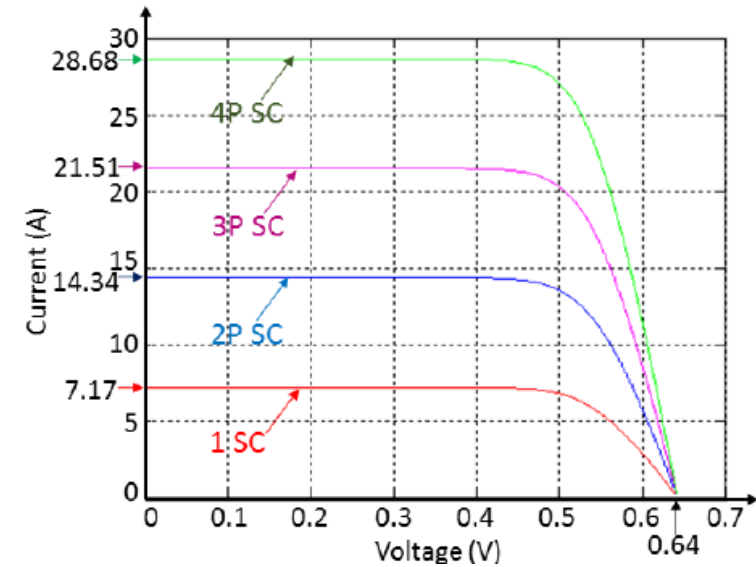
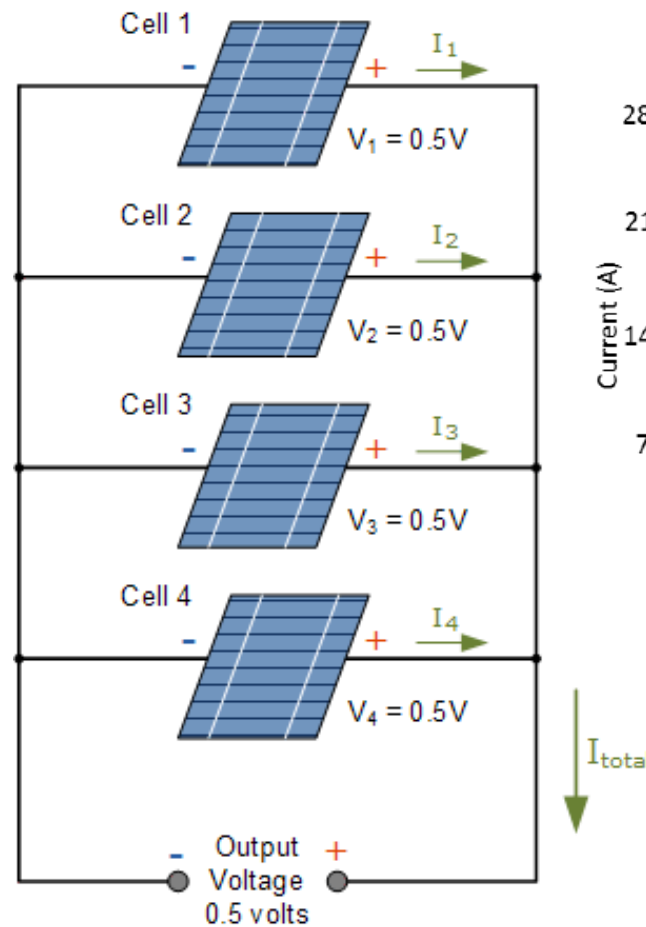
- Η σύνδεση **ανόμοιων φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ίδια συστοιχία απαγορεύεται** καθώς τα διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά δημιουργούν απώλειες. Ακόμη και φωτοβολταϊκά πλαίσια του ίδιου μοντέλου έχουν μικρές διαφορές στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους. Γι' αυτό στην πράξη γίνεται ταίριασμα των χαρακτηριστικών (*matching*) με βάση το πιστοποιητικό μετρήσεων που συνοδεύει το κάθε πλαίσιο.
- Τα πλαίσια της κάθε συστοιχίας πρέπει να έχουν **κοινό προσανατολισμό**. Ο διαφορετικός προσανατολισμός αλλάζει την ένταση της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στα πλαίσια με αποτέλεσμα και σε αυτή την περίπτωση διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και απώλειες.
- Η **μερική σκίαση των πλαισίων πρέπει να αποφεύγεται** διότι είναι δυνατόν για σημαντικά χρονικά διαστήματα να υπάρχει μειωμένη παραγωγή. Εάν υπάρχουν φωτοβολταϊκά σε σκίαση τότε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο λειτουργεί ως διακόπτης με αποτέλεσμα να χάνεται η παραγωγή όχι μόνο από το πλαίσιο που είναι σκιασμένο αλλά από όσα πλαίσια είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται **δίοδοι παράκαμψης** μειώνοντας τις απώλειες.

