



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

*Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Πάρκου  
στην περιοχή των Πατρών*

---



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΓΚΟΣΙΜΗΔΑΣ ΗΛΙΑΣ , ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΟΥΛΙΩΤΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΠΑΤΡΑ 2018



## Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έλαβε χώρα στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε του ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ. Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση οικιακής κατασκευής στην περιοχή της Πάτρας. Κατά την μελέτη της συγκεκριμένης εγκατάστασης έχει προβλεφθεί η εγκατάσταση και χρήση συσσωρευτών με άμεσο στόχο την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας για την καλύτερη εξασφάλιση αδιάκοπης λειτουργίας του συστήματος. Η συγκεκριμένη μελέτη αποσκοπεί στο να κατανοήσουμε τη σημασία των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και τα προνόμια που είναι σε θέση να προσφέρουν με τη λειτουργία τους. Την εκμετάλλευση δηλαδή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει επάνω στα πάνελ και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών μας.

Σε αυτό το σημείο θα επιθυμούσαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μας κ. Σουλιώτη Εμμανουήλ για την πολύτιμη συνεισφορά του στην εκπόνηση της εργασίας αυτής μέσω της επίλυσης των αποριών μας και τη συνεχή καθοδήγησή του το χρονικό διάστημα που εργαστήκαμε για να βγάλουμε εις πέρας το θέμα που μας ανατέθηκε. Οι συμβουλές του, η οξυδέρκειά του και η επιστημονική του προσέγγιση σε ότι θέμα – σχετικά με την εργασία – μας προβλημάτισε, αποτελούν δεδομένα κάποια στοιχεία τα οποία θα τα χρησιμοποιήσουμε κι εμείς στη μετέπειτα επαγγελματική μας σταδιοδρομία.



## Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση οικιακής κατασκευής στην περιοχή της Πάτρας. Κατά την μελέτη της συγκεκριμένης εγκατάστασης έχει προβλεφθεί η εγκατάσταση και χρήση συσσωρευτών με άμεσο στόχο την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας για την καλύτερη εξασφάλιση αδιάκοπης λειτουργίας του συστήματος.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια αναφορά στις πηγές ενέργειας και στην αναγκαιότητα της ενέργειας στις σύγχρονες κοινωνίες. Παράλληλα, αναφέρονται οι μορφές ενέργειας που υπάρχουν σήμερα και ο διαχωρισμός τους σε συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και η στόχευση των κοινωνιών για μεγαλύτερη ανάπτυξη και χρήση των ανανεώσιμων πηγών στο άμεσο μέλλον και την απεξάρτηση από συμβατικές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας.

Σε επόμενο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας στην ηλιακή ενέργεια την οποία και εκμεταλλεύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία και μελετάμε για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια, στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η θεωρία για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στο σημείο αυτό, αναλύονται τα υλικά και οι τεχνολογίες που συναντώνται στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επιπρόσθετα, περιγράφονται τα μειονεκτήματά που παρουσιάζει η χρήση των φωτοβολταϊκών, καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους.

Παράλληλα, γίνεται ένας διαχωρισμός σε απομονωμένα ή εκτός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς και τα συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Επί της ουσίας, η παρούσα πτυχιακή εργασία με ένα αυτόνομο εκτός δικτύου φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο θα υποστηρίζεται από έναν συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μελέτη του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια κατοικίας στην Πάτρα παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Η μελέτη και ο προσδιορισμός των απαραίτητων παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της οικίας παρουσιάζονται στον κεφάλαιο αυτό. Επιπρόσθετα, ακολουθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί και ο τρόπος με τον οποίο θα καταμερισθεί η ισχύς ζήτησης. Σε αυτό το σημείο, υπολογίζονται και τα απαραίτητα μεγέθη για τον συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση.

Ως τελικό στάδιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη που έχει προηγηθεί. Στο σημείο αυτό, αναφερόμαστε συνοπτικά στις παραμέτρους που καθόρισαν το σύστημα που θα εγκατασταθεί.

## Περιεχόμενα

|   |    |
|---|----|
| Πρόλογος .....  | 2  |
| Περίληψη .....  | 4  |
| Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή .....  | 8  |
| Κεφάλαιο 2. Πηγές Ηλεκτρικής Ενέργειας .....                                | 11 |
| 2.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας.....   | 12 |
| 2.2. Ανανεώσιμες πηγες ενέργειας .....                                      | 12 |
| 2.3 Ηλιακή ενέργεια.....  | 19 |
| Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....                    | 21 |
| 3.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....  | 21 |
| 3.2 Λειτουργία Φωτοβολταϊκών .....  | 23 |
| 3.2.1 Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου.....                               | 25 |
| 3.2.2. Φωτοβολταϊκά λεπτών ταινιών.....                                     | 27 |
| 3.3 Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....                            | 31 |
| 3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων..... | 32 |
| 3.5 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....                                | 33 |
| 3.5.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά Συστήματα.....                                  | 34 |
| 3.5.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο Δίκτυο .....                   | 37 |
| 3.6 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Κυττάρων .....                   | 40 |
| 3.6.1 Γένεση φωτορεύματος.....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| 3.6.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ιδανικού φωτοβολταϊκού κυττάρου .....            | 41 |
| 3.6.3 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός πραγματικού φωτοβολταϊκού κυττάρου .....         | 42 |
| 3.6.4 Συντελεστής Απόδοσης Φωτοβολταϊκού Κυττάρου .....                                 | 46 |
| 3.6.5 Ανάλυση Βαθμού Απόδοσης Φωτοβολταϊκού στοιχείου .....                             | 46 |
| 3.6.6 Συντελεστής Πλήρωσης FF .....   | 47 |
| 3.6.7 STC – Πρότυπες Συνθήκες .....   | 48 |
| 3.6.8 NOCT – Ονομαστική Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης .....                           | 49 |
| Κεφάλαιο 4. Μελέτη αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για μια κατοικία στην Πάτρα ..... | 50 |
| Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα .....  | 61 |
| Βιβλιογραφία .....  | 64 |



## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί την βασική προϋπόθεση για όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες στις σύγχρονες κοινωνίες. Κατά την διάρκεια του τελευταίου αιώνα, η κυριότερη πηγή ενέργειας στον πλανήτη για τον άνθρωπο ήταν η καύση ορυκτού καυσίμου όπως ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, καθώς και η πυρηνική ενέργεια. Οι βιομηχανίες, οι επιχειρήσεις και κατά συνέπεια οι οικονομίες των κρατών βασίζονται ακόμα και σήμερα στις προαναφερθείσες πηγές ενέργειας.

Η παγκόσμια οικονομία έχει γνωρίσει ανάπτυξη και εξέλιξη βασιζόμενη στην εκμετάλλευση κυρίως των ορυκτών καυσίμων. Καθώς όμως οι ενεργειακές ανάγκες συνεχώς αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς, η ανησυχία για την επάρκεια των ενεργειακών πηγών ενισχύεται. Παράλληλα, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων τιμών των καυσίμων και της εξάρτησης οικονομιών από τις συγκεκριμένες τιμές, οι ανησυχίες της διεθνούς κοινότητας αυξάνονται. Τα τελευταία χρόνια οι τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του ουρανίου έχουν αυξηθεί σημαντικά όπως και οι τιμές του άνθρακα.

Το γεγονός ότι τα ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένα ενώ η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς οδηγεί κυβερνητικές υπηρεσίες και διεθνείς οργανισμούς να μελετούν και να αναζητούν την εκμετάλλευση άλλων ενεργειακών πηγών που δεν είναι πεπερασμένες. Η πιθανή αφθονία τέτοιων πηγών ενέργειας στον πλανήτη αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους.

Η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα έχει πολλά μειονεκτήματα και για αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια απεξάρτησης από αυτές τις πηγές ενέργειας με άμεσο στόχο την εκμετάλλευση και εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Καθώς τα ορυκτά καύσιμα δεν αποτελούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εξαντλούνται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από ότι μπορούν να σχηματιστούν, αντίθετα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν ότι βρίσκονται σε αφθονία.

Παράλληλα, η χρήση των ορυκτών καυσίμων ευθύνεται σε μεγάλο και ανησυχητικό βαθμό στην μόλυνση του περιβάλλοντος. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν προκύψει αυξανόμενες ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιδράσεις των εκπομπών αερίων στην ατμόσφαιρα που προέρχονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων και από τη δημιουργία ραδιενεργών αποβλήτων από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας.

Τα ενεργειακά θέματα καθώς και η επίδραση και οι επιπτώσεις κατανάλωσης κάθε μορφής ενέργειας στο περιβάλλον αποτελούν βασικό αντικείμενο συζητήσεων και προβληματισμών για τα κράτη και τις επιχειρήσεις σε ολόκληρο τον πλανήτη. Οι επιπτώσεις χρήσης ορυκτών καυσίμων που έχουν διαπιστωθεί τα τελευταία χρόνια έχουν οδηγήσει στην προσπάθεια θέσπισης νέων νόμων και πρακτικών λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας.

Όσον αφορά το νομικό και θεσμικό πλαίσιο, παρατηρείται προσπάθεια να αναπροσαρμοστεί σε πολλά κράτη με σκοπό νέες «καθαρές» και «πράσινες» τεχνολογίες, ώστε να αντικατασταθούν σταδιακά τα υπερβολικά ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα. Σε αυτή την κατηγορία συγκαταλέγεται και η χρήση και η ανάπτυξη αποδοτικών φωτοβολταϊκών στοιχείων με σκοπό την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών με σκοπό την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα εμφανίστηκε αρχικά τη δεκαετία του 1970, κυρίως ως αποτέλεσμα των πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και έπειτα από την συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας με την ταυτόχρονη σημαντική μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων καθώς και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση τους, έχουν ωθήσει στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η παρούσα εργασία δίνει έμφαση στην αξιοποίηση της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας της ηλιακής ενέργειας και προσπαθεί να μελετήσει την χρήση και αξιοποίηση

φωτοβολταϊκών στα πλαίσια μιας οικιακής κατασκευής. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εγκατεστημένα σε οικίες είναι μια συνηθισμένη εφαρμογή των φωτοβολταϊκών στην καθημερινότητα. Η συγκεκριμένη εφαρμογή τους βρίσκεται σε άνθηση και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η κτιριακή εγκατάσταση μιας οικίας είναι δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο να συνδεθεί σε κοντινό ηλεκτρικό δίκτυο. Παράλληλα όμως, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η οικία είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται παράγεται μέσω εγκατάστασης φωτοβολταϊκών.

## Κεφάλαιο 2. Πηγές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας στην ηλιακή ενέργεια την οποία και εκμεταλλεύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία και μελετάμε για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται κυρίως από γαιάνθρακες, φυσικό αέριο και πυρηνική ενέργεια. Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εμφανίζεται μέσω υδροηλεκτρικών εργοστασίων, αιολικών πάρκων και πάρκων με φωτοβολταϊκά πλαίσια. Το μεγαλύτερο ποσοστό βέβαια προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και όχι τις ανανεώσιμες.

Η τάση όμως της χρησιμοποίησης των ανανεώσιμων τεχνολογιών δίνει ενθαρρυντικά μηνύματα για το μέλλον καθώς παρατηρείται ότι τα τελευταία έτη η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές σε χώρες στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αυξηθεί σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας έχει σχεδόν διπλασιαστεί, καθώς από περίπου 8,5 % που ήταν το 2004 έφτασε σε ποσοστό 17,0 % το 2016. [7]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους για το 2020, το 2030 και το 2050 που έχουν ως άμεσο σκοπό την εγκατάλειψη των ρυπογόνων συμβατικών πηγών ενέργειας και την αύξηση εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών. Οι στόχοι αυτοί για το 2020 είναι η άντληση του 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που θα βοηθήσει στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Παράλληλα, ένας ακόμα ενεργειακός στόχος είναι και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%. [11]

Σε όμοια κατεύθυνση και οι στόχοι για το 2030, όπου στόχος είναι άντληση τουλάχιστον του 27% της ενέργειας στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης από ανανεώσιμες πηγές, με παράλληλη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% και αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 27-30%. Ένας ακόμα στόχος

είναι και το 15% της ενέργειας που παράγεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να μπορεί να μεταφέρεται και προς άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.[11]

## 2.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Συμβατικές πηγές ενέργειας θεωρούνται οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ουσιαστικά σε αυτές περιλαμβάνονται τα ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια. Στην κατηγορία των ορυκτών καυσίμων ανήκουν οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και ως ορυκτά καύσιμα χαρακτηρίζονται τα καύσιμα που σχηματίζονται στο έδαφος από υπολείμματα οργανισμών.

Η καύση τους είναι η κυριότερη πηγή παραγωγής ενέργειας σήμερα. Μεγαλύτερα μειονεκτήματα τους η πεπερασμένη και συνεχώς μειούμενη ποσότητα τους καθώς και οι πολύ επιβλαβείς συνέπειες τους στο περιβάλλον και στον πλανήτη.

Στις συμβατικές πηγές ενέργειας συμπεριλαμβάνεται και η πυρηνική ενέργεια. Η πυρηνική ενέργεια σχετίζεται με ορυκτό καύσιμο, καθώς τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι ορυκτά. Η πυρηνική ενέργεια είναι αμφιλεγόμενη μορφή ενέργειας γιατί παρά το αρκετά χαμηλό κόστος παραγωγής, σε περίπτωση ατυχήματος τα αποτελέσματα θα είναι δραματικά.

Ένα ακόμα πρόβλημα είναι ότι τα απόβλητα που παράγονται κατά την διάρκεια μιας τέτοιας παραγωγικής διαδικασίας είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά με αποτέλεσμα να απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις για την αποθήκευσή τους.

