

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Δρ. Άγγελος Σ. Μπουχουράς

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



# Φ/Β Συστήματα

---

- Γιατί φωτοβολταϊκά; - Οφέλη
- Η κατανάλωση είναι διάσπαρτη ...αλλά και η παραγωγή μπορεί να είναι, γεγονός πολύ σημαντικό για τα ηλεκτρικά δίκτυα
- Προσφέρουν ποιότητα δικτύου ιδίως όταν συνδυαστούν με αποθήκευση
- Μπορούν να προσφέρουν ενέργεια ακόμα και εκεί που δεν υφίσταται
- Η ισχύς τους προσμετράται στον ενεργειακό στόχο της χώρας
- Τονώνουν την τοπική οικονομία
- Εξυπηρετούν μεγάλο πλήθος κατοικιών στα νησιά που είναι εξοχικές κατοικίες και πολλές από αυτές απομακρυσμένες
- Στα νησιά υπάρχουν πολλά οφέλη... Ιδιαίτερα όταν η κορύφωση (peak) της ζήτησης το καλοκαίρι, λόγω τουρισμού, συμπίπτει με την κορύφωση παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων

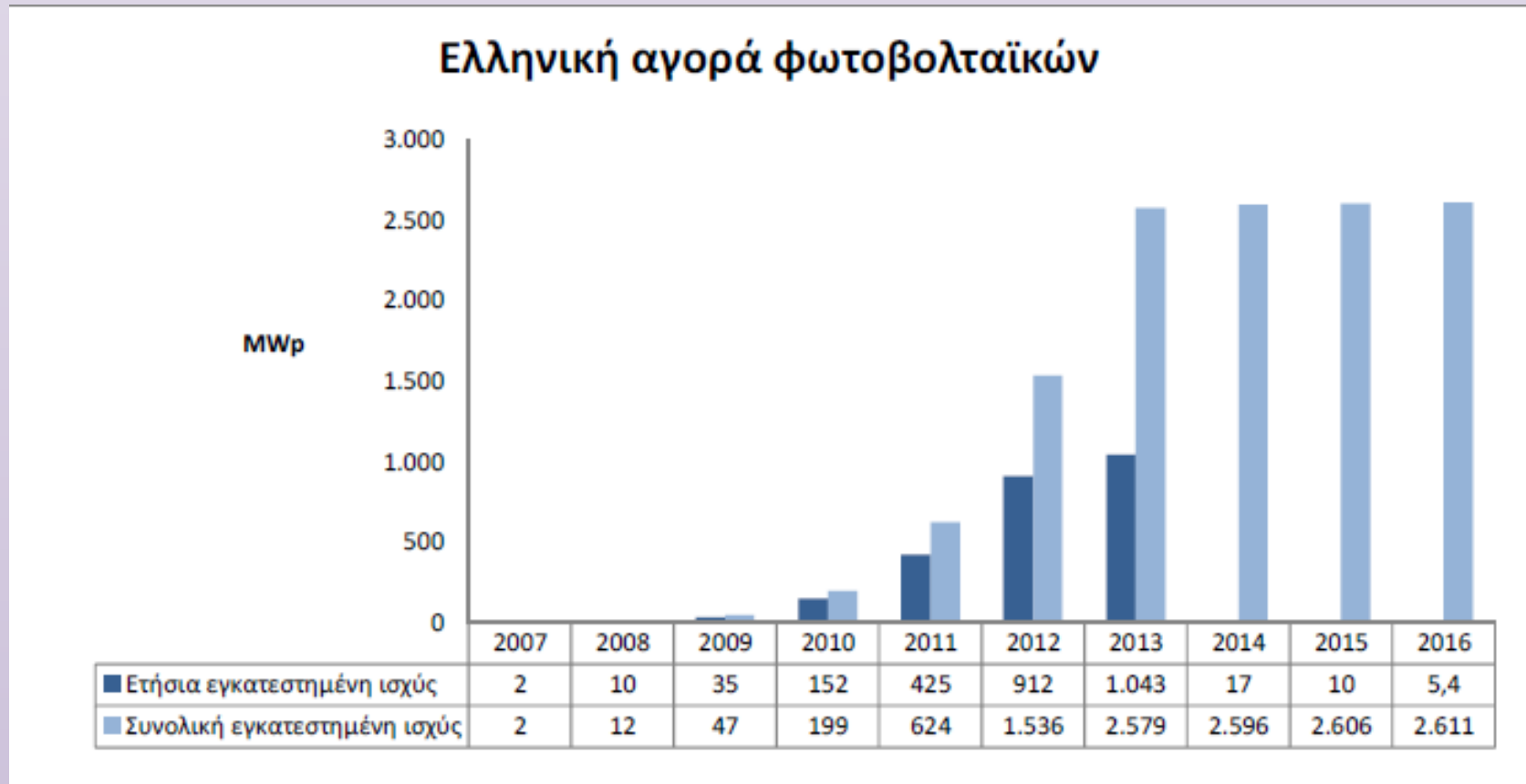
# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

---

- Το 2016 υπήρξε η χειρότερη χρονιά για τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα, με την αγορά να πέφτει σχεδόν στα επίπεδα του 2007, πριν αρχίσει δηλαδή η ουσιαστική ανάπτυξη της
- Η καθυστέρηση στην υιοθέτηση νέου θεσμικού πλαισίου (κάτι που έγινε μόλις τον Αύγουστο του 2016 και δεν διευκόλυνε την έγκαιρη ανάπτυξη μεσαίων και μεγάλων έργων) και η επιβολή capital controls (που επηρέασε την εγκατάσταση μικρών συστημάτων αυτοπαραγωγής, net-metering)
- Παρόλα αυτά και, λόγω της πρότερης εντυπωσιακής ανάπτυξης, το 2016, τα φωτοβολταϊκά κάλυψαν το **7,05%** των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, φέρνοντας την Ελλάδα στην **τρίτη θέση** διεθνώς σε ότι αφορά στη συμβολή των φωτοβολταϊκών στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

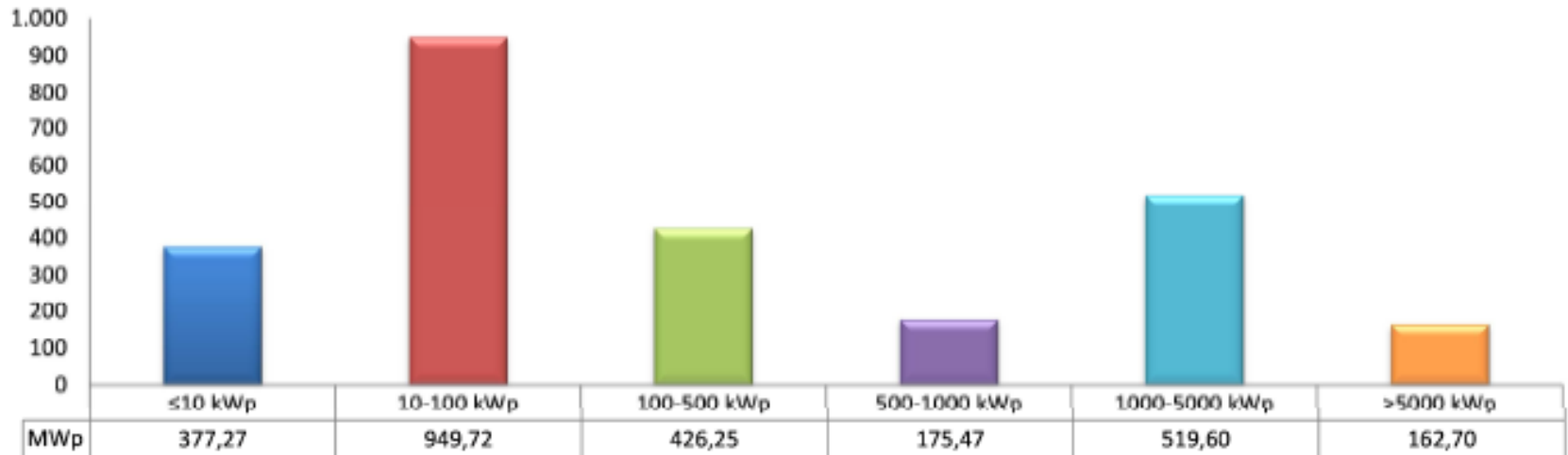
- Το 2016 υπήρξε η χειρότερη χρονιά για τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα, με την αγορά να πέφτει σχεδόν στα επίπεδα του 2007, πριν αρχίσει δηλαδή η ουσιαστική ανάπτυξη της



# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

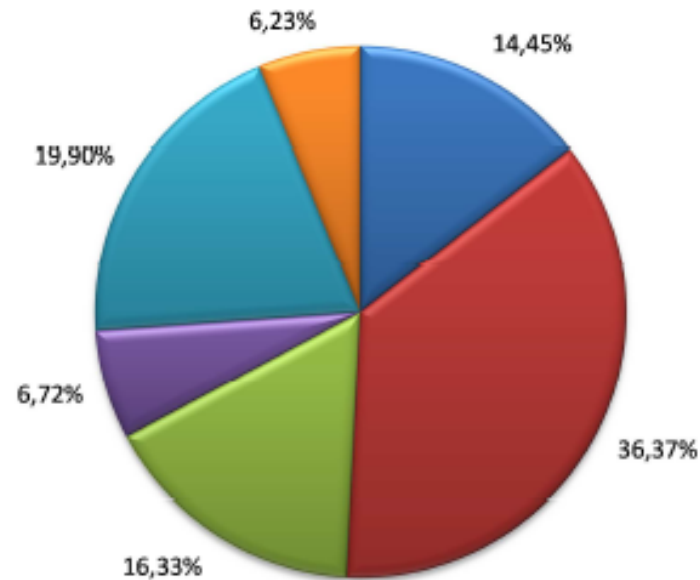
Έτος	Αριθμός νέων λειτουργούντων συστημάτων αυτοπαραγωγής	Ισχύς (kWp)	Μέση ισχύς ανά σύστημα (kWp)
2015	115	1.816,26	15,79
2016	432	5.419,43	12,54

Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά κατηγορία



# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

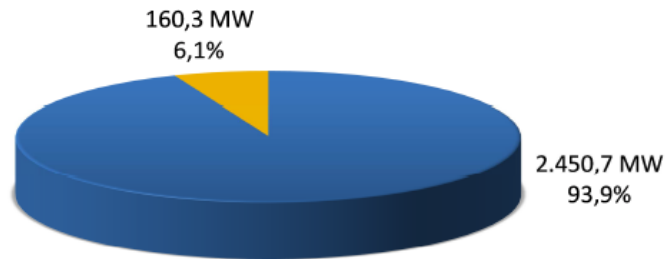
Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά κατηγορία



■ ≤10 kWp ■ 10-100 kWp ■ 100-500 kWp ■ 500-1000 kWp ■ 1000-5000 kWp ■ >5000 kWp

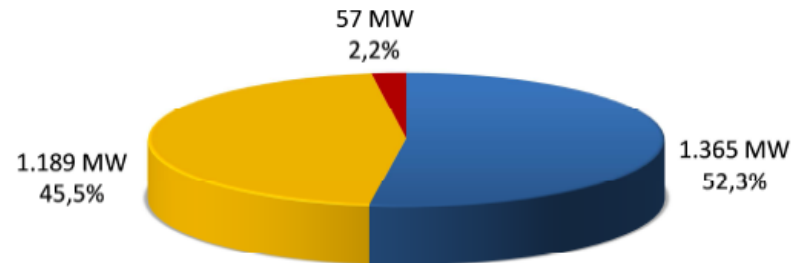
# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών (2016)



■ Ηπειρωτικό δίκτυο ■ Μη διασυνδεδεμένα νησιά

Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών ανά τάση σύνδεσης

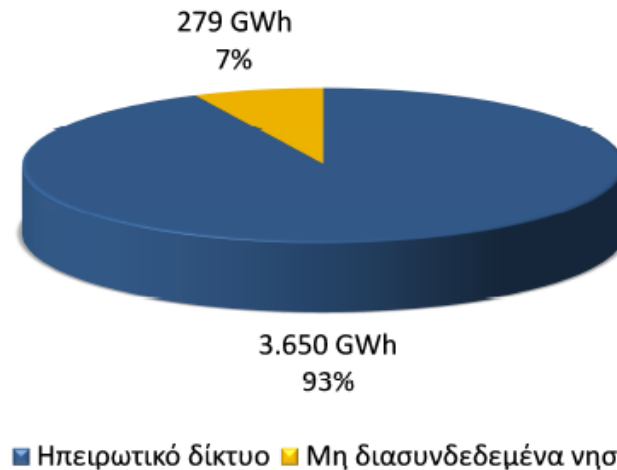


■ Χαμηλή Τάση (ΧΤ) ■ Μέση Τάση (ΜΤ)  
■ Υψηλή Τάση (ΥΤ)



# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

Παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά το 2016



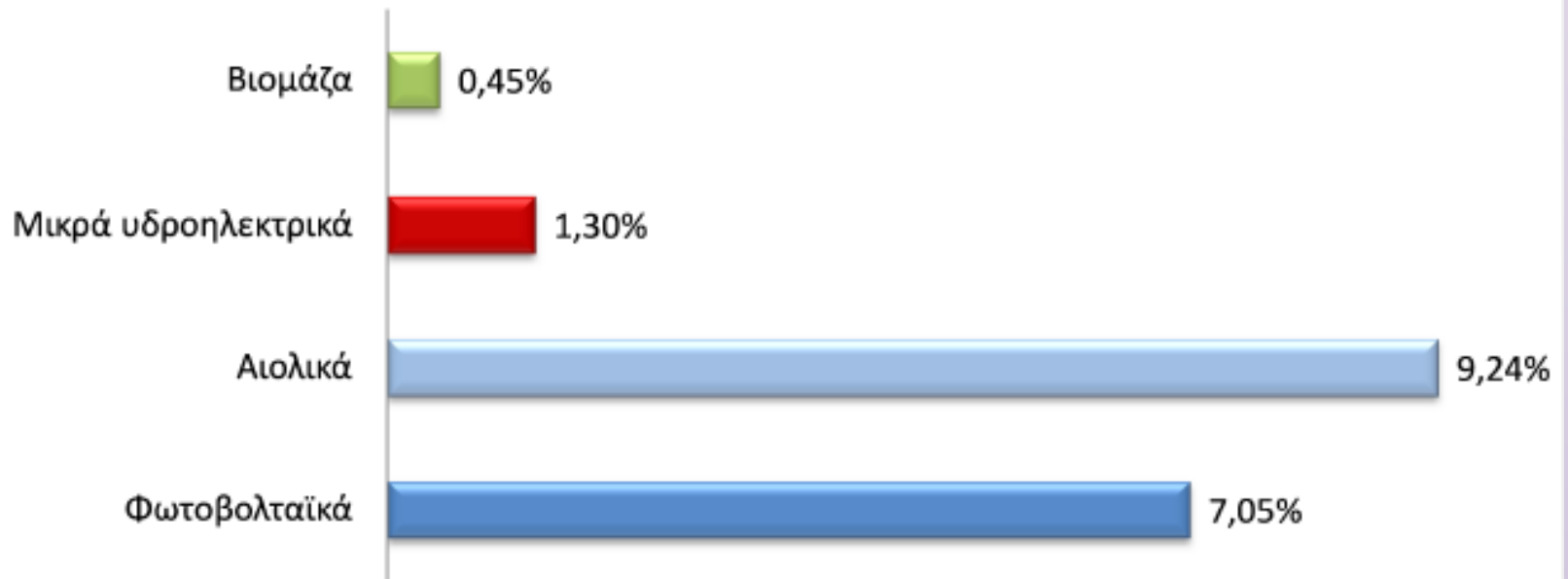
Μέση ενεργειακή απόδοση φωτοβολταϊκών (MWh/MWp)

	Πάρκα		Οικιακά	
	Ηπειρωτική χώρα (Σύστημα)	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά	Ηπειρωτική χώρα (Σύστημα)	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
<b>2014</b>	1.485	1.725	1.345	1.525
<b>2015</b>	1.515	1.725	1.305	1.495
<b>2016</b>	1.517	1.787	1.355	1.535
<b>Μέσος όρος</b>	<b>1.506</b>	<b>1.746</b>	<b>1.335</b>	<b>1.518</b>

# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

---

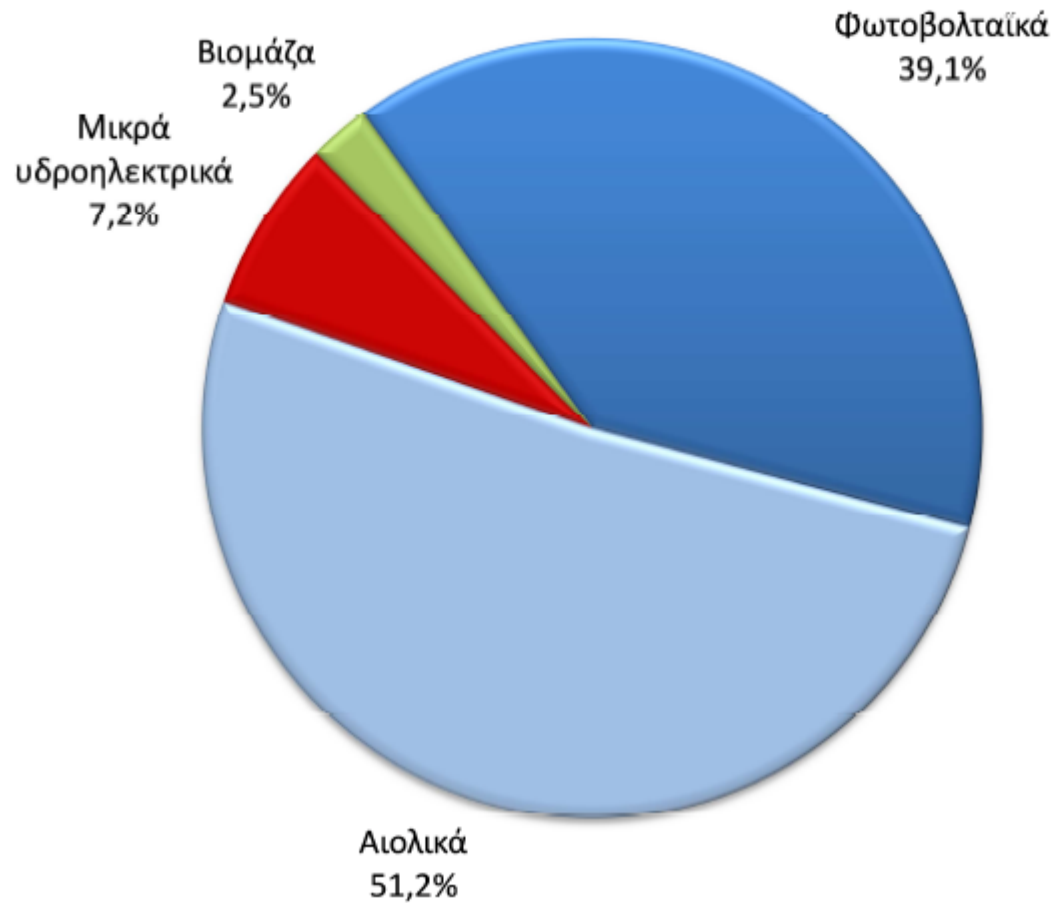
Μερίδιο τεχνολογιών ΑΠΕ στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας το 2016



# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών

---

Μερίδιο τεχνολογιών στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2016



# Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών



*Την περίοδο 2014-2016 φαίνεται καθαρά η επίπτωση που είχε στην απασχόληση η αναστολή αδειοδότησης νέων έργων (η οποία ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2012 και ίσχυσε έως τον Απρίλιο του 2014) και η απουσία επαρκούς νέου θεσμικού πλαισίου. Η απασχόληση το 2013 βασίστηκε ουσιαστικά σε έργα που είχαν ωριμάσει αδειοδοτικά από παλιά και απλώς εκτελέστηκαν αυτή την περίοδο. Οι άμεσες θέσεις εργασίας την περίοδο 2014-2016 αφορούν κυρίως στη συντήρηση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών σταθμών*

# Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα για το 2016

---

- Σήμερα στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένα 2.611 μεγαβάτ (MWp) φωτοβολταϊκών, εκ των οποίων τα 2.066 MWp επί εδάφους και τα υπόλοιπα σε στέγες κτιρίων

## 1. Δέσμευση γης

- Η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων των 2.066 MWp καλύπτει περίπου 12.400 στρέμματα, είναι δηλαδή λίγο μικρότερη από την έκταση του Δήμου Αμαρουσίου στην Αθήνα ή του Δήμου Νεάπολης-Συκεών στη Θεσσαλονίκη
- Η συνολική έκταση που δεσμεύουν αυτά τα 2.066 MWp (μαζί με τα διάκενα μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών και την περιμετρική απόσταση ασφαλείας από τα όρια των γηπέδων) είναι περίπου 40.000 στρέμματα, όση δηλαδή είναι η έκταση του Δήμου Αθηναίων

# Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα για το 2016

---

- Για σύγκριση, η έκταση που καταλαμβάνουν οι λιγνιτικοί σταθμοί και τα λιγνιτωρυχεία είναι, σύμφωνα με τη ΔΕΗ, 253.000 στρέμματα, είναι δηλαδή 6,3 φορές μεγαλύτερη από την έκταση που δεσμεύουν τα φωτοβολταϊκά
- Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, η γεωργική γη στην Ελλάδα ανέρχεται σε 36,8 εκατ. στρέμματα, εκ των οποίων καλλιεργούνται τα 31,7 εκατ. στρέμματα. Αυτό σημαίνει ότι τα φωτοβολταϊκά δεσμεύουν το 0,1% της γεωργικής γης ή αλλιώς το 0,03% της έκτασης της χώρας

# Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα για το 2016

---

## 2. Κατανάλωση νερού

- Για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων απαιτούνται κατά μέσο όρο 0,114 m<sup>3</sup> νερού ανά παραγόμενη MWh (εύρος τιμών 0,1-0,13 m<sup>3</sup>/MWh). Η ποσότητα αυτή είναι 29 φορές μικρότερη ανά παραγόμενη MWh από ένα λιγνιτικό σταθμό (σύμφωνα με τη ΔΕΗ, οι λιγνιτικοί σταθμοί καταναλώνουν κατά μέσο όρο 3,296 m<sup>3</sup> νερού ανά παραγόμενη MWh)
- Το 2016 παρήχθησαν περίπου 3.929.716 MWh από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά, δηλαδή απαιτήθηκαν περίπου 448.000 m<sup>3</sup> νερού για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών, όσο δηλαδή καταναλώνουν ετησίως 4.570 νοικοκυριά

## 3. Αποσόβηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

- Στις θετικές περιβαλλοντικές επιδόσεις, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά το 2016 αποσόβησε την έκλυση περίπου 3,8 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα

# Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί

---

- Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με δύο τρόπους:
- Με θερμικά συστήματα συλλογής, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την ατμοποίηση νερού. Στη συνέχεια ο ατμός που δημιουργείται θέτει σε κίνηση έναν ατμοστρόβιλο.
- Με φωτοβολταϊκά (Φ/Β) κελιά ή στοιχεία (photovoltaic cell), τα οποία είναι συσσωρευτές ξηράς φόρτισης.
- Αυτά, όταν εκτεθούν στο ηλιακό φως, εμφανίζουν διαφορά δυναμικού.
- Για τη μελέτη και αξιολόγηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων: είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας
- στις διάφορες τοποθεσίες και
- σε διάφορες χρονικές περιόδους



# Ηλιακό Δυναμικό

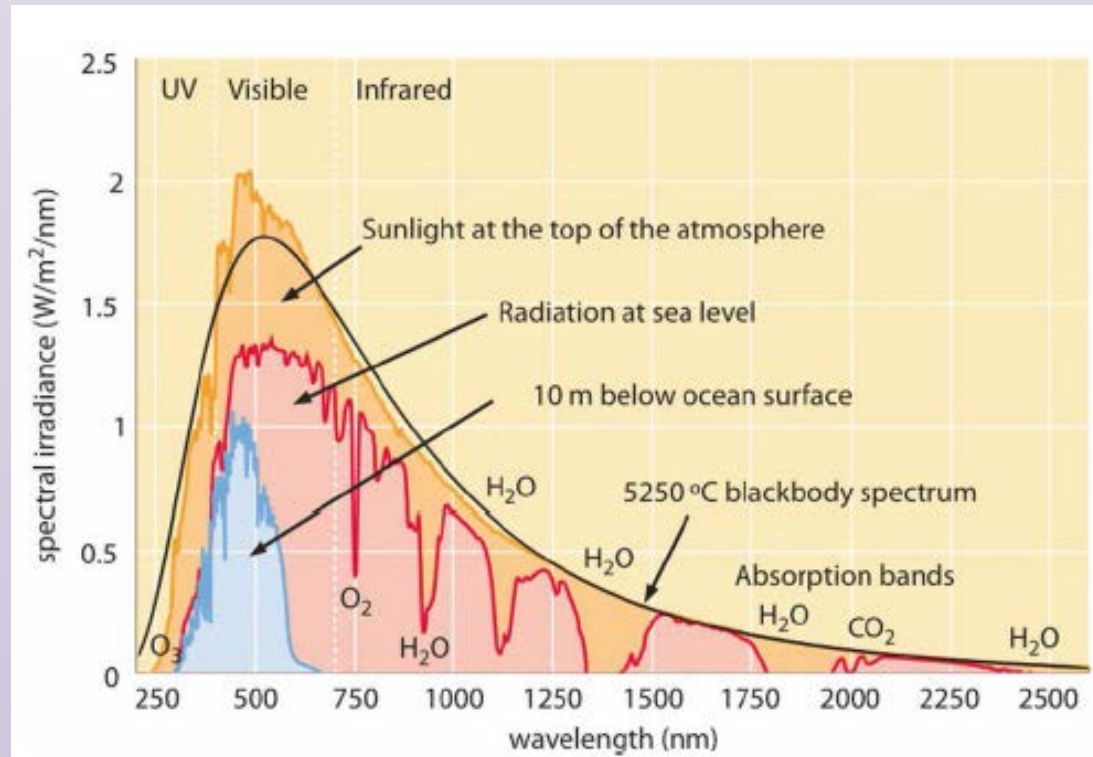
---

- Ο Ήλιος = τεράστιος αντιδραστήρας σύντηξης (συνεχούς δράσης), όπου πραγματοποιούνται συντήξεις ελαφρών πυρήνων σε βαρύτερους με σημαντικότερη τη μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατομμυρίων τόνων το δευτερόλεπτο
- Η θερμοκρασία επιφάνειας του ηλιακού δίσκου εκτιμάται περί τους  $T_{\text{sun}}=5,774\text{K}$ . Σε αυτή την υψηλή θερμοκρασία ο Ήλιος θεωρείται ότι ακτινοβολεί ως μέλαν σώμα