Φωτοβολταϊκή Συστοιχία

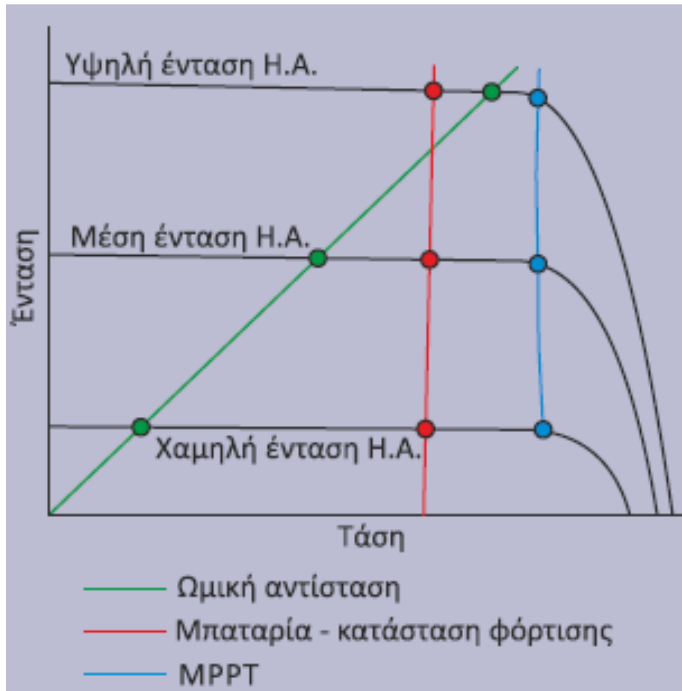
Φ/Β πλαίσια σε σειρά



Φ/Β πλαίσια σε παραλληλία



Φωτοβολταϊκή Συστοιχία



Χαρακτηριστικές συστοιχίας για διαφορετικά φορτία

**Στιγμιαία ισχύς** που αποδίδεται στο δίκτυο, με πρόσπτωση στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών ηλιακής ακτινοβολίας έντασης  $G_T$  [W/m<sup>2</sup>] είναι:

$$P = \eta_{inv} \cdot \eta_{pv} \cdot (1 - \eta_{loss}) \cdot GT \cdot A_{array}$$

$$\eta_{an} = \frac{E_{an}}{H_{an} \cdot A_{array}}$$

**Μέσος ετήσιος βαθμός απόδοσης:**

**Λόγος απόδοσης (PR):**  $PR = \frac{\eta_{an}}{\eta_{STC}}$   
70-80%

## Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Πρέπει να γνωρίζουμε:

- Το μέγεθος της Φ/Β εγκατάστασης (μικρή, μεσαία, μεγάλη).
- Τον προορισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (οικιακή χρήση, βιομηχανική χρήση, παραγωγή για τροφοδότηση οικισμού, παραγωγή για διοχέτευση στο κεντρικό δίκτυο διανομής κ.λπ.).
- Ποια χρονική περίοδο θα λειτουργεί η Φ/Β εγκατάσταση (χειμερινή ή καλοκαιρινή ή όλο το χρόνο).
- Αν θα χρησιμοποιηθεί ή όχι βοηθητική πηγή ενέργειας (ντηζελογεννήτρια).
- Αν πρόκειται για υβριδικό σύστημα παραγωγής. (Φ/Β και ανεμογεννήτρια κ.λπ.).
- Αν προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας (χρήση συσσωρευτών).
- Τη μέγιστη ισχύς ζήτησης.
- Το είδος του φορτίου (φωτισμός ή κίνηση).
- Το χρόνο λειτουργίας του φορτίου (ημέρα ή νύχτα ή όλο το 24ωρο).
- Η Φ/Β εγκατάσταση θα είναι ή όχι συνδεδεμένη με το κεντρικό δίκτυο διανομής.
- Θέση εγκατάστασης της Φ/Β εγκατάσταση (κόστος Γης).
- Το είδος των βάσεων θα χρησιμοποιηθούν (σταθερές με ετήσια βέλτιστη κλίση, σταθερές με μηνιαία βέλτιστη κλίση, περιστρεφόμενες με χειροκίνητη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, περιστρεφόμενες με αυτόματη παρακολούθηση της πορείας του ήλιου για συνεχή κάθετη πρόσπτωση).
- Το είδος των Φ/Β συλλεκτών που θα χρησιμοποιηθούν (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά, λεπτού υμένα).
- Το είδος των ηλεκτρονικών διατάξεων και των συσκευών που θα χρησιμοποιήσουμε (στοιχεία από κατασκευαστή).
- Τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής.

## Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Η τεχνο-οικονομική μελέτη για εφαρμογή Φ/Β συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις ή σε υπαίθριους χώρους, περιλαμβάνει:

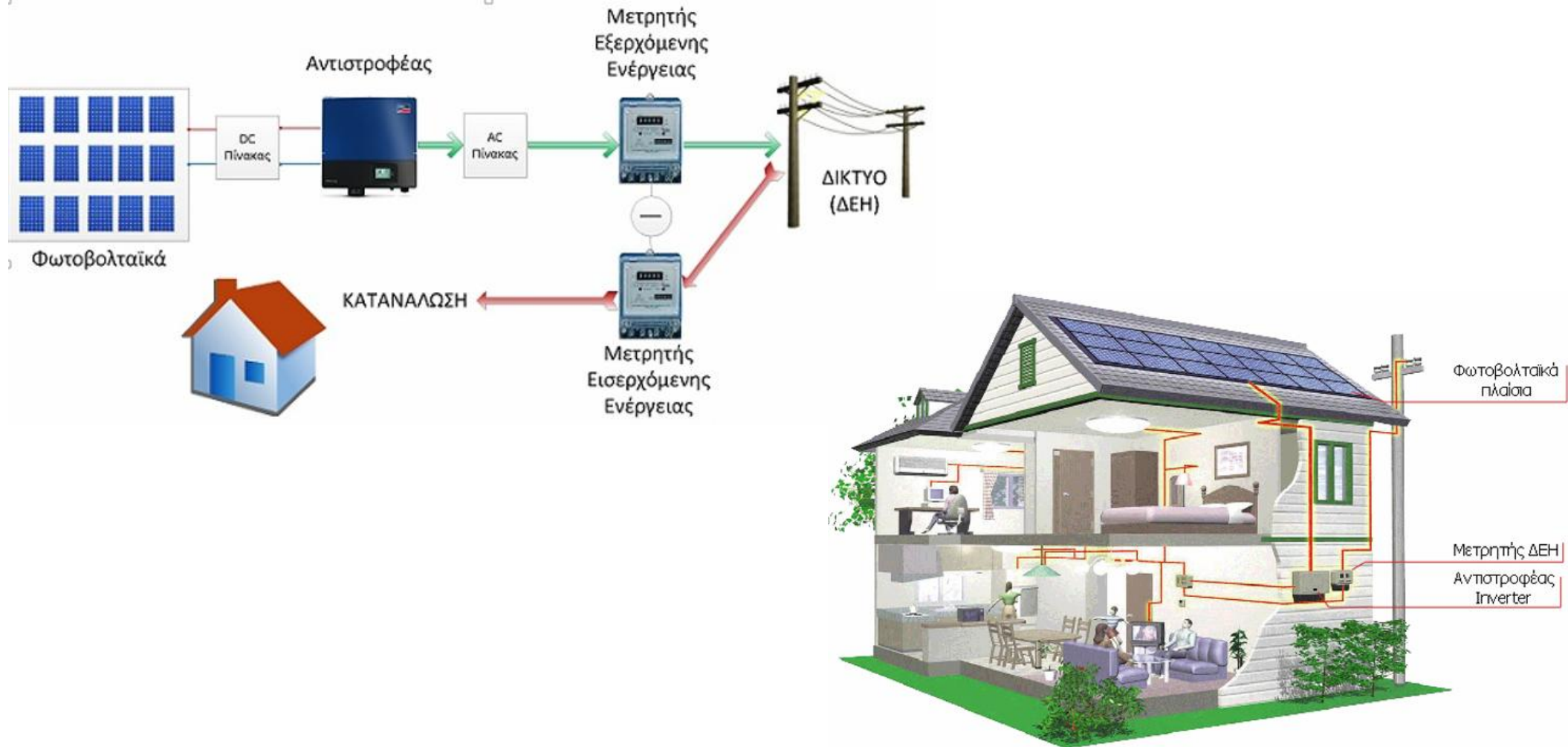
- Υπολογισμό της **ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στη θέση** της εγκατάστασης με βάση την ετήσια ή την μηνιαία βέλτιστη κλίση για σταθερές βάσεις ή τους αντίστοιχους υπολογισμούς για τις περιπτώσεις περιστρεφόμενων βάσεων.
- **Τρόπους τοποθέτησης των Φ/Β** συλλεκτών στον οικοπεδικό χώρο ή στα κτίρια.
- **Υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας**, σε ετήσια βάση, ανά KW εγκαταστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών για κάθε μία από τις περιπτώσεις του τρόπου τοποθέτησης των συλλεκτών στο οικόπεδο ή στα κτίρια.
- Ηλεκτρολογικά σχέδια της εγκατάστασης των Φ/Β καθώς και τις **προδιαγραφές των υλικών και των συσκευών** που θα χρησιμοποιηθούν.
- **Περιβαλλοντικά οφέλη** που προκύπτουν από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων.
- Εξέταση των συνθηκών που υπάρχουν στην περιοχή για την δυνατότητα σύνδεσης με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο (χαμηλής ή μέσης τάσης).
- Οικονομική αξιολόγηση της Φ/Β εγκατάστασης σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο που ισχύει.
- Διαδικασία για την ένταξη του έργου σε επιχορηγούμενο πρόγραμμα.
- Προετοιμασία των φακέλων για την αδειοδότηση της Φ/Β εγκατάστασης.

## Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα διασυνδεδεμένα, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την πλευρά του ηλεκτρικού μετρητή στην οποία είναι τοποθετημένα τα φωτοβολταϊκά:

- **Συστήματα από την πλευρά του καταναλωτή**, (behind the meter). Είναι συστήματα σχετικά μικρής κλίμακας, συνήθως στις στέγες και παρέχουν ηλεκτρική ισχύ απευθείας στον καταναλωτή, στην πλευρά του οποίου και εντάσσονται. Το δίκτυο διανομής χρησιμοποιείται ως εφεδρικό.
- **Συστήματα από την πλευρά του παραγωγού ηλεκτρικής ισχύος**, (utility scale systems). Είναι μεσαία (συνήθως  $\geq 1\text{kW}$ ) και μεγάλα διασυνδεδεμένα συστήματα ( $\leq 2\text{MW}$ ), όπου οι ιδιοκτήτες τους πωλούν ηλεκτρική ισχύ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

## Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταικά Συστήματα



## Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

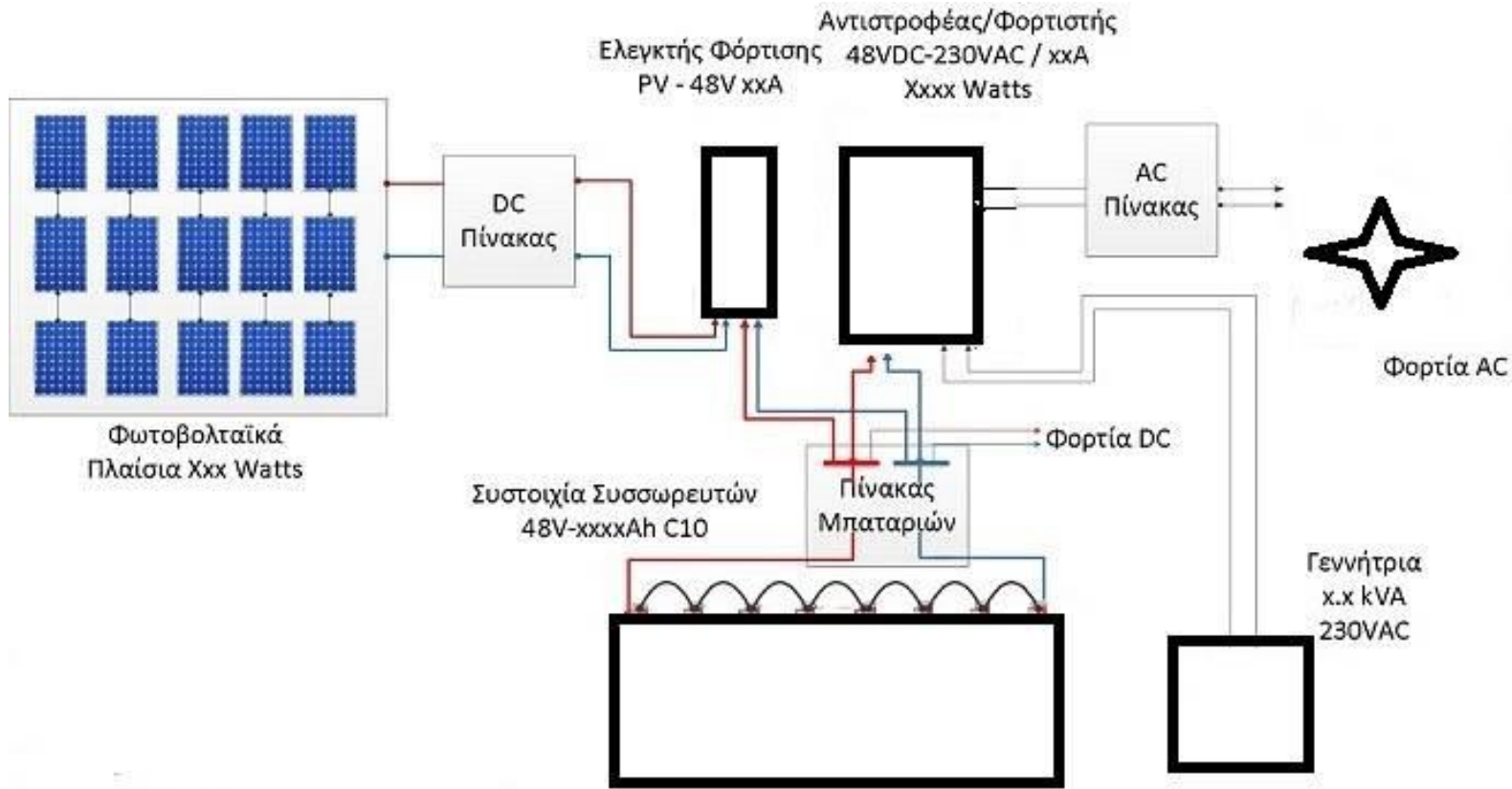
### Ηλιοστάτες (trackers):