## 2.2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (Α.Π.Ε.) είναι μορφές ενέργειας που προέρχονται από εκμετάλλευση και αξιοποίηση φυσικών διαδικασιών, όπως ο ήλιος, ο άνεμος και η κυκλοφορία του νερού. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα τους είναι ότι για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ρυπογόνα και επιβλαβή παρέμβαση,

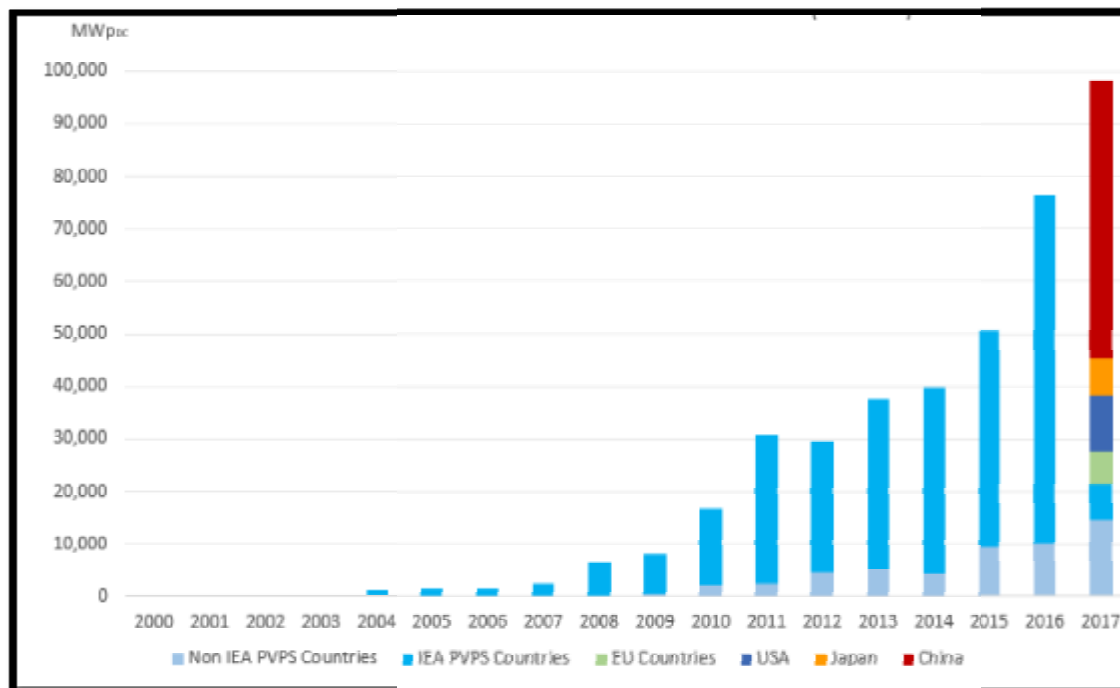
όπως εξόρυξη ή καύση, κάτι που κυρίως συμβαίνει με την χρήση των κυριότερων ορυκτών καυσίμων.

Η εκμετάλλευση τους βασίζεται στην αξιοποίηση της ροής ενέργειας της φύσης. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα τις αναδεικνύει ως φιλικότερες μορφές ενέργειας ως προς το περιβάλλον έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας που δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα που τα αποθέματα τους μειώνονται με πολύ ταχείς ρυθμούς λόγω και της εκτεταμένης χρήσης τους από τις βιομηχανίες. Η ανάπτυξη και η εξέλιξη μεθόδων εκμετάλλευσης τους θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην επάρκεια ενέργειας περιοχών που έχουν σε αφθονία φυσικές πηγές ενέργειας όπως το νερό, ο ήλιος και ο άνεμος.

Παράλληλα, για πολλές χώρες, θα μπορούσαν να αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ορυκτά καύσιμα, αποτελώντας ουσιαστικά την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου και τον απεγκλωβισμό τους από την κλιμάκωση των τιμών του πετρελαίου.

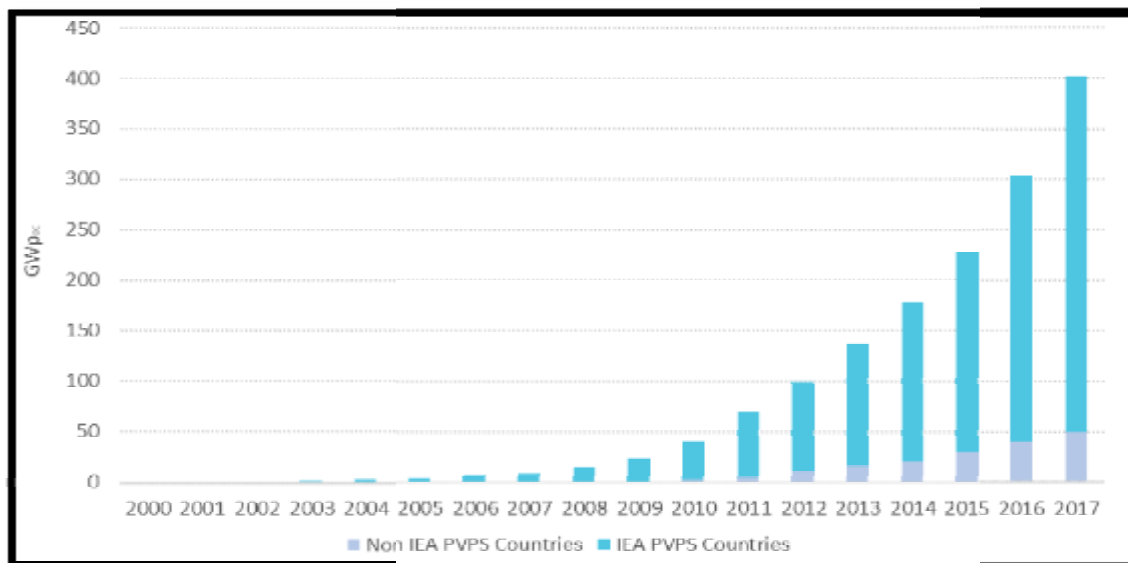
Σε κάθε περίπτωση οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας μελετώνται ως η σημαντικότερη λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων καθώς και της αντιμετώπισης της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούν νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Διάγραμμα 2.1: Εξέλιξη εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών

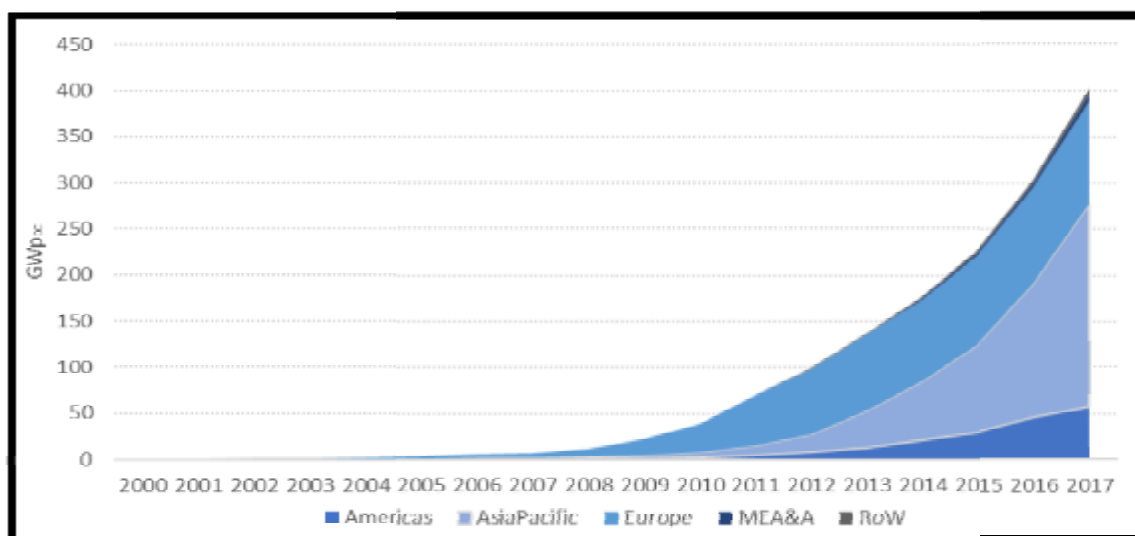
Πηγή: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf)

Σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχει ραγδαία αύξηση εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια. Ως συνέπεια της αύξησης των εγκαταστάσεων υπάρχει και ανάλογα ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας συνολικής εγκατεστημένης ισχύς των φωτοβολταϊκών.



Διάγραμμα 2.2: Εξέλιξη συνολικής εγκατεστημένης ισχύς φωτοβολταϊκών

Πηγή: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS -  
A Snapshot of Global PV - 1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf)

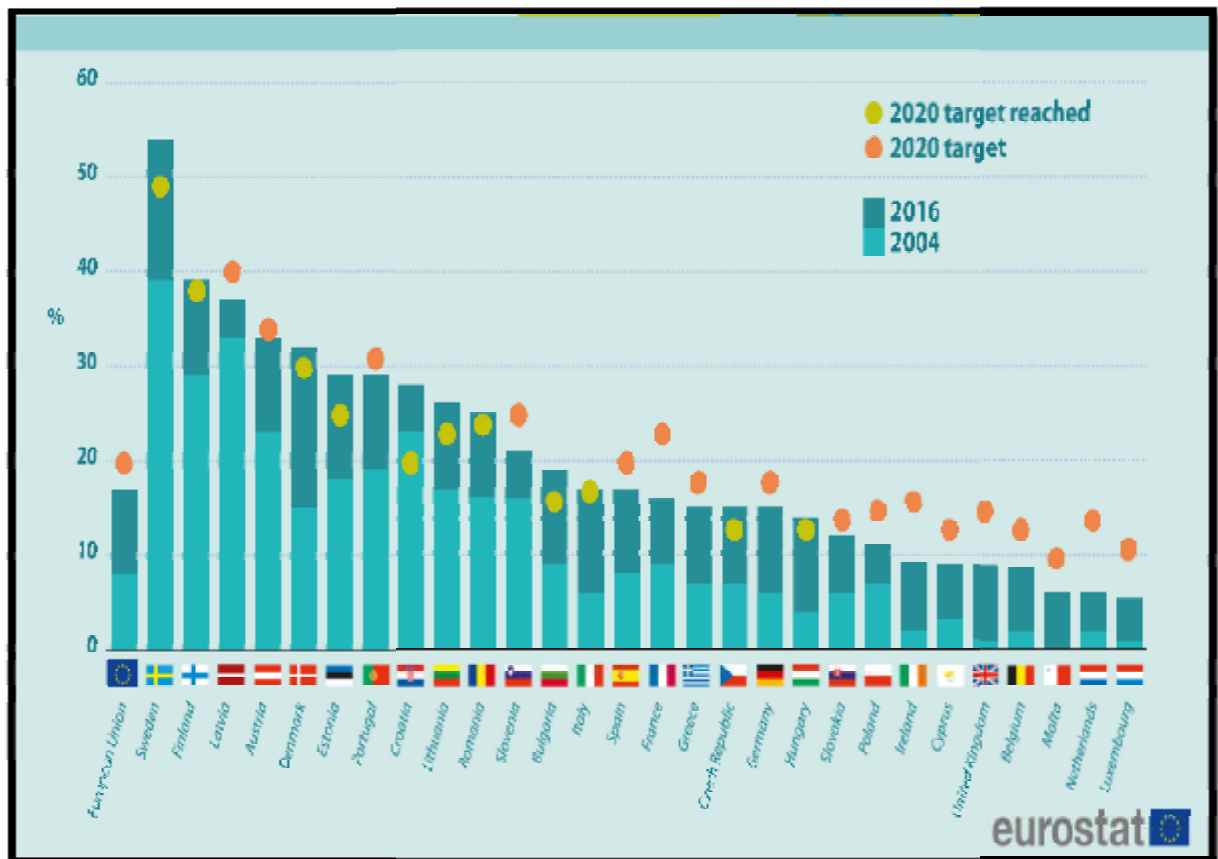


Διάγραμμα 2.3: Εξέλιξη συνολικής εγκατεστημένης ισχύς φωτοβολταϊκών ανά περιοχή

Πηγή: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS -  
A Snapshot of Global PV - 1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf)