# Ηλιακό Δυναμικό

- Η ενεργειακή κατανομή της έντασης ακτινοβολίας για οριζόντιο επίπεδο

- Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εντός της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται με τις καιρικές συνθήκες, τη θέση του Ήλιου σε σχέση με την επιφάνεια της Γης, την ώρα της ημέρας και την περιοχή



# Ηλιακό Δυναμικό

- Σε ετήσια βάση:
- 20% της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα,
- 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα,
- 50% φτάνει στο έδαφος με τη μορφή άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας
- **Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία** δεν έχει υποστεί κάποιου είδους ανάκλαση και βασικό της χαρακτηριστικό είναι πως μπορεί να κατευθυνθεί και να συγκεντρωθεί κάπου
- **Η διάχυτη ακτινοβολία** είναι το αποτέλεσμα της σκέδασής της ηλιακής ακτινοβολίας στα μόρια της ατμόσφαιρας

## Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλιακής ενέργειας

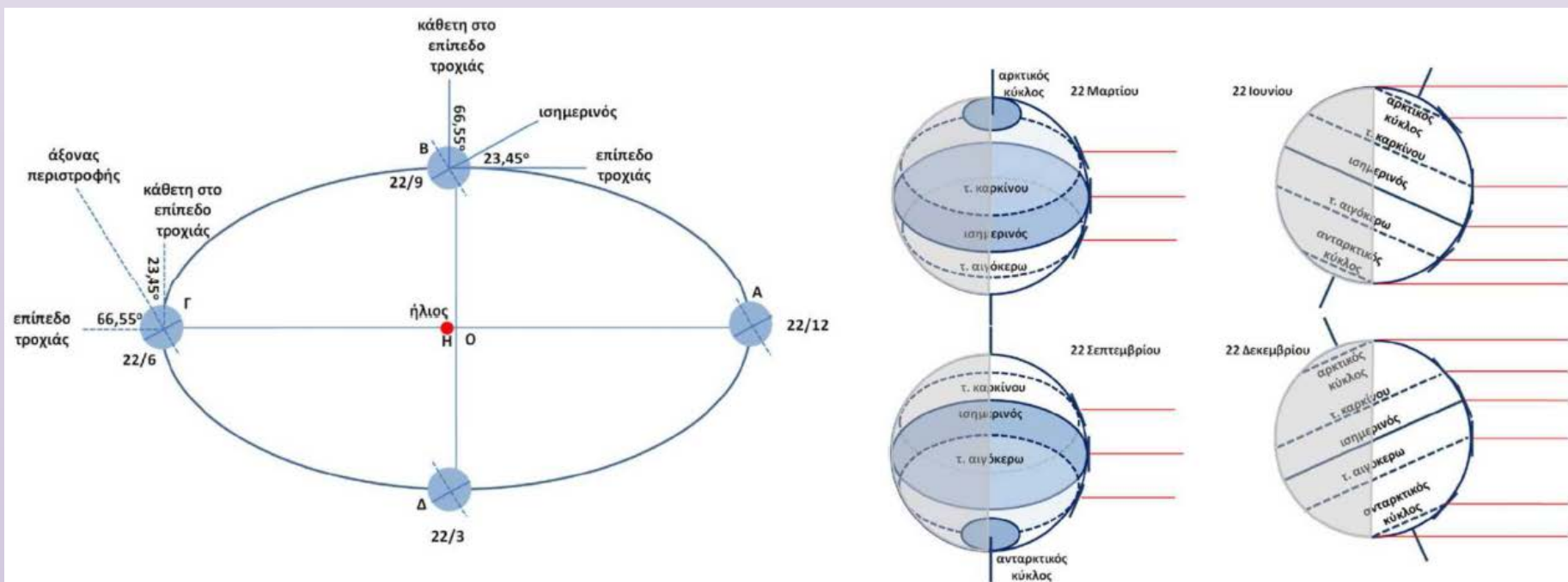
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ανεξάντλητη	Μεγάλη χρονική διακύμανση (ημέρα-νύχτα, Χειμώνας-Καλοκαίρι)
Άφθονη (ίση με 10,000 φορές της συνολικής χρήσης ενέργειας στον πλανήτη)	Γεωγραφική διακύμανση. Η ηλιακή ακτινοβολία στον ισημερινό είναι τριπλάσια απ' ότι στη Βόρεια Ευρώπη. Επίσης, στον ισημερινό η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας το Καλοκαίρι είναι διπλάσια από το Χειμώνα ενώ στη Βόρεια Ευρώπη έως και 10 φορές περισσότερη
Χαμηλού λειτουργικού κόστους κατά την εκμετάλλευση	«Αραιή» μορφή ενέργειας. Στην επιφάνεια της Γης η ένταση της ισχύος της ακτινοβολίας έχει ως μέγιστο το $1\text{kW/m}^2$ ενώ σε ένα τυπικό ατμοπαραγωγό η ένταση ισχύος είναι $200\text{kW/m}^2$ )
Διαθέσιμη σε μεγάλο μέρος της Γης.	
Περιβαλλοντικά καθαρή	

# Συνέπειες της Περιστροφή της Γης γύρω από τον Εαυτό της και τον Ήλιο

---

- $G$  για τη στιγμιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, (μονάδες ισχύος)
- $I$  για την ηλιακή ακτινοβολία σε διάρκεια μιας ώρας (μονάδες ενέργειας)
- $H$  για την ημερήσια (ή μεγαλύτερης χρονικής κλίμακας) ηλιακή ακτινοβολία (μονάδες ενέργειας)
- Τα παραπάνω σύμβολα δέχονται τους δείκτες:
- $o$  για ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας
- $b$  για άμεση ηλιακή ακτινοβολία
- $d$  για διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία
- $T$  για ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια, ως προς την οριζόντια,
- $n$  για ακτινοβολία κάθετη στην επιφάνεια που προσπίπτει
  
- Για παράδειγμα, το σύμβολο  $HT_b$  αναφέρεται στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια σε μια ημέρα
- Όταν δεν εμφανίζονται οι δείκτες  $T$  ή  $n$ , τότε τα μεγέθη αναφέρονται σε οριζόντια επιφάνεια

# Συνέπειες της Περιστροφής της Γης γύρω από τον Εαυτό της και τον Ήλιο



- Είναι σταθερή η ηλιακή ακτινοβολία στη γη;

# Συνέπειες της Περιστροφής της Γης γύρω από τον Εαυτό της και τον Ήλιο

---

- Η ηλιακή σταθερά ( $G_{sc}$ ) εκφράζει την ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας) που δέχεται από τον Ήλιο μια μοναδιαία επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας, κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση Γης-Ήλιου είναι ίση με τη μέση τιμή της
- Η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι περίπου ίση με  $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$
- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της Γης δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται λόγω:
  - Διακύμανσης της ηλιακής δραστηριότητας ( $\pm 2\%$ , δε λαμβάνεται υπόψη)
  - Μεταβολής της απόστασης Γης-Ήλιου ( $\pm 3.5\%$ ), επειδή η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι ελλειπτική

# Συνέπειες της Περιστροφής της Γης γύρω από τον Εαυτό της και τον Ήλιο

- Λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της, η Γη βρίσκεται πλησιέστερα στο Ήλιο στις 2 Ιανουαρίου (περιήλιο) και κατά 2.106Km μακρύτερα στις 2 Ιουλίου (αφήλιο). Έτσι εξηγείται γιατί γενικά το βόρειο ημισφαίριο έχει πιο ήπιους Χειμώνες σε σχέση με το νότιο, ενώ τα αντίθετα Καλοκαίρια είναι λιγότερο θερμά
- Η αλλαγή των εποχών οφείλεται στη γωνία που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής της Γης με την κάθετη στην ελλειπτική τροχιά. Αν και η γωνία είναι σταθερή, η περιστροφή της Γης γύρω από τον Ήλιο δημιουργεί μεταβολή στη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα Γης-Ήλιου με το ελλειπτικό επίπεδο του ισημερινού
- Η γωνία αυτή ονομάζεται ηλιακή απόκλιση, συμβολίζεται με  $\delta$  και υπολογίζεται για κάθε ημέρα του έτους από τη σχέση:

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284+n}{365}\right)$$

# Συνέπειες της Περιστροφής της Γης γύρω από τον Εαυτό της και τον Ήλιο

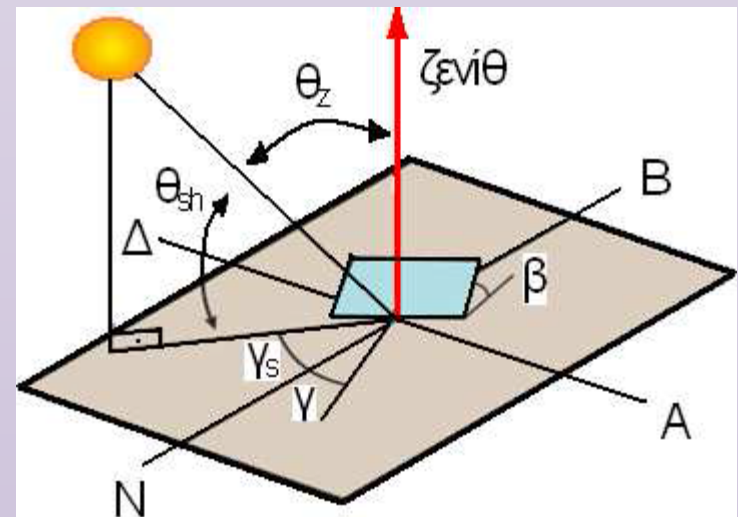
---

- Η θέση του Ήλιου στον ουράνιο θόλο αποτελούσε σημάδι για τη φαινόμενη ηλιακή ώρα της ημέρας και την εποχή του χρόνου. Τα ηλιακά ρολόγια αποτέλεσαν τα πρώτα όργανα για τη μέτρηση του χρόνου με έναν αντικειμενικό τρόπο και χρησιμοποιήθηκαν για πάρα πολλούς αιώνες. Βασικό μειονέκτημα τους ήταν πως η ηλιακή ώρα διέφερε από τόπο σε τόπο λόγω της διαφορετικής γεωγραφικής θέσης
- Με την **εισαγωγή των μηχανικών ρολογιών** ξεκίνησε η χρήση της **μέσης ηλιακής ώρας** αντί της **φαινόμενης ηλιακής ώρας**. Η μέση ηλιακή ώρα προκύπτει ρυθμίζοντας την ημέρα της ισημερίας ένα μηχανικό ρολόι κατά το ηλιακό μεσημέρι (είναι η χρονική στιγμή που ο ήλιος είναι στο ψηλότερο σημείο στον ουράνιο θόλο) να δείχνει 12 ακριβώς
- **Φαινόμενος ηλιακός χρόνος** ονομάζεται ο χρόνος που μετράται με βάση την κίνηση του Ήλιου στον ουρανό (όπως την καταγράφει παρατηρητής στην επιφάνεια της Γης)

