

27^η Ενότητα:

Οι «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» ΑΠΕ IV. Ενεργητική Χρήση της Άμεσης Ηλιακής Ενέργειας: Ηλιακοί Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες με Σχήμα Παραβολικού Αυλακιού, Fresnel και Δέκτη σε Πύργο. Φωτοβολταϊκά

Εισαγωγή

Στις 3 τελευταίες Ενότητες περιγράψαμε τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τις οποίες ονομάζουμε χάριν συντομίας ΑΠΕ.

Έχουμε δε εξηγήσει, ότι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να χωριστούν με διάφορους τρόπους σε κατηγορίες. Εδώ τις έχουμε χωρίσει ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται, σε τρεις κατηγορίες. Οι τρεις κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες (βλέπε Πίνακα 19, σελ. 236):

1^η κατηγορία. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με βάση τον Ήλιο.

2^η κατηγορία Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με βάση το εσωτερικό της Γης.

3^η κατηγορία. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με βάση τη Σελήνη.

Από τον Πίνακα 19, σελ. 236 προκύπτει, ότι οι περισσότερες ΑΠΕ (με απόσταση) είναι αυτές που έχουν ως βάση τον Ήλιο. Έτσι προκειμένου να χαρακτηριστούν όλες αυτές οι μορφές των ΑΠΕ με βάση τον Ήλιο χρησιμοποιούμε διάφορα επίθετα, όπως άμεση, έμμεση, παθητική ενεργητική. Έτσι ίσως να έχετε στην αρχή κάποια δυσκολία. Πάντως για λόγους απλότητας, όπου έχει επικρατήσει μία απλούστερη ονομασία, θα την αναφέρουμε και αυτή (π.χ. Παραγωγή Θερμότητας Χαμηλής Θερμοκρασίας . Ηλιακός Θερμοσίφωνα).

Μέχρι τώρα έχουμε περιγράψει τις εξής ΑΠΕ (βλέπε Πίνακα 19, σελ. 236):

- Παθητική Χρήση της Άμεσης Ηλιακής Ενέργειας. Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.
- Ενεργητική Χρήση της Άμεσης Ηλιακής Ενέργειας.
 - α) Παραγωγή Θερμότητας Χαμηλής Θερμοκρασίας (Ηλιακός Θερμοσίφωνα)
 - β) Συμβατική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ηλιακοί Συγκεντρωτές.
 - Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Σχήμα Παραβολικού Πιάτου.

Στην περίπτωση του Ηλιακού Συγκεντρωτικού Συλλέκτη με Σχήμα Παραβολικού Πιάτου εξηγήσαμε, ότι η μέγιστη διάμετρος ενός τέτοιου ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι μόνο περίπου 8 μέτρα και επομένως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς είναι περιορισμένη, δηλαδή μερικές δεκάδες Κιλοβάτ.

β) Συμβατική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ηλιακοί Συγκεντρωτές.

- **Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Σχήμα Παραβολικού Αυλακιού**

Το μειονέκτημα του ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη με σχήμα παραβολικού πιάτου είναι το περιορισμένο της ισχύος του. Μία καλύτερη λύση σε αυτή τη διεύθυνση προσφέρεται με τον ηλιακό συγκεντρωτικό συλλέκτη με σχήμα παραβολικού **αυλακιού** [βλέπε Πίνακα 19 σελ. 236, Σχήμα 30.2 σελ. 252 και Σχήμα 30 β), σελ. 250]. Μία άλλη ονομασία αυτού του συλλέκτη είναι και ηλιακός συγκεντρωτικός συλλέκτης με σχήμα παραβολικού **σκαφιδίου**.

Ο συλλέκτης αυτός είναι ένα παραβολικό κάτοπτρο με σχήμα αυλακιού (δηλαδή σκαφιδίου). Το ύψος του είναι βέβαια περιορισμένο συνήθως περίπου 6 μέτρα, το

μήκος του όμως μπορεί να προσαρμοστεί στην απαιτούμενη ισχύ, αν τοποθετήσουμε περισσότερους συλλέκτες τον ένα κολλητά δίπλα στον άλλο, έχοντας ήδη φτάσει στην πράξη και τα 150 μέτρα.

Όταν ο συλλέκτης είναι στραμμένος προς τον ήλιο, η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει επάνω στην κοίλη επιφάνεια του κατόπτρου υπό τη μορφή παράλληλων ηλιακών ακτινών αντανακλάται και συγκεντρώνεται όλη σε μία ευθεία γραμμή τη λεγόμενη εστιακή ευθεία. Η εστιακή ευθεία είναι παράλληλη με το κάτοπτρο και βρίσκεται προς την πλευρά του ήλιου σε μία απόσταση που είναι συνάρτηση της κυρτότητας του κατόπτρου. Ακριβώς στη θέση της εστιακής ευθείας είναι κρεμασμένος ο απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο απορροφητής είναι ένας μεταλλικός ή γυάλινος σωλήνας μέσα στον οποίο ρέει ένα θερμικό λάδι που θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Προκειμένου να μειωθούν οι θερμικές απώλειες, ο σωλήνας- απορροφητής περιβάλλεται από έναν άλλο γυάλινο σωλήνα και ανάμεσα στους δύο σωλήνες επικρατεί κενό. Έτσι η θερμοκρασία του λαδιού μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 400°C. Η θερμότητα του λαδιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε ένα συμβατικό ατμοηλεκτρικό σταθμό είτε να τροφοδοτήσει τον αμοστρόβιλο σε ένα μοντέρνο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου, δηλαδή με αεριοστρόβιλο και αμοστρόβιλο.