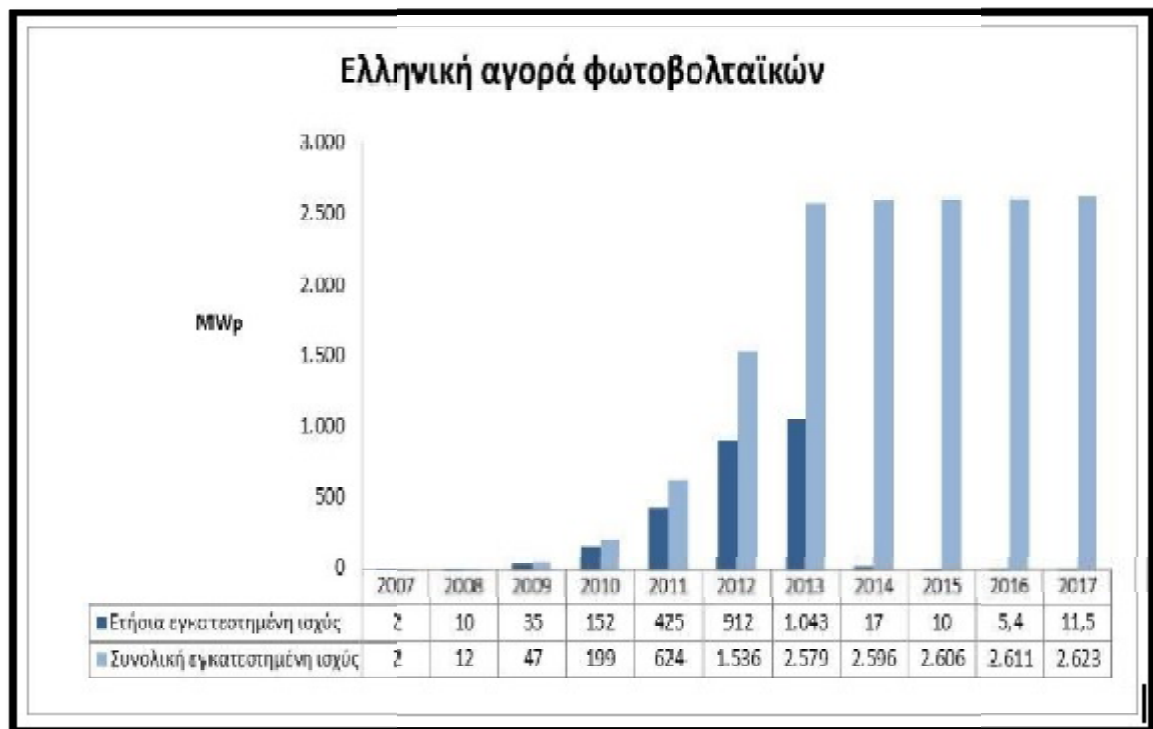
Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat, το 2016 το μεγαλύτερο μερίδιο σε ανανεώσιμες μορφές ενέργειας εντός των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης καταγράφηκε στη Σουηδία με 53,8%, στη Φινλανδία με 38,7%, στη Λετονία με 37,2% και στη Δανία με 32,2%. Αντίθετα, τα χαμηλότερα ποσοστά τα παρουσίαζαν το Λουξεμβούργο με 5,4%, η Μάλτα και η Ολλανδία (6% και στις δύο χώρες). [11]



Διάγραμμα 2.4: Μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, 2004 και 2016 (ως % της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας)

Πηγή: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics/el](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/el)

Στην Ελλάδα, η ετήσια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών είναι πολύ μικρή έως ελάχιστη τα τελευταία χρόνια. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ της χώρας παρουσιάζει πολύ μικρή αύξηση σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία από το ΛΑΓΗΕ από το 2007 έως και το 2017.



Διάγραμμα 2.5: Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών, ετήσια εγκατεστημένη ισχύς τους και συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους την δεκαετία 2007 έως 2017

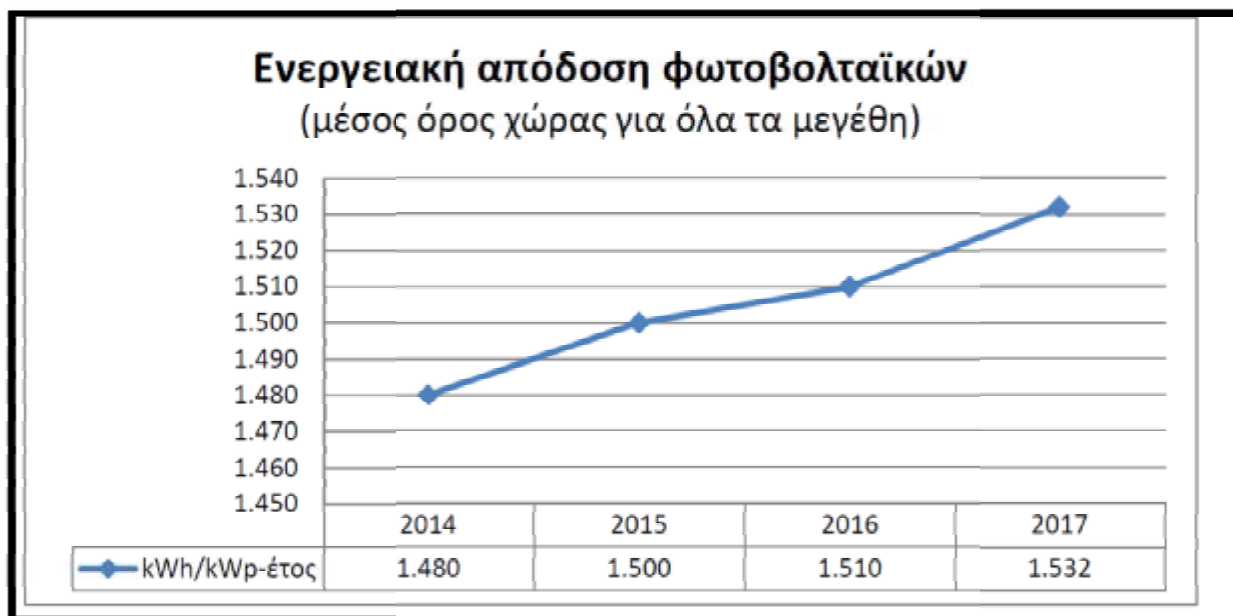
Πηγή: [http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats\\_greece\\_2017\\_11July2018.pdf](http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats_greece_2017_11July2018.pdf)

Η μέση ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, όπως παρατηρούμε, παραμένει σχεδόν σταθερή τα τελευταία χρόνια παρουσιάζοντας μια πολύ μικρή αύξηση της τάξεως του 1,17% ως μέση ετήσια αύξηση ενεργειακής απόδοσης.[10]

| Μέση ενεργειακή απόδοση φωτοβολταϊκών (MWh/MWp-έτος) |                           |                               |                           |                               |
|--|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|  | Πάρκα                     |                               | Οικιακά                   |                               |
|  | Ηπειρωτική χώρα (Σύστημα) | Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) | Ηπειρωτική χώρα (Σύστημα) | Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) |
| 2014   | 1.485                     | 1.725                         | 1.345                     | 1.525                         |
| 2015   | 1.515                     | 1.725                         | 1.305                     | 1.495                         |
| 2016   | 1.517                     | 1.787                         | 1.355                     | 1.541                         |
| 2017   | 1.549                     | 1.742                         | 1.355                     | 1.519                         |
| <b>Μέσος όρος</b>                                    | <b>1.517</b>              | <b>1.745</b>                  | <b>1.340</b>              | <b>1.520</b>                  |

Διάγραμμα 2.6: Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών, μέση ενεργειακή απόδοση

Πηγή: [http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats\\_greece\\_2017\\_11July2018.pdf](http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats_greece_2017_11July2018.pdf)



Διάγραμμα 2.7: Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών, ενεργειακή απόδοση

Πηγή: [http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats\\_greece\\_2017\\_11July2018.pdf](http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats_greece_2017_11July2018.pdf)

## 2.3 Ηλιακή ενέργεια

Μία από τις ανανεώσιμες πηγές είναι η ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική μέσω των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η αφθονία της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και η δυνατότητα εγκατάστασης σχεδόν σε οποιαδήποτε επιφάνεια και περιοχή, όπως και η μηδαμινή περιβαλλοντική επιβάρυνση καθιστούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ως μια από τις ιδανικότερες λύσεις.

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Η πρώτη ύλη («καύσιμο») είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας καθώς δεν ελέγχεται από κανέναν. Επιπρόσθετα, αντιπροσωπεύει μία καθαρή μορφή ενέργειας εν συγκρίσει με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας ευθύνονται για την ύπαρξη και την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου.[3]

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για την διατήρηση της ζωής στη Γη και αποτελεί τη βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο. Η ηλιακή ενέργεια είναι απαραίτητη ακόμα και για την ανάπτυξη των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα ή, υπό κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσουν στη δημιουργία πετρελαίου μετά το πέρας εκατομμυρίων χρόνων.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι τεράστιο. Για παράδειγμα, όλη η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στα παγκόσμια κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από μόλις 20 ημέρες ηλιοφάνειας.

Η ενέργεια του ήλιου είναι περίπου 1,3 kW/τ.μ. και περίπου το ένα τρίτο αυτής της ενέργειας ανακλάται πίσω στο διάστημα και μία ποσότητα της απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Κατά μέσο όρο, λαμβάνοντας υπόψη όλη την επιφάνεια του πλανήτη, κάθε τ.μ. δέχεται περίπου 4,2 kWh την ημέρα. Τα ποσοστά ενέργειας είναι υψηλότερα σε επιφάνειες όπως έρημοι όπου μπορούν να ξεπεράσουν τις 6 kWh/τ.μ. την ημέρα.[4]

Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά

στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε  $\text{kW/m}^2$ .

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δυο τρόπους. Αρχικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση παραγωγή θερμότητας καθώς και την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια μηχανικής ενέργειας με χρήση ατμοστρόβιλων. Σε μετέπειτα στάδιο, η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, όπου και αναφερόμαστε σε θερμική παραγωγή ηλεκτρισμού από την ηλιακή ενέργεια.[3]

Επιπρόσθετα, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η θερμική αξιοποίηση περιλαμβάνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα κυρίως για θέρμανση νερού ενώ η δεύτερη εφαρμογή αναφέρεται στην χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την οποία και θα ασχοληθούμε στην συγκεκριμένη εργασία.

## Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Στο τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η θεωρία για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στο σημείο αυτό, αναλύονται τα υλικά και οι τεχνολογίες που συναντώνται στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επιπρόσθετα, περιγράφονται τα μειονεκτήματά που παρουσιάζει η χρήση των φωτοβολταϊκών, καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση τους.

Παράλληλα, γίνεται ένας διαχωρισμός σε απομονωμένα ή εκτός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς και τα συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Επί της ουσίας, η παρούσα διπλωματική εργασία με ένα αυτόνομο εκτός δικτύου φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο θα υποστηρίζεται από έναν συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί ένα ανεξάντλητο ενεργειακό πόρο, ειδικά στις χώρες με αυξημένη ηλιοφάνεια, που παρέχει ανεξαρτησία και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο «φωτοβολταϊκό φαινόμενο». Η διαδικασία αυτή μετατροπής δεν εξαρτάται από την θερμότητα, απεναντίας η απόδοση των ηλιακών κυττάρων μειώνεται όταν η θερμοκρασία αυξάνεται.[1]

Το φως του ήλιου απαρτίζεται από μικρά πακέτα ενέργειας, τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Το μήκος κύματός τους καθορίζει το ποσό της ενέργειας που διαθέτουν. Όταν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είτε ανακλώνται είτε το διαπερνούν είτε απορροφώνται από αυτό. Τα φωτόνια που απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι εκείνα που παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια.

Η έκθεση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στην ηλιακή ακτινοβολία, οδηγεί στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική κατά ένα ποσοστό ίσο με 5-17%. Η τεχνολογία είναι αυτή που θα καθορίσει το τελικό ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Με γνώμονα τα παρακάτω δεδομένα ορίζουμε ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο την άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση.[1]

Η τρέχουσα τεχνολογία στα φωτοβολταϊκά στοιχεία διαθέτει υψηλή αξιοπιστία λειτουργίας και μεγάλη διάρκεια ζωής αλλά το κυριότερο μειονέκτημα τους και ο κυριότερος στόχος βελτίωσης τους είναι η απόδοση τους καθώς και η μείωση του κόστους τους.

Το φωτοβολταϊκό ουσιαστικά είναι ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, στο οποίο όταν προσπίπτει φως παρουσιάζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που κυριαρχούν, είναι αυτά που στηρίζονται σε δύο ημιαγωγικά στρώματα σε επαφή. Τα δύο στρώματα είναι κατασκευασμένα από το ίδιο κύριο υλικό και το ένα στρώμα είναι ημιαγωγός τύπου n, ενώ το άλλο τύπου p.[2]

Σκοπός λοιπόν της εξέλιξης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η δημιουργία πλαισίων με υψηλότερο κατά το δυνατό βαθμό απόδοσης και χαμηλότερο κόστος κατασκευής και εγκατάστασης. Οι τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών που συναντώνται ποικίλουν ως προς το βασικό υλικό κατασκευής, την ικανότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας καθώς και το κόστος τους.

Το υλικό που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο αποτελεί επι της ουσίας την πρώτη ύλη για το μεγαλύτερο ποσοστό της αγοράς των φωτοβολταϊκών, καθώς είναι το υλικό που χρησιμοποιείται στη κατασκευή ημιαγωγών για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους.[2]

Ένα βασικό μειονέκτημα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του (ηλιακή ακτινοβολία) δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απότομες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις κατά της διάρκεια του έτους ή ακόμα και της ημέρας.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος

από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον, ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Ως συνέπεια των παραπάνω, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια είναι συνήθως αρκετά μικρό και για αυτό ο βαθμός απόδοσης τους δεν θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικός.

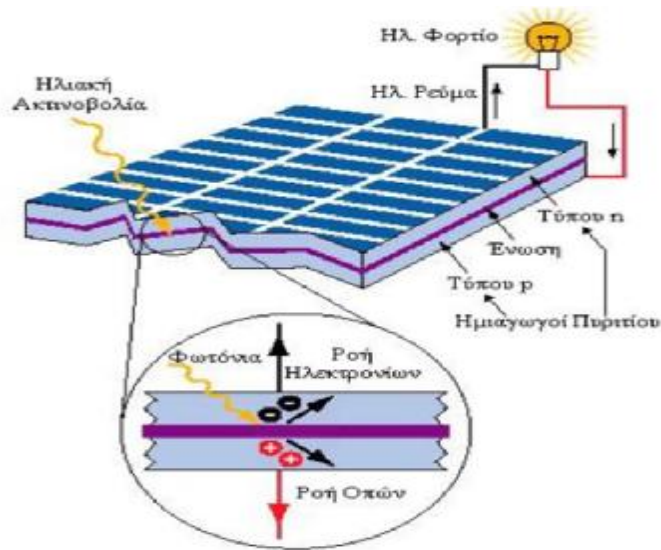
## 3.2 Λειτουργία Φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι μια τεχνολογία που δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια που μετριέται σε Watt και δημιουργείται από τα φωτόνια. Φυσικά οι ηλιακοί συλλέκτες δεν χρειάζονται επαναφόρτιση όπως οι μπαταρίες και κάποιοι απ' αυτούς βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία για χρόνια.

