

Ηλιακή ενέργεια

Φωτοβολταϊκά



Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας
Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης

Φωτοβολταϊκά

Φωτοβολταϊκά - Γενικά

Φωτοβολταϊκά



Γενικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων

- ❑ Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα.
 - ❑ Είναι εύχρηστα. Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν γρήγορα και οικονομικά.
 - ❑ Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
 - ❑ Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
-

Γενικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων

- ❑ Μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών.
 - ❑ Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων.
 - ❑ Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
 - ❑ Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία.
 - ❑ Υψηλό κόστος επένδυσης, χαμηλή απόδοση και πυκνότητα ισχύος.
-

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

- ❑ **Υψηλή Αξιοπιστία – μεγάλη διάρκεια ζωής:** Η αρχική τους κατασκευή ήταν για χρήση στο διάστημα, όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές ή και αδύνατες. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες σήμερα τροφοδοτούν με ρεύμα σχεδόν όλους τους δορυφόρους.
 - ❑ **Μηδενικό κόστος λειτουργίας:** Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες.
-

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

- ❑ **Δεν απαιτείται συντήρηση:** Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν κινούμενα μέρη, έτσι δεν χρειάζονται καθόλου συντήρηση κατά τη λειτουργία τους.
 - ❑ **Δεν μολύνουν το περιβάλλον:** Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης δεν προκαλούν ηχορύπανση αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη. Επίσης κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο) συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.
-

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

- ❑ **Ευελιξία:** Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά τη νέα ζήτηση.
 - ❑ **Αυτονομία:** Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το ηλεκτρικό δίκτυο είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.
-

Τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

- ❑ **Μικρή πυκνότητα ισχύος:** Η ονομαστική ισχύς ανά φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι 180Wp και η δεσμευόμενη επιφάνεια είναι περίπου 3m². Η απαιτούμενη επιφάνεια ανά MW φωτοβολταϊκής ισχύος ισούται με 25 στρέμματα.
- ❑ **Χαμηλή απόδοση:** Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και ο μέσος ετήσιος συντελεστής απασχόλησης δεν ξεπερνούν το 16-17% (Κρήτη).
- ❑ **Υψηλό κόστος εγκατάστασης:** Το μέσο κόστος εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου μεγάλης ισχύος κυμαίνεται στα 2.000€/kWp.
- ❑ **Υψηλό κόστος παραγωγής:** Τα ανωτέρω δύο χαρακτηριστικά συνεπάγονται υψηλό κόστος παραγωγής.

Φωτοβολταϊκά

Κατηγορίες – εφαρμογές
φωτοβολταϊκών συστημάτων

Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

- **Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα:** η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά τροφοδοτεί τα τοπικά ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, εφ' όσον υπάρχει, διαβιβάζεται στο δίκτυο.
- **Αυτόνομα Φ/Β συστήματα:** μικρά Φ/Β συστήματα σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα.
- **Υβριδικά Φ/Β συστήματα:** Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος κλπ).

Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων

- ❑ **Καταναλωτικά προϊόντα (0,001-100Wp)** σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής κλπ, για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές.
 - ❑ **Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp – 200kWp)**
 - αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού
 - φωτισμός (δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων)
 - συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
-

Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων

- ❑ **Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp – 200kWp)**
 - συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας)
 - ψύξη (αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ).
- ❑ **Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο (200kWp - αρκετά MWp)**
 - Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων kWp που τροφοδοτούν κατοικίες ή άλλα κτήρια και όπου η πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται προς το δίκτυο
 - Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

Φωτοβολταϊκά

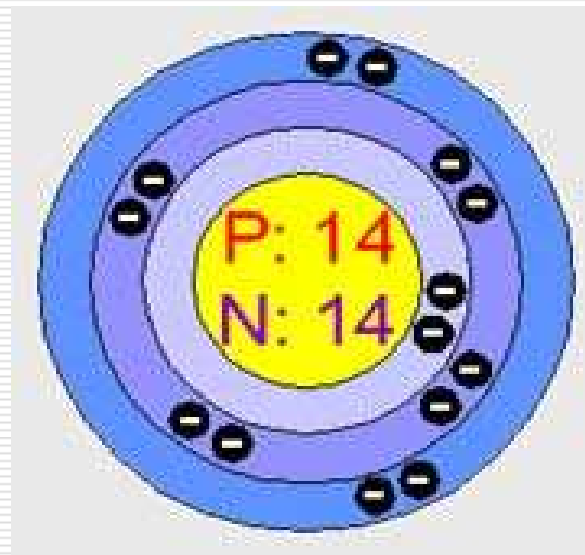
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των **ημιαγωγών** υλικών σε ατομικό επίπεδο.
 - Υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (**πακέτα ενέργειας**) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.
 - Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.
-

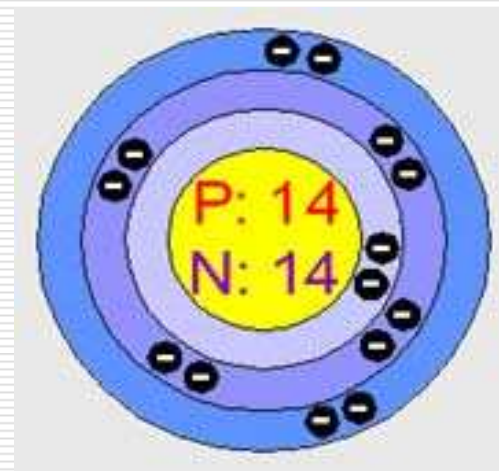
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- 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).
- Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si).
- Το πυρίτιο έχει **ατομικό αριθμό 14** και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια.



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα Si μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και **κρυσταλλική δομή**.

