ΕΛΛΗΝΙΚΌ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΌ ΠΑΝΕΠΙΣΤΉΜΙΟ – Τμήμα μηχανολόγων μηχανικών

Τίτλος εργασίας:
Μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων

Όνομα φοιτητή: Εμμανουήλ Κελαϊδάκης

Α.Μ.:ΤΜ6898

Επιβλέπων καθηγητής: Κατσαπρακάκης Δημήτριος

Ηράκλειο Ιούνιος 2025

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου σε όσους με βοήθησαν και υποστήριξαν κατά τη διάρκεια της έρευνας και της συγγραφής της εργασίας. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Κατσαπρακάκη για την πολύτιμη καθοδήγηση καθ΄ όλη τη διάρκεια της έρευνας. Επίσης ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών για τις γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και για τη διαρκή υποστήριξή τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους συμφοιτητές και φίλους μου που γνώρισα στο Ηράκλειο Κρήτης για τη συνεργασία, τις συζητήσεις και την ενθάρρυνση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας της εργασίας.

Με εκτίμηση, Μανώλης Κελαϊδάκης.

Περίληψη

The study of photovoltaic system explores how we convert sunlight into electricity using solar cells, an essential technology for renewable energy. At the heart of photovoltaic systems is the photovoltaic effect, when the light hits semiconductor materials and produce an electric current. This technology powers solar panels which are made-up of many PV cells working together to generate and sometimes store electricity. There are several types of PV systems each suited to different needs. Stand alone systems for example are useful in remote areas without grid access as they store energy in batteries for later use. Grid connected systems were most popular type link directly to the main power network. Solution for home owners and business to supplement their electricity and oversell excess energy back to the grid thought programmes like net metering, helping to reduce overall power costs. Hybrid system combined PV with other energy source such as wind or traditional power to ensure steady energy supply. Recent advancements in photovoltaic technology are focused on boosting efficiency lowering costs and broadening the use of solar energy. Researchers are experimenting with new materials, which promised to be more efficient and affordable and traditional silicon. Despite challenges like high initial costs shading issues and limited storage photovoltaic systems are becoming more practical and accessible. From rooftops to massive solar farms, they are now a major part of the global shift toward reducing carbon emissions and building a sustainable energy future.

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή 5
Πηγές ενέργειας 5
Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά 6
Ιστορική αναδρομή 7
Μέσο κόστος 8
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου 10
Ορολογία 12
Κεφάλαιο 1ο Ηλιακή ακτινοβολία 13
1.1 Ηλιακή γεωμετρία 13
1.2 Ορολογία ηλιακής γεωμετρίας 14
1.3 Έλεγχος σκιών και ηλιακοί χάρτες 15
1.4 Ηλιακή ακτινοβολία 17
1.5 Όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας 19
Κεφάλαιο 2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία 21
2.1 Φωτοβολταική μετατροπή 21
2.2 Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου, FF 23
2.3 Οι συνθήκες NOCT και STC 24
2.4 Υπολογισμός Tcell (θερμοκρασία κυψέλης) 25
2.5 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού στοιχείου 26
2.6 Συντελεστές επίδρασης στο βαθμό απόδοσης 27
2.7 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου 29
2.8 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά 30
2.9 Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά 31
2.10 Άμορφα φωτοβολταικά πλαίσια 32
2.11 Διαδικασια παραγώγης 34
2.12 Βαθμός απόδοσης πλαισίου n_{π} 36
Κεφάλαιο 3 Φωτοβολταϊκή συστοιχία 38
3.1 Βαθμός απόδοσης n_{Σ} της φωτοβολταϊκής συστοιχίας 38
3.2 Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας σ_{μ} 38
3.3 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα 39
3.4 Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας 40
3.5 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής συστοιχίας 40

Κεφάλαιο 4 ηλεκτρονικές διατάξεις 43
4.1 Επιλογή κατάλληλου μετατροπέα.....43
4.2 Χώρος εγκατάστασης ηλεκτρονικού μετατροπέα.....44
4.3 Επιλογή ηλεκτρικών συσσωρευτών σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....46
4.4 Υπολογισμός συστοιχίας συσσωρευτών 47
4.5 Δυσλειτουργία συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (συσσωρευτών) 49
4.6 Βαθμός απόδοσης συσσωρευτή 50
4.7 Ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή 51
4.8 Ελεγκτής φόρτισης.....52
4.9 Επιλογή ελεγκτή φόρτισης 54
4.10 Διάφοροι μετατροπείς τάσεως.....54
4.11 Επιλογή ηλεκτρικών αγωγών 55
4.12 Συντήρηση καλωδίων 59
Κεφάλαιο 5 παράδειγμα εξοχικής κατοικίας 63
Συμπεράσματα 69
Συμβολισμοί 70
Βιβλιογραφία 73

Εισαγωγή

Πηγές ενέργειας

Οι πηγές ενέργειας παίζουν μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη των κοινωνιών και στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Οι πηγές ενέργειας χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τις συμβατικές και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κάθε μία από αυτές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, τόσο σε αλλά περιβαλλοντικό και όσο και σε οικονομικό επίπεδο, με αποτέλεσμα να τίθεται το ερώτημα σχετικά με την βιωσιμότητά τους στο μέλλον.

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας είναι η μορφές ενέργειας που παράγονται από καύσιμα που έχουν δημιουργηθεί στο εσωτερικό της γης μετά από χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο το φυσικό αέριο και ο άνθρακας είναι οι μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ευρέος βιομηχανική επανάσταση έως και σήμερα. Θεωρούνται συμβατικές και μη ανανεώσιμες διότι η ανανέωσή τους έρχεται μετά από υπερβολικά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η καύση αυτών των πηγών ενέργειας προσφέρει υψηλά επίπεδα ενέργειας και πλέον έχουν αποτελέσει βασική πηγή για ηλεκτρισμό θέρμανση και μεταφορών σε όλο τον κόσμο.

Μεγάλο μειονέκτημα είναι ότι παρόλο που τεχνολογικά είναι εδραιωμένες και σχετικά φθηνές στη χρήση η καύση των συμβατικών πηγών ενέργειας επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπου ενισχύει την κλιματική αλλαγή. Άλλο ένα αρνητικό φαινόμενο στην εξόρυξη και τη μεταφορά των ορυκτών καυσίμων είναι ότι εγκυμονούν κίνδυνοι για το οικοσύστημα από ατυχήματα όπως πετρελαιοκηλίδες ή και εκρήξεις.

Αντίθετα τώρα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι σίγουρα φιλικές προς το περιβάλλον αφού προέρχονται από φυσικά φαινόμενα όπως ο ήλιος ή ο αέρας ή από πόρους που ανανεώνονται συνεχώς.

Η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική και η βιομάζα είναι παράδειγμα είναι είναι κύρια παραδείγματα αυτής της κατηγορίας. Η χρήση των ανανεώσιμων

πηγών ενέργειας εξαντλεί τους φυσικούς πόρους ούτε επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον όπως κάνουνε οι άνθρακες. Αυτό καθιστά τις ανανεώσιμες πηγές βιώσιμη λύση για το ενεργειακό μέλλον του πλανήτη.

Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιεί την ακτινοβολία του ήλιου μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων ηλιοθερμικών εγκαταστάσεων. Η αιολική παράγεται από την κίνηση των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας, αφού ο αέρας τις εξαναγκάζει. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, όπως και η ανεμογεννήτρια έχουν περίπου την ίδια τεχνολογία αφού στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς το νερό εξαναγκάζει να περιστρέφει ένα μηχάνημα αφού κινείται από φράγματα και υδατοπτώσεις. Η γεωθερμική προέρχεται από τη θερμότητα του εσωτερικού της γης και η βιομάζα βασίζεται στην καύση ή επεξεργασία οργανικών υλικών.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τη μία θεωρούνται το κλειδί για ένα πιο καθαρό μέλλον αλλά από την άλλη παρουσιάζουν και ορισμένες προκλήσεις. Η παραγωγή τους εξαρτάται από φυσικούς εξωτερικούς παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες που μεταβάλλονται αρκετά συχνά, και άλλη μια πρόκληση είναι πώς μπορούν να αποθηκεύσουν περίσσεια ενέργειας.

Επιπλέον συνήθως το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό αλλά αυτό με την πάροδο του χρόνου γίνεται απόσβεση αφού οι ανανεώσιμες πηγές μακροπρόθεσμα αποδεικνύονται οικονομικά από αποδοτικότερες. Συνοψίζοντας οι πηγές ενέργειας είτε είναι συμβατικές είτε είναι ανανεώσιμες αποτελούν χρήσιμο παράγοντα για την πρόοδο εξέλιξη και βιωσιμότητα της ανθρωπότητας. Είναι πλέον αντιληπτό ή αλλαγή του κλίματος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου δηλαδή, και καθίσταται αναγκαία η μετάβαση από τις αναλώσιμες στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας για την προστασία του περιβάλλοντος.

Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά

Πηγή ενέργειας ονομάζεται κάθε ύλη ή σύστημα όπου μπορεί να ληφθεί ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας, φωτός ή ισχύος. Δύο κύριες κατηγορίες των πηγών ενέργειας είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και οι συμβατικές (π.χ. άνθρακας πετρέλαιο).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τις μονάδες βάσης παραγωγικής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια γνωστά κι ως φωτοβολταϊκές μονάδες ή ηλιακά πάνελ είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Αποτελούνται από πολλά φωτοβολταϊκά κύτταρα ή αλλιώς ηλιακές κυψέλες οι οποίες είναι κατασκευασμένες από ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο. Η Ελλάδα διαθέτει ένα από τα υψηλότερα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας στην Ευρώπη.

Όταν το φως του ήλιου πέφτει πάνω σε αυτά τα κύτταρα προκαλεί τη διέγερση των ηλεκτρονίων και την μεταβολή της ενέργειας τους με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η μέγιστη απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τις μεσημεριανές ώρες.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές για την παραγωγή καθαρής ανανεώσιμης ενέργειας.

Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία των φωτοβολταϊκών στοιχείων εκτείνεται για πάνω από 180 χρόνια.

- Η πρώτη παρατήρηση της μετατροπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκή μετατροπή) έγινε το 1839 από τον γάλλο φυσικό Becquerel.
- Το 1883 ο Charles Fritz παράγει φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 2%.
- Το δέκατο ένατο αιώνα ο Albert Einstein παίρνει νόμπελ φυσικής το 1921 για την εξήγηση του ηλεκτρικού φαινομένου.
- πολωνός Jan Czochralski το 1918 κατασκευάζει το πρώτο στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου.
- Η πρώτη πρακτική ηλιακή κυψέλη από πυρίτιο κατασκευάζεται στα bell labs από τους Daryl Chapin, Calvin Fuller και Gerard Pearson το 1954 με απόδοση περίπου 6%.

- Το 1956 η εταιρεία Hoffmann ξεκίνησε την εμπορική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου με χρέωση 1.000$/ Wp και απόδοσης 5-10%.
- Ο δορυφόρος Vanguard I γίνεται ο πρώτος που θα χρησιμοποιήσει ηλιακές κυψέλες για παροχή ενέργειας το 1958 και το 1959 κατασκευάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 9-10%
- Η πετρελαϊκή κρίση το 1973, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας στη μαζική παραγωγή, οδηγούν στη μείωση του κόστους και την εξάπλωση των ηλιακών κυψελών.
- Στην Ελλάδα τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα εγκαταστάθηκαν από τη Δ.Ε.Η. στα πλαίσια ευρωπαϊκών επιδεικτικών και πιλοτικών έργων τη δεκαετία του 1980.

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν εξελιχθεί σε μία από τις βασικότερες τεχνολογίες για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Μέσο κόστος

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ολοένα αυξανόμενη εφαρμογή τόσο σε οικιακό όσο και επαγγελματικό επίπεδο. Πρόκειται για μια μορφή καθαρής ενέργειας που αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος συνεπάγεται ένα αρχικό κόστος, το οποίο ποικίλει ανάλογα με την ισχύ του συστήματος την τεχνολογία που χρησιμοποιείται και τις ιδιαίτερες ανάγκες του εκάστοτε χρήστη.