Τα κύρια συστατικά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ή φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι κρυσταλλοδιόδοι οι οποίοι αποτελούνται από ημιαγωγούς. Πρόκειται για υλικά κατασκευασμένα από ημιαγώγιμα υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα της φωτοαγωγιμότητας, να απορροφούν δηλαδή φωτόνια και να μεταδίδουν την ενέργεια τους αυτή σε χωριστά ηλεκτρόνια.[2]

Ουσιαστικά, εκδηλώνουν μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την ένταση ακτινοβολίας που δέχονται, ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει μέχρι 0.5-1.0 Volt και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20 - 40mA ανά cm<sup>2</sup> της επιφανείας του.[5]



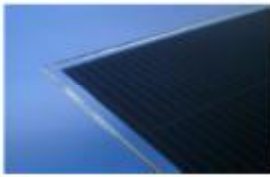




Εικόνα 3.1. Λειτουργία φωτοβολταϊκών κυττάρων στηριζόμενη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το είδος του ημιαγωγού που επιλέγεται ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθορίζεται με κυριότερο κριτήριο όπως θα δούμε και στη συνέχεια, την τιμή του ενεργειακού διακένου του, η οποία καθορίζει και την απόδοση του στοιχείου. Ως συντελεστής απόδοσης ή απλούστερα ως απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του. [5]

Οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου 25% και μπορούν να πραγματοποιηθούν με φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1.5eV.[5]

Τα διάφορα είδη φωτοβολταϊκών χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες ουσιαστικά σε φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου και φωτοβολταϊκά λεπτών ταινιών τα οποία και αναλύονται παρακάτω.

| Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών |   |  |   |
|---|---|--|---|
| ΤΥΠΟΣ   | 'Λεπού υμενίου'<br>ή 'Thin Film'  | Πολυκρυσταλλικά  | Μονοκρυσταλλικά   |
| Εμφάνιση                                      |  |  |  |
| Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας                 | a-Si: 4,5-6,5%<br>μ-Si: 8-9%<br>CIS-CIGS: 6-12%<br>CdTe: 6-11%                    | 11-16%   | 11-19%  |
| Επιφάνεια ανά kWp                             | 9-25 m <sup>2</sup>   | 7-9 m <sup>2</sup>   | 5,5-9 m <sup>2</sup>  |

Εικόνα 3.2: Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

Πηγή: [https://helapco.gr/pdf/PV\\_Guide\\_Aug\\_2013.pdf](https://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf)

### 3.2.1 Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου

#### 3.2.1.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είναι ένα υλικό με εύρος ζώνης 1,12 eV. Τα κύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου, έχουν πάχος γύρω στα 0,3 mm και η απόδοσή τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% για το πλαίσιο.

Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης-επιφάνειας ή αλλιώς ενεργειακής πυκνότητας. Βασικό μειονέκτημα τους όμως είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά.[5]



Εικόνα 3.3: Παράδειγμα Φωτοβολταϊκού πλαισίου Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

### 3.2.1.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια Πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά, παρατηρούνται οι επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές, δηλαδή το μέγεθος των κρυσταλλικών κόκκων. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κύτταρα. Στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως 15% για τα φωτοβολταϊκά πάνελ. [5]



Εικόνα 3.4: Παράδειγμα Φωτοβολταϊκού πλαισίου Πολυκρυσταλλικού πυριτίου

## 3.2.2. Φωτοβολταϊκά λεπτών ταινιών

### 3.2.2.1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια Άμορφου πυριτίου

Το άμορφο πυρίτιο, έχει εύρος ζώνης που κυμαίνεται μεταξύ 1,7-1,8 eV. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

Ουσιαστικά, πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναποθέτηση ημιαγωγού υλικού, πυρίτιο, πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται, η τιμή τους είναι συνήθως αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό, προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά αυτού του τύπου, κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6% έως 8%. [5]

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το άμορφο πυρίτιο είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία, για παράδειγμα σε περιπτώσεις συννεφιάς.

Το μειονέκτημα των πλαισίων άμορφου πυριτίου, είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειάζεται σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το πάχος του πυριτίου είναι 0,0001 mm, ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm. [5]



Εικόνα 3.5: Παράδειγμα Φωτοβολταϊκού πλαισίου Άμορφου πυριτίου

### 3.2.2.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια Δισεληνοϊνδούχου χαλκού ( $\text{CuInSe}_2$ ή CIS και με προσθήκη γαλλίου CIGS)

Ο δισεληνοϊνδούχος χαλκός έχει κατά προσέγγιση ενεργειακό διάκενο 1 eV. Έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρ' όλα αυτά, η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% για το πλαίσιο. Με την πρόσμιξη γαλλίου (CIGS), η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους, είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση.



Εικόνα 3.6: Παράδειγμα Φωτοβολταϊκού πλαισίου Δισεληνοϊνδούχου χαλκού

### 3.2.2.3 Φωτοβολταϊκά πλαίσια Τελουριούχου Καδμίου (CdTe)

Το τελουριούχο κάδμιο, έχει ενεργειακό διάκενο στο 1,44 eV, και έχει τη δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Παρά την δυνατότητα αυτής της απορρόφησης, οι τεχνικές που το χρησιμοποιούν επιτυγχάνουν σημαντικά χαμηλές αποδόσεις πλαισίου που είναι γύρω στο 6-8%. [1]



Εικόνα 3.7: Παράδειγμα Φωτοβολταϊκού πλαισίου Τελουριούχου Καδμίου

### 3.2.2.4 Φωτοβολταϊκά πλαίσια Αρσενιούχου Γαλλίου (GaAs)

Το αρσενιούχο γάλλιο, είναι ένα κράμα μετάλλων που περιέχει εκτός από γάλλιο, μέταλλα όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Το αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,42 eV και είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοσή του στη μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν τη χρήση τους σε εφαρμογές συγκεντρωτικών συστημάτων. [1]

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν τις υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και γι' αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος και η σπανιότητα το αρσενιούχου γαλλίου.



Εικόνα 3.8: Παράδειγμα Φωτοβολταϊκού πλαισίου Αρσενιούχου Γαλλίου

### 3.2.2.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ετεροεπαφής

Τα πιο γνωστά εμπορικά φωτοβολταϊκά στοιχεία ετεροεπαφής, αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου, ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μία στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειάζεται μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. [1]

Μεγάλα πλεονεκτήματα για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ετεροεπαφής είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στη διάχυτη ακτινοβολία.

Παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει το φωτοβολταϊκό στοιχείο ετεροεπαφής, κυριότερο και σημαντικότερο μειονέκτημα του είναι ότι το κόστος του είναι σαφώς υψηλότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

### 3.2.2.6 Φωτοβολταϊκά πλαίσια εύκαμπτης βάσης

Βασίζεται σε υλικό που αντίθετα με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κύτταρα, δεν επικάθεται σε άκαμπτη βάση πυριτίου αλλά είναι φτιαγμένο από χιλιάδες σφαιρίδια πυριτίου, εγκλωβισμένα ανάμεσα σε δύο φύλλα αλουμινίου. Τα σφαιρίδια αυτά, κατασκευάζονται κυρίως από υπολείμματα πυριτίου που προκύπτουν από τη βιομηχανία των ηλεκτρονικών υπολογιστών. [5]

Κάθε σφαιρίδιο, λειτουργεί ως ανεξάρτητο μικροσκοπικό φωτοβολταϊκό κύτταρο, απορροφώντας την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε ηλεκτρισμό. Τα φύλλα αλουμινίου εξασφαλίζουν στο υλικό τη φυσική αντοχή που χρειάζεται, του επιτρέπουν να είναι εύκαμπτο αλλά και ελαφρύ, ενώ ταυτόχρονα παίζουν το ρόλο ηλεκτρικής επαφής. Η γεμάτη φυσαλίδες επιφάνεια που δημιουργούν τα σφαιρίδια επιτρέπει πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακού φωτός, χαρίζοντας στο υλικό αποδοτικότητα της τάξης του 11%.

## 3.3 Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Ένα βασικό μειονέκτημα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι η τροφοδοσία του, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία, δεν είναι σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απότομες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. [5]

Επιπρόσθετα, στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους, παρά μόνο ενός ποσοστού αυτής. Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον,



ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Ως μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορούν να χαρακτηριστούν και το υψηλό κόστος επένδυσης, ειδικά σε σχέση με το σχετικά μικρό βαθμό απόδοσής τους. Παράλληλα, μειονέκτημα μπορεί να χαρακτηριστεί και η ανάγκη για μεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης τους.

### 3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες πέρα από το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση κατασκευής τους. Οι δύο κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια από ένα ηλιακό κελί είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει σχεδόν ανάλογη επίδραση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες κελιού.

Η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού κελιού. Πιο συγκεκριμένα, με μείωση της θερμοκρασίας, αυξάνεται σημαντικά η τάση ανοιχτού κυκλώματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά. Συνολικά, η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

Παράλληλα, στους άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι και η ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου καθώς σχετίζονται άμεσα με τη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες

ανέμου οδηγούν και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως και οι βόρειοι άνεμοι συνεπάγονται χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Όμοια, η ρύπανση επηρεάζει την απόδοση λόγω της επικάλυψης διαφόρων σωματιδίων σκόνης και άλλων ρύπων στις επιφάνειες των πάνελ. Για τον συγκεκριμένο λόγο είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει περιοδικός καθαρισμός των πλαισίων για την καλύτερη απόδοση τους.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των πλαισίων είναι η σκίαση που μπορεί να δημιουργείται από την παρουσία φυσικών εμποδίων, όπως π.χ. δένδρα ή σύννεφα. Οι επιπτώσεις της σκίασης στην απόδοση των πλαισίων μπορεί να είναι σημαντικές και είναι αναγκαία η μελέτη και ο προσδιορισμός και υπολογισμός των απωλειών που είναι πιθανό να υπάρξει κατά τη διάρκεια του έτους.

Η φθορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων ενός συστήματος οδηγεί σε πτώση της ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παραχθεί υπολογίζεται σε περίπου 1% ετησίως. Επομένως η «γήρανση» του συστήματος αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει σε βάθος χρόνου την επίδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

### 3.5 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος εφαρμογών στην χρήση τους ανάλογα με την απαίτηση ισχύος. Το εύρος εφαρμογής τους στην καθημερινότητα συμπεριλαμβάνουν την κάλυψη ηλεκτρικής ισχύος καταναλωτικών προϊόντων χαμηλής ισχύος όπως φορτιστές μπαταριών, αριθμομηχανές μέχρι και συστήματα μεγάλης ισχύος όπως της τροφοδοσίας απομακρυσμένων κτιριακών συγκροτημάτων ή ακόμη και ολοκλήρων νησιών.

Στις περιπτώσεις των εγκαταστάσεων μεγάλης ισχύος συστημάτων αυτά μπορούν να είναι αυτόνομα ή να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και να συνεισφέρουν ενέργεια στο δίκτυο ή και να τροφοδοτούνται από αυτό σε ώρες αιχμής.

Βάσει του προαναφερθέντος διαχωρισμού, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα ήταν δυνατό να διακριθούν δύο βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής:

1. Απομονωμένα ή εκτός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα
2. Συστήματα συνδεδεμένα σε δίκτυο

Τα απομονωμένα συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα σε δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου η μεταφορά ενέργειας και σύνδεση με το δίκτυο είναι αδύνατη ή μη επιθυμητή.[9]

### 3.5.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ως αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χαρακτηρίζονται συστήματα όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά και μόνο με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στις περιπτώσεις αυτές, η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιθανό να προσφέρεται άμεσα στον τελικό καταναλωτή ή και με εγκατάσταση και χρήση συσσωρευτών στην συνδεσμολογία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχει διάκριση των αυτόνομων συστημάτων ως εξής:

α) Άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου , όπου στα συγκεκριμένα συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στο φορτίο και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες δεν απαιτείται τακτική λειτουργία του συστήματος καθώς και σε φορτία συνεχούς ρεύματος. [9]

β) Με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, τα συστήματα περιλαμβάνουν συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Συστήματα με συσσωρευτές σχεδιάζονται σύμφωνα με τις επιθυμητές μέρες αυτονομίας πράγμα το οποίο καθορίζει το μέγεθος των συσσωρευτών. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα στις περισσότερες περιπτώσεις χρειάζεται να αποθηκεύουν μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Ένα μέρος της

ενέργειας που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι ανάγκη να αποθηκευτεί, ώστε να χρησιμοποιηθεί σε χρονικές στιγμές που δεν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία ή κατά τη διάρκεια συνεχών ημερών με νεφελώδη ουρανό.[9]

Μια εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος αποτελείται κατά κύριο λόγο από τα εξής βασικά :

- Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες
- Αντιστροφείς
- Μετατροπείς τάσης
- Ελεγκτές φόρτισης μπαταριών
- Μπαταρίες - Συσσωρευτές

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποθήκευσή και η μεταφορά της. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (όπως και οι περισσότερες πηγές) δε δίνουν τάση στην επιθυμητή μορφή και τις περισσότερες φορές είναι ασταθής. Εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια μετατραπεί μέσα από διάφορες διαδικασίες και κυκλώματα που διαμορφώνουν την τάση στην επιθυμητή μορφή, στη συνέχεια αποθηκεύεται με διάφορους τρόπους και με κάποιες αποδεκτές απώλειες σε συγκεκριμένα στοιχεία. Για τον συγκεκριμένο λόγο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται συσσωρευτές ενέργειας ή όπως αποκαλούνται στην καθημερινότητά μας, μπαταρίες.