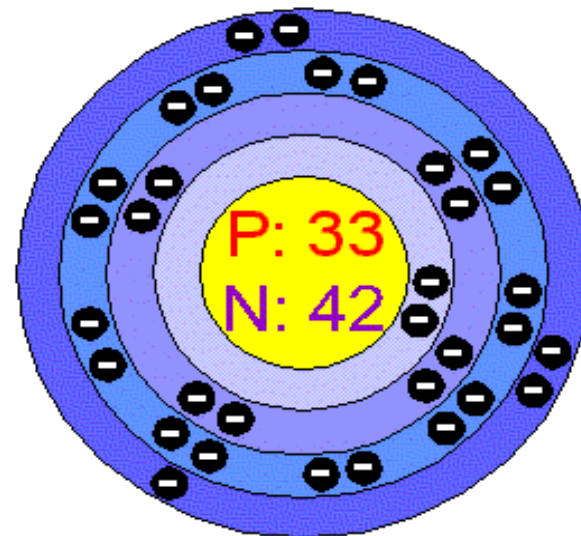


Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή.
 - Τις **ημιαγωγές ιδιότητες** του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται **με την πρόσμειξη** με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στη στοιβάδα σθένους των.
 - Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό **τύπου p**) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό **τύπου n**).
-

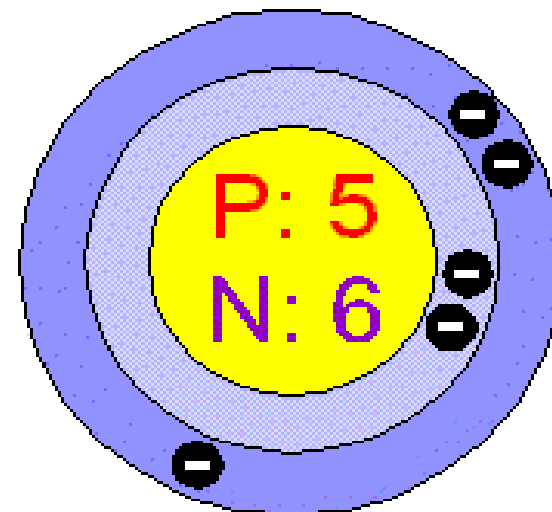
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός **τύπου n** ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το **Αρσενικό (As)**.



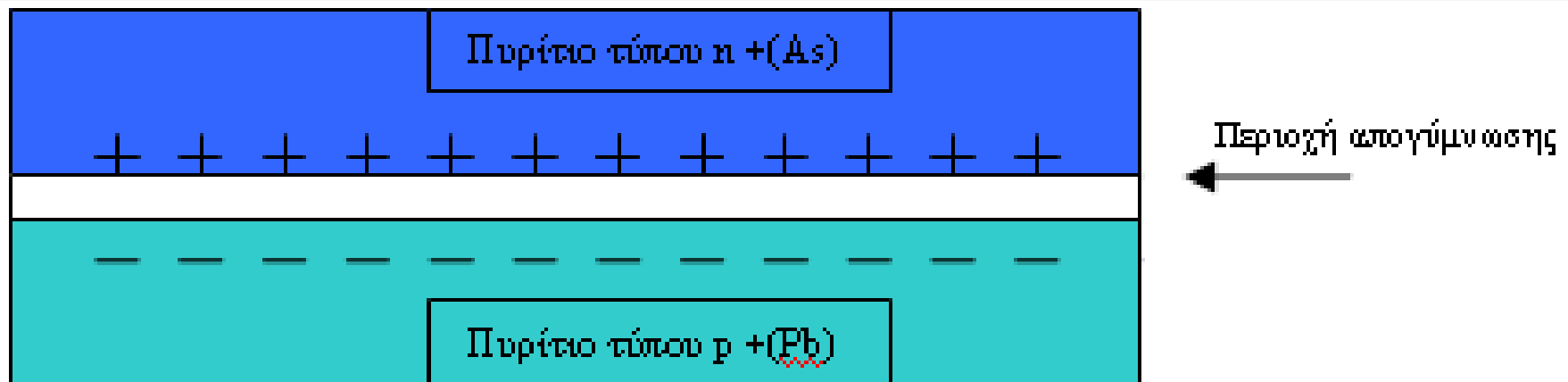
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** ή αλλιώς ένα θετικά φορτισμένο κρύσταλλο πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το **βόριο (B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



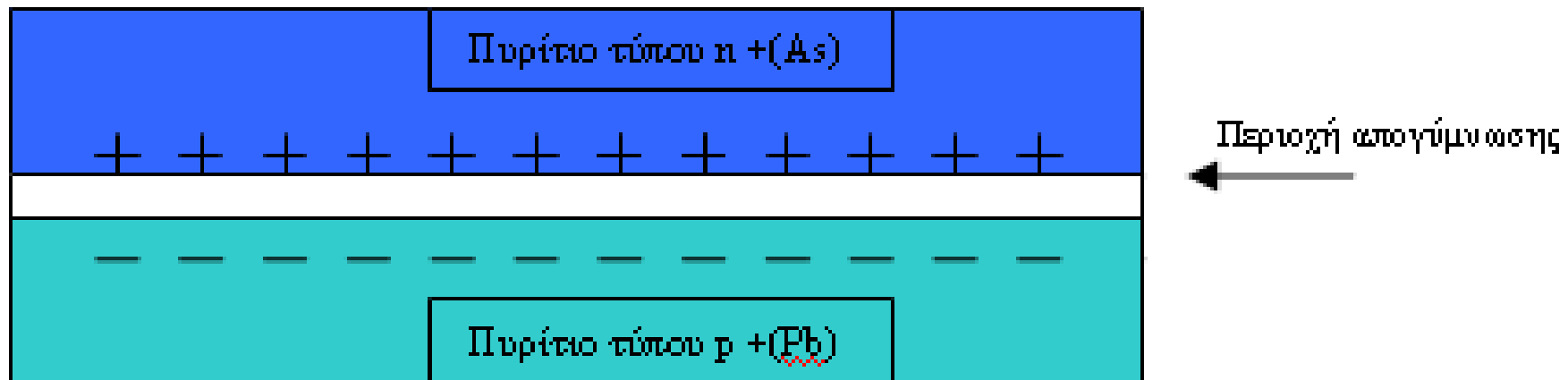
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος, ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών, το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» της επαφής p . Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

- Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με τη μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων.
 - Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φωτοβολταϊκού κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου p και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου n .
 - Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου n αρχίζουν να κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου, όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.
-