Στην Ελλάδα τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω και της θέσης της χώρας όπου τις περισσότερες μέρες έχει ήλιο που σημαίνει ότι σε ένα σύστημα ενισχύεται η απόδοση του. Για παράδειγμα ένα οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 5-10 κιλοβάτ το συνολικό κόστος εγκατάστασης κυμαίνεται συνήθως από 5 χιλιάδες ευρώ έως 12 χιλιάδες ευρώ. Το ποσό αυτό είναι χωρίς να περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες. Εάν

υπολογίσουμε και το σύστημα των μπαταριών το κόστος θα ανέβει σημαντικά φτάνοντας ή και ξεπερνώντας τις 18.000€. Αλλά για μεγαλύτερες εφαρμογές, δηλαδή για επαγγελματικές εγκαταστάσεις ισχύος πάνω από 10 και 50 κιλοβάτ η τιμή διαφέρει και μειώνεται λόγω των οικονομιών κλίμακας. Μια ενδεικτική τιμή είναι μεταξύ 700 και 1100 ευρώ ανά kW.

Η οικονομική αξιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν περιορίζεται μόνο στο αρχικό κόστος της εγκατάστασης και της αγοράς αλλά λαμβάνεται υπόψη και η ετήσια παραγωγή ενέργειας. Στην Ελλάδα η μέση ετήσια παραγωγή κυμαίνεται από 1400 έως 1600 kWh, ανάλογα βέβαια και την γεωγραφική τοποθεσία και τον προσανατολισμό των πάνελ. Για παράδειγμα ένα σύστημα 5 κιλοβάτ μπορεί να παράγει περίπου 7-8000 kWh ετησίως, εάν υπολογίσουμε ότι το κόστος εγκατάστασης είναι 7.000€ και γίνει η διαίρεση με 7,5 κιλοβατώρες τότε το κόστος παραγωγής ενέργειας θα ανέρχεται περίπου σε 0,93€ ανά κιλοβατώρα.

Ωστόσο όμως τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνήθως συνοδεύονται με εγγύηση και συνήθως είναι η διάρκεια ζωής τους ξεπερνά τα 20-25 έτη. Έτσι η επένδυση γίνεται αντιληπτή σε βάθος χρόνου. Στην Ελλάδα τώρα υπάρχουν πολλά προγράμματα επιδοτήσεων όπως το πρόγραμμα φωτοβολταϊκά στη στέγη ή το net billing, παλιότερα υπήρχε το net metering, όπου δίνουν τη δυνατότητα για περαιτέρω μείωση του κόστους εγκατάστασης. Αυτά τα προγράμματα είναι ιδιαίτερα ελκυστικά καθώς μέσω αυτών, ο ιδιοκτήτης ενός συστήματος τις περισσότερες φορές μπορεί να συμψηφίζει την παραγόμενη με την καταναλωμένη μειώνοντας και μηδενίζοντας τους λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος ή και να πουλάει ρεύμα στη ΔΕΗ.

Τέλος παρά το αρχικό κόστος που μπορεί να έχει μια εγκατάσταση συμπεραίνεται ότι είναι μια σταθερή επένδυση με εξαιρετικά χαμηλό λειτουργικό κόστος, υψηλή απόδοση και το σημαντικότερο είναι φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία.



Εικονα εισαγωγής φωτοβολταϊκά πάνελ σε κεραμοσκεπή.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί ένα από τα πιο σοβαρά περιββαντολλογικά προβλήματα στην σημερινή εποχή. Πρόκειται για μια διαδικασία φυσική, κατά την οποία ορισμένα αέρια στην ατμόσφαιρα (διοξείδιο του άνθρακα, θα μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και υδρατμοί) υπάγεται στη θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία επιτρέπονται στη γη να έχει μια θερμοκρασία σταθερή και κατάλληλη για τη ζωή. Ωστόσο λόγω του ανθρώπου έχει ενισχυθεί πάρα πολύ αυτό το φαινόμενο, κυρίως λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων, προκαλώντας υπερθέρμανση στον πλανήτη και αλλαγές σημαντικές στο κλίμα.

Η κλιματική αλλαγή που προκύπτει από την ενίσχυση του φαινόμενο του θερμοκηπίου, είχε αρχίσει και γίνεται αντιληπτή σε παγκόσμιο επίπεδο. Δηλαδή οι μέσες θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί οι παγετώνες βόρεια και νότια της γης λιώνουν με συνέπεια τη στάθμη της θάλασσας συνεχώς να ανεβαίνει και να υπάρχουν ακραία καιρικά φαινόμενα. Για παράδειγμα καύσωνες πλημμύρες και ξηρασίες γίνονται

ολοένα και πιο συχνά και πιο έντονα. Εάν δεν ληφθούν άμεσα και ουσιαστικά μέτρα, η ανθρώπινη υγεία, η γεωργία και γενικά το οικοσύστημα κινδυνεύουν.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου προϋποθέτει θεωρητικές προσεγγίσεις όσο και πρακτικές λύσεις. Σε θεωρητικό επίπεδο στην επιστημονική κοινότητα έχει αναπτυχθεί πληθώρα εργαλείων και μοντέλων για την κατανόηση και την πρόβλεψη των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Οι προβλέψεις αυτές βοηθούν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, να σχεδιάσουν μέτρα μετριασμού και προσαρμογής. Παράλληλα η θεωρητική έρευνα συμβάλλει στη διαμόρφωση διεθνών συμφωνιών, για παράδειγμα στη συμφωνία των Παρισίων, οι οποίες θέτουν στόχους για τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Τώρα σε πρακτικό επίπεδο υπάρχουν πολλές λύσεις που είναι ήδη διαθέσιμες και έχουν εφαρμοστεί. Η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί μια από τις πιο θεμελιώδες επιλογές για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης η ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων και η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς καθώς και προώθηση της ηλεκτροκίνησης είναι σημαντικές παρεμβάσεις.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η διαχείριση των απορριμμάτων και η ανακύκλωση, αφού μειώνουν την παραγωγή μεθανίου από τις χωματερές και η προστασία των δασών και η αποκατάστασή τους αφού τα δάση λειτουργούν ως καταβόθρες άνθρακα μιας και που απορροφούν τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα.

Συνοψίζοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου παρόλο που είναι πολύπλοκο δεν είναι ένα άλυτο πρόβλημα. Το μόνο που απαιτεί είναι συλλογική ευθύνη ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμού και την υιοθέτηση στην κοινότητα μιας νέας περιβαντολλογικής συνείδησης. Η συμβολή του κάθε πολίτη των επιχειρήσεων γενικά της διεθνούς κοινότητας είναι καθοριστική και τη συγκρότηση των παγκόσμιων θερμοκρασιών ώστε να διασφαλιστεί ένα βιώσιμο μέλλον για τις επόμενες γενιές.

Ορολογία

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία επίσης αναφέρεται ως φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα σε σειρά. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

Φωτοβολταϊκό πανέλο είναι ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια που έχουν προ κατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή έτοιμη για να εγκατασταθεί.

Φωτοβολταϊκή συστοιχία μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.

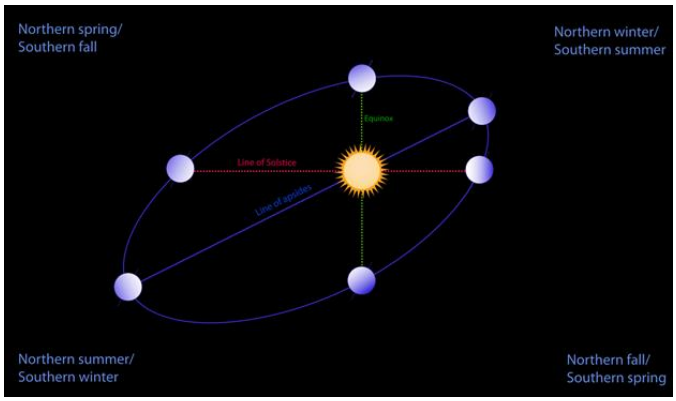
Αντιστροφέας (inverter) ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Ρυθμιστής φόρτισης συσκευή που συναντάμε σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.

Κεφάλαιο 1ο Ηλιακή ακτινοβολία

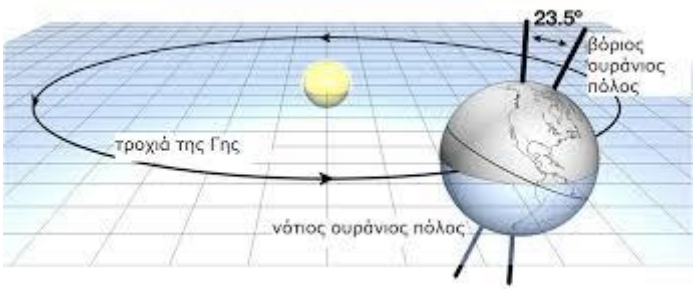
1.1 Ηλιακή γεωμετρία

Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο είναι εκλειπτική, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1. Τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο.

Η διάμετρος της ουράνιας σφαίρας που είναι κάθετη προς την εκλειπτική ονομάζεται άξονας και σχηματίζει γωνία δ = 23,5°



Εικόνα 2 λόξωση της γης.

Η γωνία αυτή (δ) ονομάζεται λόξωση της εκλειπτικής ή απόκλιση.

Στην πραγματικότητα η γωνία δ μεταβάλλεται από τη παρακάτω σχέση:

δ=23,45*sin[(360*(284+N))/365],

όπου **N** η ημέρα του έτους.

Η γη περιφέρεται γύρω από τον ήλιο με περίοδο περίπου Τ=365,25 ημερών.

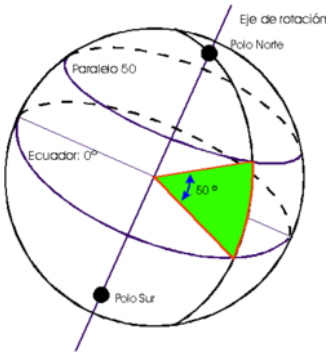
1.2 Ορολογία ηλιακής γεωμετρίας

Ορίζοντας ενός τόπου είναι το επίπεδο που εφάπτεται της σφαιρικής γης στο σημείο του τόπου.

Ζενίθ ονομάζεται το σημείο που βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα του τόπου και είναι πάντοτε ορατό ενώ το αντίθετο αντιδιαμετρικά ονομάζεται **ναδίρ** και βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα.

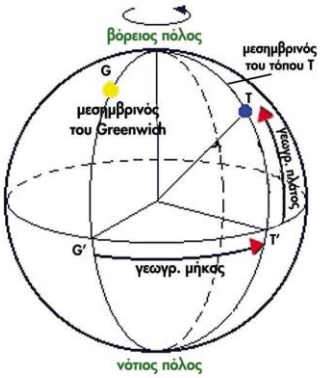
Ο ισημερινός χωρίζει τη γη σε νότιο και βόρειο ημισφαίριο και ο πρώτος μεσημβρινός χωρίζει τη γη σε ανατολικό και δυτικό ημισφαίριο.

Γεωγραφικό πλάτος φ ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει μεταξύ της ακτίνας της γης που διέρχεται από τον παράλληλο και την ακτίνα που διέρχεται από τον ισημερινό παίρνει τιμές από 90 μοίρες βόρεια έως 90 μοίρες νότια του ισημερινού.



Εικόνα 3. Παράδειγμα γωνίας φ=50°.

Γεωγραφικό μήκος λ είναι η γωνία που σχηματίζει από τον μεσημβρινό του τόπου και τον πρώτο μεσημβρινό του γκρίνουιτς παίρνει τιμές από -180 μοίρες ανατολικά έως +180 μοίρες δυτικά του μεσημβρινού του γκρίνουιτς.



Εικόνα 4 γεωγραφικό πλάτος και μήκος.

Αζιμούθιο α ονομάζεται γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της θέσης του ουράνιου σώματος στο επίπεδο του ορίζοντα από το βορρά. Παίρνει τιμές από 0 έως 180 ανατολικά του βορρά και από 0 έως 180 μοίρες δυτικά του βορρά.

Γωνία ύψους γ ονομάζεται η γωνία μεταξύ του ουράνιου σώματος και του επιπέδου του ορίζοντα. Παίρνει τιμές από μηδέν έως 90 μοίρες από το επίπεδο του ορίζοντα προς το ζενίθ και από μηδέν έως -90 μοίρες από το επίπεδο του ορίζοντα προς το ναδίρ.

Ζενίθια απόσταση z είναι η συμπληρωματική γωνία της **γ** (z=90°-γ)και μετριέται επίσης πάνω στην κατακόρυφη του ουράνιου σώματος από μηδέν έως 180° με αρχή το ζενίθ του παρατηρητή.