Οι συσσωρευτές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς έρχονται να δώσουν τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της. Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Η χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια συσσωρευτών φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Στα διασυνδεδεμένα συστήματα δεν υπάρχει λόγος χρησιμοποίησης συσσωρευτών, εκτός και αν το διασυνδεδεμένο σύστημα τροφοδοτεί άμεσα κάποια φορτία και τα οποία θεωρούνται ότι δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να μείνουν εκτός λειτουργίας σε μια ενδεχόμενη βλάβη του δικτύου.

Τα πλεονεκτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με συσσωρευτές είναι η δυνατότητα να παρέχουν ενέργεια σε περιόδους που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η δυνατότητα να καλύπτουν στιγμιαίες αιχμές ζήτησης φορτίου, η ύπαρξη σταθερής τάσης στο σύστημα, η ικανότητα αποθήκευσης της επί πλέον της ενεργειακής ζήτησης ενέργειας ώστε να μειώνονται οι απώλειες.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και κυρίως από το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχόμενων ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και τον βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών.

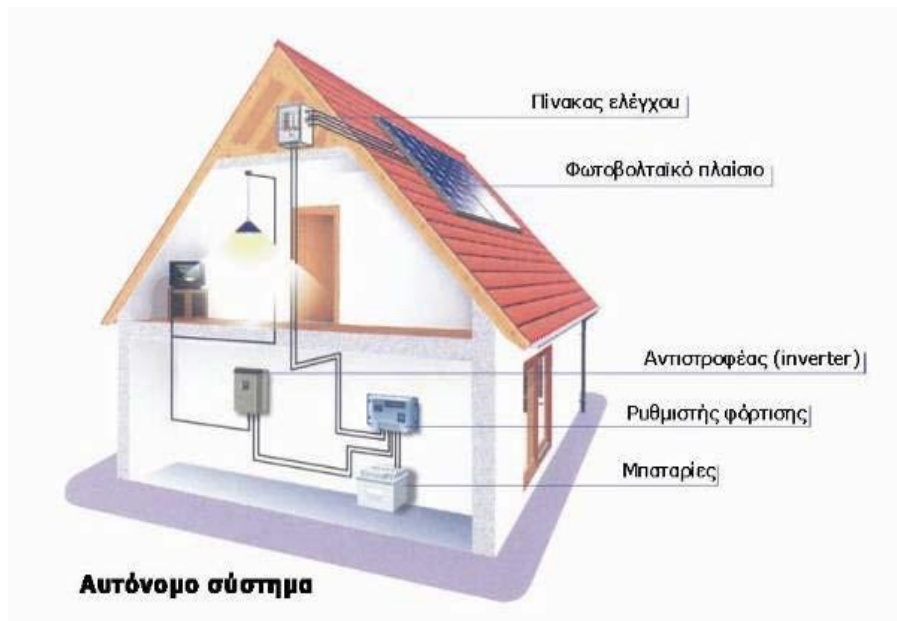
Από την άλλη μεριά, η αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος, το αυξημένο κόστος, ο αυξημένος χρόνος και το κόστος συντήρησης και πολλές φορές η μειωμένη αξιοπιστία μπορούν να καταγραφούν στα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος.

Οι συσσωρευτές έχουν το μειονέκτημα του υψηλού κόστους, αφού θα πρέπει να έχουν αρκετά μεγάλη χωρητικότητα για να καλύψουν τις ανάγκες μας. Επιπλέον θα έχουμε περιορισμούς πάντα εξαιτίας της περιορισμένης τους χωρητικότητας. Ένα άλλο θέμα είναι η διάρκεια ζωής τους που είναι περιορισμένη και εξαρτάται από:

**1.**Τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τόσο μειώνεται η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.

**2.** Το βάθος εκφόρτισης. Η εκφόρτιση των συσσωρευτών πέρα από την επιτρεπόμενη από τον κατασκευαστή τιμή τους, μειώνει δραστικά τη διάρκεια ζωής και τη χωρητικότητα.

3. Το ποσοστό υπερφόρτισης. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχει η φόρτιση του συσσωρευτή πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης ένα αρχικό ρεύμα μεγάλης τιμής μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες. Το ίδιο συμβαίνει και με μια πιθανή υπέρταση.[9]



Εικόνα 3.9. Παράδειγμα Αυτόνομου Συστήματος με συσσωρευτή

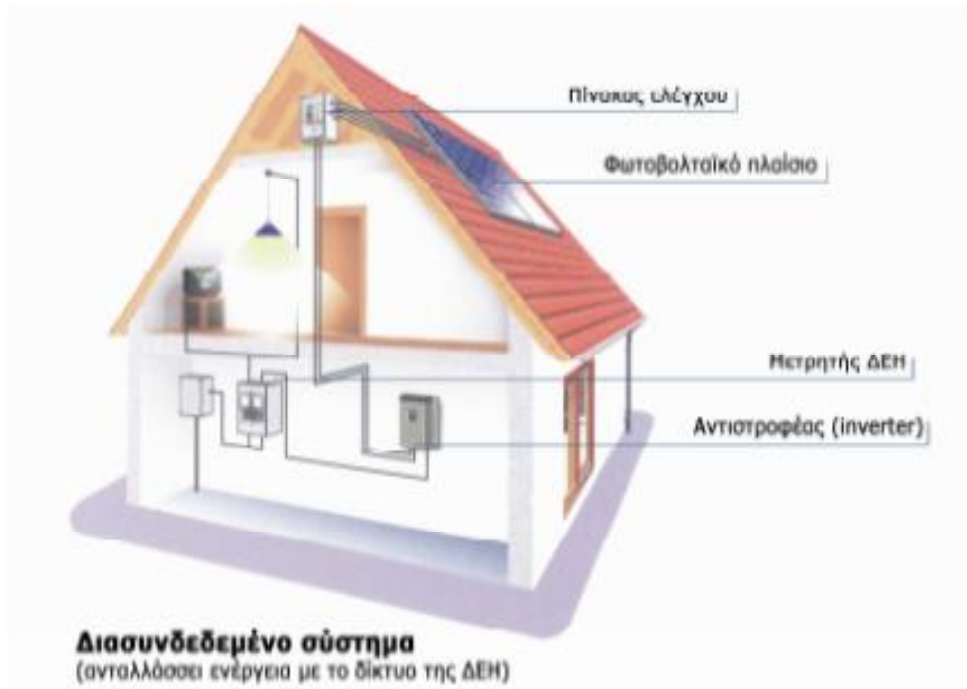
Πηγή: [https://helapco.gr/pdf/PV\\_Guide\\_Aug\\_2013.pdf](https://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf)

### 3.5.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ισχύος των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συνδεδεμένα σε κάποιο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής αντλώντας από αυτό την ηλεκτρική ισχύ την οποία δε μπορούν να καλύψουν καθιστώντας μη απαραίτητη την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης τους με το δίκτυο:

α) φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας. Στην συγκεκριμένη κατηγορία, το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει τις μέσες μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις περιπτώσεις έκτακτης ενεργειακής ζήτησης ή αστοχίας του φωτοβολταϊκού συστήματος το δίκτυο καλύπτει τη ζήτηση ισχύος και δεν υπάρχει διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.[9]

β) φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία λειτουργούν με συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο. Εδώ, το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην ιδανική περίπτωση, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση ή μεγαλύτερη με την ενέργεια του δικτύου προς την εφαρμογή. Αν είναι μεγαλύτερη, το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί ακόμα και να παρέχει μέρος της παραγωγής του στο δίκτυο. Χαρακτηριστική εφαρμογή αποτελεί η ενσωμάτωση συστημάτων σε κατοικίες και κτίρια. Σε αρκετές τέτοιες περιπτώσεις η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται (πωλείται) προς το δίκτυο. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.[9]



Εικόνα 3.10. Παράδειγμα Διασυνδεδεμένου Συστήματος με δίκτυο

Πηγή: [https://helapco.gr/pdf/PV\\_Guide\\_Aug\\_2013.pdf](https://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf)



## 3.6 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Κυττάρων

Η πρώτη ενότητα του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου παρουσιάζει όλα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Περιγράφονται το ισοδύναμο κύκλωμα λειτουργίας, τον συντελεστή απόδοσης, τον συντελεστή πλήρωσης των πλαισίων, και τις συνθήκες λειτουργίας μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

### 3.6.1 Γένεση φωτορεύματος

Όταν προσπίπτει σε ηλιακό κύτταρο ηλιακή ακτινοβολία παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο καλείται φωτόρευμα  $I_{ph}$ . Η πυκνότητα του φωτορεύματος δίνεται από την παρακάτω σχέση [12]:

$$I_{ph} = q * g (L_n + L_p) \quad (3.1)$$

όπου  $q$  το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,  $g$  ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας και  $L_n$ ,  $L_p$  τα μέσα μήκη διάχυσης των ηλεκτρονίων και των οπών αντίστοιχα. Ως φασματική απόκριση  $SR$  ορίζεται ο λόγος του ρεύματος βραχυκυκλώσεως προς την προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ, σε συνάρτηση του μήκους κύματος [12]:

$$SR(\lambda) = I_{ph}(\lambda) / P(\lambda) \quad (3.2)$$

Η προσπίπτουσα ηλιακή ισχύς, εκφράζεται σαν συνάρτηση της ενέργειας και του αριθμού των προσπιπτόντων φωτονίων [12]:

$$P(\lambda) = q * E_{ph} * N(\lambda) \quad (3.3)$$

όπου  $E_{ph}$  φωτονική ροή.

Εάν  $N_\lambda$  είναι η ροή των φωτονίων σε ένα δεδομένο ηλιακό φάσμα, μπορούμε να υπολογίσουμε, την συνεισφορά στο παραγόμενο ρεύμα από το φωτοκύτταρο [12]:

$$I_{ph}(\lambda) = SR(\lambda) * P(\lambda) \quad (3.4)$$

Το συνολικό φωτόρευμα υπολογίζεται [12]:

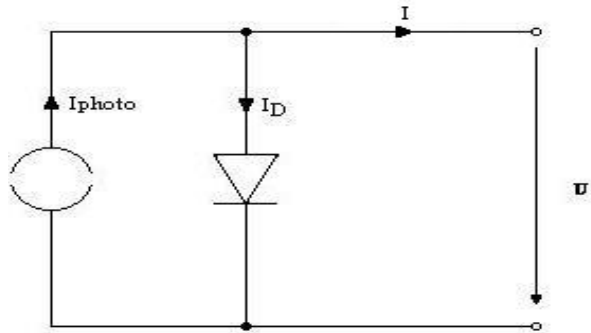
$$I_{ph}(\lambda) = \int_0^{\lambda} SR(\lambda) * P_{AM1}(\lambda) d\lambda \quad (3.5)$$

$$I_{ph}(\lambda) = q * \int_0^{\lambda} N(\lambda) * [1 - R(\lambda)] QE_{int}(\lambda) d\lambda \quad (3.6)$$

, όπου  $QE_{int}(\lambda)$  η κβαντική απόδοση.

### 3.6.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ιδανικού φωτοβολταϊκού κυττάρου

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το ηλεκτρικό ισοδύναμο του φωτοβολταϊκού στοιχείου το οποίο αποτελείται από μία πηγή ρεύματος, και μία ελεγχόμενη δίοδο [12].



Εικόνα 3.11: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ιδανικού φωτοβολταϊκού κυττάρου

Σε περίπτωση ανοικτοκυκλώματος προκαλείται αντίθετο ρεύμα από το φωτόρευμα. Η σχέση που ισχύει είναι η παρακάτω [12]:

$$I_{ph} = I_o [\exp(\frac{qV}{gKT}) - 1] \quad (3.7)$$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  θα είναι [12]:

$$V_{oc} = \frac{gKT}{q} * \ln(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1) \quad (3.8)$$

Όταν λειτουργεί το φωτοβολταϊκό στοιχείο η τάση ανοικτού κυκλώματος εκφράζεται λογαριθμικά με την μεταβολή της τάσης ανοικτοκύκλωσης συναρτήσει του φωτορεύματος [12]:

$$V_{oc} = \frac{gKT}{q} * \ln \frac{I_{ph}}{I_o} \quad (3.9)$$

Στην περίπτωση βραχυκυκλώματος, το ρεύμα βραχυκυκλώσεως είναι ίσο με το φωτόρευμα:

Στην περίπτωση όμως που προκύψει κλειστό κύκλωμα μέσω μίας αντίστασης εξωτερικής  $R_L$  το ρεύμα θα μικρύνει και θα δίνεται από την εξίσωση [12]:

$$I_L = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left(\frac{qV}{gKT}\right) - 1 \right] \quad (3.10)$$

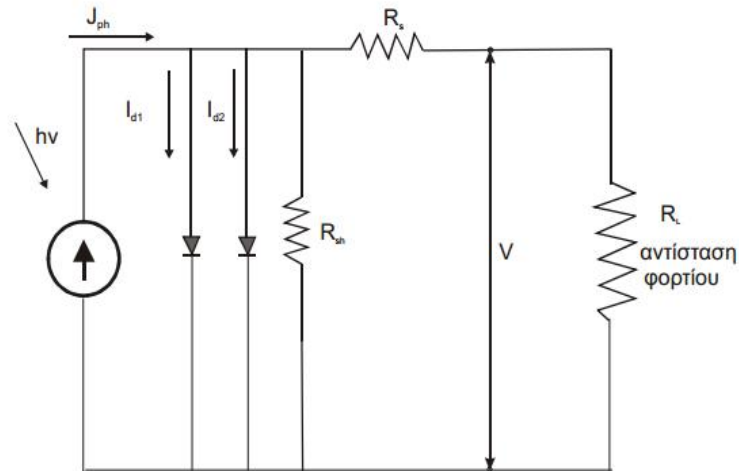
Η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό στοιχείο ισχύς θα είναι μέγιστη. Όταν η τάση  $V_m$  και η εξωτερική αντίσταση πάρουν συγκεκριμένες τιμές [12]:

$$\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 = \left(1 + \frac{eV_m}{gKT}\right) \exp\left(\frac{eV_m}{gKT}\right) \quad (3.11)$$

Το ιδανικό ισοδύναμο κύκλωμα δεν αποτυπώνει τι πραγματικά συμβαίνει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Για το λόγο αυτό θα προσεγγίσουμε το φωτοβολταϊκό στοιχείο με ένα δεύτερο ηλεκτρικό ισοδύναμο.