Σχήμα 30.2 Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Σχήμα Παραβολικού Αυλακιού

Ο τύπος αυτός του ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη, δηλαδή με σχήμα παραβολικού αυλακιού είναι αυτός που χρησιμοποιείται σε περισσότερες από 95%

των περιπτώσεων για εμπορική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με τη βοήθεια ηλιακών συγκεντρωτών. Τα πρώτα εργοστάσια αυτού του τύπου κατασκευάστηκαν στην Καλιφόρνια από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και είναι ακόμη σε λειτουργία. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση με αυτού του είδους ηλιακούς συγκεντρωτές βρίσκεται στην Κίνα (περιοχή Βαοτου στη Μογγολία) και έχει μία συνολική ισχύ 65 Μεγαβάτ και συνολική επιφάνεια συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών 93 000 τετραγωνικών μέτρων.

β) Συμβατική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ηλιακοί Συγκεντρωτές.

- **Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Σχήμα Παραβολικού Αυλακιού αποτελούμενου από πολλά Επίπεδα Κάτοπτρα (Fresnel-Συλλέκτης)**

Ο ηλιακός συγκεντρωτικός συλλέκτης της προηγούμενης περίπτωσης, δηλαδή με σχήμα παραβολικού αυλακιού, αποτελείται από ένα συνεχόμενο παραβολικό αυλάκι και σχηματίζει μαζί με τον απορροφητή της ηλιακής ακτινοβολίας (ο οποίος βρίσκεται ακριβώς στην θέση της εστιακής ευθείας) μία συνεχόμενη μονάδα. Ολόκληρη η μονάδα (δηλαδή και ο απορροφητής) παρακολουθούν με τη βοήθεια ενός ηλιοστάτη την κίνηση του ήλιου.

Το 2001 προτάθηκε ένας άλλος συγκεντρωτικός συλλέκτης, που έχει μεν το σχήμα παραβολικού αυλακιού, πλην όμως το παραβολικό αυλάκι δεν είναι όπως στην προηγούμενη περίπτωση ένα συνεχόμενο αυλάκι αλλά αποτελείται από περισσότερα επίπεδα κάτοπτρα [βλέπε Πίνακα 19 σελ. 236 και Σχήμα 30γ), σελ. 250]. Τα επίπεδα αυτά κάτοπτρα παρακολουθούν μεν το καθένα ξεχωριστά με τη βοήθεια ενός ηλιοστάτη την κίνηση του ήλιου, αλλά γύρω από τον σταθερό απορροφητή της ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή όμως η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν την περίπτωση είναι πιο χαμηλή από ότι στην προηγούμενη περίπτωση, υπάρχει πάνω από τον απορροφητή της ηλιακής ακτινοβολίας ένας επιπλέον συγκεντρωτής που συγκεντρώνει για δεύτερη φορά την ηλιακή ακτινοβολία. Μέσα στον απορροφητικό σωλήνα της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται απευθείας νερό σε ατμό.

Η απλή και οικονομική αυτή κατασκευή μπορεί να οδηγήσει σε εγκαταστάσεις ισχύος πολλών εκατοντάδων Μεγαβάτ. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αυτού του τύπου (δηλαδή με Fresnel-Συλλέκτης) είναι η Puerto Errado 2 με ισχύ 30 MW στην Νότια Ισπανία. Ξεκίνησε την παραγωγή τον Οκτώβριο του 2012 και εξυπηρετεί 12 000 νοικοκυριά. Οι καθρέφτες της έχουν μία συνολική επιφάνεια 302 χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα.

β) Συμβατική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ηλιακοί Συγκεντρωτές.