Η θέση του ήλιου προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες **α** και **γ.**

1.3 Έλεγχος σκιών και ηλιακοί χάρτες

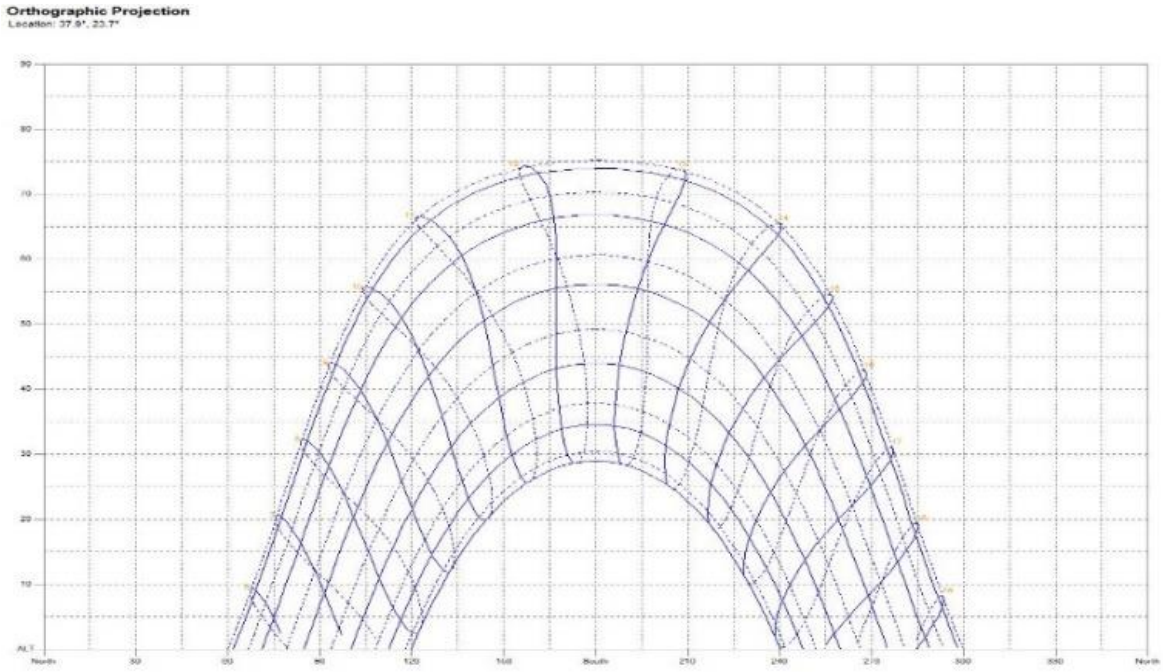
Πριν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να γίνει ο έλεγχος σκιών. Τα φωτοβολταϊκά εάν σκιάζονται παράγουν ελάχιστο ρεύμα γι' αυτό και αποφεύγεται η σκίαση τους. Πρέπει η περιοχή της εγκατάστασης να μην σκιάζεται από τις 9 έως τις

3 το μεσημέρι που είναι το ηλιακό παράθυρο για οποιαδήποτε μέρα του χρόνου. Επίσης ο έλεγχος γίνεται στις 21-22 Δεκεμβρίου από γειτονικά εμπόδια επειδή ο ήλιος έχει την μικρότερη φαινομενικά διαδρομή άρα κάθε εμπόδιο έχει μεγαλύτερη σκιά.

Για να γίνει ο έλεγχος χρειάζονται:

- **Ηλιακός χάρτης**
- **πυξίδα**
- **ένα ταχύμετρο** (είναι όργανο μέτρησης του ύψους ενός εμποδίου και δίνει το ύψος σε μοίρες)

Ηλιακοί χάρτες (ή αλλιώς ηλιακό διάγραμμα) είναι η ορθή προβολή της τροχιάς του ήλιου στη διάρκεια ενός έτους. Πρέπει να γνωρίζουνε το **γεωγραφικό πλάτος φ** το οποίο βρίσκονται ώστε να επιλέξουν τον κατάλληλο ηλιακό χάρτη. Στην Ελλάδα η γωνία φ κυμαίνεται από 35 μοίρες έως 41 μοίρες. Ο τρόπος που γίνεται ο έλεγχος σκιών θα αναλυθεί παρακάτω.



Εικόνα 5 παράδειγμα ηλιακού χάρτη.

Η κάτω οριζόντια ευθεία τετμημένη προσδιορίζει το αζιμούθιο α το έργο ως προς το νότο που βρίσκεται στο κέντρο. Η κάθετη ευθεία τεταγμένη προσδιορίζει τη γωνία ύψους γάμα του ιού για όλες τις ώρες της ημέρας και για όλους τους μήνες.

Παρακάτω είναι τα βήματα για τη μελέτη σκίασης

1. Στάση στο κέντρο της προτεινόμενης θέσης εγκατάστασης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.
2. Με την πυξίδα βρίσκεται η ανατολή.
3. Με το ταχύμετρο υπολογίζεται το ύψος του κάθε εμποδίου που βρίσκεται στην ανατολή σε μοίρες.
4. Σημειώνεται το ύψος σε μοίρες κάθε εμποδίου επάνω στον ηλιακό χάρτη.
5. Αλλαγή κατά 15 μοίρες με την πλάτη προς τον βορρά και επανάληψη τα βήματα 3 και 4 για κάθε θέση.
6. Συνδέονται τα σημεία πάνω στον ηλιακό χάρτη και σκιάζουν την περιοχή κάτω από τη γραμμή που σχεδιάστηκε.
7. Σκοπός κουκίδες από τις 9 το πρωί έως τις 3 το μεσημέρι θα πρέπει να είναι κάτω από τη γραμμή, αλλιώς σημαίνει ότι η φωτοβολταϊκή συστοιχία σκιάζεται.
8. Πρέπει να είναι γνωστή η θέση του ήλιου για τις 9:00, 12:00 και 15:00 στις 22 Δεκεμβρίου (από τον ηλιακό χάρτη)
9. Επίσης εκτιμάται το μήκος της σκιάς του εμποδίου.

Μήκος σκιάς= h/tan(a)

Όπου h: ύψος εμποδίου και α: γωνία ύψους ηλίου.

Φυσικά υπάρχουν και προγράμματα που υπολογίζουν τη σκιά καθ όλη τη διάρκεια της ημέρας.

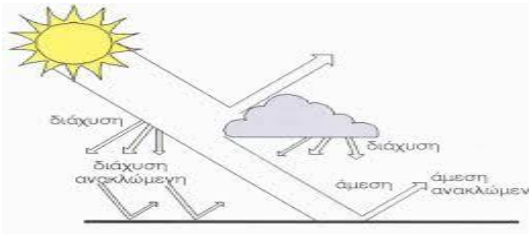
1.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στη γη χωρίζεται σε 3 συνιστώσες.

- την απευθείας
- την διάχυτη

- και την διάχυτη ανακυκλωμένη

Από την απευθείας όταν εγκαθίσταται ένα φωτοβολταϊκό για να απολαύει βέλτιστα πρέπει να είναι κάθετη πάνω στο πάνελ, ενώ εάν πρέπει να παρθεί η διάχυτη βέλτιστα πρέπει το φωτοβολταϊκό να τοποθετηθεί οριζόντιο με β=0 (αυτό δεν είναι επιθυμητό συνήθως γιατί χάνεται η απευθείας ακτινοβολία)

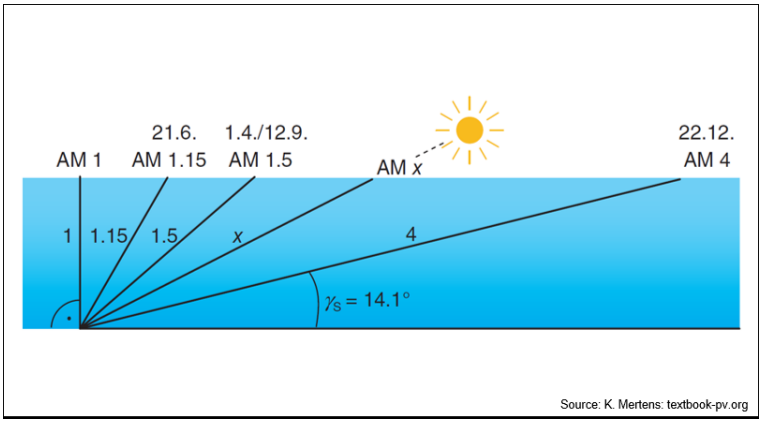


Εικόνα 6 πορεία ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα.

Αέρια μάζα η **ΑΜ** δείχνει πόσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της

AM=1/cosz , όπου ΑΜ η αέρια μάζα και z η ζενίθια γωνία.

Όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς από πάνω η μάζα αέρα ισούται με 1. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ελέγχονται στα εργαστήρια ΑΜ=1,5 για να προσδιορίσουν το βαθμό απόδοσης.



Εικόνα 7 παραδείγματα ΑΜ.

Η **ολική οριζόντια ακτινοβολία G** δηλαδή η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$G=Bn*cosz+D(W/m^2)$$

Όπου:

Bn: απευθείας κάθετη ακτινοβολία η επιφάνεια είναι προσανατολισμένη κάθετα προς τις ακτίνες του ήλιου

D: διάχυτη ακτινοβολία στην επιφάνεια

z: ζενίθια γωνία

Η **διάχυτη ακτινοβολία D** μπορεί να είναι μεγαλύτερη σε μια οριζόντια επιφάνεια γιατί βλέπει μεγαλύτερο τμήμα του ουράνιου θόλου. Το προτιμάμε σε περιοχές με πολύ μικρή ηλιοφάνεια, δηλαδή σε σε βόρειες χώρες η τοποθέτηση του συλλέκτη γίνεται σε οριζόντια θέση.

1.5 Όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας

Μερικά από τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

- **πυρανόμετρο** : το πυρανόμετρο διαθέτει έναν ημισφαιρικό θόλο από διαφανές υλικό συνήθως γυαλί ή χαλαζία ο οποίος προστατεύει τον αισθητήρα από τα περιβαντολλογικά στοιχεία. Ο αισθητήρας αποτελείται από θερμοστοιχεία ή φωτοβολταϊκά στοιχεία που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα. Η ένταση του σήματος αυτού είναι ανάλογη της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- **Πυραλιομέτρο** : μετράει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται απευθείας από τον ήλιο και χρησιμοποιείται κυρίως σε ηλιοθερμικές εφαρμογές και σε συστήματα που απαιτούν μέτρηση της άμεσης ακτινοβολίας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάνελ σε συνθήκες άμεσης ηλιοφάνειας.
- **Ηλιογράφος** : καταγράφει τη διάρκεια της ηλιοφάνειας δηλαδή πόσες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης

χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ηλιοφάνειας σε μια περιοχή η οποία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό και την πρόβλεψη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Πρακτικά δεν χρειάζονται γιατί είναι υπολογίσιμη ηλιακή ακτινοβολία (και υπάρχουν δεδομένα στο ίντερνετ επίσης) δεν είναι όπως ανεμογεννήτριες που είναι υποχρεωτικό να γίνουν μετρήσεις πριν βάλουν πάρκο ανεμογεννητριών.

Γνωστό site της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας είναι το **PVGIS**



Εικόνα 8 πυρανόμετρο

Κεφάλαιο 2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

2.1 Φωτοβολταική μετατροπή

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι μια διεργασία φυσική κατά την οποία ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή το φως, μετατρέπεται άμεσα σε ηλεκτρική. Αυτό γίνεται μέσω της διέγερσης ηλεκτρονίων σε συγκεκριμένα υλικά που είναι επί το πλείστον κυρίως ημιαγώγιμα. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί τη θεμελιώδη αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών κυττάρων, δηλαδή των φωτοβολταϊκών πάνελ που χρησιμοποιούνται στη σημερινή εποχή παγκόσμια για την παραγωγή ενέργειας στην κατηγορία των ανανεώσιμων πηγών.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η πρώτη παρατήρηση του φαινόμενο αυτό έγινε το 1839 από τον γάλλο φυσικό Becquerel. Ο Becquerel στη συνέχεια διατύπωσε ότι η έκθεση ενός ηλεκτρολύτη στο ηλιακό φως μπορεί να δημιουργήσει ρεύμα. Ωστόσο με την πρόοδο στην φυσική στερεάς κατάστασης και την ανάπτυξη των ημιαγωγών η επιστημονική βάση και η τεχνολογική εφαρμογή του φαινομένου αναπτύχθηκε πολύ αργότερα από εκείνη την εποχή. Το 1954 το Bell Labs στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής κατασκεύασε επίσημα το πρώτο αποδοτικό φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου. Από εκείνη την εποχή σηματοδοτήθηκε η απαρχή της σύγχρονης ηλιακής τεχνολογίας.