### 3.6.3 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός πραγματικού φωτοβολταϊκού κυττάρου

Το ηλεκτρικό ισοδύναμο πραγματικού ΦΒ στοιχείου που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα σχήμα αποτελείται από την πηγή ρεύματος, δύο ιδανικές διόδους, μία παράλληλη αντίσταση  $R_{sh}$ , μία σειριακή αντίσταση  $R_s$ , και μία αντίσταση φορτίου  $R_L$ .



Εικόνα 3.12: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα πραγματικού φωτοβολταϊκού κυττάρου

### Παράλληλη αντίσταση $R_{sh}$

Η παράλληλη αντίσταση εκφράζει τις διαρροές ρεύματος διαμέσου της διόδου, που παρουσιάζονται στην ένωση p-n (επανασύνδεση), στις εξωτερικές επιφάνειες της ένωσης (επιφανειακή διαρροή) ή διαρροές που προκαλούν οι κρυσταλλικές ανωμαλίες στο κύτταρο [12].

### Σειριακή αντίσταση $R_s$

Η σειριακή αντίσταση εκφράζει την αντίσταση που συναντούν οι φορείς καθώς κινούνται διαμέσου του ημιαγωγού. Το ρεύμα τώρα θα δίνεται από την εξίσωση [12]:

$$I_L = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left(\frac{q(V_L + R_s I_L)}{AKT}\right) - 1 \right] - \frac{V_L + R_s I_L}{R_{sh}} \quad (3.12)$$

Στην περίπτωση βραχυκυκλώματος το ρεύμα βραχυκυκλώσεως ισούται [12]:

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left(\frac{qR_s I_{sc}}{AKT}\right) - 1 \right] - \frac{R_s I_{sc}}{R_{sh}} \quad (3.13)$$

Στην περίπτωση ανοικτοκυκλώματος η τάση ισούται [12]:

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc} + I_{sc}}{I_o}\right) - 1] \quad (3.14)$$

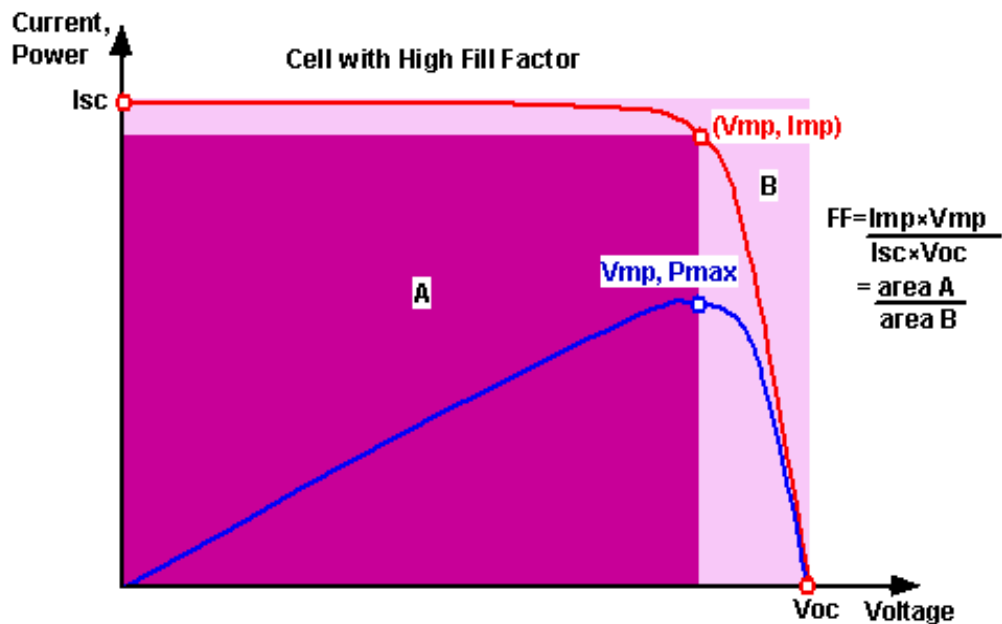
### Χαρακτηριστική I - V

Ακόμη και αν η ακτινοβολία που προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι σταθερή το παραγόμενο ρεύμα συναρτήσει της τάσης μεταβάλλεται [12]. Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης καλείται η σχηματική απεικόνιση του ρεύματος εξόδου ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου συναρτήσει της τάσεως εξόδου. Η χαρακτηριστική ρεύματος – τάσεως (I-V) εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο και από τη θερμοκρασία του κυττάρου.

- Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως  $I_{sc}$   $\hat{a}$  Ρεύμα για τάση  $V=0$
- Τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$   $\hat{a}$  Τάση για ρεύμα  $I=0$
- Σημείο μέγιστης ισχύος  $P_m$   $\hat{a}$  Για να ελεγχθεί αποτελεσματικά η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πρέπει να καθοριστεί το σημείο μέγιστης ισχύος.

### Χαρακτηριστική P - V

Η χαρακτηριστική ισχύος-τάσης είναι αποτέλεσμα της χαρακτηριστικής ρεύματος – τάσεως. Από το σημείο μέγιστης ισχύος μπορεί να κατασκευαστεί το ορθογώνιο με το μεγαλύτερο εμβαδόν μέσα στη χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης [12]. Η ευθεία που ενώνει το σημείο αυτό με την αρχή των αξόνων περιγράφει την καταλληλότερη αντίσταση φορτίου  $R_{opt}$ . Το διάγραμμα P-V, θα επηρεάζεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει τις δύο χαρακτηριστικές που αναλύθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 3.13: Χαρακτηριστική Καμπύλη Ρεύματος-Τάσης (Κόκκινο), Ισχύος-Τάσης (Μπλε) (<http://pveducation.org>)

### Μεταβολή I-V με την ακτινοβολία

Αν παραμείνουν σταθερές η θερμοκρασία κυττάρου και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας, αλλά μεταβληθεί η ένταση της ακτινοβολίας τότε παρατηρείται μεταβολή στη χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης (I-V). Η τάση ανοικτού κυκλώματος δεν επηρεάζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό από αυτήν την μεταβολή.

### Μεταβολή I-V με την θερμοκρασία

Με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του κυττάρου παρατηρούνται τα ακόλουθα φαινόμενα [12]:

- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται ελαφρώς.
- Το ρεύμα της διόδου μεταβάλλεται με πολύ γρήγορο ρυθμό.
- Η τάση ανοικτού κυκλώματος μειώνεται.
- Η ισχύς  $P_m$  μειώνεται, ενώ μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης (το γόνατο της καμπύλης γίνεται πιο στρογγυλεμένο με αύξηση της θερμοκρασίας).

### 3.6.4 Συντελεστής Απόδοσης Φωτοβολταϊκού Κυττάρου

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ορίζεται από το πηλίκο της μέγιστης ισχύος  $P_{\max}$  προς την προσπίπτουσα ισχύ  $P_{in}$  ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του στοιχείου. Ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δίνεται από τον παρακάτω τύπο [13]:

$$h = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{P_{\max}}{G * A} \quad (3.15)$$

Το μέγεθος  $G$  ορίζεται ως η προσπίπτουσα ανά τετραγωνικό μέτρο ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας (πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας -  $W/m^2$ ) και  $A$  το εμβαδό της επιφάνειας του συλλέκτη σε  $m^2$  (μαζί με το μεταλλικό περίβλημα και τα κενά). Ο τύπος που υπολογίζει τον πραγματικό συντελεστή απόδοσης χρησιμοποιεί το πηλίκο της πραγματικής επιφάνειας του συλλέκτη προς την ενεργή επιφάνεια αυτού είναι [13]:

$$h = \frac{I_{sc} * V_{oc} * FF}{G * A} \quad (3.16)$$

Η απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος του ημιαγωγού, την ακτινοβολία  $G$  και την θερμοκρασία. Η σχέση δίνει τον θεωρητικό συντελεστή απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των ημιαγωγών [14]:

$$h_{TH} = \frac{E_g \int_0^c J_o(l) dl}{\int_0^{\infty} J_o(l) h\nu dl} \quad (3.17)$$

όπου  $J_o(\lambda)$  η επιφανειακή πυκνότητα φωτονίων ανά μονάδα χρόνου και ανά μοναδιαίο διάστημα μήκους κύματος,  $h$  η σταθερά του Planck και  $\nu$  η συχνότητα των φωτονίων. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο θεωρητικός συντελεστής  $h_{TH}$  για μια δεδομένη πηγή φωτός εξαρτάται μόνο από το ενεργειακό διάκενο  $E_g$ .

### 3.6.5 Ανάλυση Βαθμού Απόδοσης Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ορίζεται από το πηλίκο της μέγιστης ισχύος  $P_{\max}$  προς την προσπίπτουσα ισχύ  $P_{in}$  ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του στοιχείου. Ο συντελεστής απόδοσης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο [14]:

$$h = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{P_{\max}}{G \cdot A} = \frac{V_m \cdot I_m}{P_{in}} = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot ff}{P_{in}} \quad (3.18)$$

Όπως παρατηρείται για αύξηση της απόδοσης πρέπει να αυξηθούν τα μεγέθη ρεύματος  $I_{sc}$ , τάσης  $V_{oc}$ , και ο συντελεστής πλήρωσης  $ff$ . Για να βρεθεί όμως ο μέγιστος βαθμός απόδοσης πρέπει να βρεθούν τα άνω όρια των μεγεθών  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$ .

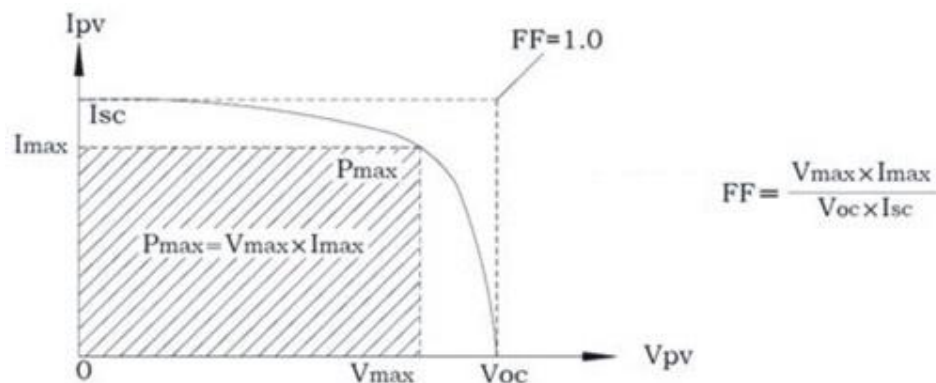
Για το πυρίτιο που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών κυττάρων, το άνω όριο  $V_{oc}$  είναι περίπου 700mV. Η μέγιστη τιμή του  $V_{oc}$  ελαττώνεται, όταν ελαττώνεται το ενεργειακό διάκενο, στοιχείο που είναι αντίθετο από αυτό που ισχύει για το  $I_{sc}$ . Σαν αποτέλεσμα, η βέλτιστη τιμή του ενεργειακού διακένου δίνει το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

### 3.6.6 Συντελεστής Πλήρωσης FF

Ένα σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου είναι ο συντελεστής πλήρωσης FF, ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ισχύος  $P_{\max}$  προς το γινόμενο  $I_{sc} \cdot V_{oc}$  ή διαφορετικά τον λόγο των εμβαδών που ορίζονται ως διαφορετικές περιοχές στο παρακάτω σχήμα [13]:

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{\text{Εμβαδόν A}}{\text{Εμβαδόν B}} \quad (3.19)$$

Η τιμή του καθορίζεται από το υλικό του  $\Phi/B$  στοιχείου καθώς και από τις εξωτερικές συνθήκες (θερμοκρασία, ακτινοβολία) και είναι μικρότερη της μονάδας (Nebo, 2009). Ο συντελεστής πλήρωσης παίρνει τιμές από 0,6 έως 0,9. Για το πυρίτιο ο μέγιστος συντελεστής πλήρωσης  $ff$  είναι 0.84 [13]:



Εικόνα 3.14: Συντελεστής Πλήρωσης Ηλιακού Κυττάρου  
(<http://it.risenenergy.com>)



### 3.6.7 STC – Πρότυπες Συνθήκες

Τα βασικά χαρακτηριστικά του Φ/Β στοιχείου, (συντελεστής απόδοσης, παράγοντας πλήρωσης, ρεύμα βραχυκύκλωσης, και τάση ανοικτού κυκλώματος) ελέγχονται πρώτα σε ένα εργαστηριακό κύτταρο. Η αντόχη και η αποδοτικότητα του κυττάρου του Φ/Β στοιχείου ελέγχεται κάτω από συνθήκες αναφοράς (Standard Test Conditions, STC). Στα ειδικά εργαστήρια ελέγχου και πιστοποίησης των ιδιοτήτων των Φ/Β στοιχείων, τα στοιχεία έχουν τις ακόλουθες τιμές για τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου [15]:

- Ο χώρος ελέγχου βρίσκεται στην προκαθορισμένη θερμοκρασία των 25° C. Η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι ίση με 25° C ± 2° C.
- Το φάσμα εκπομπής έχει πυκνότητα ισχύος 1000 W/m<sup>2</sup>.
- Η πυκνότητα του αέρα είναι AM=1.5.
- Η ακτινοβολία από την τεχνητή πηγή προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του στοιχείου.