- **Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Κεντρικό Δέκτη επάνω σε Πύργο**

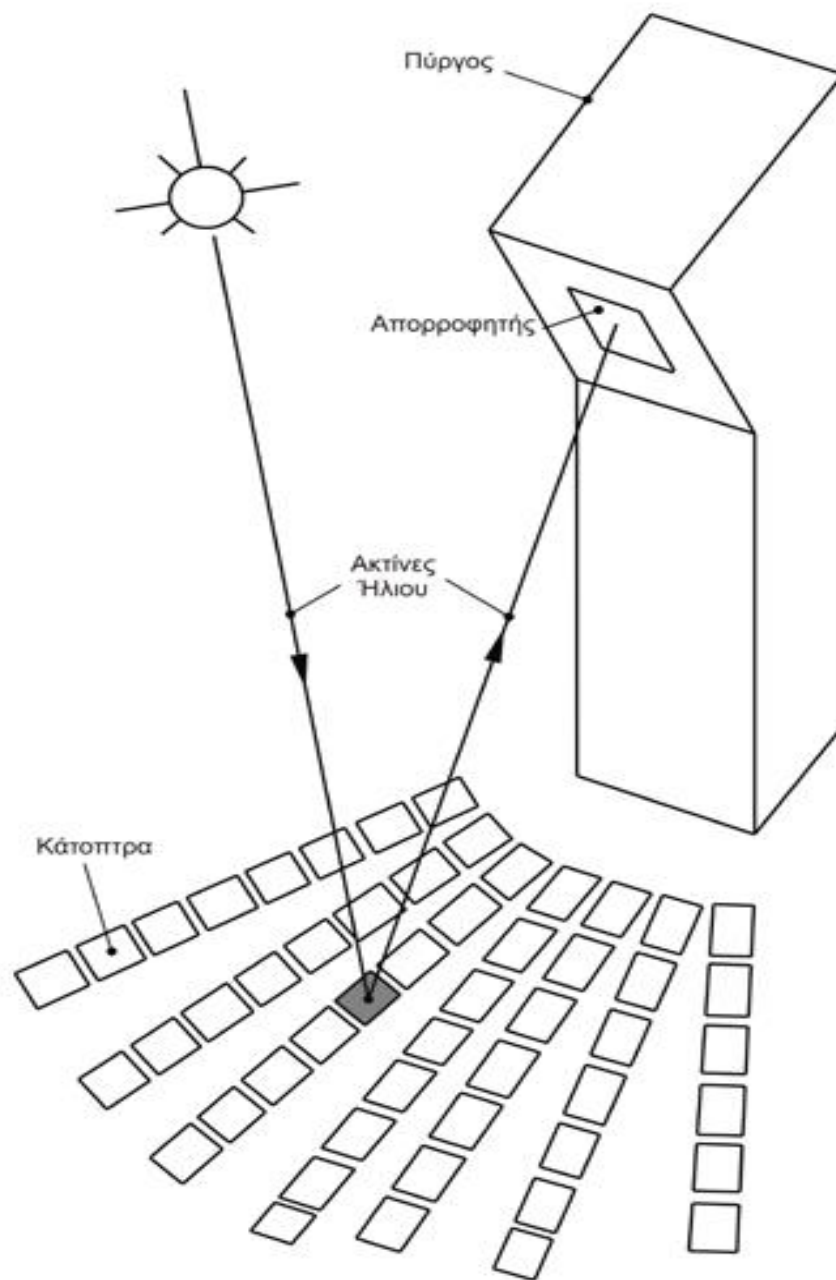
Αυτός ο τύπος ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κατόπτρων που εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή ενός πύργου [βλέπε Πίνακα 19, σελ. 236 και Σχήμα 30.3, σελ. 254 και Σχήμα 31, σελ. 255]. Τα κάτοπτρα είναι όλα επίπεδα και το κάθε ένα εξ αυτών βρίσκεται επάνω σε ένα ηλιοστάτη. Ο ηλιοστάτης σ' αυτήν την περίπτωση είναι έτσι στραμμένος προς τον πύργο, ώστε την κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει επάνω στο οποιοδήποτε κάτοπτρο αντανακλάται και καταλήγει στην κορυφή του πύργου. Εκεί ακριβώς βρίσκεται ο απορροφητής της ηλιακής ενέργειας, ο οποίος μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα μέχρι και 1 000°C πριν αυτή χρησιμοποιηθεί σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 30.3 Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Κεντρικό Δέκτη επάνω σε Πύργο. Εγκατάσταση στο Jülich της Γερμανίας

Η μετατροπή της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τους τέσσερις σημαντικότερους εξ αυτών:

- Ο πρώτος ευρωπαϊκός εμπορικός ηλιακός συγκεντρωτικός συλλέκτης με κεντρικό δέκτη έχει εγκατασταθεί κοντά στη Σεβίλλη της Ισπανίας και ονομάζεται «Planta Solar 10». Ο απορροφητής που βρίσκεται στην κορυφή του πύργου αποτελείται από ένα σύνολο σωλήνων μέσα στους οποίους ρέει νερό. Η ηλιακή ενέργεια που καταλήγει στον απορροφητή στην κορυφή του πύργου ζεσταίνει το νερό δημιουργώντας κεκορεσμένο ατμό με τον οποίο κινείται ένας ατμοστρόβιλος ισχύος 11 MW.
- Με τον δεύτερο τρόπο ο απορροφητής που βρίσκεται στην κορυφή του πύργου έχει τη μορφή ενός πορώδους κεραμικού ή μεταλλικού «σφουγγαριού» που απορροφά την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην κορυφή του πύργου όχι μόνο στην επιφάνεια αλλά και στο εσωτερικό του μετατρέποντάς την σε θερμότητα. Με τη θερμότητα αυτή δε ζεσταίνεται, όπως στην προηγούμενη περίπτωση, νερό αλλά αέρας. Ο αέρας αυτός απορροφάται από το εσωτερικό του «σφουγγαριού», θερμαίνεται μέχρι και τους 800°C και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού με τον οποίο λειτουργεί ένας συμβατικός ατμοηλεκτρικός σταθμός.
- Ο τρίτος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια ενός ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη με κεντρικό δέκτη είναι ο εξής: Ο απορροφητής λειτουργεί σε κλειστό κύκλωμα, στο οποίο θερμαίνεται αέρας υπό πίεση και κινεί έναν αεριοστρόβιλο.
- Ο τέταρτος τρόπος είναι ο εξής: Την 1^η Μαΐου του 2011 ξεκίνησε τη λειτουργία του στη Σεβίλλη της Ισπανίας το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ηλιακό συγκεντρωτικό συλλέκτη και κεντρικό δέκτη



Σχήμα 31: Ηλιακός Συγκεντρωτικός Συλλέκτης με Κεντρικό Δέκτη επάνω σε Πύργο

επάνω σε πύργο, που δε χρησιμοποιεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας ούτε νερό ούτε αέρα αλλά υγρό αλάτι. Το υγρό αλάτι θερμαίνεται στους 565°C και μπορεί να αποθηκεύσει τη θερμότητά του επί 15 ώρες. Έτσι το εργοστάσιο αυτό είναι το πρώτο με ηλιακό συγκεντρωτή παγκοσμίως, που μπορεί ανάλογα με τις ανάγκες να προσφέρει ηλεκτρικό ρεύμα καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

Όλες οι ΑΠΕ, που έχουμε περιγράψει μέχρι τώρα στο Κεφάλαιο β) Συμβατική Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ηλιακοί Συγκεντρωτές είναι ΑΠΕ με τις οποίες μπορούμε μεν να παράξουμε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά τα ποσά αυτά της παραγόμενης ενέργειας είναι αμελητέα στην προσπάθειά μας να αντικαταστήσουμε τα ορυκτά καύσιμα. Το ίδιο ισχύει και για τον Ανοδικό Άνεμο (βλέπε Πίνακα 19, σελ. 236), τον οποίο για αυτόν ακριβώς το λόγο δεν θα τον περιγράψουμε εδώ.

Οι μόνες ΑΠΕ με τις οποίες είναι δυνατόν να παραχθούν σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής:

Τα Φωτοβολταϊκά.

Η Υδραυλική Ενέργεια.

Η Αιολική Ενέργεια.

Η Βιομάζα.

Και ξεκινάμε με τα Φωτοβολταϊκά (βλέπε Πίνακα 19, σελ. 236).

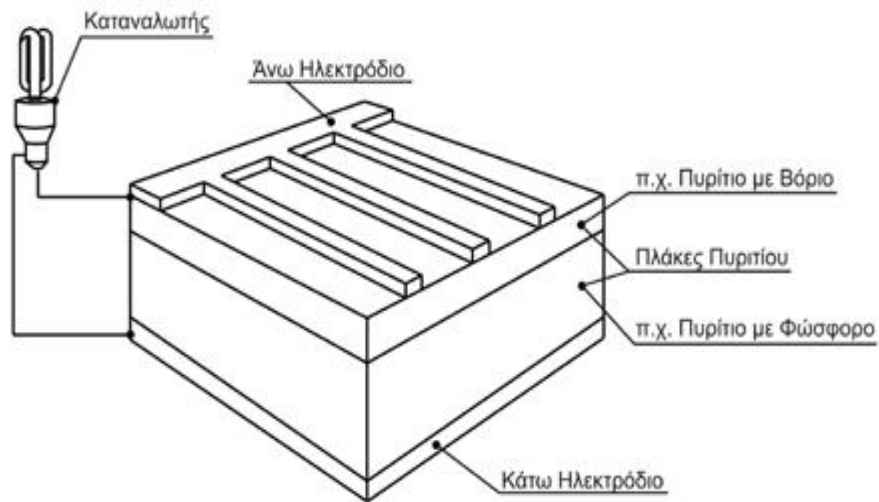
δ) Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας απ' ευθείας από την Ηλιακή Ενέργεια (Φωτοβολταϊκά)