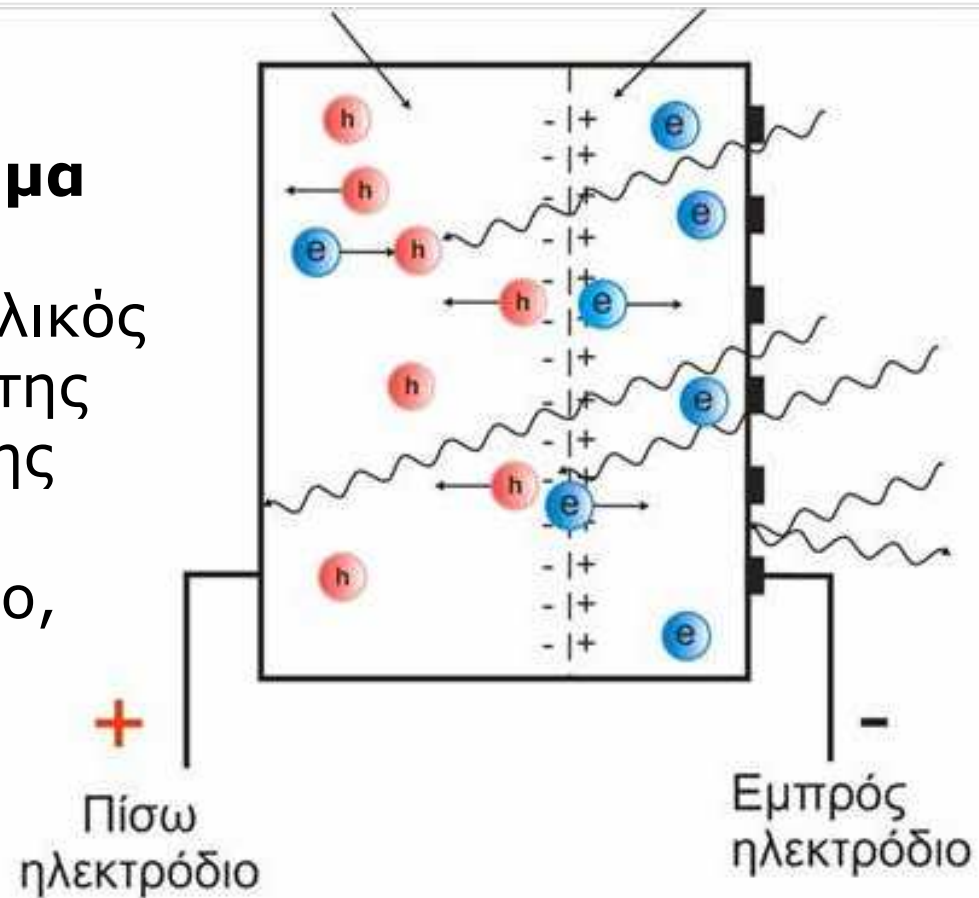
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

- Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο.
 - Δημιουργείται έτσι μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές).
-

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

- Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να **παράγει ηλεκτρικό ρεύμα** εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο, ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται.



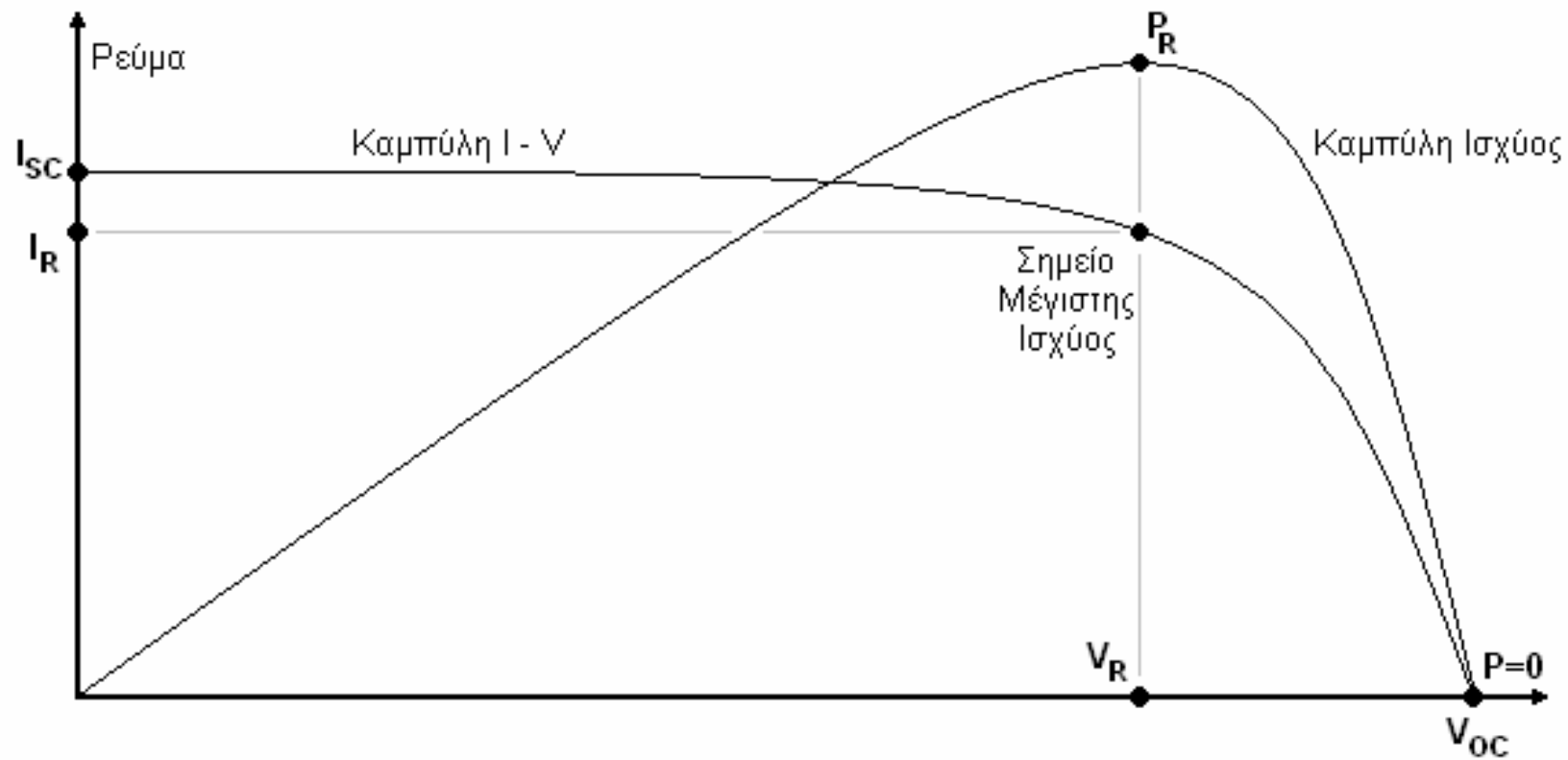
Φωτοβολταϊκά

Απόδοση φωτοβολταϊκών
συστημάτων

Η αποδοτική λειτουργία των Φ/Β στοιχείων

- Η τάση των Φ/Β μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή
 - Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας, αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές.
 - Παράλληλα, μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m , που καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος τιμών V_{oc} και I_{sc} , το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου (η).
-