Η πυκνότητα του αέρα AM είναι ένας καθαρός αριθμός και ελέγχει κατά πόσο ο διαφορετικός δρόμος που ακολουθεί η ακτινοβολία επηρεάζει το φασματικό περιεχόμενο και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης [15]:

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{S}{H}\right)^2} \quad (3.20)$$

όπου S είναι το μήκος της σκιάς ενός αντικειμένου και H το ύψος του.

Ο ονομαστικός συντελεστής απόδοσης που δίνεται από τον κατασκευαστή:

$$h_n = \frac{P_{\max,STC}(W_p)}{1000(W/m^2) * A(m^2)} \quad (3.21)$$

όπου P<sub>max</sub> ονομάζεται η ισχύς αιχμής.

Πάντοτε υπάρχουν διαφορές στις μετρήσεις μεταξύ των πρότυπων συνθηκών και των πραγματικών αποτελεσμάτων. Για αυτό τον λόγο δεν βασιζόμαστε πλήρως στις πρότυπες συνθήκες για τον υπολογισμό μίας πραγματικής εγκατάστασης.

### 3.6.8 NOCT – Ονομαστική Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης

Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βρίσκονται σε πραγματικές συνθήκες, λειτουργούν συνήθως σε υψηλότερες θερμοκρασίες και σε χαμηλότερα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας από ότι οι πρότυπες συνθήκες. Η ισχύς εξόδου του ηλιακού στοιχείου, προσδιορίζεται από την αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας της φωτοβολταϊκής μονάδας. Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης (NOCT) ορίζεται ως η θερμοκρασία που φθάνουν ανοιχτοκυκλωμένα κύτταρα σε μια φωτοβολταϊκή μονάδα κάτω από τις παρακάτω συνθήκες [16]:

- Ακτινοβολία στην επιφάνεια των κυττάρων = 800 W / m<sup>2</sup>
- Θερμοκρασία αέρα = 20 ° C
- Ταχύτητα ανέμου = 1 m / s
- Προϋποθέσεις τοποθέτησης = Ανοικτή οπίσθια επιφάνεια

Η μέγιστη ονομαστική θερμοκρασία που μπορούν οι κατασκευαστές να δημιουργήσουν είναι 33 ° C, ενώ η χειρότερη 58°C, αντίστοιχα. Η τυπική τιμή για την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης είναι 48°C. Η θερμοκρασία NOCT δίνεται [15]:

$$T_{cell} = T_{air} + \frac{NOCT - 20}{80} * S \quad (3.22)$$

όπου S = ηλιακή ακτινοβολία (mW / cm<sup>2</sup>).

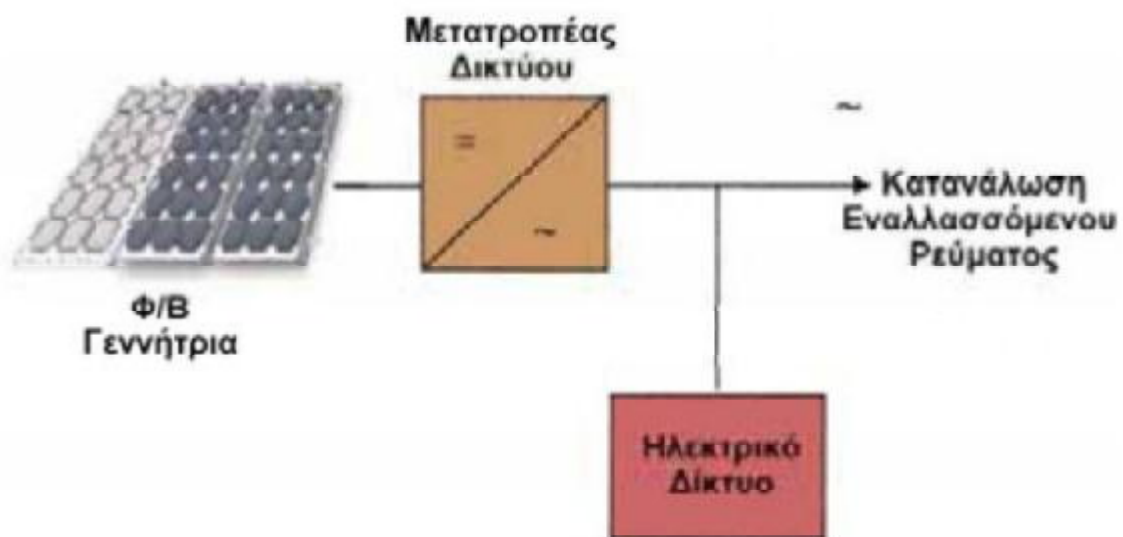
## Κεφάλαιο 4. Μελέτη αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για μια κατοικία στην Πάτρα

Η μελέτη του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια κατοικίας στην Πάτρα παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Η μελέτη και ο προσδιορισμός των απαραίτητων παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της οικίας παρουσιάζονται στον κεφάλαιο αυτό. Επιπρόσθετα, ακολουθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί και ο τρόπος με τον οποίο θα καταμεριστεί η ισχύς ζήτησης. Σε αυτό το σημείο, υπολογίζονται και τα απαραίτητα μεγέθη για τον συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση.

Οι ιδιοκτήτες μιας κατοικίας στην Πάτρα αποφάσισαν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες με τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι οι ηλεκτρικές συσκευές της οικίας θα τροφοδοτούνται από ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που θα εγκατασταθεί στην σκεπή της οικίας. Για την καλύτερη αυτονομία του συστήματος και αντιμετώπιση πιθανής μη επάρκειας σε κάποιες ημέρες του έτους θα χρησιμοποιηθούν και συσσωρευτές. Για την παρούσα μελέτη θα επιχειρηθεί μια διαστασιολόγηση της διάταξης που θα εγκατασταθεί με αναλυτικούς υπολογισμούς των απαραίτητων παραμέτρων.



Εικόνα 4.1. Παράδειγμα Οικίας με φωτοβολταϊκά πλαίσια στην σκεπή



Εικόνα 4.2. Παράδειγμα κυκλώματος σύνδεσης

Ένα συχνό θέμα αποτελεί υπολογισμός της απόδοσης όταν υπάρχει απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες προσανατολισμού και κλίσης. Το φαινόμενο αυτό συναντάται συνήθως σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε κτίρια όπου η επιφάνεια χωροθέτησης είναι δεδομένου προσανατολισμού και κλίσης. Είναι πολύ βασικό να τοποθετούμε τα φωτοβολταϊκά πάνελ με τη σωστή κλίση ως προς το έδαφος και τον ήλιο.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία.

Η κλίση του συλλέκτη είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0 μέχρι 180. Για γωνίες  $\beta > 90^\circ$  το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180 μέχρι +180. Η γωνία -180, που συμπίπτει με την +180, αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90 προς την ανατολή, η γωνία 0 προς το νότο και η γωνία +90 προς τη δύση.

Η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι  $0^\circ$ . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι συγκεκριμένες διατάξεις λόγω και του κόστους τους δεν συνιστώνται σε μικρές εφαρμογές όπως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε οικία.

Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη

(προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή του φωτοβολταϊκού συστήματος κατά δύο τρόπους.

α) επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

β) επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και τον συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Στην μελέτη μας, η στέγη θα καλύπτεται με φωτοβολταϊκά πλαίσια και θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα PV GIS [[re.jrc.ec.europa.eu/pvngis/](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvngis/)] με σκοπό την επιλογή της κατάλληλης κλίσης για να επιτύχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση και την επιλογή των χαρακτηριστικών μηνών που μας ενδιαφέρουν ώστε το σύστημά μας να είναι επαρκές και αυτόνομο κατά την διάρκεια ολοκλήρου του έτους, αντιμετωπίζοντας τις ενεργειακές ανάγκες ακόμα και στους μήνες με τις υψηλότερες απαιτήσεις.

Μετά από διαδοχικές δοκιμές καταλήγουμε στην επιλογή της κλίσης των 50° για τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, διότι παρατηρούμε ότι τους χειμερινούς μήνες, κατά τους οποίους έχουμε την ελάχιστη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά λόγω μικρότερης μέσης ηλιακής ακτινοβολίας, η συγκεκριμένη κλίση δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Επιλέξαμε Νότιο προσανατολισμό, καθώς η Πάτρα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο.

Στον επόμενο πίνακα εμφανίζεται η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (Wh /m<sup>2</sup>/day) και η μέση θερμοκρασία της περιοχής (°C) για κάθε μήνα ενός έτους καθώς και υπολογίζεται η μέση τιμή όλου του έτους.

| ΜΗΝΑΣ                     | ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (kWh /m <sup>2</sup> /day) | ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(C <sup>ο</sup> ) |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ                | 2,41  | 8,8                               |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ               | 2,9   | 9,4                               |
| ΜΑΡΤΙΟΣ                   | 3,89  | 11,2                              |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ                  | 4,82  | 14,3                              |
| ΜΑΙΟΣ                     | 5,15  | 19,3                              |
| ΙΟΥΝΙΟΣ                   | 5,45  | 23,4                              |
| ΙΟΥΛΙΟΣ                   | 5,48  | 25,3                              |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ                 | 5,52  | 25,5                              |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ               | 5,08  | 22,1                              |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ                 | 3,91  | 18,2                              |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ                 | 2,63  | 13,8                              |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ                | 2,02  | 10,3                              |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b> | <b>4,11</b>   | <b>16,8</b>                       |

Πίνακας 4.1: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία και μέση ημερήσια θερμοκρασία ανά μήνα για την περιοχή της Πάτρας

Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρούμε ότι ο μήνας με τη χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία είναι ο Δεκέμβριος, ενώ αυτός με την υψηλότερη είναι ο Αύγουστος. Άρα, είναι σημαντικό να μελετήσουμε αυτούς τους δύο μήνες για την εγκατάσταση μας και ειδικά το Δεκέμβριο για να είναι το φωτοβολταϊκό μας σύστημα επαρκές και αυτόνομο.

Παρατηρούμε ότι η μικρότερη μέση ημερήσια ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της Πάτρας σ' αυτή την κλίση είναι:

$$E_{HA} = 2,02 \text{ kWh/ m}^2/\text{day} \text{ (για το μήνα Δεκέμβριο)}$$

Στη συνέχεια, στην μελέτη μας γίνεται καταγραφή των ηλεκτρικών συσκευών που υπάρχουν εντός της οικίας, της ισχύς τους και του πιθανού χρόνου λειτουργίας τους κατά τη διάρκεια μιας ημέρας τους ειδικά τον μήνα Δεκέμβριο.

Παράλληλα, είναι σημαντικός ο υπολογισμός της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς των συσκευών που λειτουργούν, καθώς και η εκτιμώμενη ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση κάθε συσκευής καθώς και η συνολική εκτιμωμένη ενεργειακή κατανάλωση.

| ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ      | ΙΣΧΥΣ(kW) | ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ | ΕΝΕΡ. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ(kWh) |
|------------------------|-----------|------------------|-----------------------|
| Καυστήρας Πετρελαίου   | 0,25      | 5                | 1,25                  |
| Πλυντήριο Πιάτων       | 1         | 0,8              | 0,8                   |
| Πλυντήριο Ρούχων       | 2         | 0,8              | 1,6                   |
| Απορροφητήρας Κουζίνας | 0,25      | 0,5              | 0,125                 |
| Ραδιόφωνο              | 0,08      | 1                | 0,08                  |
| Σίδερο Σιδερώματος     | 1         | 0,6              | 0,6                   |
| Ηλεκτρική Σκούπα       | 0,8       | 0,6              | 0,48                  |
| Στεγνωτήρας Μαλλιών    | 0,4       | 0,3              | 0,12                  |
| Τηλεόραση              | 0,2       | 6                | 1,2                   |



|                         |              |      |              |
|-------------------------|--------------|------|--------------|
| Υπολογιστής             | 0,1          | 3,5  | 0,35         |
| Φούρνος<br>Μικροκυμάτων | 1,5          | 0,15 | 0,225        |
| Τοστιέρα                | 1            | 0,3  | 0,3          |
| Ψυγείο                  | 0,4          | 24   | 9,6          |
| Καφετιέρα               | 0,7          | 0,3  | 0,21         |
| Φωτισμός                | 1            | 5    | 5            |
| Φορτιστής Κινητού       | 0,01         | 3    | 0,03         |
| <b>Σύνολο</b>           | <b>10,69</b> |      | <b>21,97</b> |

Πίνακας 4.2: Ισχύς, χρόνος λειτουργίας, ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών, συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους και ολική κατανάλωση

Η ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων μίας ημέρας αυτονομίας υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{p\Sigma} = \frac{E_k \times P_{STC} \times N}{E_{HA} \times \sigma_{AS} \times \sigma_{\mu} \times (N-n)}$$

όπου,

- $P_{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$ , η ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC.
- $E_k = 21,97 \text{ kWh}$ , η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης
- $E_{HA} = 2,02 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ , ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο
- $\sigma_{AS} = 0,8 \times \sigma_{\theta}$ , ο συντελεστής απωλειών συστοιχίας για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα
- $\sigma_{\theta} = 1 - [(t_a + 30) - 25] \times 0,004 = 0,94$ , ο συντελεστής θερμοκρασίας
- $t = 10,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Δεκέμβριο

- $\sigma_{\mu} = 0,9$ , συντελεστής μεταφοράς απωλειών ενέργειας της εγκατάστασης, στην οποία ουσιαστικά συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες στον ηλεκτρικό συσσωρευτή, στον ελεγκτή φόρτισης και στον αντιστροφέα
- $N = 31$  ημέρες, όπου είναι η χρονική περίοδος αναφοράς
- $n = 1$  ημέρα, όπου είναι ο αριθμός ημερών αυτονομίας

Έπειτα από τους απαραίτητους υπολογισμούς, προκύπτει από τη προαναφερθείσα σχέση ότι:

$$P_{p\Sigma} = 16,606 \text{ kW}_p$$

Άρα, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να είναι κοντά σε αυτή την τιμή και να την υπερβαίνει έχοντας ως στόχο την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών για τους χειμερινούς μήνες όταν και υπάρχει περιορισμένη ηλιοφάνεια.