- αλλάζουν θέση κάθε μερικά λεπτά
- υπάρχουν περιορισμοί στις μέγιστες γωνίες περιστροφής
- χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων αλλά και σε συστήματα συγκεντρωτικών συλλεκτών
- η περιστροφή γίνεται με τη χρήση λογισμικού και ηλεκτροκινητήρων
- το κόστος τους γενικά είναι υψηλό
- η ενέργεια που προσφέρουν είναι περίπου 25% περισσότερη για μονοαξονικούς ηλιοστάτες και έως 35% για διαξονικούς σε σχέση με τους σταθερούς συλλέκτες
- Σε ενεργειακές μελέτες θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το κόστος κτήσης και η ενεργειακή κατανάλωση των ηλιοστατών για την κίνηση των συλλεκτών

## Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταικά Συστήματα



## Αυτόνομα Φωτοβολταιικά Συστήματα



## Φωτοβολταϊκά Άσκηση

$$\eta_{\text{STC}} = \frac{P_{\text{mp,STC}} / A_{\text{panel}}}{G_{\text{STC}}}$$

Ποια είναι η απαιτούμενη επιφάνεια  $\Phi/B$  εγκατάστασης για να δώσει ισχύ 1,000MW

Δίνονται :

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $H_T=800\text{W/m}^2$

Απόδοση  $\Phi/B$ : 10%

$$\dot{W}_{\Phi/B} = H \cdot \eta_{\Phi/B} \cdot A_{\Phi/B}$$

$$\Rightarrow 10^9 = 800 \cdot 0.1 \cdot A_{\Phi/B}$$

$$\Rightarrow A_{\Phi/B} = 12.5\text{km}^2$$

## Φωτοβολταϊκά Άσκηση

Να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά (με κλίση  $30^\circ$ ) ηλεκτρικής εγκατάστασης από επιφάνεια ενός στρέμματος ( $=1,000\text{m}^2$ ) Θεσσαλονίκη, Νότια Πελοπόννησο, Νότια Κρήτη.