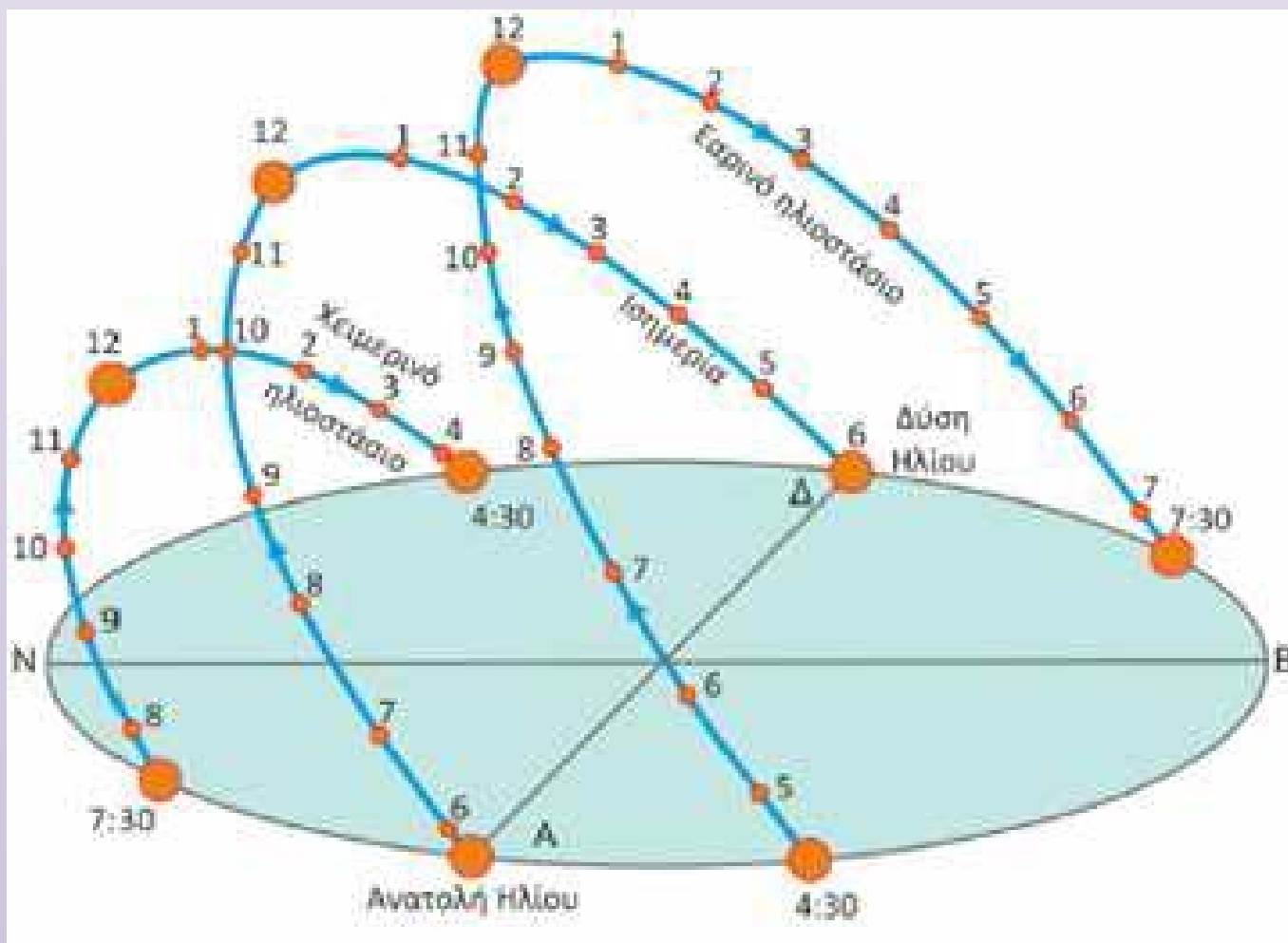


# Θέση του Ήλιου στον Ουράνιο Θόλο

- $\theta_{sh}$  : ηλιακό ύψος
- $\gamma_s$  : ζενίθ ηλιακού αζιμούθιου
- **Ηλιακό αζιμούθιο** είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του Ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης
- Γωνία ζενίθ ( $\theta_z$ ) : η γωνία που σχηματίζεται από την ηλιακή ακτίνα και την κάθετο στο επίπεδο του παρατηρητή (κορυφή του ουράνιου θόλου)
- Ηλιακό ύψος : η γωνία που σχηματίζεται από την ηλιακή ακτίνα και τον ορίζοντα ( $\theta_{sh}$ )



# Θέση του Ήλιου στον Ουράνιο Θόλο



# Θέση του Ήλιου στον Ουράνιο Θόλο

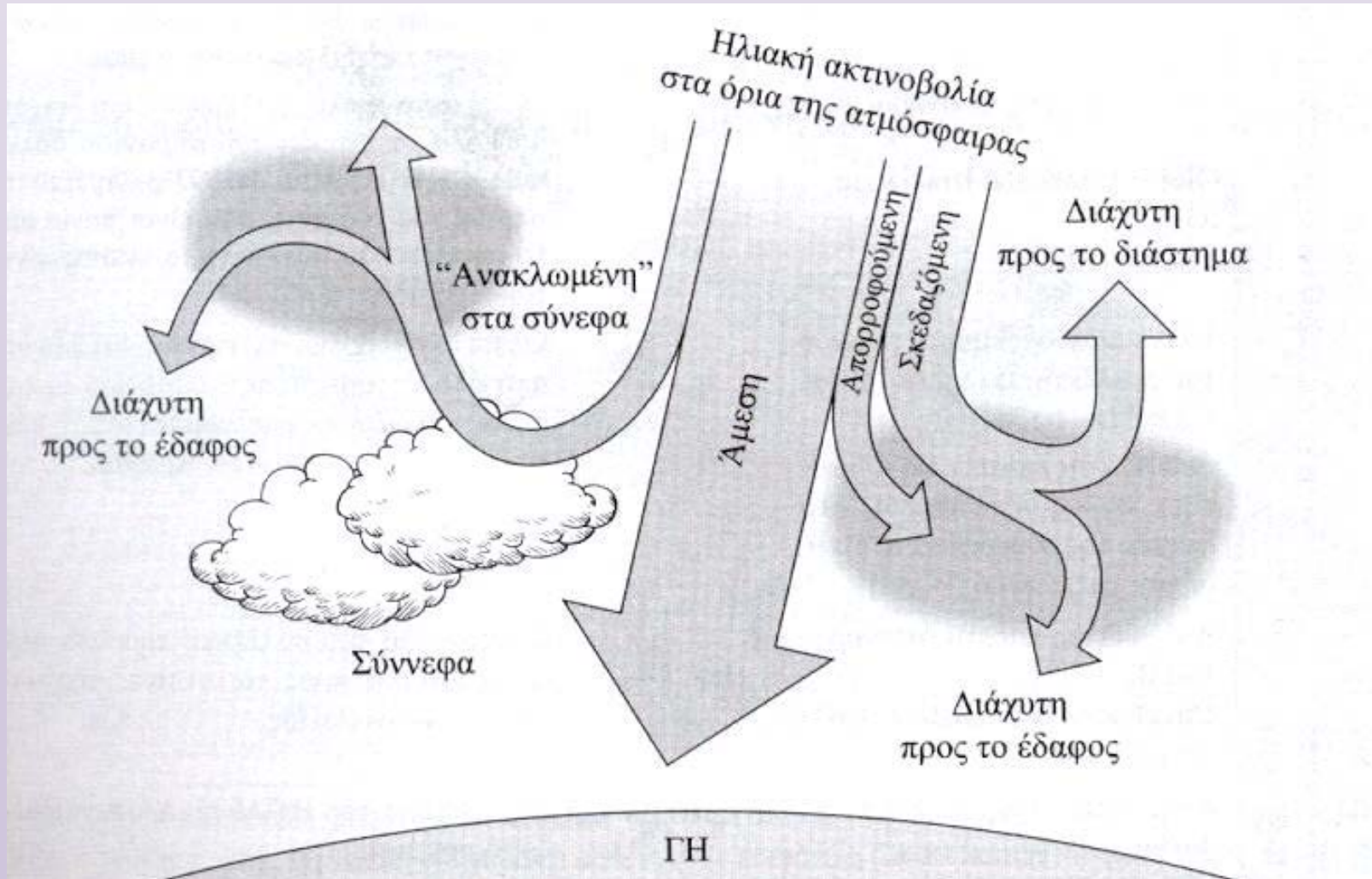
---

- Η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας:

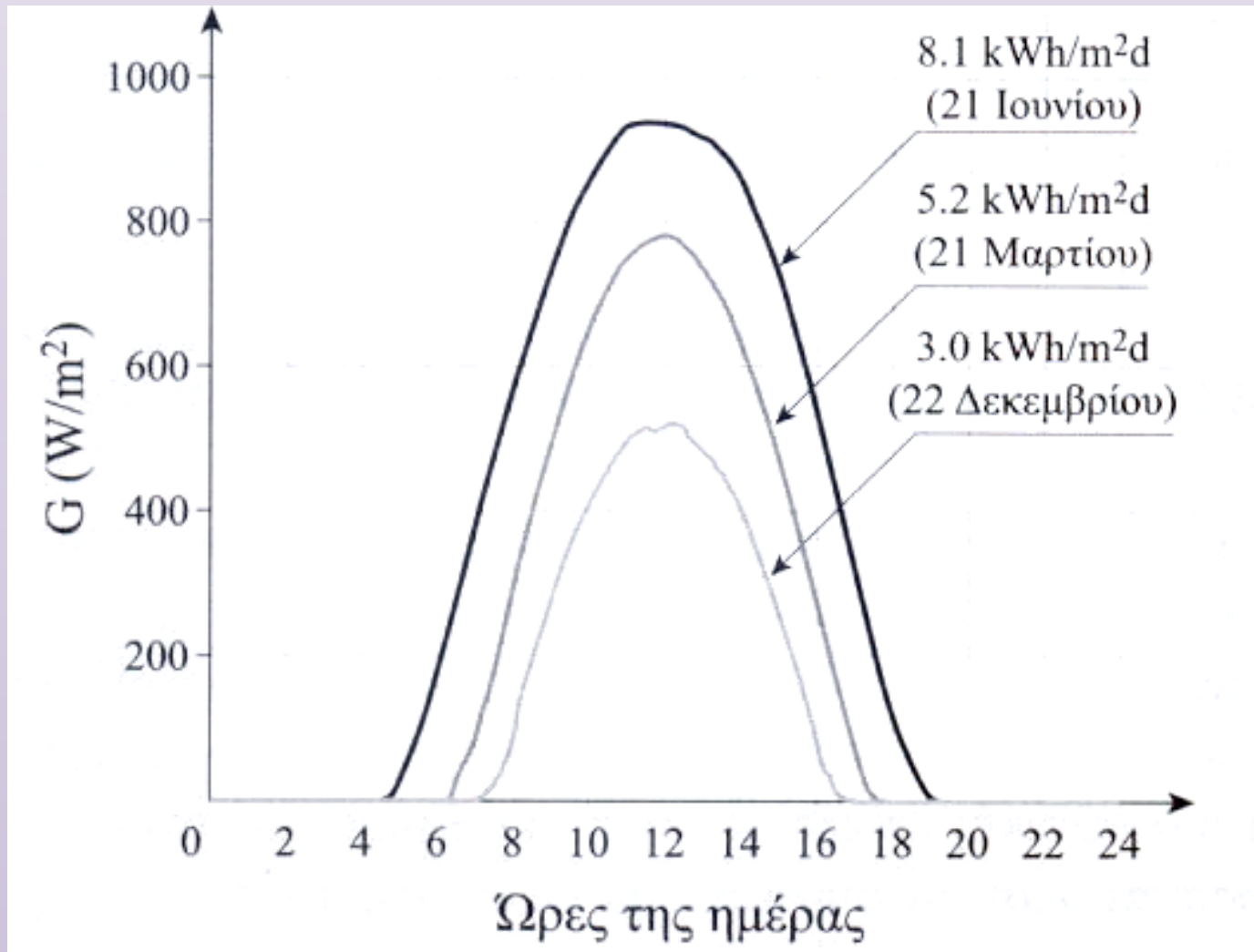
$$G_T = G_d + G_{bT}$$

- $G_b$  η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη απευθείας από τον Ήλιο, χωρίς να μεσολαβήσει σκέδαση/διάχυση μέσα στην ατμόσφαιρα
- $G_d$  η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη ύστερα από σκέδαση και αλλαγή κατεύθυνσης μέσα στην ατμόσφαιρα