Στη συνέχεια, για να υπολογίσουμε τον αριθμό και συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων έπρεπε να ορίσουμε τη μέγιστη τάση  $V_{m\Sigma}$  της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Ισχύει:

$$V_{m\Sigma} > 1.2 V_B$$

όπου,

- $V_B$ , είναι η ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή και έχει τιμή 48V
- Κατά συνέπεια πρέπει,  $V_{m\Sigma} > 57,6 \text{ V}$

Επιλέγουμε τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων Γερμανικής προέλευσης Luxor Eco Line 60 / 225Wp με τα εξής; χαρακτηριστικά :

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Ονομαστική Ισχύς (Wp) | 2 |
|-----------------------|---|

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
|                                 | 25         |
| Ονομαστικό Ρεύμα ( mpp I ) 7,62 | 7<br>,62   |
| Ονομαστική Τάση ( mpp V ) 29,6  | 2<br>9,6   |
| Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως (A)        | 8<br>,14   |
| Τάση Ανοικτοκυκλώσεως(V)        | 3<br>7     |
| Βαθμός Απόδοσης (STC)           | 1<br>3,83% |

Πίνακας 4.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά LX 225 – P

Ο αριθμός των πλαισίων που απαιτούνται να τοποθετηθούν υπολογίζονται ως εξής:

$$N = P_{p\Sigma} / P_{p\Pi}$$

όπου,  $P_{p\Pi} = 225W$  και  $P_{p\Sigma} = 16,606 kWh$

Συνεπώς, θα χρειαστούν **N= 75 πλαίσια**.

Ένας σημαντικός τρόπος για να αυξήσουμε την αξιοπιστία του συστήματος και να βελτιώσουμε τον έλεγχο τυχόν αστοχιών είναι στην εγκατάσταση του συστήματος να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές παράλληλες συνδέσεις. Είναι βέλτιστο και σκόπιμο η διάρθρωση της συστοιχίας να αποτελείται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό παράλληλων κλάδων.

Η ύπαρξη παράλληλων κλάδων μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης βραχυκυκλωμάτων σε ένα κλάδο, φαινόμενο που θα οδηγούσε σε αθροιστική πτώση

τάσης. Επιπρόσθετα, υπάρχει το πλεονέκτημα της δυνατότητας βέλτιστου τμηματικού ελέγχου της συστοιχίας σε ενδιάμεσα σημεία. Παράλληλα, είναι σημαντικό το ότι δίνεται η δυνατότητα απομόνωσης τμημάτων της συστοιχίας για μετέπειτα συντήρηση κι επισκευή χωρίς την καθολική απενεργοποίηση του συστήματος.

Για τους προαναφερθέντες λόγους προτιμάται για την εγκατάσταση μας και με στόχο την κάλυψη σε περιπτώσεις περιορισμού της τάσης η δημιουργία 25 παράλληλων κλάδων, ο καθένας εκ των οποίων θα αποτελείται από 3 πλαίσια τα οποία και θα είναι συνδεδεμένα εν σειρά.

Συνεπώς, με τη χρήση 75 πλαισίων τα οποία το καθένα είναι 225 W<sub>p</sub>, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται ότι είναι τελικά 16,875 kW<sub>p</sub>.

Όπως έχει προαναφερθεί για την καλύτερη απόδοση του συστήματος και αυτονομία του είναι προτιμητέο στην συνολική συνδεσμολογία της εγκατάστασης να υπάρχει και ηλεκτρικός συσσωρευτής.

Κατά συνέπεια, πρέπει να υπολογιστούν οι παράμετροι του συγκεκριμένου συσσωρευτή που θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί. Αρά, υπολογίζεται η χωρητικότητα C του από τον τύπο

$$C = \frac{n \times E_k}{\sigma_{\gamma B} \times \sigma_{\epsilon K} \times \beta_{\epsilon K} \times V_B}$$

όπου,

- $E_k = 21,97 \text{ kWh/day}$ , η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση οικίας (για τους χειμερινούς μήνες),
- $V_B$ , η ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή και με τιμή 48V,
- $\sigma_{\gamma B} = 0,8$ , συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή,

- $\sigma_{εκ} = 0,91$  , συντελεστής μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης,
- $\beta_{εκ} = 0,4$  , βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών για 1-3 ημέρες αυτονομίας,

Άρα, βάσει υπολογισμών έχουμε την χωρητικότητα **C= 423,6 Ah**

Συνεπώς, Θα χρησιμοποιηθούν για ακόμα μεγαλύτερη ασφάλεια μπαταρίες με **τάση 12 V και χωρητικότητα 253 Ah.**

Η συστοιχία των συσσωρευτών θα περιλαμβάνει 2 παράλληλους κλάδους με 4 συσσωρευτές σε σειρά ανά κλάδο, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 8 συσσωρευτές.

Η σύνδεση σε σειρά καθορίζει την ονομαστική τάση ( $B V = 4 \times 12 = 48 V$ ) και η παράλληλη σύνδεση καθορίζει την ονομαστική χωρητικότητα ( $C = 2 \times 253 = 506 Ah$ ).

Θα πρέπει να υπολογιστούν και οι παράμετροι για την επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή φόρτισης. Η τάση του ελεγκτή φόρτισης πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή, 48 V.

Το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ελεγκτή είναι  $1,5 \times I_{m\Sigma}$  , όπου  $I_{m\Sigma}$  είναι η μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$I_{m\Sigma} = I_{m\Sigma} \times N_{\pi} = 190,5 A$$

όπου,

- $I_{m\Sigma} = 7,62 A$ , μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκού πλαισίου.
- $N_{\pi} = 25$ , ο αριθμός των παράλληλων κλάδων της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Άρα, το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης είναι  **$1,5 \times I_{m\Sigma} = 285,75A$ .**

Το ρεύμα εξόδου του ελεγκτή φόρτισης πρέπει να μπορεί να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα.

Υποθέτουμε ότι η μέγιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για την ταυτόχρονη λειτουργία συσκευών είναι  $P_k = 8 \text{ kW}$ .

Η τάση κατανάλωσης είναι  $V_k = 230 \text{ V}$ .

Άρα το ρεύμα εξόδου θα είναι  $P_k / V_k = 34,7 \text{ A}$

Συνεπώς, θα πρέπει να επιλέξουμε ελεγκτή φόρτισης  $48\text{V} / 290 \text{ A} / 35\text{A}$ .

## Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Ως τελικό στάδιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη που έχει προηγηθεί. Στο σημείο αυτό, αναφερόμαστε συνοπτικά στις παραμέτρους που καθόρισαν το σύστημα που θα εγκατασταθεί.

Το περιβάλλον και η προστασία αυτού αποτελεί στις μέρες μας μείζον ζήτημα. Έχει γίνει πλέον σαφές ότι αν δεν ληφθούν άμεσα και αποτελεσματικά μέτρα κατά της μείωσης εκπομπών αέριων ρύπων, π.χ. διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), οι δυσμενείς συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον θα είναι πολλαπλάσιου μεγέθους απ' αυτές των ημερών μας αλλά και το σημαντικότερο μη αναστρέψιμες.

Παράλληλα, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια από τις σύγχρονες κοινωνίες, καθώς και η εξάρτηση τους από τις συμβατικές πηγές ενέργειας όπως η καύση του λιγνίτη και του πετρελαίου οδηγούν στην ανάγκη αναζήτησης και μετάβασης σε χρήση άλλων μορφών ενέργειας.

Η προσοχή λοιπόν στρέφεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) οι οποίες είναι μορφές ενέργειας που προέρχονται από εκμετάλλευση και αξιοποίηση φυσικών διαδικασιών, όπως ο ήλιος, ο άνεμος και η κυκλοφορία του νερού. Πιο διαδεδομένη από αυτές η ηλιακή ενέργεια.

Η χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας έχει γίνει πιο προσιτή από οικονομικής αλλά και πρακτικής πλευράς. Είτε μέσω των μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων, διασυνδεδεμένων στα υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά ακόμα και με τα μικρότερα συστήματα για την ενεργειακή κάλυψη κατοικιών, επιχειρήσεων ή άλλων δραστηριοτήτων διασυνδεδεμένων επίσης στο ηλεκτρικό δίκτυο, επιτυγχάνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεσματικά, χωρίς ρύπους και οικονομικά, με πρώτη ύλη τον ήλιο και την ίδια τη φύση.

Προς αυτή την κατεύθυνση στρέφεται και η προσοχή της παρούσας εργασία, καθώς μελέτησε την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μέσω ενός φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη των αναγκών μιας οικίας στην Πάτρα. Με την ολοκλήρωση της μελέτης τροφοδότησης οικίας στην περιοχή της Πάτρας με φωτοβολταϊκά πλαίσια προέκυψαν διάφορα αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Αρχικά ύστερα από διαδοχικές δοκιμές προέκυψε ότι η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι  $50^\circ$ . Η μελέτη της λειτουργίας της εγκατάστασης αποφασίσαμε να γίνει για το μήνα Δεκέμβριο, καθώς τον χειμερινό αυτόν μήνα εμφανίζονται οι χειρότερες συνθήκες στις οποίες και θα πρέπει να ανταποκριθεί η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Παρατηρήθηκε ως ο μήνας με την μικρότερο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας.

Η συνολική ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται στην οικία υπολογίστηκε ότι είναι 10,69 kW και αντίστοιχα η συνολική κατανάλωση θα είναι 21,97 kWh, για την οποία και υπολογίστηκαν αντίστοιχα οι ανάλογες απαιτήσεις για την εγκατάσταση της συγκεκριμένης οικίας.

Η ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας ημέρας αυτονομίας υπολογίστηκε ότι είναι 16,606 kW<sub>p</sub> για τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα τον μήνα με τις χειρότερες συνθήκες, τον μήνα Δεκέμβριο.

Βασιζόμενοι στις προαναφερθείσες μετρήσεις και τους υπολογισμούς καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των πλαισίων που είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν είναι 75 έχοντας ως στόχο την καθημερινή αυτονομία και επάρκεια του συστήματος για όλη την διάρκεια του έτους. Προχωρήσαμε στην δημιουργία 25 παράλληλων κλάδων, ο καθένας εκ των οποίων θα αποτελείται από 3 πλαίσια τα οποία και θα είναι συνδεδεμένα εν σειρά.

Συνεπώς, με τη χρήση 75 πλαισίων τα οποία το καθένα είναι  $225 W_p$ , η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται ότι είναι τελικά  $16,875 kW_p$ .

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η χωρητικότητα των συσσωρευτών που θα τοποθετηθούν στην συνδεσμολογία της εγκατάστασης. Η χωρητικότητα τους υπολογίστηκε  $C= 423,6 Ah$ . Με χρήση συσσωρευτών χωρητικότητας  $253 Ah$  βρέθηκε ότι η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει 2 παράλληλους κλάδους με 4 συσσωρευτές σε σειρά ο καθένας, δηλαδή συνολικά 8 συσσωρευτές. Τέλος, επιλέχτηκε ο κατάλληλος ελεγκτής φόρτισης με χαρακτηριστικά  $48 V/ 290 A/ 35 A$ .



## Βιβλιογραφία

- [1] «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Ι. Φραγκιαδάκης, εκδόσεις Ζήτη, 2007.
- [2] «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Κ. Καγκαράκη, εκδόσεις Συμμετρία, 1992.
- [3] «Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι», Θωμάς Ζαχαρίας, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006.
- [4] «Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ», Θωμάς Ζαχαρίας, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.
- [5] «Φυσική των φωτοβολταϊκών στοιχείων», Βασιλική Περράκη, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2008.
- [6] «Νέες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων», Βασιλική Περράκη, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2008.
- [7] [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics/el](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/el)
- [8] <http://www.lagie.gr>
- [9] [http://helapco.gr/wp-content/uploads/pvstats\\_greece\\_2017\\_11July2018.pdf](http://helapco.gr/wp-content/uploads/pvstats_greece_2017_11July2018.pdf)
- [10] [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS - A Snapshot of Global PV - 1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf)
- [11] [https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_el](https://europa.eu/european-union/topics/energy_el)
- [12] Καγκαράκης, Κ. (1992). Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία. (Κ. Καγκαράκης, Ed.) (1η ed., p. 168). Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

[13] Nebo, C. U. (2009, September 29). Understanding Uc-Si:H solar cell performance and its optimization using modeling. TU Delft, Delft University of Technology.

[14] Heemskerk, R. S. (2013, April 8). Topology Optimisation of Metallisation Patterns in Photovoltaic Applications. TU Delft, Delft University of Technology.

[15] Blaesser, G., & Rossi, E. (1988). Extrapolation of outdoor measurements of PV array I–V characteristics to standard test conditions. *Solar Cells*, 25(2), 91–96.

[16] Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83(5), 614–624.