Η αποδοτική λειτουργία των Φ/Β στοιχείων

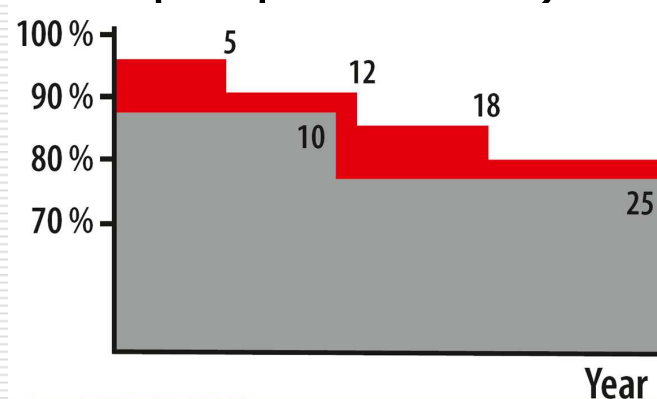


Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου

- Η απόδοση ενός Φ/Β κρίνεται από την ετήσια παραγωγή (σε kWh).
 - Για την Ελλάδα ένα Φ/Β σύστημα με βέλτιστη κλίση και βέλτιστο προσανατολισμό παράγει κατά μέσο όρο γύρω στα 1.200-1.600 kWh/(έτος & kWp).
 - Το γεωγραφικό πλάτος (όσο πιο νότια είναι η περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας — συγκριτικά με βόρειες χώρες).
-

Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου

- Η απόδοση ενός Φ/Β εξαρτάται από:
 - τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (όσο λιγότερες είναι οι ημέρες της ηλιοφάνειας τόσο χαμηλότερη η απόδοση)
 - την κλίση των Φ/Β πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο και τον προσανατολισμό τους (η βέλτιστη απόδοση είναι με νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 30°)
 - την ηλικία των Φ/Β πλαισίων (υπολογίζεται ότι τα πλαίσια έχουν ζωή 25-30 χρόνια με απόδοση τουλάχιστον 80% για τα πρώτα 20 έτη).

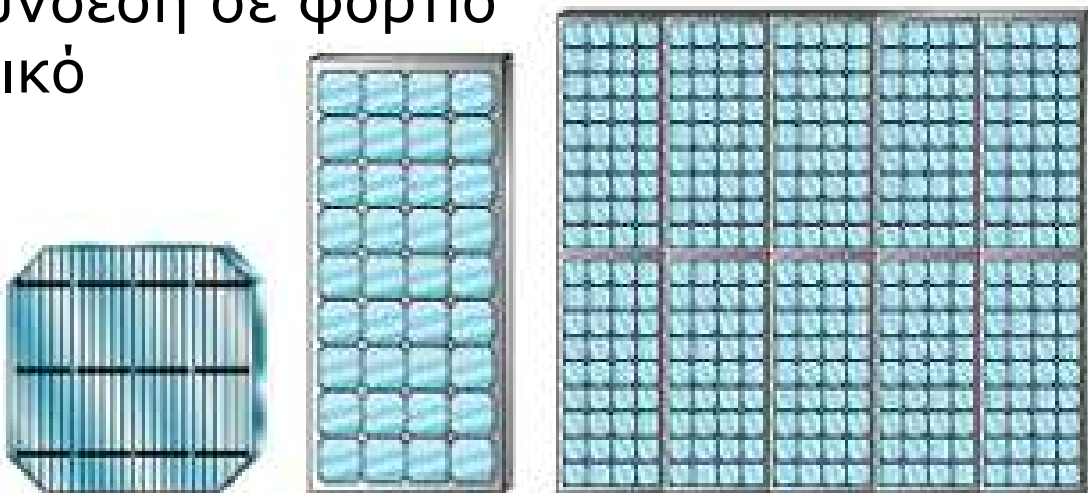


Φωτοβολταϊκά

Μέρη – τύποι φωτοβολταϊκών
συστημάτων

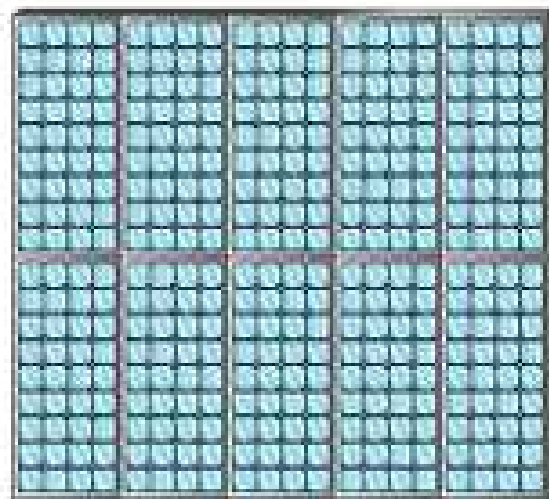
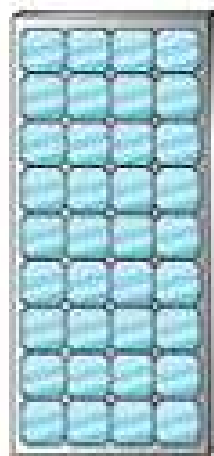
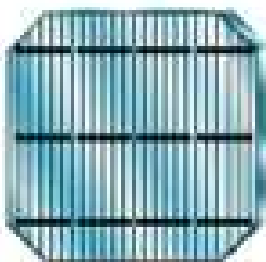
Μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος

- Τα σημαντικότερα τμήματα ενός Φ/Β συστήματος είναι:
 - Το Φ/Β στοιχείο (solar cell), το οποίο συλλέγει το ηλιακό φως. Είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.



Μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος

- Τα σημαντικότερα τμήματα ενός Φ/Β συστήματος είναι:
 - Το Φ/Β πλαίσιο (PV module) που απαρτίζεται από πολλά Φ/Β στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους και αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας. Τα πλαίσια έχουν τυπική ισχύ από 20W έως 300W.
 - Τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (strings).



Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

- Η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο Φ/Β στοιχείο πυριτίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι 0,5V περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4W περίπου.
 - Για αυτό, τα Φ/Β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο.
 - Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης.
-

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

- Διαμορφώνεται έτσι το Φ/Β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των Φ/Β γεννητριών.
 - Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4V μέχρι 22V και ένταση ρεύματος από περίπου 0,5A μέχρι 2,5A.
-

Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

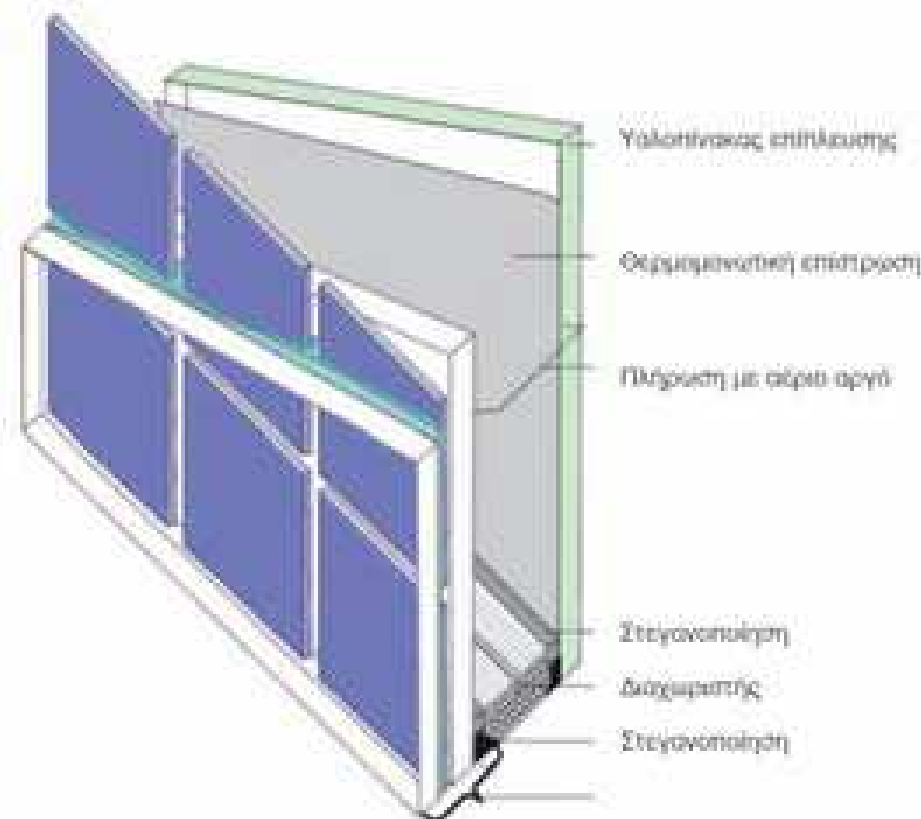
- Σε σχέση με το βαθμό ενσωμάτωσης τους:
 - Τυπικά Φ/Β πλαίσια (πλαίσιο γυαλιού-ελασμάτων).
Αποτελούν την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές Φ/Β συστημάτων πάνω σε στέγες κτηρίων ή σε πολύ μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο.



Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

□ Σε σχέση με το βαθμό ενσωμάτωσης τους:

- Ημιπερατά Φ/Β πλαίσια (κρυσταλλικά πλαίσια γυαλιού-γυαλιού). Τα πλαίσια αυτά επιλέγονται στις περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης, όχι μόνο λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού τους, αλλά και γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες.



Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

□ Σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους:

■ Τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου.

Τα στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι τα πιο διαδεδομένα και κατασκευάζονται σε κυλίνδρους ανεπτυγμένου πυριτίου. Τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από χυτό πυρίτιο.



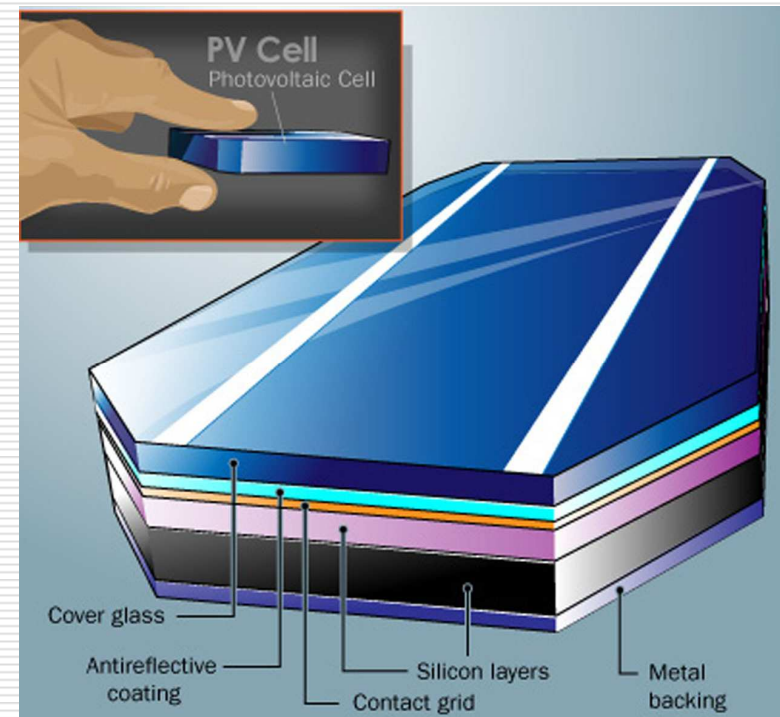
Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

- Σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους:
 - Τεχνολογία λεπτού υμενίου -Thin film
Τα πλαίσια κατασκευάζονται με πολύ λεπτές στρώσεις φωτοευαίσθητου υλικού σε βάση από γυαλί, πλαστικό ή ανοξείδωτο χάλυβα. Έχουν χαμηλότερο κόστος παραγωγής που εξισορροπεί το χαμηλότερο βαθμό απόδοσης.



Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

- Σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους:
 - Σήμερα υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι πλαισίων αυτής της τεχνολογίας:
 - α) άμορφου πυριτίου (aSi)
 - β) Copper Indium Diselenide (CIS) ή Copper indium gallium diselenide (CIGS)
 - γ) από τελουρίδιο του καδμίου (CdTe).
- Έχουν πάχος ελάχιστων microns, επιτρέποντας έτσι καλύτερη ενσωμάτωση.



Απαιτούμενη επιφάνεια

- Η απαιτούμενη επιφάνεια Φ/Β πλαισίων ανά εγκατεστημένο kWp εξαρτάται από την τεχνολογία που θα επιλεγεί.
 - Για μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά απαιτείται επιφάνεια από 8-10m²/kWp.
 - Για φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου απαιτείται επιφάνεια από 10-20m²/kWp.
-

Σύγκριση φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τύπος	Λεπτού υμενίου	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση (%)	a-Si: 4,2-6,6 μ-Si: 8,1-8,5 CIS-CIGS: 6-11 CdTe: 6-11,1	11-14,8	11-19,3
Απαιτούμενη επιφάνεια (m ² /kWp)	9-25	7-9	5,5-9
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh/kWp) (για Ελλάδα)	400 - 970	970-1.300	970-1.700
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh/m ²) (για Ελλάδα)	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ (kg/kWp)	1.150 - 2.800	2.800 - 3.700	2.800 - 4.900

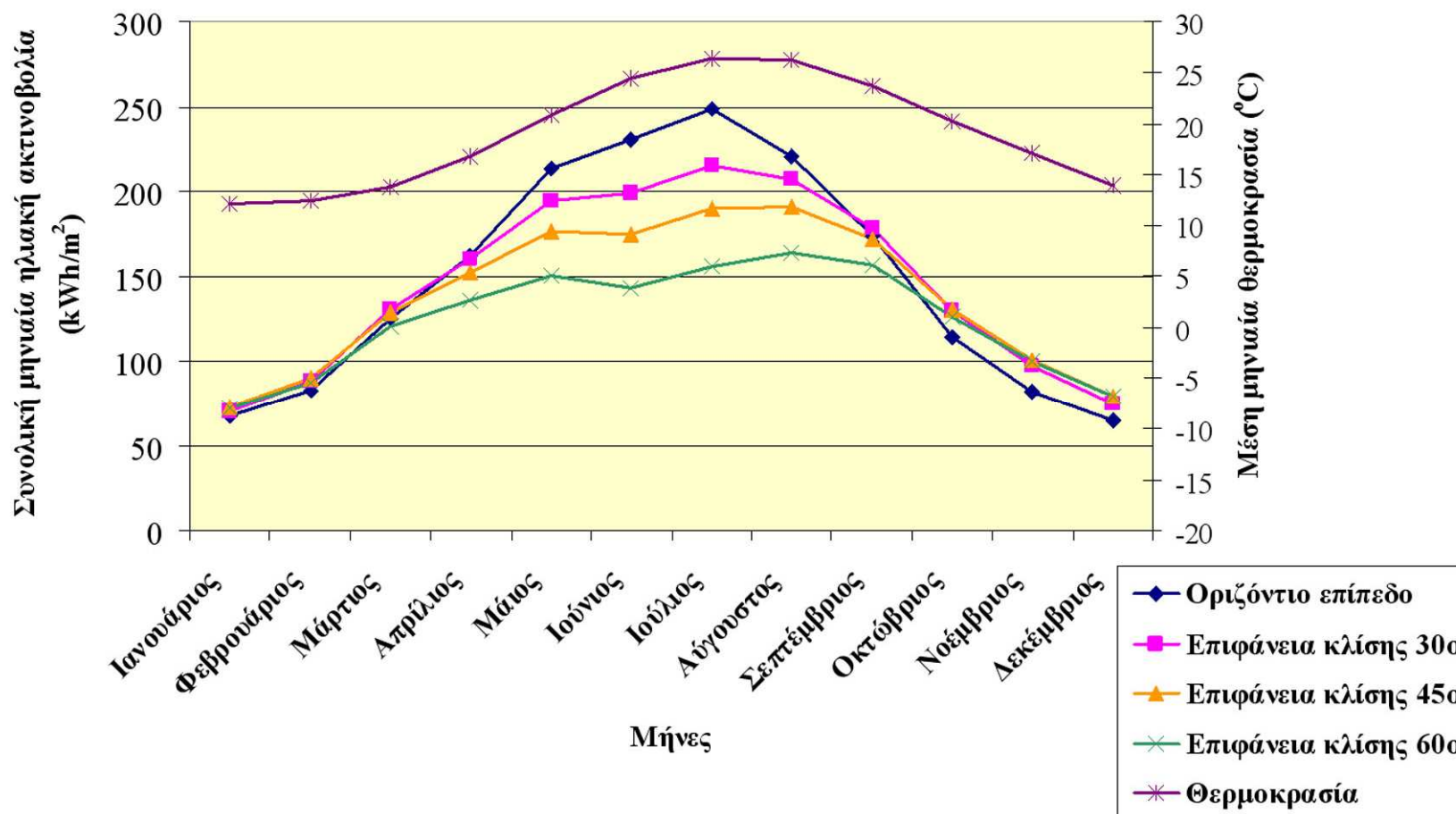
Φωτοβολταϊκά

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού
σταθμού

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

Μήνας	Ωρες ηλιοφάνειας	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	Ποκνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ² .μήνα)	Ποκνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης 30° (kWh/m ² .μήνα)	Ποκνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης 45° (kWh/m ² .μήνα)	Ποκνότητα ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης 60° (kWh/m ² .μήνα)
Ιανουάριος	108,8	12,2	67	70	73	72
Φεβρουάριος	128,4	12,5	83	88	90	87
Μάρτιος	170,3	13,8	125	131	129	121
Απρίλιος	234,5	16,8	162	160	152	136
Μάιος	314,3	20,8	214	195	177	150
Ιούνιος	353,3	24,4	230	199	175	143
Ιούλιος	384,7	26,4	249	215	190	156
Αύγουστος	356,7	26,3	221	207	191	164
Σεπτέμβριος	285,2	23,7	174	178	172	157
Οκτώβριος	197,2	20,3	114	130	131	126
Νοέμβριος	161,5	17,1	82	97	101	100
Δεκέμβριος	121,1	13,9	65	75	79	79
Σύνολα / Μέσες τιμές	2.816,0	19,0	149	145	138	124