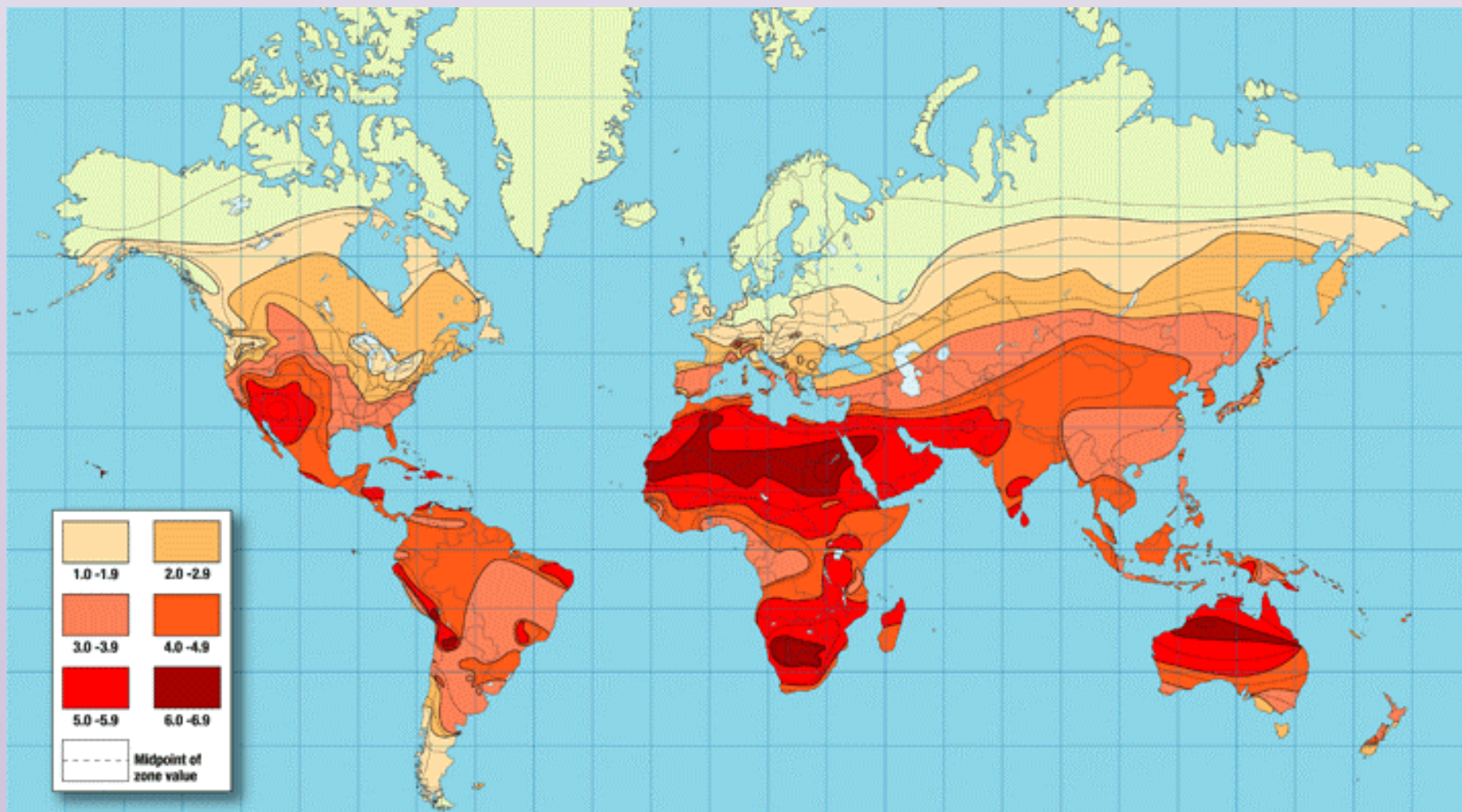
# Θέση του Ήλιου στον Ουράνιο Θόλο



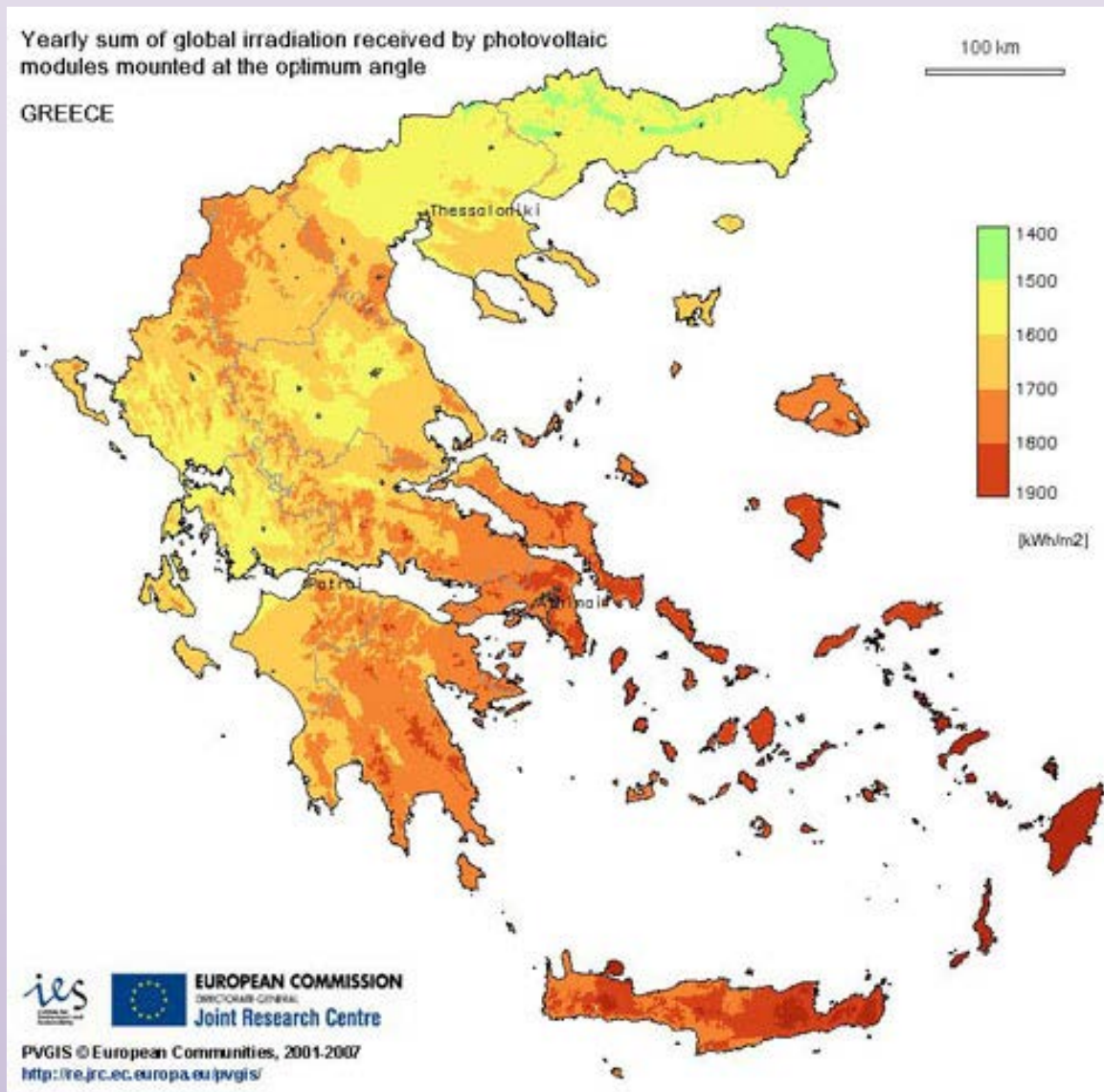
# Ημερήσια Ενεργειακή Απολαβή



# Θέση του Ήλιου στον Ουράνιο Θόλο

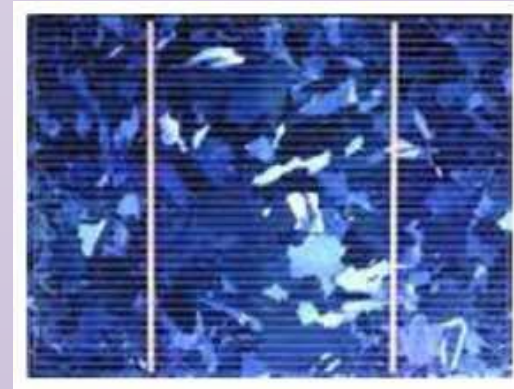


# Θέση του Ήλιου στον Ουράνιο Θόλο



# Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Κελιού

- Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) κελί ή στοιχείο Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, (mono-Si) Σήμερα επιτυγχάνουν βαθμό απόδοσης 20% - 21%, αλλά η διαδικασία παραγωγής τους είναι ακριβότερη και δυσκολότερη καθώς το πυρίτιο κρυσταλλώνεται στο ίδιο πλέγμα. Λόγω της διαδικασίας παραγωγής τους παράγουν σημαντική ποσότητα αποβλήτων. Έχουν ομοιόμορφο μπλε σκούρο/μαύρο χρώμα και σχήμα τετραγωνικής κυψέλης.
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, (poly-Si) Είναι τα συνηθέστερα φωτοβολταϊκά στην αγορά αλλά έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης από τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου φθάνοντας έως 18%. Η διαδικασία παραγωγής τους είναι απλή και δεν παράγονται τόσα πολλά απόβλητα. Έχουν μπλε χρώμα το οποίο δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη την επιφάνεια του κελιού ενώ το σχήμα τους είναι τετραγωνικό ή τετραγωνικής κυψέλης.





# Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Κελιού

---

- Λεπτού υμενίου. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου έχει ως χαρακτηριστικό το χαμηλό βαθμό απόδοσης αλλά και το χαμηλό κόστος. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι άμορφου - πυριτίου ( $a - Si$ ) με βαθμό απόδοσης έως 9%, καδμίου - τελούριου ( $CdTe$ ) και χαλκού - ινδίου - γαλλίου ( $CIS$ ). Το χρώμα τους ανάλογα με τον τύπο είναι μαύρο, μπλε ή σκούρο μωβ, ενώ έχουν τετράγωνο σχήμα.



# Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Κελιού

---

- Υπάρχουν κάποια υλικά που έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί
- Σε ένα ημιαγωγό υπάρχει η δυνατότητα να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους) – **δημιουργία οπών**
- Οι ημιαγωγοί σε κατάλληλες θερμοκρασίες μπορούν να εκδηλώνουν τις ιδιότητες των αγωγών και των μονωτών (άρα και να λειτουργήσουν ως μονωτές ή ως αγωγοί)
- Υλικά ημιαγωγών (πυρίτιο-Si, γερμάνιο-Ge, σελήνιο-Se, κ.α.)

# Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Κελιού

---

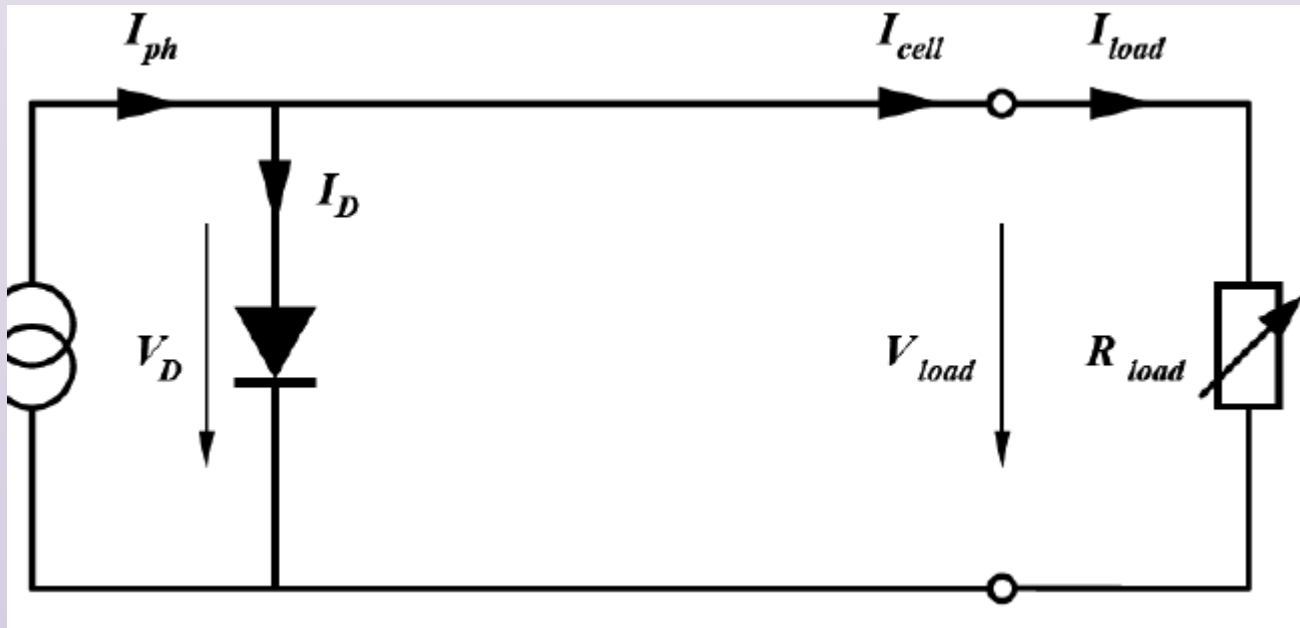
- Τα σημαντικότερα στοιχεία ενός ηλιακού κελιού (solar cell) είναι δύο στρώματα ημιαγωγικού υλικού τα οποία γενικά αποτελούνται από κρυστάλλους πυριτίου
- Το κρυσταλλικό πυρίτιο, αυτό καθ' αυτό δεν είναι ένας πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, αλλά όταν προστίθενται σ' αυτό προσμίξεις, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού
- Στο κάτω στρώμα του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως βόριο, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη θετικού φορτίου (p)
- Στο πάνω μέρος του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως φώσφορος, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n)

# Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Κελιού

---

- Η απόδοση των ηλιακών κελιών, εκφραζόμενη ως το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, εξαρτάται από την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται. Σε ερευνητικό επίπεδο έχουν αναφερθεί αποδόσεις έως και 40%
- Ωστόσο η πλειονότητα των ηλιακών κελιών και των δημιουργούμενων φωτοβολταϊκών πάνελ που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο έχουν μία μέγιστη απόδοση της τάξης του 17-19%

# Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών

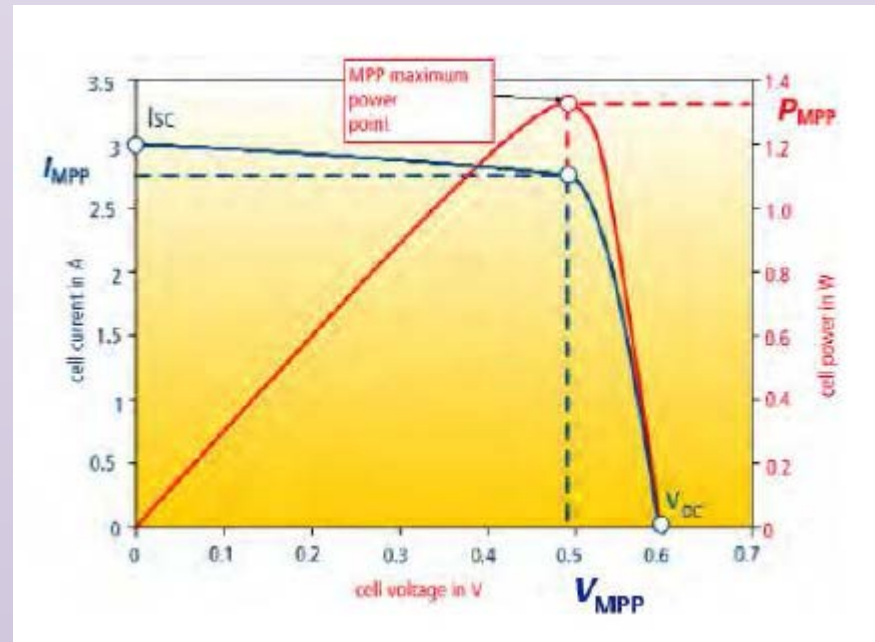


- Στο μοντέλο αυτό το ρεύμα κελιού προκύπτει από το συνδυασμό του φωτορεύματος  $I_{ph}$ , δηλαδή του ρεύματος που παράγεται από την έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανάλογο αυτής και του ρεύματος της διόδου που δημιουργείται λόγω της ύπαρξης της επαφής p-n

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left( e^{qV/kT} - 1 \right)$$

# Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών

- Μακροσκοπικά, ένα ηλιακό κελί μοντελοποιείται με την βοήθεια της χαρακτηριστικής του καμπύλης έντασης-τάσης I-V (I-V curve) ή ισχύος- τάσης P-V (P-V curve)

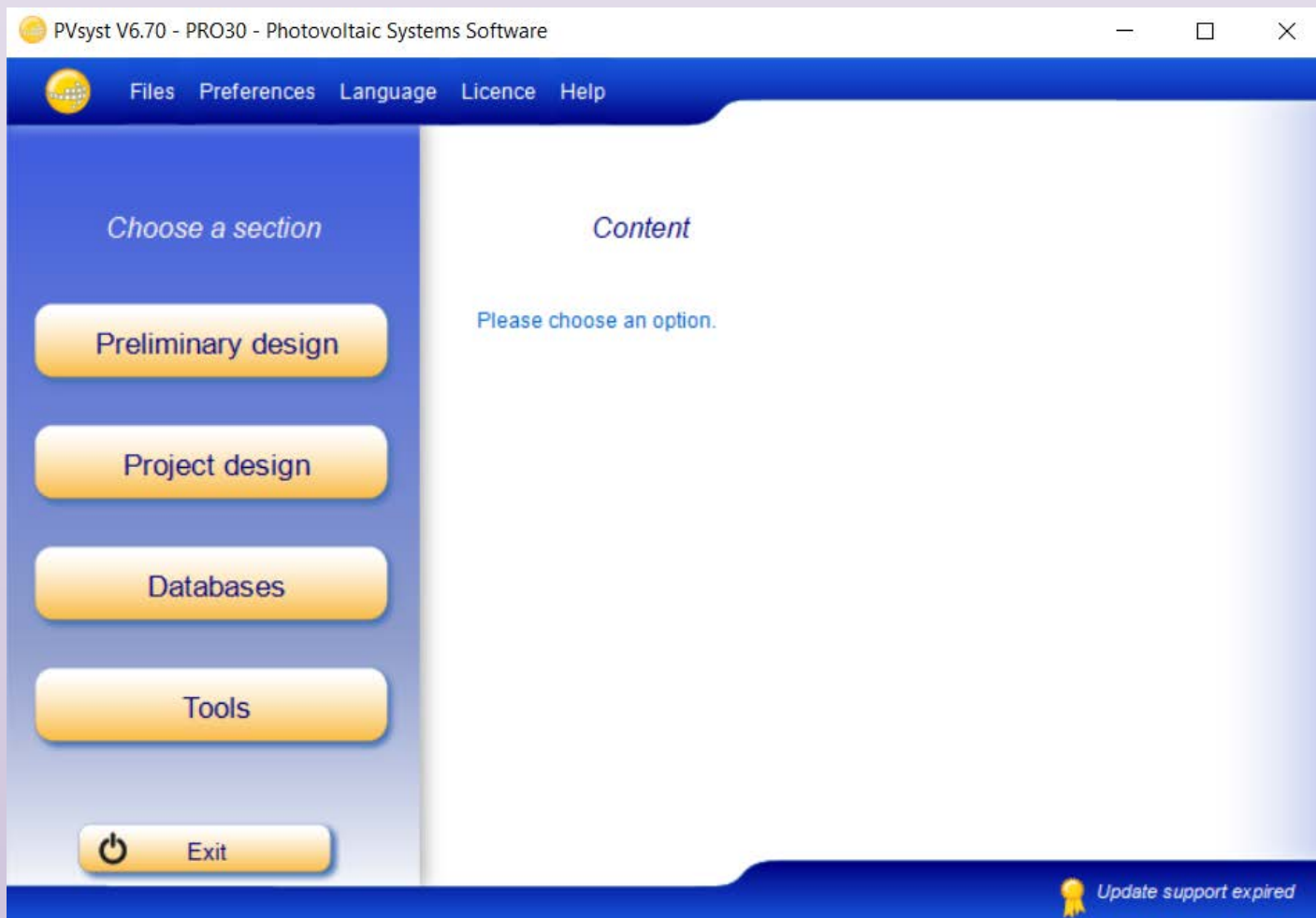


# Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών

---

- Χαρακτηριστικά μεγέθη αποτελούν:
- Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$ : είναι η τάση που επικρατεί στην έξοδο ενός ηλιακού κελιού όταν τα δύο άκρα του είναι ανοικτά
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης:  $I_{sc}$ : είναι το ρεύμα που διαρρέει το ηλιακό κελί όταν τα δύο άκρα του βραχυκυκλωθούν
- Η μέγιστη ισχύς του κελιού  $P_{mpp}$  (maximum power point): είναι η μέγιστη ισχύς του ηλιακού κελιού που αντιστοιχεί σε τάση  $V_{mpp}$  και ένταση  $I_{mpp}$ .

# PVSyst





# PVSyst



# PVSystem

Project: Cyprus1

Project Site Variant

### Project's designation

File name  Project's name

Site File

Meteo File

Please load the geographical site.  
PVSystem will search the available meteo files accordingly.  
You may also use the 'Meteo database' button to import new meteo files.  
This would automatically set the geographical site.

Meteo database

Project settings

### System Variant (calculation version)

Variant n°  : New simulation variant

#### Input parameters

**Mandatory**

- Orientation
- System
- Detailed losses
- Self-consumption

**Optional**

- Horizon
- Near Shadings
- Module layout
- Economic eval.
- Miscellaneous tools

#### Simulation

- 
- 
- 
- 

#### Results overview







System kind	<b>No 3D scene defined</b>
System Production	<b>0.00</b> MWh/yr
Specific production	<b>0.00</b> kWh/kWp/yr
Performance Ratio	<b>0.00</b>
Normalized production	<b>0.00</b> kWh/kWp/day
Array losses	<b>0.00</b> kWh/kWp/day
System losses	<b>0.00</b> kWh/kWp/day



# PVSystem

Databases

### Meteo database

Geographical sites	
Synthetic hourly data generation	
Meteo tables and graphs	
Compare Meteo Data	
Import meteo data	
Import ASCII meteo file	

... Read our Notes on Meteo ...

### Components Database

PV modules	<input type="checkbox"/>
Grid inverter	<input type="checkbox"/>
Batteries	<input type="checkbox"/>
Controllers for stand-alone	<input type="checkbox"/>
Generators	<input type="checkbox"/>
Pumps	<input type="checkbox"/>
Controllers for pumping	<input type="checkbox"/>
Manufacturers and Retailers	<input type="checkbox"/>

Back to Project's area

# PVSyst

Component choice

Current Geographical site: **Mosfiloti\_MN71.SIT**

Search  Europe

Filename	Town	Country	Data source
Luedenscheid	Luedenscheid	Germany	MeteoNorm 7.1 station
Luqano	Luqano	Switzerland	MeteoNorm 7.1 station
Lulea	Lulea	Sweden	MeteoNorm 7.1 station
Lund	Lund	Sweden	MeteoNorm 7.1 station
Lunz Am See	Lunz Am See	Austria	MeteoNorm 7.1 station
Luzern	Luzern	Switzerland	MeteoNorm 7.1 station
Lyminqton	Lyminqton	United Kingdom	MeteoNorm 7.1 station
Maastricht	Maastricht	Netherlands	MeteoNorm 7.1 station
Macon	Macon	France	MeteoNorm 7.1 station
Madrid	Madrid	Spain	MeteoNorm 7.1 station
Madrid	Madrid	Spain	MeteoNorm 7.1 station
Malin Head	Malin Head	Ireland	MeteoNorm 7.1 station
Mannheim	Mannheim	Germany	MeteoNorm 7.1 station
Marseille Mariqane	Marseille Mariqane	France	MeteoNorm 7.1 station
Melle	Melle	Belgium	MeteoNorm 7.1 station
Messina	Messina	Italy	MeteoNorm 7.1 station
Milano	Milano	Italy	MeteoNorm 7.1 station
Millau	Millau	France	MeteoNorm 7.1 station
Moenichkirchen	Moenichkirchen	Austria	MeteoNorm 7.1 station
Montana	Montana	Switzerland	MeteoNorm 7.1 station
Montlimar	Montlimar	France	MeteoNorm 7.1 station
Montpellier	Montpellier	France	MeteoNorm 7.1 station
Moscow	Moscow	Russian Federation	MeteoNorm 7.1 station
Moscow	Moscow	Russian Federation	MeteoNorm 7.1 station
Mosfiloti_MN71.SIT	Mosfiloti	Cyprus	Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100%
Muenchen	Muenchen	Germany	MeteoNorm 7.1 station