Τώρα σε φυσικό επίπεδο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιλαμβάνει την απορρόφηση των φωτονίων από ένα ημιαγώγιμο υλικό (όπως το πυρίτιο). Όταν λοιπόν ένα φωτόνιο προσπίπτει στου υλικού την επιφάνεια και έχει μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα του υλικού, διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτή η διέγερση δημιουργεί ένα ζεύγος φορέων φορτίου, Ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια θετικά φορτισμένη οπή. Εάν τώρα το υλικό έχει την κατάλληλη εσωτερική διάταξη, το ενσωματωμένο ηλεκτρικό πεδίο θα κατευθύνει τα φορτία προς αντίθετες κατευθύνσεις δημιουργώντας έτσι διαφορά δυναμικού.

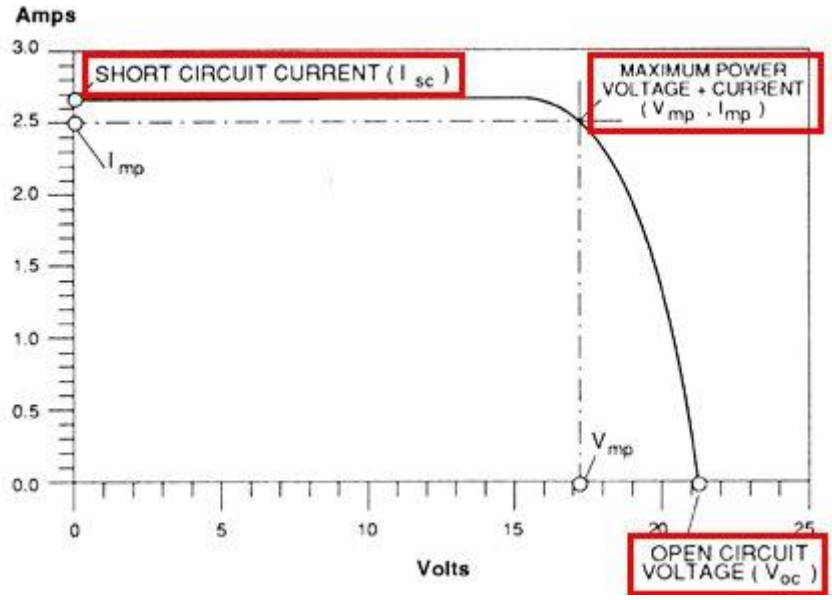
Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό κύτταρο αποτελείται από 2 βασικές στρώσεις ημιαγωγού πυριτίου. Η μία στρώση περιέχει προσμίξεις που δημιουργεί έλλειμμα ηλεκτρονίων, ενώ η άλλη στρώση εμπλουτίζεται από άτομα που έχουν περίσσεια ηλεκτρονίων.

Όταν αυτές οι 2 στρώσεις έρθουν σε επαφή, δημιουργείται Μια ζώνη απογύμνωσης και ένα ηλεκτρικό πεδίο. Καθώς το φως απορροφάται και δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων οπών, το ηλεκτρικό πεδίο χωρίζει τα φορτία και τα ωθεί προς τους αντίστοιχους ακροδέκτες, επιτρέποντας την κυκλοφορία ρεύματος μόνο μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος.

Τώρα η αποδοτικότητα ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες. Κύριος λόγος είναι το ενεργειακό χάσμα του κάθε υλικού. Δηλαδή εάν είναι πολύ μεγάλο πολλά φωτόνια δεν έχουν αρκετή για να προκαλέσουν διέγερση ενώ αν είναι πολύ μικρό μέρος της ενέργειας χάνεται ως θερμότητα. Επιπλέον η θερμοκρασία η ένταση και η γωνία της ηλιακής ακτινοβολίας οι σκιές και οι απώλειες κατά τη μεταφορά των φορέων επηρεάζουν επίσης σημαντικά την απόδοση. Παρακάτω θα αναφερθεί πιο λεπτομερώς τι επηρεάζει την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου.

Τέλος η εφαρμογή του φωτοβολταϊκού φαινομένου εκτείνεται σε πολλούς τομείς. Από την παραγωγή ενέργειας σε στέγες κατοικιών και αγροτικές εγκαταστάσεις, μέχρι και μεγάλα ηλιακά πάρκα, διαστημικές εφαρμογές αλλά ακόμα και σε ηλεκτρονικές συσκευές. Το πλεονέκτημα πλέον είναι ότι αυτή η τεχνολογία είναι πιο προσβάσιμη για τον κάθε άνθρωπο διότι τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί ραγδαία το κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

2.2 Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου, FF



Εικόνα 9 χαρακτηριστική καμπύλη φ/β στοιχείου

στον άξονα το **x** βρίσκονται τιμές της τάσης και στον άξονα των **y** βρίσκονται οι τιμές του ρεύματος.

- **I_{sc} : ρεύμα βραχυκύκλωσης**
- **V_{oc}: τάση ανοιχτού κυκλώματος.**
- **$P_{mp} = I_{mp}*V_{mp}$: μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς**

Το μέγιστο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μέσα στην καμπύλη I-V με πλευρές **I_{mp}** και **V_{mp}** έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς **P_m**

Το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με πλευρές το I_{sc} (ρεύμα βραχυκύκλωσης) και V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος) που βρίσκεται εξωτερικά της καμπύλης. Στην **εικόνα 9** περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείο ως πηγή σταθερού ρεύματος.

- **FF (fill factor): συντελεστής πλήρωσης**

  Το πηλίκον των εμβαδών των 2 παραλληλογράμμων ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης το φωτοβολταϊκό στοιχείο και δίνει το μέτρο προσέγγισης της λειτουργίας ενός στοιχείου προς προς την ιδανική συμπεριφορά.

$$FF=(I_{mp}*V_{mp})/ (I_{sc}*V_{oc})$$

Η τιμή του FF κυμαίνεται από 0 έως 1. Μια τιμή από 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζει ένα φωτοβολταικό στοιχείο με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση. Απαραίτητο το σημείο λειτουργίας (ΣΜ) να ταυτίζεται με το σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ).

Αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου όταν αυξάνεται προκαλεί μείωση της max αποδιδόμενης ισχύος **Pm**. Η μείωση είναι περίπου 0,4% Για κάθε βαθμό κελσίου πάνω από τους 25°C. Φυσικά κάθε φωτοβολταϊκό είναι διαφορετικό και η μείωση αυτή αναφέρεται στο datasheet.

Η μέση θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι περίπου 30°C μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία του αέρα t_a τους καλοκαιρινούς μήνες. Τον χειμώνα η διαφορά αυτή είναι περίπου 10°C.

Τους καλοκαιρινούς μήνες τα φωτοβολταϊκά λειτουργούν με το χαμηλότερο βαθμό απόδοσης παρόλο που παράγουν περισσότερο ρεύμα. Ωστόσο υπάρχουν πίνακες και δεδομένα στο ίντερνετ τα οποία έχουν τιμές t_a για κάθε περιοχή στην Ελλάδα.

2.3 Οι συνθήκες NOCT και STC

Οι συνθήκες NOCT και STC είναι πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση και αξιολόγηση απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Οι συνθήκες NOCT(nominal operating cell temperature) αναφέρονται στη θερμοκρασία των κυψελών του φωτοβολταϊκού πλαισίου υπό τυπικές περιβαντολλογικές συνθήκες λειτουργίας. Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν:

- Ένταση ακτινοβολίας 800 W/m^2
- θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C
- ταχύτητα ανέμου 1 m/s
- Κλίση του πάνελ μεμονωμένη τοποθέτηση σε γωνία 45 μοιρών σε σχέση με τον ήλιο

Η θερμοκρασία των κυψελών σε αυτές τις συνθήκες είναι συνήθως μεταξύ 40 βαθμών κελσίου και 50 βαθμών κελσίου και δίνει μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της απόδοσης του πλαισίου όταν λειτουργεί στο πεδίο αντί για εργαστηριακές συνθήκες.

Το χειρότερο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι με NOCT 58°C, ένα τυπικό είναι με NOCT 48°C και το καλύτερο είναι με NOCT 33°C.

Οι συνθήκες STC(standard test conditions) είναι οι τυπικές συνθήκες δοκιμών που χρησιμοποιούνται για την βαθμολόγηση και τη σύγκριση των φωτοβολταϊκών πλαισίων αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν:

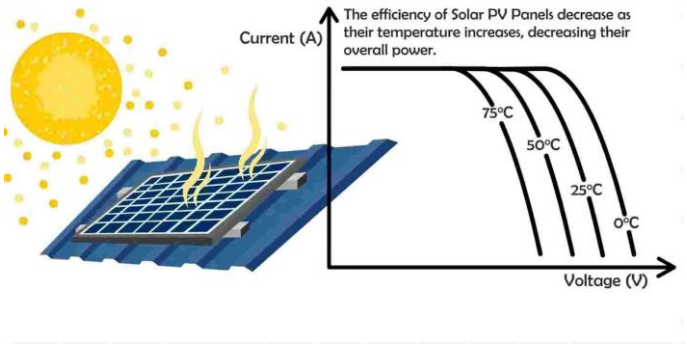
- Ένταση ακτινοβολίας 1000 W/m^2
- Θερμοκρασία κυψελών 25°C
- φασματική κατανομή φωτός: προσομοίωση ηλιακού φάσματος AM 1,5
- Κάθετη πρόπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Οι συνθήκες STC χρησιμοποιούνται για να δώσουν μια αναφορά της μέγιστης δυνατής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου υπό ιδανικές εργαστηριακές συνθήκες και είναι οι συνθήκες που συνήθως αναγράφονται στις ετικέτες των προϊόντων.

Η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου εξαρτάται από την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία του στοιχείου και την αντίσταση του κυκλώματος.

2.4 Υπολογισμός Tcell (θερμοκρασία κυψέλης)

Για να υπολογιστεί το Tcell πρέπει πρώτα να είναι γνωστό το Tair (θερμοκρασία περιβάλλοντος). Η πληροφορία αυτή μπορεί να βρεθεί στην ιστοσελίδα της PVGIS ή από την τεχνική οδηγία της ΤΕΕ και τους πίνακες. Επειδή η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στο βαθμό απόδοσης θα πρέπει να καταγραφεί ανά ώρα η θερμοκρασία του εκάστοτε μηνός.



Εικόνα 10 επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση

Η Tcell υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Tcell=Tair+[(NOCT-20)*G]/800$$

Όπου:

- Tcell: θερμοκρασία κυψέλης
- Tair: θερμοκρασία περιβάλλοντος
- NOCT: θερμοκρασία της κυψέλης αναφέρεται στο datasheet
- G: ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

2.5 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού στοιχείου

Σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο ελέγχονται 4 βασικά χαρακτηριστικά

- Ο συντελεστής πλήρωσης FF
- το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC}
- η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{OC}
- και ο βαθμός απόδοσης n

συνήθως στο datasheet δεν δίνεται ο συντελεστής πλήρωσης αλλά δίνεται το Im και Voc.

$$n=(P_m/P_{HA})=(I_m*V_m)/P_{HA}=(FF*I_{SC}*V_{OC})/P_{HA}$$

όπου:

- P_m σε W: max αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς φωτοβολταϊκού στοιχείου
- P_{HA} σε W : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
- I_m σε A : ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ)
- V_m σε V : τάση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος
- FF : συντελεστής πλήρωσης
- I_{sc} : ρεύμα βραχυκύκλωσης
- V_{oc} : τάση ανοιχτού κυκλώματος

Πολλές φορές η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας, δηλαδή σε W/m^2 , και ονομάζεται πυκνότητα ισχύος. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την επιφάνεια S του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

2.6 Συντελεστές επίδρασης στο βαθμό απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν τόσο την απόδοση της ενέργειας όσο και τη διάρκεια ζωής των συστημάτων αυτών.