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού



Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- Παραγωγή ισχύος από Φ/B σταθμό:

$$P_{\Phi/B} = c_{\Phi/B} \cdot P_{\Phi/Bnom}$$

όπου

- $P_{\Phi/B}$ η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από το Φ/B σταθμό
 - $c_{\Phi/B}$ ο συντελεστής ισχύος του Φ/B σταθμού
 - $P_{\Phi/Bnom}$ η ονομαστική ισχύς του Φ/B σταθμού.
-

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- Συντελεστής ισχύος Φ/Β σταθμού:

$$C_{\Phi/B} = PR_{\sigma} \cdot \frac{G_t}{G_{STC}}$$

όπου

- G_t η μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ανά 24ωρο (σε W/m^2)
 - G_{STC} η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας, ίση με $1kW/m^2$
 - PR_{σ} ο λόγος επίδοσης του Φ/Β σταθμού.
-

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας:

$$G_t = \frac{H_t}{t_m}$$

όπου

- H_t η συνολική μηνιαία ηλιακή ενέργεια (σε kWh/m²)
 - t_m το χρονικό διάστημα του κάθε μήνα (σε h).
-

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- Λόγος επίδοσης (συνολική αποδοτικότητα) Φ/Β σταθμού:

$$PR_{\sigma} = PR_{OPT} \cdot PR_{NIT} \cdot PR_T \cdot n_{trans}$$

όπου

- PR_{OPT} ο λόγος επίδοσης οπτικών απωλειών (αντανάκλασεις, φάσμα ακτινοβολίας, σκιάσεις)
 - PR_{NIT} ο λόγος επίδοσης που αφορά στη μη σύμπτωση του φωτοβολταϊκού σημείου λειτουργίας (ΣΛ) με το σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ) της ΦΒ συστοιχίας
 - n_{trans} ο λόγος επίδοσης άλλων απωλειών (συνδέσεις καλωδίων, δίοδοι κλπ)
-

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- PR_T ο λόγος επίδοσης που οφείλεται στη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας κυψελίδας από τη θερμοκρασία αναφοράς 25°C :

$$PR_T = 1 + \gamma_{mp} \cdot (\theta_{c,wa} - \theta_{STC})$$

όπου

- $\gamma_{mp} = -0,0045\text{K}^{-1}$ θερμικός συντελεστής απόδοσης για το πυρίτιο
 - $\theta_{STC} = 25^\circ\text{C}$ θερμοκρασία αναφοράς
 - $\theta_{c,wa}$ μέση μηνιαία ενεργός θερμοκρασία κυψελίδας.
-

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- $\theta_{c,wa}$: μέση μηνιαία ενεργός θερμοκρασία κυψελίδας.

$$\theta_{c,wa} = \theta_{a,d} + F \cdot \kappa(w_{SD}) \cdot G_{t,D}$$

όπου

- $\theta_{a,D}$: μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- F : εμπειρική παράμετρος που δίνεται από τη σχέση:
 $F = 2,32 - 0,0017 \cdot G_{t,D}$
- $G_{t,D}$: μέση μηνιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, που δίνεται από τη σχέση:

$$G_{t,D} = G_{t,D} / t_d$$

όπου t_d το ποσοστό χρόνου ημέρας ανά 24ωρο.

Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- $\kappa(w_{SD})$: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μέσω ηλιακής ακτινοβολίας προς το φωτοβολταϊκό στοιχείο:

$$\kappa(w_{SD}) = \frac{T_1 \cdot e^{B \cdot w_{SD}} + T_2 + \Delta\theta}{G_{STC}}$$

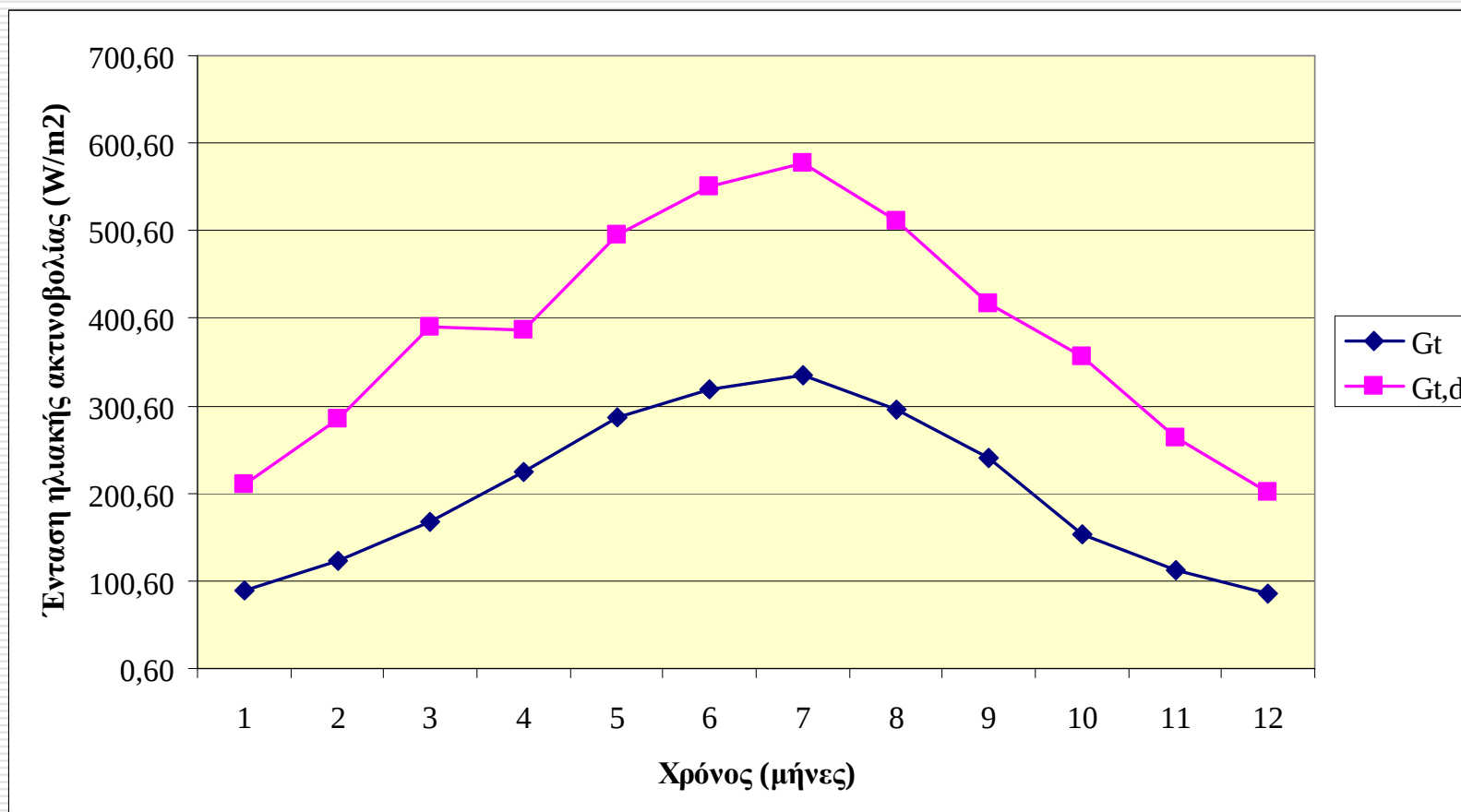
όπου:

- $T_1=19,6^\circ\text{C}$, $T_2=11,5^\circ\text{C}$, $\Delta\theta=3^\circ\text{C}$ και $B=-0,223(\text{m/s})^{-1}$ είναι εμπειρικές σταθερές, για ΦΒ πλαίσια c-Si με διαδοχικά στρώματα διάταξης: γυάλινη πλάκα, κυψελίδα c-Si, μονωτική επίστρωση Tedlar
- w_{SD} : μέση μηνιαία ένταση ανέμους σε m/s.

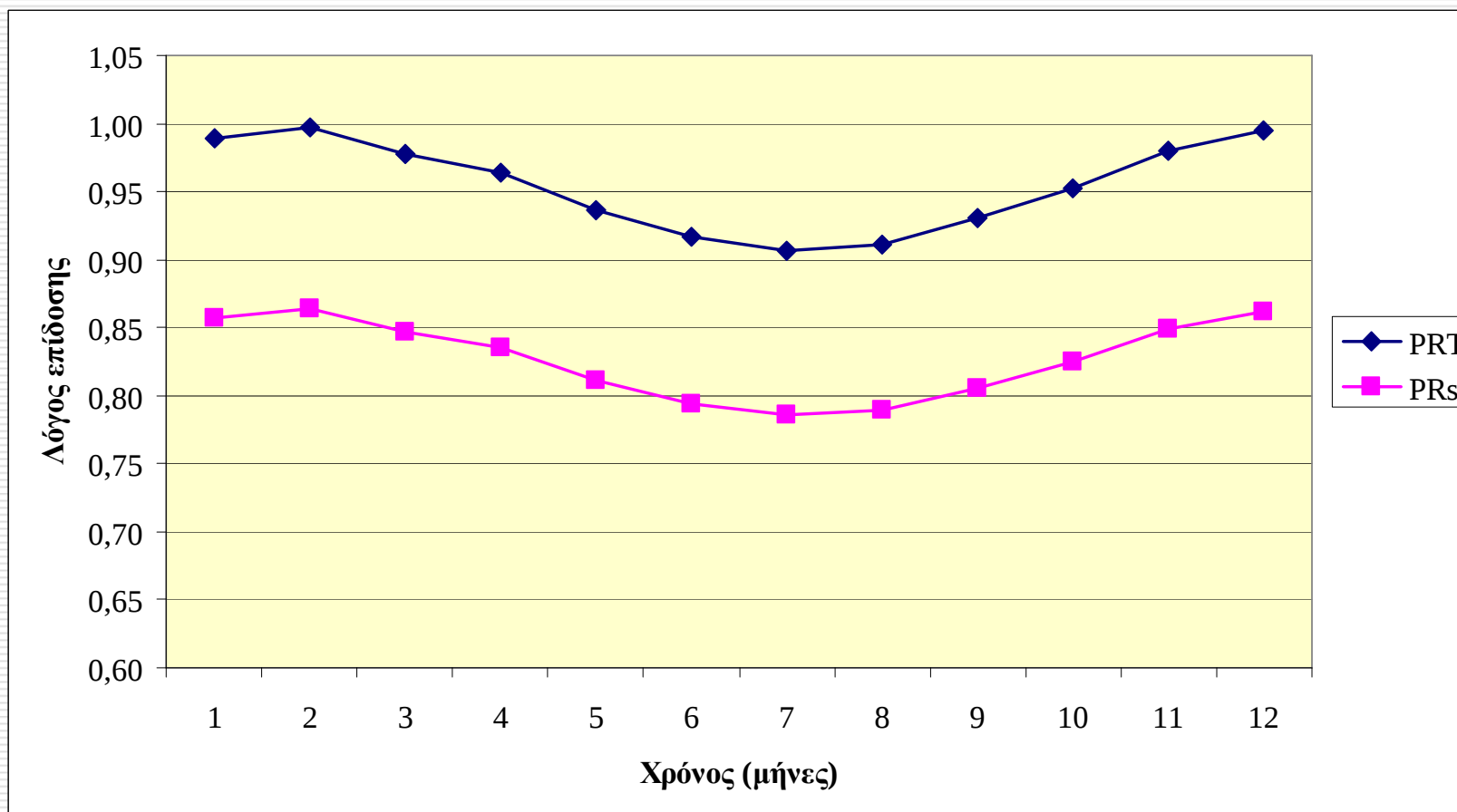
Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού σταθμού

- Οι χαρακτηριστικές τιμές για τους υπόλοιπους λόγους επίδοσης, εκτός από PR_T , για τις συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας στη νότια Ελλάδα είναι:
 - $PR_{OPT}=0,96$
 - $PR_{NIT}=0,95$
 - $\eta_{trans}=0,95$.
-

Γράφημα μεταβολής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας



Γράφημα μεταβολής λόγων επίδοσης



Παραγωγή ισχύος και ενέργειας