Μέχρι τώρα δείξαμε πώς μπορούμε από την ηλιακή ενέργεια να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια όπως σε ένα συνήθη ηλεκτρικό σταθμό, όπου το μόνο που άλλαξε είναι, ότι η θερμότητα δεν παράγεται από την καύση ενός ορυκτού καυσίμου, αλλά από την ηλιακή ενέργεια. Υπάρχει όμως και μία δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας από την ηλιακή ενέργεια, χωρίς την παρεμβολή της παραγωγής ατμού, της στροβιλομηχανής και της γεννήτριας. Η μέθοδος αυτή λέγεται φωτοβολταϊκή μέθοδος, επειδή βασίζεται στο φωτοβολταϊκό ή φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

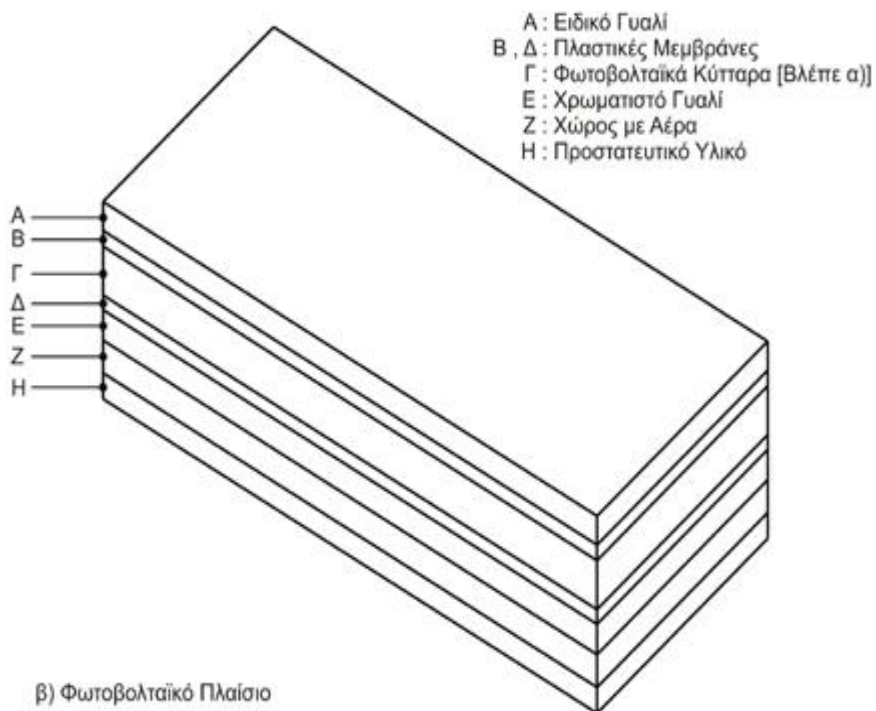
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο το παρουσιάζουν όλα τα υλικά όπως π.χ. το πυρίτιο που είναι ημιαγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή αυτά τα υλικά που επιτρέπουν στο ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει στη μία διεύθυνσή τους, αλλά όχι και στην αντίστροφη,.

Μία διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το φωτοβολταϊκό φαινόμενο λέγεται φωτοβολταϊκό κύτταρο [βλέπε και Σχήμα 33α), σελ. 257]. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι γνωστό από το 1839 και ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο φυσικό E. Becquerel. Το πρώτο όμως φωτοβολταϊκό κύτταρο κατασκευάστηκε πολύ αργότερα, δηλαδή το 1954 από τα εργαστήρια Bell στις ΗΠΑ. Για τη λέξη φωτοβολταϊκό χρησιμοποιείται και η λέξη ηλιακό και για τη λέξη κύτταρο χρησιμοποιείται και η λέξη στοιχείο (στη συνέχεια θα χρησιμοποιούμε μόνο την ονομασία φωτοβολταϊκό κύτταρο).

Στην απλούστερη περιγραφή του ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο αποτελείται [βλέπε και Σχήμα 33α), σελ. 257] από δύο πλάκες **πυρίτιο**. Οι πλάκες αυτές, που είναι η μία **επάνω** στην άλλη, έχουν διαστάσεις π.χ. 10x10 εκατοστά του μέτρου και έχουν η κάθε μία εκτός από το πυρίτιο ως πρόσμειξη ένα επιπλέον στοιχείο αλλά διαφορετικό η μία από την άλλη (π.χ. η επάνω πλάκα πυρίτιο και βόριο και η κάτω πλάκα πυρίτιο και φώσφορο). Έτσι, όταν πέσει επάνω στις πλάκες το ηλιακό φως (και συγκεκριμένα τα φωτόνια), οι πλάκες θερμαίνονται, η θερμική κίνηση των ατόμων του ημιαγωγού αυξάνεται, τα ηλεκτρόνια κινούνται σαν φορείς ρεύματος και η κάθε πλάκα αποκτά ένα διαφορετικό ηλεκτρικό δυναμικό. Επομένως αν βάλουμε στην κάθε πλάκα ένα ηλεκτρόδιο και συνδέσουμε τα δύο ηλεκτρόδια, τότε περνάει ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι συνεχές ρεύμα. Με τη βοήθεια όμως ενός «Αντιστροφέα» εύκολα μετατρέπεται το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα.