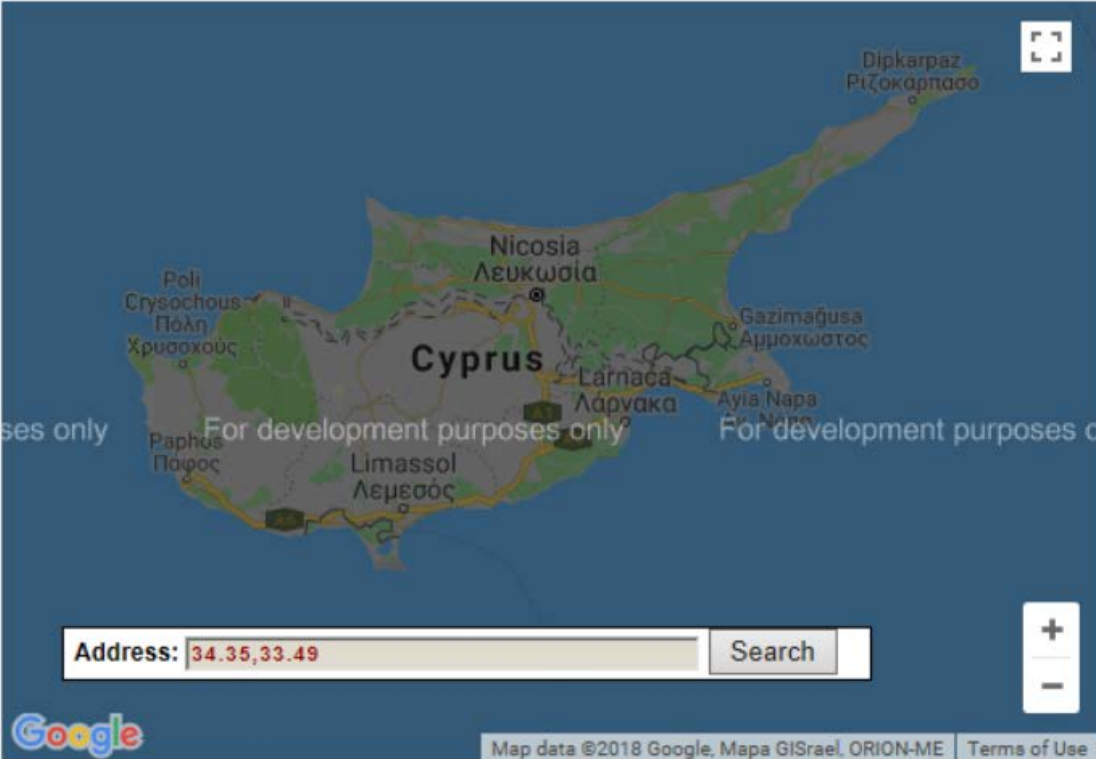
Set favorites Export New **Delete** Open Close

# PVSyst

Geographic site parameters, new site

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Please click on the desired location, then import data to PVsyst.



Selected point

Locality	--
Country	--
Latitude (°)	34.35
Longitude (°)	33.49
Altitude (m)	-1098
Time zone	+2

Address: 34.35,33.49 Search

Map data ©2018 Google, Mapa GISrael, ORION-ME Terms of Use

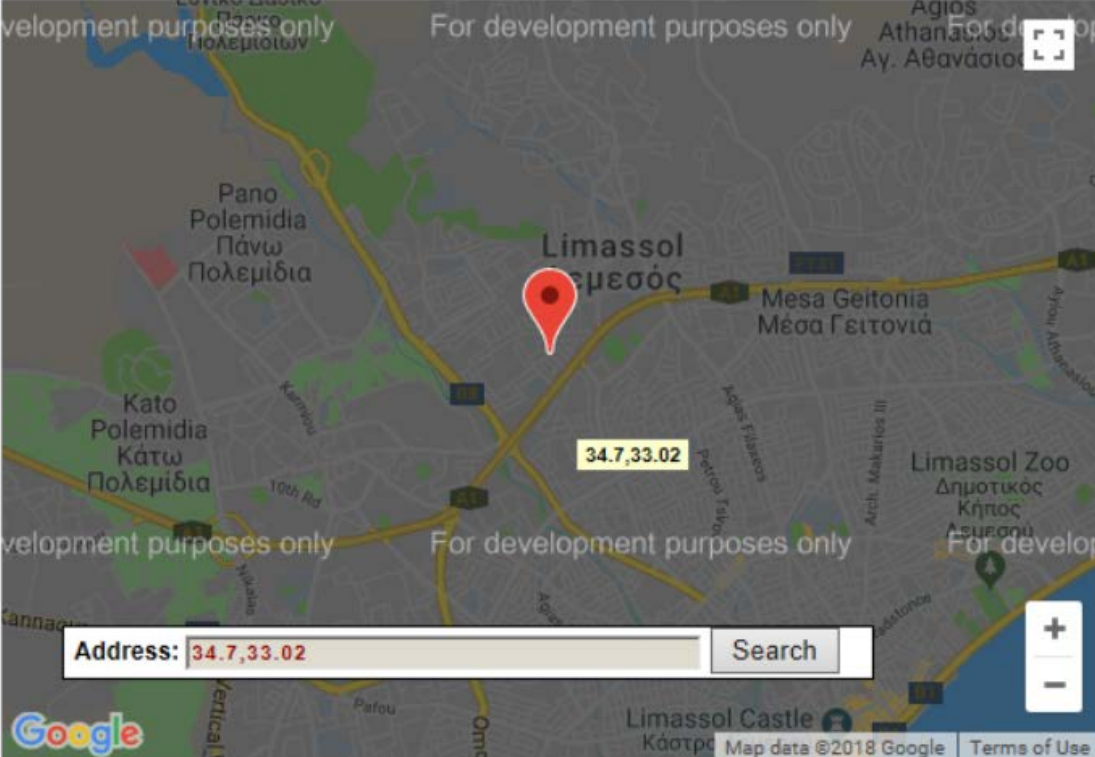
New Site Print Cancel OK

# PVSyst

Geographic site parameters, new site

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Please click on the desired location, then import data to PVsyst.



**Selected point**

- Locality**  
Limassol
- Country**  
Cyprus
- Latitude (°)**  
34.7
- Longitude (°)**  
33.02
- Altitude (m)**  
58
- Time zone**  
+2

Address: 34.7,33.02 Search

Import

New Site Print Cancel OK

# PVSystem

Geographic site parameters, new site

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

**Location**

Site name:

Country:  Region:

**Geographical Coordinates**

Latitude	<input type="text" value="34.70"/> [°]	<input type="text" value="34"/> <input type="text" value="42"/>	(+ = North, - = South hemisph.)
Longitude	<input type="text" value="33.02"/> [°]	<input type="text" value="33"/> <input type="text" value="1"/>	(+ = East, - = West of Greenwich)
Altitude	<input type="text" value="58"/>	M above sea level	
Time zone	<input type="text" value="2.0"/>	Corresponding to an average difference	

Legal Time - Solar Time = 0h-11m

**Please import the monthly meteo data (from Meteonorm, Nasa, or manually)**

**Meteo data Import**

Meteonorm 7.1  
 NASA-SSE

**Tabular I/O (Excel)**

# PVSyst

Geographic site parameters for Limassol\_MN71.SIT

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Site **Limassol (Cyprus)**

Data source **Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100%**

	<b>Global Irrad.</b> kWh/m <sup>2</sup> .mth	<b>Diffuse</b> kWh/m <sup>2</sup> .mth	<b>Temper.</b> °C	<b>Wind Vel.</b> m/s
January	79.3	36.6	12.7	3.59
February	97.3	43.9	12.7	3.70
March	147.0	61.2	15.0	3.39
April	168.1	76.2	17.5	3.80
May	210.6	76.3	21.6	3.59
June	226.3	73.0	24.9	3.69
July	223.8	75.2	27.6	3.79
August	219.8	60.7	27.6	3.80
September	168.2	58.2	25.2	3.40
October	138.2	43.8	22.6	2.60
November	93.0	37.1	17.8	2.99
December	74.9	34.5	14.2	3.59
<b>Year</b>	<b>1846.5</b>	<b>676.7</b>	<b>19.9</b>	<b>3.5</b>

? Paste Paste Paste Paste

**Required Data**

- Horizontal global irradiation
- Average Ext. Temperature

**Extra data**

- Horizontal diffuse irradiation
- Wind velocity

**Irradiation units**

- kWh/m<sup>2</sup>.day
- kWh/m<sup>2</sup>.mth
- MJ/m<sup>2</sup>.day
- MJ/m<sup>2</sup>.mth
- W/m<sup>2</sup>
- Clearness Index Kt

New Site Print Cancel OK



# PVSyst

Orientation, Variant "New simulation variant" — □ ×

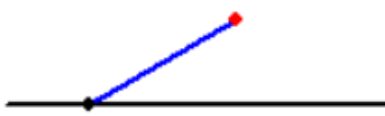
Field type Fixed Tilted Plane

**Field parameters**

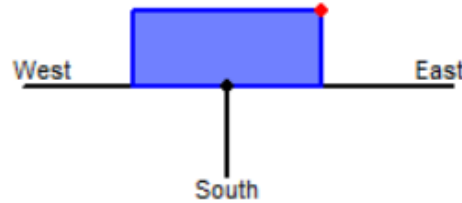
Plane Tilt  [°]

Azimuth  [°]

**Tilt 30°**




**Azimuth 0°**



West East

South

Optimisation by respect to


Yearly irradiation yield 

Summer (Apr-Sep)

Winter (Oct-Mar)

**Yearly meteo yield**

Transposition Factor FT	1.13
Loss By Respect To Optimum	0.0%
Global on collector plane	2096 kWh/m <sup>2</sup>

 Show Optimisation

# PVSyst

Orientation, Variant "New simulation variant"

**Field type** Fixed Tilted Plane

**Field parameters**

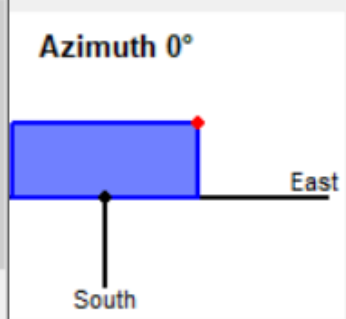
Plane Tilt  [°]

Azimuth  [°]

**Field type list:**

- Fixed Tilted Plane
- Several orientations
- Seasonal tilt adjustment
- Unlimited sheds
- Unlimited sun-shields
- \*One-axis tracking planes
- Horiz. axis, unlimited trackers
- Tracking tilted or horiz. N-S axis
- Tracking, horizontal axis E-W
- Tracking, vertical axis
- Tracking sun-shields
- \*Two-axis tracking planes


**Azimuth 0°**



**Yearly meteo yield**

Transposition Factor FT	1.13
Loss By Respect To Optimum	0.0%
Global on collector plane	2096 kWh/m <sup>2</sup>

Optimisation by respect to

- Yearly irradiation yield 
- Summer (Apr-Sep)
- Winter (Oct-Mar)

Show Optimisation

Cancel OK

# PVSystem

Grid system definition, Variant "New simulation variant"
— □ ×

### Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

? Simplified Schema

### Global system summary

Nb. of modules	39	Nominal PV Power	9.8 kWp
Module area	63 m <sup>2</sup>	Maximum PV Power	9.2 kWdc
Nb. of inverters	3	Nominal AC Power	7.5 kWac

---

### PV Array

#### Sub-array name and Orientation

Name

Orient. **Fixed Tilted Plane**      Tilt **30°**  
Azimuth **0°**

#### Resizing Help

No sizing      Enter planned power  kWp

or available area(modules)  m<sup>2</sup>

? Resize

#### Select the PV module

Prod. from 2015      Approx. needed modules **40**

Generic    250 Wp 25V    Si-poly    Poly 250 Wp 60 cells    Since 2015    Typical    Open

Sizing voltages : V<sub>mpp</sub> (60°C) **25.9 V**  
V<sub>oc</sub> (-10°C) **42.1 V**

Use Optimizer

#### Select the inverter

Prod. from 2015       50 Hz  
 60 Hz

SMA    2.5 kW 260 - 480 V TL 50/60 Hz Sunrow Bov 2.5    Since 2015    Open

Nb. of inverters        Operating Voltage: **260-480 V**      Global Inverter's power **7.5 kWac**  
Input maximum voltage: **600 V**

---

### Design the array

#### Number of modules and strings

Mod. in series   between 11 and 14

Nbre strings   only possibility 3

Overload loss **0.2 %**

P<sub>nom</sub> ratio **1.30**    Show sizing ?