Δίνονται: Επιλογή κλίσης  $\Phi/B= 30^\circ$

Ενεργός επιφάνεια -20%

Απόδοση  $\Phi/B$ : 10%

$H_{30^\circ}$	
Θεσσαλονίκη	1,550kWh/m <sup>2</sup> έτος
Νότια Πελοπόννησο	1,750kWh/m <sup>2</sup> έτος (+15% σε σχέση με Θεσσαλονίκη)
Νότια Κρήτη	1,850kWh/m <sup>2</sup> έτος (+20% σε σχέση με Θεσσαλονίκη)

Θεσσαλονίκη

$$W_{el} = H_{30} \cdot A_{act} \cdot \eta_{total} = 1,550 \cdot 800 \cdot 0,1 = 124,000 \text{ kWh/έτος}$$

Με όμοιο τρόπο υπολογίζουμε:

Νότια Πελοπόννησο 140,000kWh/έτος

Νότια Κρήτη 148,000kWh/έτος

## Φωτοβολταϊκά Άσκηση

Πόση πρέπει να είναι η εγκατεστημένη επιφάνεια φωτοβολταϊκών panels ενός σταθμού για να καλυφθούν οι ηλεκτρικές ανάγκες μιας χώρας ετησίως?

Δίνονται

Μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας τιμή

$$H_T = 800 \text{ W/m}^2 \text{ (N=6h)}$$

Ενεργειακές ανάγκες χώρας:  $W = 47,939 \text{ GWh/έτος}$

Απόδοση  $\Phi/B$  10%

Ώρες ηλιοφάνειας 6h ανά ημέρα

$$W_{\text{σταθμού}} = 800 \text{ W/m}^2 \cdot 365 \text{ ημέρες / έτος} \cdot \eta_{\Phi/B} \cdot A \cdot 6 \text{ h/ημέρα} = 47.939 \text{ GWh/έτος}$$

$$: 47.939 \text{ GWh/έτος} = 47,939 \cdot 10^9 \text{ Wh/έτος}$$

$$\Rightarrow A = 247 \text{ km}^2$$



# Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στη Γεωργία

## Ηλιακή Ενέργεια

Αγγελική Μαραγκάκη  
Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, PhD

## Φωτοβολταϊκά Άσκηση

**Ποια από τις παρακάτω προτάσεις δεν είναι σωστή?**

A. Η ηλιακή ενέργεια είναι απεριόριστη, διαθέσιμη παγκοσμίως και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευσή της παρουσιάζουν χαμηλό κόστος κτήσης

B. Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζεται στο λεγόμενο φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Γ. Η σύνδεση πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει σκοπό την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος

Δ. Τα ηλιακά συστήματα γενικά κατηγοριοποιούνται σε θερμικής ενέργειας και σε φωτοβολταϊκά συστήματα

E. Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της μέρας

## Φωτοβολταϊκά Άσκηση

Ποιο από τα παρακάτω δεν είναι πλεονέκτημα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας?

A. Είναι φιλικά προς το περιβάλλον

B. Έχουν υψηλή απόδοση

Γ. Δεν έχουν κινούμενα μέρη

Δ. Η πηγή της ενέργειας που χρησιμοποιούν είναι ανεξάντλητη και διαθέσιμη παντού στη Γη

E. Μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα

Υπολογίστε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για ένα κεκλιμένο (με κλίση 30°) φωτοβολταϊκό με βόρειο προσανατολισμό σε πόλη της επιλογής σας. Χρησιμοποιείστε τις παρακάτω παραμέτρους:

- Ονομαστική ισχύς  $P_p$ : αθροίστε τον αριθμό φοιτητικού μητρώου σας μέχρι να φτάσετε σε μονοψήφιο νούμερο και πολλαπλασιάστε με το 100 για να πάρετε την τιμή σε W

-  $PR$ : Λόγος επίδοσης 0,80

-  $G_{STC}$ : 1000 W/m<sup>2</sup>

•  $P_p$ : Ονομαστική ισχύς (Watt)

•  $E_{\Phi B}$ : Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

•  $PR$ : Λόγος επίδοσης

•  $H_t$ : προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο  $\Phi B$  σύστημα- kWh/m<sup>2</sup>

•  $G_{STC}$  : 1000 W/m<sup>2</sup> και

$$E_{\Phi B} = P_p \cdot PR \cdot \frac{H_t}{G_{STC}}$$

Πόλη	Οριζόντιο επίπεδο	Κεκλιμένο επίπεδο kWh/m <sup>2</sup>
Ηράκλειο	1870	2060
Αθήνα	1810	2030
Λάρισα	1670	1910
Θεσσαλονίκη	1630	1870

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	30°	0°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	85% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	50% kWh <sub>(max)</sub>
Νότιοανατολικός - Δυτικός	95% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	60% kWh <sub>(max)</sub>
Νότιος	kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	60% kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειοανατολικός - Δυτικός	95% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	30% kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειος	60% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	20% kWh <sub>(max)</sub>