1. **Συντελεστής θερμοκρασίας**

$$\mathbf{\Sigma\theta = 1-[(Tair + 30°C) – 25]*\gamma_{mp}}$$

Όπου :

- Σθ : συντελεστής θερμοκρασίας
- Tair : θερμοκρασία αέρα
- γ_{mp} : συντελεστής θερμοκρασίας (δεδομένο από το datasheet συνήθως 0,4%)

(**παρατήρηση** το + 30°C της σχέσης είναι το χειρότερο σενάριο για το καλοκαίρι, εάν είναι χειμώνας είναι +10°C περίπου. Για να υπολογιστεί αυτή τη θερμοκρασία με ακρίβεια χρησιμοποιείται η σχέση του Tcell. Επίσης προτιμότερο είναι να παίρνουμε δεδομένα από το PVGIS για το Tair, για μέση θερμοκρασία ημέρας).

Προτείνεται Tair 24ώρου για να βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματικότητα με το +30°C που είναι το χειρότερο σενάριο.

Το Σθ υπολογίζεται για να βρεθεί η απώλεια του φωτοβολταϊκού. Για παράδειγμα εάν βρεθεί Σθ=0.85 τότε ο βαθμός απόδοσης του πανέλου που λέει το datasheet θα μειωθεί κατά 15%.

2. **Συντελεστής απωλειών διόδου Σδ**

Οι δίοδοι στα φωτοβολταικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία του συστήματος. Η δίοδος παράκαμψης τοποθετείται παράλληλα με τα φωτοβολταϊκά πάνελ για να αποτρέψουν την υπερθέρμανση και τη ζημιά σε περίπτωση που ένα πάνελ σκιάζεται ή παρουσιάζει βλάβη. Προκαλεί ελάχιστες απώλειες ενέργειας της τάξεως 1%. Άρα:

Σδ=0.99

3. **Συντελεστής ρύπανσης Σρ**

η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας είτε από χιόνι, σκόνη και λοιπά. Απαιτείται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας.

Σρ=0.95

4. **Συντελεστής γήρανσης Σγ**

Η μέση ετήσια ποσοστιαία υποβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών είναι κατά μέσο όρο 0,8%-0,7% για Si και 1% με 1,5% για a-Si. Αυτός ο συντελεστής κάθε χρόνο αλλάζει. Εάν η γήρανση που τις περισσότερες φορές υποβαθμίζει το σύστημα κατά 20% τα 25 χρόνια τότε:

20%/25 έτη= 0,8%/έτος άρα Σγ για το πρώτο έτος είναι Σγ=1-0,8%= 0,992%

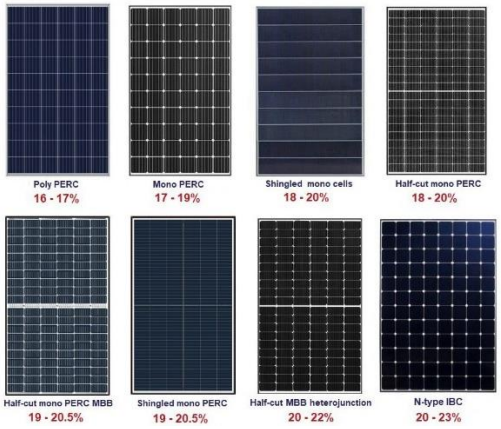
για το δεύτερο έτος Σγ= το 0,992%-0,8%= 0,986%.

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πυριτίου παρουσιάζουν χαμηλότερη ετήσια υποβάθμιση σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά επίσης οι διαφορετικές κλιματικές συνθήκες παρουσιάζουν σημαντικές επιδράσεις στην ποσοστιαία ετήσια μείωση της ενεργειακής απόδοσης.

Παλαιότερα υπήρχε άλλος ένας συντελεστής ο συντελεστής κάλυψης. Επειδή η αρχική μορφή των φωτοβολταϊκών ήταν κυκλική έμενε ανεκμετάλλευτο περίπου 20% της επιφάνειας του πλαισίου στις περιπτώσεις αυτές ο συντελεστής κάλυψης ήταν περίπου 0,8.

2.7 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου

Υπάρχουν διάφορα είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων το καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.



Εικόνα 11

Εικόνα 11 διάφορα είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων.

- **Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά**
  Σαν πλεονεκτήματα υψηλή απόδοση περίπου 18% έως 23% μεγάλη διάρκεια ζωής, καλή απόδοση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και μειονεκτήματα έχουν υψηλότερο κόστος παραγωγής.
- **Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά**

έχουν σαν πλεονέκτημα χαμηλό κόστος παραγωγής, καλή απόδοση περίπου 15%-18% και σαν μειονέκτημα έχουν αυτή είναι ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά.

- Υπάρχουν και τα **άμορφα φωτοβολταϊκά**
  που έχω σαν πλεονέκτημα και αυτά το χαμηλό κόστος παραγωγής, επίσης έχουν ευελιξία στην εφαρμογή δηλαδή μπορεί να τοποθετηθούν σε καμπύλες επιφάνειες. Δυστυχώς έχουν χαμηλότερη απόδοση περίπου 6%-8% και μικρότερη διάρκεια ζωής.
- Και **φωτοβολταϊκά λεπτών υμενίων**
  βασικό πλεονέκτημά τους είναι η καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, έχουν ευελιξία στην εφαρμογή και χαμηλό κόστος παραγωγής. Σαν μειονέκτημα έχουν την χαμηλότερη απόδοση της τάξεως 6%-10% και απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια για την ίδια παραγωγή ενέργειας.

Υπάρχουν επίσης τα **φωτοβολταϊκά αρσενικού γαλλίου** τα οποία έχουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης είναι μεν πολύ ακριβά αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν γιατί είναι τοξικά. Παρακάτω θα αναφερθούν λίγο αναλυτικότερα κυριότερες κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων.

2.8 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πιο γνωστές και διαδεδομένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Ουσιαστικά, πρόκειται για πάνελ τα οποία κατασκευάζονται από πυρίτιο υψηλής καθαρότητας, το οποίο έχει μορφή ενός ενιαίου κρυστάλλου. Αυτή η δομή τους είναι και ο λόγος που χαρακτηρίζονται ως "μονοκρυσταλλικά".

Για να κατασκευαστούν, χρησιμοποιείται μία ειδική διαδικασία που λέγεται μέθοδος Czochralski. Με απλά λόγια, μέσα από αυτή τη διαδικασία παράγεται ένας μονοκρύσταλλος πυριτίου σε μορφή κυλίνδρου (ingot), ο οποίος στη συνέχεια κόβεται σε λεπτές φέτες, γνωστές ως wafers. Αυτές οι φέτες είναι η βάση πάνω στην οποία "χτίζεται" η ηλιακή κυψέλη.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα αυτών των πάνελ είναι ότι έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, δηλαδή μπορούν να μετατρέψουν ένα σημαντικό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως, η απόδοσή τους κυμαίνεται από 18% έως και 22%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, με πιο προηγμένες τεχνολογίες, μπορεί να φτάσει ακόμα υψηλότερα. Γι' αυτόν τον λόγο, είναι ιδανικά για εγκαταστάσεις σε χώρους όπου δεν υπάρχει πολύ διαθέσιμη επιφάνεια, όπως για παράδειγμα σε στέγες κατοικιών.

Επιπλέον, αποδίδουν σχετικά καλά ακόμα και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού (π.χ. συννεφιά) και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, έχουν και ένα μειονέκτημα: κοστίζουν περισσότερο σε σύγκριση με άλλους τύπους φωτοβολταϊκών, όπως τα πολυκρυσταλλικά. Το κόστος αυτό σχετίζεται με το πόσο περίπλοκη και ενεργοβόρα είναι η διαδικασία κατασκευής τους.

Παρόλα αυτά, επειδή έχουν υψηλή απόδοση και μεγάλη ανθεκτικότητα στον χρόνο, θεωρούνται επένδυση που αξίζει — ειδικά όταν πρόκειται για εφαρμογές που στοχεύουν στη μέγιστη ενεργειακή απόδοση σε περιορισμένο χώρο. Τα τελευταία χρόνια, μάλιστα, με την πρόοδο της τεχνολογίας, το κόστος τους έχει αρχίσει να μειώνεται, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τόσο σε οικιακά όσο και σε επαγγελματικά συστήματα.

Συνοψίζοντας, τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά είναι μία αποδοτική και αξιόπιστη λύση για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος, προσφέρουν μακροχρόνια οφέλη, κάτι που τα καθιστά ιδανική επιλογή για πολλές περιπτώσεις.

2.9 Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, που συχνά αναφέρονται και ως πολυσιλικόνης ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si), είναι ένας άλλος πολύ διαδεδομένος τύπος πάνελ που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Η κύρια διαφορά τους σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά είναι η δομή του πυριτίου: αντί για έναν ενιαίο κρύσταλλο, αποτελούνται από πολλούς μικρούς κρυστάλλους πυριτίου που ενώνονται μεταξύ τους.

Η κατασκευή τους είναι λίγο πιο απλή και λιγότερο κοστοβόρα. Συγκεκριμένα, το λιωμένο πυρίτιο τοποθετείται σε καλούπια, όπου ψύχεται αργά και σχηματίζει ένα "μπλοκ" με πολλές κρυσταλλικές δομές. Στη συνέχεια, αυτό κόβεται σε wafers, με παρόμοιο τρόπο όπως και στα μονοκρυσταλλικά.

Λόγω της δομής τους, τα πολυκρυσταλλικά πάνελ έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης, συνήθως μεταξύ 15% και 18%. Αυτό σημαίνει ότι για να παραχθεί η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, χρειάζονται μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά. Παρ' όλα αυτά, το χαμηλότερο κόστος παραγωγής τους τα καθιστά μια αρκετά οικονομική επιλογή, ειδικά για εγκαταστάσεις σε χώρους όπου δεν υπάρχει περιορισμός σε διαθέσιμη επιφάνεια.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των πολυκρυσταλλικών πάνελ είναι η εμφάνισή τους: έχουν συνήθως μπλε χρώμα και μια πιο «σπασμένη» ή ανώμαλη όψη, εξαιτίας των πολλαπλών κρυσταλλικών κόκκων. Αυτό τα καθιστά εύκολα αναγνωρίσιμα σε σχέση με τα πιο σκούρα και ομοιόμορφα μονοκρυσταλλικά πάνελ.

Σε ό,τι αφορά την απόδοσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες ή σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, γενικά θεωρούνται λιγότερο αποδοτικά από τα μονοκρυσταλλικά. Παρόλα αυτά, εξακολουθούν να προσφέρουν ικανοποιητική απόδοση και μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε πολλές γεωγραφικές περιοχές.

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά παραμένουν μια δημοφιλής επιλογή, κυρίως λόγω του καλού συνδυασμού τιμής και απόδοσης. Ιδιαίτερα σε μαζικές εγκαταστάσεις, όπως αγροτικά πάρκα ή ηλιακά έργα μεγάλης κλίμακας, η χαμηλότερη τιμή ανά watt ισχύος τα καθιστά αρκετά ελκυστικά.

Συμπερασματικά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά προσφέρουν μια πιο οικονομική λύση για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας, με ελαφρώς μειωμένη απόδοση αλλά με αξιόπιστη λειτουργία και καλή σχέση κόστους-απόδοσης. Είναι μια πρακτική επιλογή για όσους θέλουν να επενδύσουν σε φωτοβολταϊκά χωρίς να επιβαρυνθούν με το κόστος των μονοκρυσταλλικών.

2.10 Άμορφα φωτοβολταικά πλαίσια

Τα άμορφα φωτοβολταϊκά, ή αλλιώς φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου (a-Si, από το amorphous silicon), αποτελούν μία τελείως διαφορετική κατηγορία σε σχέση με τα

μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά πάνελ. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι δεν βασίζονται σε κρυσταλλική δομή του πυριτίου, αλλά σε άμορφη – δηλαδή άτακτη – μορφή του, κάτι που τους δίνει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τόσο στη λειτουργία όσο και στη μορφή τους.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά πάνελ, τα άμορφα φωτοβολταϊκά φτιάχνονται με την εναπόθεση πολύ λεπτής στρώσης πυριτίου πάνω σε υποστρώματα όπως γυαλί, πλαστικό ή μέταλλο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι πολύ λεπτά, εύκαμπτα και ελαφριά, κάτι που τα κάνει ιδανικά για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως φορητές συσκευές, στέγαστρα στάθμευσης, σκίαστρα ή και φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτήρια (BIPV – Building Integrated Photovoltaics).