**Nb. modules 39    Area 63 m<sup>2</sup>**

#### Operating conditions

V<sub>mpp</sub> (60°C) 336 V  
V<sub>mpp</sub> (20°C) 409 V  
V<sub>oc</sub> (-10°C) 547 V

Plane irradiance **1000 W/m<sup>2</sup>**

I<sub>mp</sub> (STC) 24.6 A  
I<sub>sc</sub> (STC) 25.9 A  
I<sub>sc</sub> (at STC) 25.9 A

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power.  
(Info, not significant)

Max. in data     STC

Max. operating power **8.7 kW**  
at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C

**Array nom. Power (STC) 9.8 kWp**

---

System overview

✗ Cancel

✓ OK

# PVSystem

Project: Cyprus1.PRJ

Project Site Variant

### Project's designation

File name: **Cyprus1.PRJ** Project's name: Cyprus1

Site File: Limassol | Limassol\_MN71.SIT | Cyprus

Meteo File: Limassol\_MN71\_SYN.MET | Meteorom 7.1 (2003-2010), Sat=100% | Synthetic | 0 km

**Ready for simulation**

Meteo database

Project settings

### System Variant (calculation version)

Variant n°: VCO : New simulation variant

#### Input parameters

**Mandatory**

- Orientation
- System
- Detailed losses
- Self-consumption

**Optional**

- Horizon
- Near Shadings
- Module layout
- Economic eval.
- Miscellaneous tools

#### Simulation

- Run Simulation**
- Advanced Simul.
- Report
- Detailed results

#### Results overview

System kind: **No 3D scene defined**

System Production	0.00 MWh/yr
Specific production	0.00 kWh/kwp/yr
Performance Ratio	0.00
Normalized production	0.00 kWh/kwp/day
Array losses	0.00 kWh/kwp/day
System losses	0.00 kWh/kwp/day

System overview

Exit

# PV Syst


Simulation, Variant "New simulation variant" — □ ×






### Simulation parameters

Variant **New simulation variant**

Project	Cyprus1	PV module	Poly 250 Wp 60 cells	Inverter	Sunny Boy 2.5
Site	Limassol	Unit power	250 Wp	Unit power	2.5 kW
Horizon	Free Horizon	Nb. modules	39	Nb. inverters	3
System	Grid-Connected	Array Power	9.75 kWp	Phom AC	7.50 kWac

### Preliminary definitions

Optional further definitions. For refined data analysis only. 

-  Hourly data storage
-  Special graphs
-  Output File
-  Batch simulation
-  Optimization Tool




### Simulation dates

These dates correspond to the dates of your meteo file. They cannot be overcome.

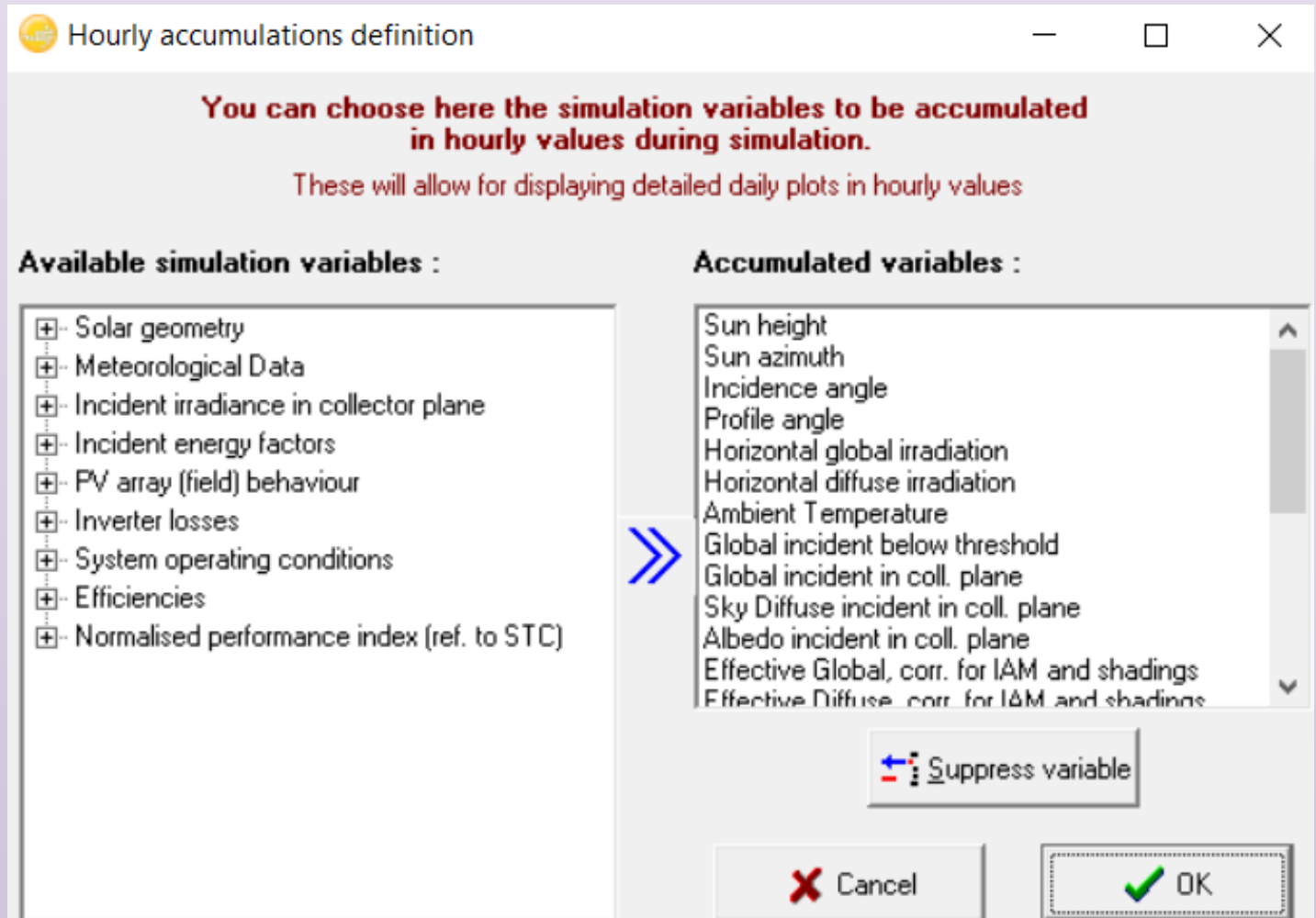
from   Meteo beginning

up to   Meteo end

NB: 1990 indicates a generic year, i.e. which doesn't correspond to really measured data for a given time

 Back to params.  Simulation Results 

# PVSyst



# PVSyst

Definitions for Exporting ASCII files

**Datafile output**

No output

Output on filename : Change File

Cyprus1\_VCO\_HourlyRes\_0.CSV

**Fields format**

.CSV (Excel compatible) Separator ▾

Fixed fields Columns width 6 char.

**Dates and hours formats**

DD/MM/YY; Hour; (Excel)

MM/DD/YY; Hour; (Excel)

Month; Day; Hour;

Day-of-year; Hour

**Values**

Hourly

Daily

Monthly

**Variables to be written on file**

**6 defined variables**

Horizontal global irradiation  
Ambient Temperature  
Effective Global, corr. for IAM and shadings  
Array virtual energy at MPP  
Available Energy at Inverter Output  
Energy injected into grid

Add variable Suppress variable

**Units**

Energies W

Irradiations W/m²

**Model library**

Read

Save

Cancel

OK

# PVSyst

Hourly Simulation Progress

Status

**Simulation ended successfully**

2.2 sec

Attenuation factors for Diffuse

	IAM	Shading	IAM*Shading
Diffuse	0.038	0.000	0.038
Albedo	0.078	0.000	0.078

Display

Hourly Values

Daily Values

Monthly Values

**Display daily values**      Simulation 31/12/90


Meteo: Global, Diffuse, Tamb      1.66, 1.27kWh/m<sup>2</sup>.day, 14.8°C, 3.6 m/s


On coll: Global, Diffuse, Glob. eff.      2.13, 1.36, 0.02, 2.06 kWh/m<sup>2</sup>.day

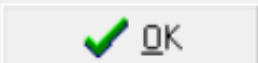
System : EMax, ENet, EUse      19.2, 19.2, 18.50kWh/day

Load : ELoad, EUsed, EOver      Unlimited , 0.0, 0.0 kWh/day

Automatically close when simulation ends successfully

 Step by step

 Continue

 OK



# PVSystem

Project: Cyprus1.PRJ

Project Site Variant

### Project's designation

File name: **Cyprus1.PRJ** Project's name: **Cyprus1**

Site File: **Limassol** | **Limassol\_MN71.SIT** | **Cyprus**

Meteo File: **Limassol\_MN71\_SYN.MET** | **Meteonorm 7.1 (2003-2010), Sat=100%** | **Synthetic** | **0 km**

**Simulation done (version 6.70, date 14/10/18)**

Meteo database

Project settings

### System Variant (calculation version)

Variant n° **VCO** : **Cyprus1**

#### Input parameters

Mandatory

- Orientation
- System
- Detailed losses

Optional

- Horizon
- Near Shadings
- Module layout
- Economic eval.
- Miscellaneous tools

Self-consumption

#### Simulation

- Run Simulation
- Advanced Simul.
- Report
- Detailed results

#### Results overview

System kind: **No 3D scene defined**

System Production	<b>16706</b> kWh/yr
Specific production	<b>1713</b> kWh/kWp/yr
Performance Ratio	<b>0.826</b>
Normalized production	<b>4.69</b> kWh/kWp/day
Array losses	<b>0.83</b> kWh/kWp/day
System losses	<b>0.16</b> kWh/kWp/day

# PVSystem

Results, variant VC0 "Cyprus1"

## Simulation parameters

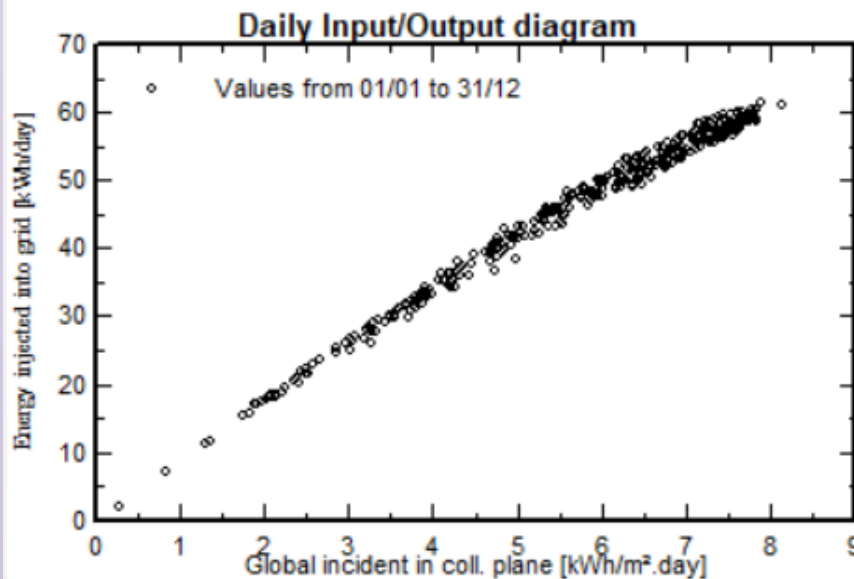
Project Cyprus1  
Site Limassol  
System type Grid-Connected  
Simulation 01/01 to 31/12  
(Generic meteo data)

### System

PV modules	Poly 250 Wp 60 cells	Inverter	Sunny Boy 2.5
Nominal Power	9.75 kWp	Inv. unit power	2.5 kW
MPP Voltage	30.7 V	Nb. of inv.	3
MPP Current	8.2 A		

## Main results

System Production	<b>16706 kWh/yr</b>	Normalized prod.	<b>4.69 kWh/kWp/day</b>
Specific prod.	<b>1713 kWh/kWp/yr</b>	Array losses	<b>0.83 kWh/kWp/day</b>
Performance Ratio	<b>0.826</b>	System losses	<b>0.16 kWh/kWp/day</b>



## Detailed results

Report

Tables

Predef. graphs

Hourly graphs

Economic evaluation


Print

Load

Back

Save

# PVSyst



 Economic evaluation

**Project and Simulation variant**

Project: Cyprus1  
Simulation: Cyprus1  
PV Array, P<sub>nom</sub> = 9.8 kWp  
PV module: Poly 250 Wp 60 cells  
System: Grid-Connected System  
Inverter: Sunny Boy 2.5

Values  
 Global  By Wp  
 By piece  By m<sup>2</sup>

**Investment**

PV modules	39 units of 250 Wp	<input type="text" value="0"/>	€	<input checked="" type="checkbox"/>	
Supports / Integration		<input type="text" value="0"/>	€		
Inverters	3 units of 2.50 kW	<input type="text" value="0"/>	€	<input checked="" type="checkbox"/>	
Settings, wiring, ...		<input type="text" value="0"/>	€		
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	<input type="text" value="0"/>	€		
Substitution underworth	-	<input type="text" value="0"/>	€		
<b>Gross investment, (excl. taxes)</b>			<b>0 €</b>		


**Financing**

Taxes	<input type="text" value="15.00"/> %	0 €
Subsidies	- <input type="text" value="0"/>	€
<b>Net investment</b>		<b>0 €</b>
Annuities		0 € / yr
Running Costs, Maintenance, insur.	<input type="text" value="0"/>	€ / yr
<b>Total yearly cost</b>		<b>0 € / yr</b>

**Loan**

Duration  Years  
Rate  %  
Ann. factor 8.02 %cap./yr

**Currency**

 Rates

**Energy cost**

Produced Energy	<b>16.7</b> MWh / year
Yearly cost	<b>0</b> € / year
Energy cost	<b>0.00</b> € / kWh