α) Φωτοβολταϊκό Κύτταρο



β) Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Σχήμα 33: Φωτοβολταϊκά

Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών κυττάρων που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών κυττάρων εξαρτάται σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο έχουν προστατευτεί μέσα στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο τόσο από τις καιρικές συνθήκες όσο και από χτυπήματα και

άλλες επιδράσεις του Περιβάλλοντος. Στο Σχήμα 33β), σελ 257 περιγράφεται με τη βοήθεια ενός σκίτσου (και όχι φωτογραφίας προκειμένου να περιγραφούν περισσότερες λεπτομέρειες) ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Στην πράξη ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να τα έχει όλα ή και ένα μέρος από τα μέρη που περιγράφονται στο Σχήμα 33β), σελ 257. Για εξωτερικό σκέπασμα λοιπόν Α χρησιμοποιείται συνήθως ειδικό γυαλί διαπερατό από το φως. Ακολουθούν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα Γ που είναι μεταξύ τους ηλεκτρικώς συνδεδεμένα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα περιβάλλονται στο επάνω και κάτω μέρος τους από δύο μαλακές πλαστικές μεμβράνες Β και Δ, που είναι ανθεκτικές στο ηλιακό φως και στη θερμοκρασία. Ακολουθεί ένα χρωματιστό γυαλί Ε και μετά ένας χώρος Ζ με αέρα, για να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές απώλειες. Για το κάτω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου Η, χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής διάφορα υλικά, όπως γυαλί, πλαστικές μεμβράνες ή και μεταλλικές πλάκες. Από το Σχήμα 33β), σελ. 257 προκύπτει, ότι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο μοιάζει εξωτερικά με έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη [βλέπε 26^η Ενότητα, α) Παραγωγή Θερμότητας Χαμηλής Θερμοκρασίας (Ηλιακός Θερμοσίφωνας), σελ.242 και Σχήμα 29γ), σελ.243].

Με την κατάλληλη συνδεσμολογία σε σειρά ή παράλληλα ή και συνδυασμένα πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων έχουμε στα άκρα του φωτοβολταϊκού πλαισίου την επιθυμητή τάση και ισχύ. Είναι φανερό ότι μία μεγάλη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από πολλά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Η ισχύς της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται με την αρχή του φωτοβολταϊκού φαινομένου, μπορεί να είναι πολύ μικρή, όταν χρησιμοποιούμε πολύ μικρά κύτταρα, όπως σε ρολόγια ή υπολογιστές τσέπης, μερικά κιλοβάτ (kW) όπως για την τροφοδότηση σπιτιών, αλλά και περισσότερα μεγαβάτ (MW) σε μεγάλες εγκαταστάσεις.

Αν στο φωτοβολταϊκό κύτταρο χρησιμοποιείται ως ημιαγωγός το πυρίτιο, τότε ο βαθμός αποδόσεως σε % (δηλαδή η αποδοσιμένη ηλεκτρική ενέργεια δια της χρησιμοποιημένης ηλιακής ενέργειας επί 100) αυξάνει όσο μεγαλώνει ο βαθμός καθαρότητας του πυριτίου. Και ναι μεν μπορεί το πυρίτιο να είναι το δεύτερο σε ποσότητα στοιχείο του στερεού φλοιού της γης, πλην όμως όσο μεγαλώνει ο βαθμός καθαρότητας του πυριτίου, τόσο πιο ακριβή γίνεται η παραγωγή του. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές μορφές πυριτίου:

- Το άμορφο πυρίτιο, το οποίο είναι το φθηνότερο αλλά και με το μικρότερο βαθμό αποδόσεως. Το άμορφο πυρίτιο έχει επιπλέον το μειονέκτημα ότι ο βαθμός αποδόσεως του μειώνεται με την πάροδο του χρόνου χρήσεώς του.
- Το **πολυκρυσταλλικό** πυρίτιο, το οποίο είναι ακριβότερο του άμορφου πυριτίου αλλά με μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως από αυτό.
- Το **μονοκρυσταλλικό** πυρίτιο, το οποίο είναι ακριβότερο του πολυκρυσταλλικού πυριτίου αλλά με μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως από αυτό.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με φωτοβολταϊκά κύτταρα που περιέχουν αποκλειστικά πυρίτιο. Άλλωστε τα 95% όλων των φωτοβολταϊκών πάνελ που κατασκευάζονται παγκοσμίως, έχουν σα βάση το πυρίτιο. Για την πληρότητα όμως αναφέρουμε, ότι υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί ημιαγωγοί σε σχέση με τη φωτοβολταϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτοί είναι οι εξής: Το αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) και το δισελληνιούχο κράμα χαλκού και ινδίου (CuInSe₂).