Ωστόσο, η απόδοσή τους είναι αρκετά χαμηλότερη από αυτή των κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών. Συνήθως, κυμαίνεται μεταξύ 6% και 10%, κάτι που σημαίνει ότι χρειάζονται πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια για να παραχθεί η ίδια ποσότητα ενέργειας. Παρόλα αυτά, παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε διάχυτο ή χαμηλό φωτισμό (όπως σε συννεφιασμένες μέρες) και έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου άλλα πάνελ χάνουν σημαντικά μέρος της απόδοσής τους.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να παραχθούν με χαμηλότερο κόστος, επειδή απαιτούν λιγότερη ποσότητα πυριτίου και πιο απλή διαδικασία κατασκευής. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούνται συχνά σε φθηνότερες εφαρμογές, όπου το ζητούμενο δεν είναι η μέγιστη απόδοση, αλλά η ευελιξία και η οικονομία.

Βέβαια, έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Εκτός από τη χαμηλή απόδοση, ένα σημαντικό ζήτημα είναι η υποβάθμιση απόδοσης με τον χρόνο, γνωστή και ως "Staebler-Wronski effect", που μπορεί να μειώσει σημαντικά την ενεργειακή τους απόδοση κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας. Παρά τις βελτιώσεις των τελευταίων ετών, αυτό παραμένει ένα θέμα που λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό τους.

Συνολικά, τα άμορφα φωτοβολταϊκά αποτελούν μία ειδική κατηγορία που δεν προορίζεται για όλες τις χρήσεις, αλλά είναι εξαιρετικά χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται χαμηλό βάρος, ευκαμψία ή χαμηλό κόστος. Δεν ανταγωνίζονται τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά πάνελ σε απόδοση, αλλά έχουν θέση στην αγορά για συγκεκριμένες και εναλλακτικές εφαρμογές.

2.11 Διαδικασια παραγώγης

Η παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι μια διαδικασία που απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, καθαρές συνθήκες και μεγάλη ακρίβεια, καθώς κάθε στάδιο επηρεάζει άμεσα την απόδοση και τη διάρκεια ζωής του τελικού προϊόντος. Παρόλο που η τεχνολογία διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του πάνελ (μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο), η βασική γραμμή παραγωγής σε ένα εργοστάσιο ακολουθεί ορισμένα κοινά στάδια.

1. Παραγωγή ή Προμήθεια των Wafers

Το πρώτο βήμα αφορά την **παραγωγή των λεγόμενων wafers**, δηλαδή των λεπτών δίσκων πυριτίου που θα αποτελέσουν τη βάση της ηλιακής κυψέλης. Στην περίπτωση των μονοκρυσταλλικών πάνελ, τα wafers προέρχονται από ένα ενιαίο κρύσταλλο πυριτίου (ingot), ενώ στα πολυκρυσταλλικά, ο ingot αποτελείται από πολλούς μικρούς κρυστάλλους.

Η κοπή των wafers γίνεται με ειδικά μηχανήματα με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να έχουν το επιθυμητό πάχος (συνήθως γύρω στα 160-200 μικρόμετρα). Μετά την κοπή, τα wafers καθαρίζονται σχολαστικά για να αφαιρεθούν κατάλοιπα και σκόνη.

2. Διέλευση από Καθαρό Χώρο (Clean Room) και Επεξεργασία Επιφάνειας

Στη συνέχεια, τα wafers μεταφέρονται σε **καθαρό χώρο**, όπου δεν επιτρέπεται σκόνη ή ρύπανση, γιατί ακόμα και ένα μικρό σωματίδιο μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της κυψέλης. Εκεί, υφίστανται χημική επεξεργασία για να δημιουργηθεί μία ειδική υφή στην επιφάνειά τους, που βοηθάει στη **μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας** (anti-reflective texture).

3. Δοπάρισμα (Doping) και Δημιουργία Επαφών

Ακολουθεί η φάση του **δοπαρίσματος**, δηλαδή η εισαγωγή άλλων στοιχείων στο πυρίτιο, ώστε να δημιουργηθεί ημιαγωγική συμπεριφορά. Συνήθως, προστίθεται φώσφορος ή βορόνιο, ανάλογα με το αν πρόκειται για τύπου n ή p πυρίτιο.

Μετά, τυπώνονται πάνω στην κυψέλη τα **μεταλλικά πλέγματα (fingers και busbars)**, που λειτουργούν ως αγωγοί για να συλλέγουν και να μεταφέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

4. Συναρμολόγηση Κυψελών (Cell Interconnection)

Όταν οι ηλιακές κυψέλες είναι έτοιμες, συνδέονται μεταξύ τους με **λεπτούς αγωγούς (ribbons)** σε σειρά και παράλληλα, ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρικό κύκλωμα. Η κάθε ομάδα κυψελών τοποθετείται επάνω σε ειδικό υπόστρωμα.

5. Εγκιβωτισμός και Προστατευτικά Στρώματα

Για να προστατευτούν οι κυψέλες από την υγρασία, τη σκόνη και τις μηχανικές καταπονήσεις, γίνεται **εγκιβωτισμός** τους με ειδικά υλικά, όπως EVA (ethylene vinyl acetate). Αυτά τα προστατευτικά στρώματα τοποθετούνται εμπρός και πίσω από τις κυψέλες, και στη συνέχεια περνούν από θερμοπίεση (lamination), ώστε να ενωθούν όλα τα στρώματα σε μία συμπαγή ενότητα.

6. Τοποθέτηση Πλαισίου και Συνδέσμων

Μετά τον εγκιβωτισμό, προστίθεται **αλουμινένιο πλαίσιο** γύρω από το πάνελ για να του δώσει μηχανική αντοχή. Στο πίσω μέρος, τοποθετείται **κουτί συνδέσεων (junction box)**, από όπου θα περνάει το ρεύμα που παράγει το πάνελ.

7. Έλεγχος Ποιότητας και Δοκιμές

Κάθε πάνελ υποβάλλεται σε **ηλεκτρικούς και οπτικούς ελέγχους**, ώστε να διαπιστωθεί αν λειτουργεί σωστά και σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ελέγχεται η ισχύς εξόδου (Watt), η τάση και το ρεύμα, και το πάνελ κατατάσσεται ανάλογα με την απόδοσή του.

Επίσης, κάποια δείγματα περνούν από **δοκιμές καταπόνησης** (θερμοκρασίας, υγρασίας, μηχανικής πίεσης) για να διασφαλιστεί η αντοχή τους σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

8. Συσκευασία και Αποστολή

Τέλος, τα πάνελ συσκευάζονται προσεκτικά και τοποθετούνται σε ειδικές παλέτες, έτοιμα για μεταφορά και εγκατάσταση. Στο σημείο αυτό, συνοδεύονται από πιστοποιητικά ποιότητας και φύλλα δεδομένων (datasheets).

2.12 Βαθμός απόδοσης πλαισίου n_{π}

Ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου αναφέρεται στην ικανότητά του να μετατρέπει την ηλιακή σε ηλεκτρική. Συνήθως ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 13% και 19% για τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ τα οποία είναι πιο αποδοτικά μπορούν να φτάσουν αποδόσεις έως και 24% με τις κατάλληλες επιστρώσεις. Από την άλλη πλευρά τα πολυκρυσταλλικά πάνελ που είναι πιο οικονομικά έχουν αποδόσεις περίπου 15%-16%. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας η θερμοκρασία και η γωνία πρόσπτωσης του φωτός.

$$\mathbf{n=Pp/P_{HA}\ ή\ n=Pp/P_{HA}*S}$$

Όπου

- Pp σε W : η max αποδιδόμενη ισχύς
- P_{HA} σεW ή W/m^2 : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
- S σε m^2 : η επιφάνεια

η ισχύς αιχμής Pp (pick power) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC.

Για να γίνουν υπολογισμοί χρειάζονται:

- ισχύ αιχμής Pp
- το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC}
- τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{OC}
- ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος I_{SC}
- τάση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος V_{OC}
- χαρακτηριστικές καμπύλες για διαφορετική ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία
- αριθμό κυψελών το βάρος και τις διαστάσεις

Για τον έλεγχο του βαθμό απόδοσης που λέει το datasheet χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$n_{STC}=(Pp/P_{STC})/S\pi$$

Όπου:

- Pp σε Wp : η max αποδιδόμενη ισχύς
- Sπ σε m^2 : η επιφάνεια πλαισίου
- P_{STC} σε W : Ένταση ακτινοβολίας 1000 W/m^2

Η σχέση όμως που χρησιμοποιείται πραγματικά είναι:

$$n=E_P/E_{HA}*S$$

όπου:

- E_P σε Wh μαξ αποδιδόμενη ηλεκτρική φωτοβολταϊκού
- E_{HA} σε Wh/m^2 προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (PVGIS)
- S επιφάνεια του πλαισίου

Επειδή ο βαθμός απόδοσης ενός πλαισίου μειώνεται λόγω απωλειών ο πραγματικός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται παρακάτω.

$$n_{\pi}=n_{STC}*\sigma_{\gamma}*\sigma_{\rho}*\sigma_{\theta}*\sigma_{\delta}$$

Όπου:

- n_{STC} ο βαθμός απόδοσης που λέει το datasheet
- σ_{γ} ο συντελεστής γήρανσης
- σ_{ρ} ο συντελεστής ρύπανσης
- σ_{θ} ο συντελεστής θερμοκρασίας
- σ_{δ} ο συντελεστής απωλειών διόδου

Κεφάλαιο 3 Φωτοβολταϊκή συστοιχία

3.1 Βαθμός απόδοσης n_{Σ} της φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Ο βαθμός απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας αναφέρεται στο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

$$\mathbf{n_{\Sigma}=n_{\pi}*\sigma_{\alpha}*\sigma_{\kappa}}$$

όπου:

- $\mathbf{n_{\Sigma}}$ ο βαθμός απόδοσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- $\mathbf{n_{\pi}}$ ο πραγματικός βαθμός απόδοσης του πλαισίου
- $\mathbf{\sigma_{\alpha}}$ ο συντελεστής ανομοιογένειας περίπου 0,98
- $\mathbf{\sigma_{\kappa}}$ ο συντελεστής καλωδιώσεων περίπου 0,98

Ο συντελεστής της ανομοιογένειας εκφράζει την ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών I-V φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαρτίζουν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, και ο συντελεστής σ_{κ} εκφράζει τις απώλειες στα καλώδια σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας. Οι απώλειες που καταγράφονται συνήθως στα καλώδια μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι της τάξεως του 0,5% έως 2%.

3.2 Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας σ_{μ}

Ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας σ_{μ} περιλαμβάνει όλες τις απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος. Υπάρχουν οι παρακάτω 2 δύο περιπτώσεις.

1. **Χωρίς ηλεκτρικό συσσωρευτή (on-Grid)**
    - Με μετατροπείς τάσεως DC/DC (converter) και DC/AC (inverter) με σ_{μ}=0,85-0,90
    - Μόνο με μετατροπέα τάσεως DC/AC (inverter) με σ_{μ}= 0,96-0,98
    - Και χωρίς μετατροπέα τάσεως σ_{μ}=0,99 αυτή η περίπτωση είναι σχεδόν απίθανη και το 1% απώλεια είναι των καλωδίων)

2. **Με ηλεκτρικό συσσωρευτή (off-Grid, Αυτόνομο)**

(λόγω του ελεγκτή φόρτισης υπάρχουν περισσότερες απώλειες)

- Με μετατροπείς τάσεως DC/DC (converter) και DC/AC (inverter) με σ_{μ}=0,75-0,80
- Μόνο με μετατροπέα τάσεως DC/AC (inverter) με σ_{μ}= 0,85-0,90
- Και χωρίς μετατροπέα τάσεως σ_{μ}=0,92

3.3 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Για τα αυτόνομης λειτουργίας φωτοβολταϊκά η απαιτούμενη ισχύς Pp (kW) Και η επιφάνεια m^2 των φωτοβολταϊκών πανέλων υπολογίζεται για τον μήνα με τη χαμηλότερη ηλιοφάνεια (E_{HA}) και κατά συνέπεια τη χαμηλότερη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (kWh/m^2). Ως διαθέσιμη ημερήσια ηλιακή για τους υπολογισμούς θεωρείται η μέση ημερήσια ηλιακή (E_{HA} σε kWh/m^2) για βέλτιστη χειμερινή κλίση (60 μοίρες έως 65 μοίρες) της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού και για το μήνα με τη χαμηλότερη ηλιοφάνεια στην υπό μελέτη περιοχή. Στην περίπτωση που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας τους θερινούς μήνες τότε η κλίση των φωτοβολταϊκών και η τιμή της ηλιακής ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση τους, επιλέγεται ανάλογα με τα απαιτούμενα φορτία ανά εποχή. Η απαιτούμενη ελάχιστη επιφάνεια και η ισχύς των φωτοβολταϊκών μιας αυτόνομης εγκατάστασης η οποία θα πρέπει να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό του κτιρίου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν το μέσο ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο την εκτιμούμενη περίοδο N μέρες αυτόνομης λειτουργίας φωτοβολταϊκών λόγω νεφοσκεπών ημερών, Την διαθέσιμη ηλιακή ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών E_{HA}, καθώς και τον πραγματικό βαθμό απόδοσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης όπως διαμορφώνεται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και τον βαθμό απόδοσης των βοηθητικών συστημάτων

3.4 Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Ισχύ αιχμής Pp μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που αποδίδεται από την φωτοβολταϊκή συστοιχία κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC. Η ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\mathbf{Pp_{\Sigma}=(E_K*P_{STC}*m)/(E_{HA}*\sigma_{A\Sigma}*\sigma_{\mu})}$$

Όπου:

- E_K (kWh/ημ) ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης
- P_{STC} (kW/m^2) ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC (1000W/m^2)
- m συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων (m=1,1-1,2)
- E_{HA} (kWh/m^2 * ημ) ημερήσια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
- $\sigma_{A\Sigma}$ συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- σ_{μ} συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας

Ο συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκής συστοιχίας περιλαμβάνει όλες τις απώλειες στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τη φωτοβολταϊκή συστοιχία δηλαδή:

$$\mathbf{\sigma_{A\Sigma} = \sigma_{\gamma}*\sigma_{\rho}*\sigma_{\theta}*\sigma_{\delta}* \sigma_{\alpha}*\sigma_{\kappa}}$$

3.5 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Έστω ότι υπάρχει μια φωτοβολταϊκή συστοιχία που αποτελείται από N φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία μοιράζονται Nπ κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα μεταξύ τους και κάθε κλάδος περιλαμβάνει Nσ φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά.

Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση

$$\mathbf{N=N\pi*N\sigma}$$

Όπου:

- N τα συνολικά πλαίσια

- Νπ αριθμός παράλληλων κλάδων φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Νσ αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά ανά κλάδο

Μερικοί κανόνες συνδεσμολογίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι

1. η τάση ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να είναι ίση με την τάση ρεύματος ενός κλάδου (αφού οι κλάδοι είναι παράλληλα συνδεμένοι μεταξύ τους).
2. Η τάση ρεύματος ενός κλάδου ισούται με το γινόμενο της τάσεως ρεύματος ενός πλαισίου επί τον αριθμό των πλαισίων.
3. Η ένταση ρεύματος ισούται με το γινόμενο της έντασης ρεύματος ενός κλάδου επί τον αριθμό των κλάδων.
4. Η ένταση ρεύματος ενός κλάδου είναι ίση με την ένταση ρεύματος ενός πλαισίου(αφού τα πλαίσια είναι συνδεμένα σε σειρά μεταξύ τους).

Άρα η μέγιστη τάση ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι η μέγιστη τάση ρεύματος φωτοβολταϊκού πλαισίου επί τον αριθμό των φωτοβολταικών πλαισίων σε σειρά ανά κλάδο. Η μέγιστη ένταση ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι μέγιστη ένταση ρεύματος του φωτοβολταϊκού πλαισίου επί τον αριθμό παράλληλων κλάδων.

Ο καθορισμός της συνδεσμολογίας των πλαισίων της φωτοβολταϊκής συστοιχίας γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

1. Υπολογισμός αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων

$$\mathbf{N=P_{pΣ}/P_{pΠ}}$$

Όπου:

- Ν τα πλαίσια
- $P_{pΣ}$ ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- $P_{pΠ}$ ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκού πλαισίου

2. Υπολογισμός αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά

$$\mathbf{Nσ= V_{mΣ}/V_{mΠ}}$$

Όπου:

- Νσ τα φωτοβολταικά πλαίσια συνδεμένα σε σειρά
- $V_{mΣ}$ μέγιστη τάση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- $V_{mΠ}$ μέγιστη τάση ρεύματος φωτοβολταϊκού πλαισίου

3. Υπολογισμός αριθμού παράλληλων κλάδων

Νπ=Ν/Νσ

Οι αριθμοί **Ν,Νσ** και **Νπ** στρογγυλεύονται προς τον επόμενο ακέραιο.

Κεφάλαιο 4 ηλεκτρονικές διατάξεις

4.1 Επιλογή κατάλληλου μετατροπέα

Για την μακροχρόνια λειτουργία του συστήματος και την απόδοση, είναι σημαντική η επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα ρεύματος. Αρχικά η ισχύς του μετατροπέα ρεύματος πρέπει να είναι κατάλληλη για το μέγεθος του φωτοβολταϊκού συστήματος, δηλαδή πρέπει να έχει ισχύ ίση ή ελαφρώς μικρότερη από την ισχύ των πάνελ. Αυτό εξασφαλίζει ότι το σύστημα λειτουργεί αποδοτικά και χωρίς περιττές απώλειες. Προτείνεται πάντα ένας μετατροπέας ηλεκτρικού ρεύματος να έχει υψηλή αποδοτικότητα εξασφαλίζοντας ότι η ενέργεια που παράγουν τα πάνελ δεν χάνεται κατά τη μετατροπή από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

Επιπλέον ο ηλεκτρονικός μετατροπέας πρέπει να είναι συμβατός με το τοπικό δίκτυο ηλεκτρισμού. Πρέπει να υποστηρίζει την τάση και τη συχνότητα του δικτύου και να πληροί τις απαιτήσεις για συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα. Επίσης σε περιπτώσεις σκίασης των πάνελ, η ενσωματωμένη τεχνολογία MPPT βοηθά στην εξαγωγή της μέγιστης δυνατής ενέργειας από το σύστημα. Θα μελετηθούν και οι 2 περιπτώσεις επιλογής μετατροπέα τάσεως είτε αυτό είναι αυτόνομο σύστημα είτε συνδέεται στο δίκτυο παρακάτω.

- **Σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο**

σε ένα σύστημα που συνδέεται με το δίκτυο, ο μετατροπέας πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές για να λειτουργεί σωστά. Κατ αρχάς, πρέπει να είναι συμβατός με το δίκτυο της περιοχής και να έχει την απαιτούμενη πιστοποίηση. Ένας άνθρωπος θα επέλεγε έναν μετατροπέα με ισχύ αντίστοιχη ή λίγο μεγαλύτερη από την ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ, ώστε να διαχειρίζεται την ενέργεια που παράγεται, ακόμα και σε μέγιστες συνθήκες. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η προστασία από την νησιδοποίηση, η οποία διασφαλίζει ότι ο μετατροπέας θα σταματήσει να παρέχει ρεύμα σε περίπτωση διακοπής του δικτύου, για λόγους ασφαλείας. Τέλος θα ήταν καλό μετατροπέας να έχει υψηλή απόδοση και καλή εγγύηση από τον κατασκευαστή.

- **Αυτόνομο σύστημα**

σε αυτόνομα συστήματα όπου μετατροπέας λειτουργεί ανεξάρτητα από το δίκτυο οι παράγοντες επιλογής είναι διαφορετικοί. Πρώτα από όλα, ο μετατροπέας θα έπρεπε να έχει τη σωστή ισχύ ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του φορτίου. Για παράδειγμα σε ένα σπίτι με πολλές συσκευές που χρειάζονται υψηλή ισχύ κατά την εκκίνηση, ο μετατροπέας πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει αυτές τις αιχμές. Η συμβατότητα με την τάση των μπαταριών του συστήματος είναι εξίσου σημαντική.

Σε αυτόνομες εφαρμογές οι χρήστες θα προτιμούσαν έναν μετατροπέα που παράγει καθαρό ημιτονοειδές κύμα, αν χρησιμοποιούν ευαίσθητες συσκευές όπως υπολογιστές. Επίσης, η υψηλή απόδοση θα ήταν απαραίτητη για να αποφεύγονται οι ενεργειακές απώλειες. Η αντοχή και η αξιοπιστία του μετατροπέα είναι κρίσιμες καθώς η συνεχής παροχή ρεύματος εξαρτάται αποκλειστικά από αυτόν, και συχνά απαιτούνται και συστήματα προστασίας για τις μπαταρίες.

Για για την επιλογή του μετατροπέα τάσεως, πρέπει η τάση να είναι ίση με την ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή, f επίσης η ισχύς στην έξοδο του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα και η ισχύ αιχμής πρέπει να είναι τριπλάσια της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Τέλος η τάση έξοδο του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με την τάση των φορτίων κατανάλωσης.

4.2 Χώρος εγκατάστασης ηλεκτρονικού μετατροπέα

Όταν επιλέγουμε τον χώρο εγκατάστασης ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα για φωτοβολταϊκά, υπάρχουν κάποια βασικά πράγματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η σωστή τοποθέτηση είναι πολύ σημαντική για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος και η μακροχρόνια απόδοση του.

Πρώτα από όλα πρέπει ο χώρος να είναι προστατευμένος από τις καιρικές συνθήκες. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένος απευθείας στον ήλιο,

στη βροχή ή σε ακραία φαινόμενα. Αν είναι κατασκευασμένος για εξωτερικούς χώρους μπορεί να τοποθετηθεί έξω. Σε αντίθετη περίπτωση καλό είναι να βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο ή τουλάχιστον κάπου που να έχει σκιά.

Άλλο ένα σημαντικό ζήτημα είναι ο αερισμός. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας παράγει θερμότητα όταν δουλεύει, οπότε χρειάζεται να εγκατασταθεί σε σημείο με καλή ροή αέρα για να μην υπερθερμαίνεται. Παράλληλα πρέπει να αποφεύγεται η υγρασία και η σκόνη γιατί αυτά μπορεί να επηρεάσουν τη διάρκεια ζωής τους.

Η απόσταση από το φωτοβολταϊκά πάνελ παίζει και αυτή ρόλο. Όσο πιο κοντά είναι ο μετατροπέας στα πάνελ τόσο λιγότερες ενεργειακές απώλειες θα έχει από τα καλώδια . Αν ο μετατροπέας είναι μακριά από τα πάνελ θα χρειαστούν μεγαλύτερα καλώδια κάτι που αυξάνει και το κόστος εγκατάστασης και τις απώλειες ισχύος.

Επιπλέον ο ηλεκτρονικός μετατροπέας πρέπει να είναι τοποθετημένος σε σημείο που να είναι εφικτή η συντήρηση ή επισκευή. Χρειάζεται επίσης να υπάρχει αρκετός χώρος γύρω του για να γίνονται οι απαραίτητες εργασίες με ασφάλεια.

Δεν πρέπει να είναι κοντά σε συσκευές που μπορεί να επηρεαστούν από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές καθώς ο ηλεκτρονικός μετατροπέας μπορεί να προκαλέσει τέτοιου είδους προβλήματα.



Εικόνα 12 ηλεκτρονικοί μετατροπείς τοποθετημένοι κάτω από τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

4.3 Επιλογή ηλεκτρικών συσσωρευτών σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παρέχει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, για την ικανοποίηση της ζήτησης και τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Τέτοιες περίοδοι είναι η νυχτερινές ώρες και συννεφιασμένες ημέρες. Όταν η παραγωγή δεν ανταποκρίνεται στη ζήτηση καλύπτεται από ειδικές διατάξεις που ονομάζεται ηλεκτρικοί συσσωρευτές.

Είναι προφανές ότι η ποσότητα της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται κυρίως από το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς. Συνήθως απαιτείται μια αυτοδυναμία 3-4 ημερών.



Εικόνα 13 ηλεκτρονικοί συσσωρευτές.

Ένας ηλεκτρικός συσσωρευτής αποτελείται από ζεύγη μεταλλικών ηλεκτροδίων συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά, τα οποία έχουν συνήθως τη μορφή πλακών και είναι εμβαπτισμένα σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη. Κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων ονομάζεται στοιχείο.

Ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές διακρίνονται σε πολλούς τύπους. Ο πιο δημοφιλής συσσωρευτής, αλλά και οικονομικότερος είναι

ο συσσωρευτής μολύβδου θειικού οξέος. Δηλαδή ο συσσωρευτής του οποίου τα ηλεκτρόδια μολύβδου είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα θειικού οξέος.