Ο σημερινός βαθμός αποδόσεως των διαφόρων φωτοβολταϊκών κυττάρων (σε στάνταρτ - συνθήκες) είναι κατά μέσον όρο:

- Άμορφο πυρίτιο 8%
- Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο 16%
- Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο 20%
- CuInSe₂ 12%
- GaAs 25%
- CdTe 11,5%.

Η φωτοβολταϊκή μέθοδος παρά τα πλεονεκτήματά της, δηλαδή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς την εκπομπή ρύπων, χωρίς την εκπομπή του αερίου του θερμοκηπίου διοξειδίου του άνθρακα και αθόρυβα, δεν είχε στην αρχή μεγάλη εφαρμογή, λόγω του ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είχαν στην αρχή πολύ μικρό βαθμό αποδόσεως, δηλαδή μετέβαλλαν ένα μικρό μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αυτή τη μέθοδο ήταν πολύ ακριβότερη από ότι με ορυκτά καύσιμα. Στην περίπτωση όμως αυτή βοήθησε σίγουρα μία ισχυρή επιδότηση, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια.

Ένα πλεονέκτημα των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι ότι εκμεταλλεύονται ενεργειακά όχι μόνο την άμεση αλλά και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Άμεση είναι η ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται τα φωτοβολταϊκά κύτταρα όταν έχουν οπτική επαφή με τον Ήλιο, ενώ διάχυτη είναι η ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, όταν δεν έχουν οπτική επαφή με τον Ήλιο. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους π.χ. η Γερμανία, η οποία δεν είναι και τόσο ευνοημένη σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται, κατείχε μέχρι το 2014 την πρώτη θέση παγκοσμίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (σήμερα είναι τα πράγματα διαφορετικά, όπως προκύπτει από τον επόμενο Πίνακα. Όλες οι τιμές σε 1000άδες Μεγαβάτ):

Παγκόσμια Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος με Φωτοβολταϊκά

Κίνα.....	253,4
ΗΠΑ.....	93,2
Ιαπωνία.....	71,4
Γερμανία.....	54,0
Ινδία.....	47,4
Ιταλία.....	21,7
•	
•	
Ελλάδα.....	4,0
•	
•	

Σύνολο.....	760

Το 2020 στη Γερμανία η συνολική εγκατεστημένη **ηλεκτρική ισχύς** όλων των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 211 210 Μεγαβάτ. Από αυτά η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς όλων των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ήταν 54000 Μεγαβάτ, δηλαδή τα 25,6%. Τον ίδιο χρόνο όμως, δηλαδή το 2020 η **ηλεκτρική ενέργεια** που παρήχθη από τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις ήταν μόνο τα 9,5% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη. Αυτό βέβαια δικαιολογείται, αφού οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ούτε τη νύχτα ούτε την ημέρα με πυκνή συννεφιά. Αυτό είναι και το μεγάλο μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, ότι δηλαδή εάν αναμένουμε, ότι οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις θα καλύπτουν ετησίως ένα ορισμένο ποσό της

ηλεκτρικής ισχύος, η εγκατεστημένη τους ισχύς θα πρέπει να είναι σχεδόν τριπλάσια (25,6/9,5=2,7) με ότι αυτό συνεπάγεται για το επενδυτικό κόστος!

Ο σημαντικότερος λόγος για την εκρηκτική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών στη Γερμανία είναι η γερμανική νομοθεσία («Νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας»). Βάσει της νομοθεσίας αυτής, επειδή η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκές μονάδες με κανένα τρόπο δεν μπορούσε να συναγωνιστεί με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συμβατικούς σταθμούς (με βάση το κάρβουνο, το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο) ή πυρηνικούς σταθμούς, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκές μονάδες, επιδοτήθηκε. Έτσι π.χ. αν μία φωτοβολταϊκή μονάδα ξεκινήσει τη λειτουργία της τον Ιούλιο του 2014 και μετά, επιδοτείται για τα επόμενα 20 χρόνια ανάλογα με τον τύπο της και το μέγεθός της από 0,0892 έως 0,1288 ευρώ για κάθε κιλοβατώρα (kWh). Προσοχή όμως! Η επιδότηση αυτή αφορά σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που θα λειτουργούσαν μετά το 2014. Η μέση επιδότηση στη Γερμανία για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μέχρι το 2013 ήταν 0,32 Ευρώ για κάθε κιλοβατώρα (kWh). Η πολιτική αυτή της Γερμανίας είχε εκτός των άλλων και την εξής συνέπεια: Το επενδυτικό κόστος μίας φωτοβολταϊκής μονάδας μειώθηκε λόγω της τεχνικής προόδου κατά 13% ανά έτος. Αντίστοιχα η μέση τιμή μίας φωτοβολταϊκής μονάδας μειώνεται κατά 20%, όταν η συνολική εγκατεστημένη ισχύς διπλασιάζεται.

Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή μονάδα της Γερμανίας έχει μια εγκατεστημένη ισχύ 128 MW και βρίσκεται σε ένα οικόπεδο που στο παρελθόν ήταν εγκατεστημένος ο Ρωσικός στρατός στην πόλη Templin 45 χιλιόμετρα μακριά από το Βερολίνο. Το κόστος ανέρχεται σε 1558 Ευρώ ανά κιλοβάτ εγκατεστημένης ισχύος.

Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή μονάδα της Γερμανίας που βρίσκεται πάνω σε μία σκεπή έχει μια εγκατεστημένη ισχύ 7,4 MW και βρίσκεται στο Philippsburg της Βάδης-Βυρτεμβέργης στη σκεπή της Εταιρείας Goodyear Dunlop. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ καλύπτουν μία επιφάνεια 87 500 τετραγωνικών μέτρων και ικανοποιούν τις ετήσιες ανάγκες περίπου 1 800 νοικοκυριών.

Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή μονάδα παγκοσμίως όμως είναι η Solarpark Bhadla στην Βορειοδυτική Ινδία στα σύνορα με το Πακιστάν. Καλύπτει μία επιφάνεια 57 τετραγωνικών χιλιομέτρων και έχει μία ισχύ 2 245 Μεγαβάτ.

Σ' αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να αναλογιστεί κανείς το εξής: Αν όσα περιγράψαμε προηγουμένως συμβαίνουν στη Γερμανία, τι τεράστιες δυνατότητες προσφέρει η φωτοβολταϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα με την ηλιοφάνεια που διαθέτει;

Μία τυπική φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο είναι συνήθως εγκατεστημένη στην οροφή ή στους τοίχους ενός κτηρίου. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι, όπως προαναφέραμε, συνεχές ρεύμα. Με τη βοήθεια όμως ενός «Αντιστροφέα» εύκολα μετατρέπεται το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα. και έτσι μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές είτε να διοχετευτεί στο δημόσιο δίκτυο.

Μία άλλη σημαντική εφαρμογή των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων είναι μικρές εγκαταστάσεις ανεξάρτητες από το ηλεκτρικό δίκτυο. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να τροφοδοτήσουν καταναλωτές που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο. Τέτοια παραδείγματα είναι πομποί ή δέκτες ραδιοφωνικών, τηλεοπτικών ή τηλεφωνικών σημάτων, αντλιοστάσια για πότισμα γεωργικών καλλιεργειών, σταθμοί μετρήσεων π.χ. της ρύπανσης του

περιβάλλοντος, απομακρυσμένα σπίτια, φάροι (σε συνδυασμό με ένα συσσωρευτή) κ.λπ.

Επιφάνειες τοποθέτησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (εκτός των οροφών ή των τοίχων κτηρίων) είναι και ελεύθερες επιφάνειες, όπως π.χ. χώροι που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν σα χωματερές αλλά τώρα έχουν αποκατασταθεί, εγκαταλελειμμένες πρώην βιομηχανικές ή στρατιωτικές εγκαταστάσεις, τοίχοι που προστατεύουν από την ηχορύπανση κ.λπ.

Πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυττάρων καταναλώνεται ένα μεγάλο ποσό ενέργειας. **Έτσι μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση πρέπει να λειτουργήσει επί περίπου τρία έως πέντε χρόνια, ώστε να καλύψει την ενέργεια που χρειάστηκε η κατασκευή της.** Κάθε περαιτέρω κιλοβατώρα όμως που παράγει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι οικολογικά «τσάμπα».

Πάντως αν επιθυμούμε να υπάρχει συνεχής παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την ηλιακή ενέργεια, πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα, δηλαδή να υπάρχει π.χ.:

- Επαναφορτιζόμενος συσσωρευτής που θα φορτίζεται από την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και θα αποφορτίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Συμβατική ηλεκτρική γεννήτρια για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας από το ηλεκτρικό δίκτυο, αν υπάρχει.

Εδώ τελειώσαμε την περιγραφή της **άμεσης** χρήσης της ηλιακής ενέργειας (βλέπε Πίνακα 19, σελ. 236).

Με τα φωτοβολταϊκά ασχοληθήκαμε ιδιαίτερα εκτενώς, διότι είναι η ΑΠΕ με την οποία μπορούμε να παράξουμε ένα αρκετά σημαντικό ποσό ενέργειας δίχως να δημιουργούμε το αέριο του θερμοκηπίου διοξείδιο του άνθρακα. Με αυτόν δε τον τρόπο μπορούμε να δράσουμε ενάντια στην κλιματική αλλαγή.

Στην επόμενη 28^η Ενότητα θα συνεχίσουμε με την περιγραφή της **έμμεσης** χρήσης της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή την υδραυλική ενέργεια, την Αιολική ενέργεια και την ενέργεια της βιομάζας, αφού και οι 3 αυτές μορφές ενέργειας, όπως θα αποδείξουμε, αποτελούν έμμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας, και έχουν ως πηγή τον Ήλιο.