Σήμερα παράγονται και συσσωρευτές μολύβδου σφραγισμένη αεροστεγώς, οι οποίοι δεν απαιτούν συμπλήρωση νερού και έχουν ηλεκτρολύτη σε παχύρευστη μορφή. Οι ελεγκτές αυτοί δεν απαιτούν συντήρηση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές υπό κλίση χωρίς να υπάρχει κίνδυνος για ροής του ηλεκτρολύτη. Μειονέκτημά του είναι ότι έχει υψηλό κόστος και διπλάσια μείωση της χωρητικότητάς τους σε σχέση με την αντίστοιχη μείωση της χωρητικότητας των συσσωρευτών με ηλεκτρολύτη υγρής κατάστασης σε θερμοκρασίες κάτω των μηδέν βαθμών κελσίου.

Επίσης να αναφερθεί μόνο ότι λόγω των χημικών αντιδράσεων, στα άκρα ενός στοιχείου αναπτύσσεται ονομαστική τάση 2,35 βολτ. Έτσι ένα συσσωρευτής μολύβδου θειικού οξέος με 6 στοιχεία έχει ονομαστική τάση 12 βολτ και με 12 στοιχεία 24 βολτ. Αυτές είναι οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν. Πάντως συχνά στα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί συσσωρευτές με δεκάδες στοιχεία σε στη σειρά ώστε να έχουν ονομαστική τάση 200-300 βολτ.

Οι συσσωρευτές για φωτοβολταϊκές εφαρμογές είναι ειδικά σχεδιασμένες για βαθιές εκφορτίσεις και έχουν βέλτιστη κατασκευή σε σχέση με συμβατικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι:

- χαμηλή εσωτερική αντίσταση
- μεγάλη αντοχή σε κύκλους και βαθιές εκφορτίσεις
- f αποφυγή στρωματοποίησης του ηλεκτρολύτη εξαναγκασμένη ροή

οι μπαταρίες τύπου μολύβδου οξέος κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα διότι συνδυάζουν μεγάλο χρόνο ζωής με ικανοποιητικό κόστος αρχικής επένδυσης.

4.4 Υπολογισμός συστοιχίας συσσωρευτών

Για να **υπολογιστεί η συστοιχία συσσωρευτών** χρειάζονται 2 πράγματα. Το ένα είναι η **τάση** της συστοιχίας, και το άλλο είναι η **χωρητικότητα** δηλαδή οι ημέρες

αυτονομίας και η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών. Παρακάτω υπάρχει πινακάκι το οποίο προτείνει ονομαστικές τάσεις ηλεκτρικών συσσωρευτών σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ισχύ αιχμής	**τάση συσσωρευτή**
μηδέν έως 0,5	12
0,5 έως 3	24
3 έως 10	48
μεγαλύτερο του 10	μεγαλύτερο του 48

Πίνακας 1. Προτεινόμενες τάσεις

Η ονομαστική χωρητικότητα C ενός συσσωρευτή μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας Νκ δηλαδή ο αριθμός των διαδοχικών φορτίσεων και εκφορτίσεων του συσσωρευτή. Το ποσό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας ο προσφέρεται από το συσσωρευτή σε κάθε εκφόρτιση ονομάζεται βάθος εκφόρτισης Βκ. Το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας παραμένει σταθερό. Είναι 1200 περίπου για φωτοβολταϊκούς συσσωρευτές και 120 για κοινούς συσσωρευτές.

Επιλογή βάθους εκφόρτισης β

- β = 0,4 για 1- 3 μέρες αυτονομίας
- β = 0,6 4-6 μέρες αυτονομίας
- β = 0,8 7-10 μέρες αυτονομίας
- β = 0,2-0,3 για ένα θερμοκρασία περιβάλλοντος ta<0 °C

Αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι η διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, που λειτουργεί με βάθος εκφόρτισης β=0,25-0,3 μπορεί να υπερβεί τα 10 έτη.

Επίσης με την πάροδο του χρόνου, η ονομαστική χωρητικότητα μειώνεται. Η μείωση αυτή ονομάζεται γήρανση του συσσωρευτή και εκφράζεται με τον συντελεστή γήρανσης. Ο συντελεστής γήρανσης είναι περίπου ίσος με 0,8. F άρα στο τέλος της ζωής του συσσωρευτής έχει χωρητικότητα ίση με το 80% της αρχικής ονομαστικής τιμής.

Ο χρόνος ζωής του συσσωρευτή επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία λειτουργίας του. Δηλαδή οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν σημαντικά το χρόνο ζωής, λόγω αύξησης της αυτοεκφόρτισης του σωρευτή. Αυτοεκφόρτιση ονομάζεται η

εκφόρτιση του συσσωρευτή ακόμη και αν δεν είναι συνδεμένος με κάποιο φορτίο. Οι τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή μολύβδου-θειικού οξέος είναι η ακόλουθοι:

- μείωση χωρητικότητας κατά 2% ανά μήνα για θερμοκρασία λειτουργίας 5 βαθμών κελσίου
- μείωση χωρητικότητας κατά 4% ανά μήνα για θερμοκρασία λειτουργίας 15 βαθμών κελσίου
- και μείωση χωρητικότητας κατά 10% ανά μήνα για θερμοκρασία λειτουργίας 25 βαθμών κελσίου.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες επίσης περιορίζουν σημαντικά τη χωρητικότητα του συσσωρευτή, δηλαδή τη δυνατότητα που έχει να αποθηκεύσει ηλεκτρικό φορτίο. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν ο ηλεκτρικός συσσωρευτής λειτουργεί σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες προκειμένου να αποφύγουμε το πάγωμα του ηλεκτρολύτη και την καταστροφή του συσσωρευτή.

Τέλος η ήπια φόρτιση αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση του ηλεκτρικού συσσωρευτή σε καλή κατάσταση. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος φόρτισης έως το ανώτατο όριο φόρτισης ενός στοιχείου τόσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα του συσσωρευτή.

Οι πιο κατάλληλες τιμές ρεύματος φόρτισης είναι:

- Iφ≤ C/10 για φωτοβολταϊκούς συσσωρευτές
- Iφ≤ C/20 για κείνους συσσωρευτές αυτοκινήτων.

4.5 Δυσλειτουργία συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (συσσωρευτών)

Η μη ορθή χρήση και συντήρηση των συστημάτων αποθήκευσης, που ενδεχομένως να διαθέτει μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, αποτελεί το κύριο πρόβλημα για την επίτευξη της προβλεπόμενης διάρκειας ζωής τους. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να τηρούνται οι οδηγίες συντήρησης όπως προτείνονται από τον κατασκευαστή, όπως η συμπλήρωση απιονισμένου νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ο έλεγχος

διάβρωσης των πόλων, ο επαρκής εξαερισμός του χώρου και λοιπά. Επίσης θα πρέπει να τηρούνται προτεινόμενες θερμοκρασίες στις συνθήκες λειτουργίας των συσσωρευτών, ώστε να εξασφαλίζεται η επαρκείς απόδοσης τους. Τέλος συνιστάται η εγκατάσταση κατάλληλης μετρικής διάταξης, ώστε να ελέγχεται άμεσα και συνεχώς η ορθή χρήση και φόρτιση των συσσωρευτών.

4.6 Βαθμός απόδοσης συσσωρευτή

Ο βαθμός απόδοσης η_β ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή προκύπτει από το πηλίκον της ηλεκτρικής ενέργειας που αποδίδει κατά την εκφόρτιση προς την ηλεκτρική που του προσφέρεται κατά την φόρτιση.

$$\eta_\beta = Eεκ/Eφ$$

όπου:

- η_β είναι ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή
- Εεκ αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή
- Εφ προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά τη φόρτιση του συσσωρευτή

Είναι σημαντικό να αναφερθούν και μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης όπως είναι η θερμοκρασία λειτουργίας και ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης. Φυσικά σημαντικό ρόλο παίζει και ο τύπος της μπαταρίας, αφού διαφορετικές τεχνολογίες μπαταριών παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα απόδοσης.

Μερικοί τύποι μπαταρίας είναι μολύβδου οξέος ο βαθμός απόδοσης είναι περίπου από 70% έως 85% είναι η παλαιότερη και φθηνότερη τεχνολογία αλλά παρουσιάζει υψηλότερες απώλειες. Άλλος τύπος μπαταρίας είναι του λιθίου ιόντων όπου έχουν βαθμό απόδοσης 90-98% αποτελούν την πιο σύγχρονη και αποδοτική επιλογή για φωτοβολταϊκά συστήματα. Και υπάρχουν και οι νικελίου καδμίου όπου παρόλο που ο βαθμός απόδοσης είναι 60 έως 80% χρησιμοποιούνται κυρίως σε εξειδικευμένες εφαρμογές λόγω υψηλής αντοχής. Προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Τύπος μπαταρίας	απόδοση
μολύβδου οξέος	70% έως 85%
λιθίου ιόντων	90 εώς 98%
νικελίου καδμίου	60 έως 80%

Πίνακας 2. σχέση τύπου-απόδοσης.

Η απόδοση των συσσωρευτών μειώνεται σε ακραίες θερμοκρασίες. Οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν τη γήρανση της μπαταρίας, ενώ οι χαμηλές μειώνουν την ικανότητα φόρτισης και εκφόρτισης.

4.7 Ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή

Η ονομαστική χωρητικότητα ενός ηλεκτρονικού συσσωρευτή, δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευθεί στο εσωτερικό του με τη μορφή χημικής ενέργειας, δίνεται από τη σχέση:

$$C=[(n+b)*m*Eκ]/(\sigma_{γB}*\sigma_{εκ}*\beta_{εκ}*V_B)$$

Όπου:

- n αριθμός μη ήλιο φανών ημερών (ημέρες αυτονομίας του συστήματος συνήθως 4 ημέρες)
- b ποσοστό φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας

$$b=Eκε/Eκ$$

- Εκε είναι ηλεκτρική ενέργεια που καλύπτεται από τον συσσωρευτή και μετριέται σε Wh/ημέρα.
- Εκ είναι η ηλεκτρική κατανάλωσης και μετριέται σε Wh/ημέρα
- m συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων για να καλύψουμε μια πιθανή υποτίμηση των αναγκών της κατανάλωσης συνήθως m=1,2
- $\sigma_{γB}$ συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή
- $\sigma_{εκ}$ συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης
- $\beta_{εκ}$ βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή

- V_B σε Volts η ονομαστική τάση συσσωρευτή

το ποσοστό φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας μπορεί να λάβει τιμές από μηδέν έως ένα. Εάν τα φορτία της κατανάλωσης καλύπτονται απευθείας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία δηλαδή εάν έχουμε άμεση τροφοδοσία τότε b=0.

Εάν τα φορτία της κατανάλωσης καλύπτονται μόνο από τον ηλεκτρικό συσσωρευτή δηλαδή έχουμε έμμεση τροφοδοσία τότε b=1

Το ιδανικό είναι b=0,7 δηλαδή 70% στους συσσωρευτές και 30% στην οικία. F είναι αρκετά σύνθετο άρα θα ήταν καλύτερο να παρθεί b=1.

Ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης, περιλαμβάνει όλες τις ενεργειακές απώλειες στα επιμέρους στοιχεία του κυκλώματος. Χωρίς μετατροπέα τάσεως DC-AC inverter $\sigma_{\varepsilon\kappa}$= για 0,97 ενώ με μετατροπέα τάσεως $\sigma_{\varepsilon\kappa}$= για 0,91.

4.8 Ελεγκτής φόρτισης

Για τα αυτόνομα συστήματα υπάρχει ο ρυθμιστής ή αλλιώς ελεγκτής φόρτισης όπου είναι υπεύθυνος για την ποιότητα της φόρτισης, τον ρυθμό φόρτισης και για το πώς θα πηγαίνει το ρεύμα στις μπαταρίες και αντίστοιχα στην κατανάλωση. Ελεγκτής φόρτισης ονομάζεται η ηλεκτρονική διάταξη, που ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή και έχει τις παρακάτω 2 δυνατότητες:

1. Να απομονώσει το συσσωρευτή από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση της υπερφόρτισης
2. να απομονώσει το συσσωρευτή από την κατανάλωση στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης.



Εικόνα 14. Ελεγκτής φόρτισης

Η υπερφόρτιση προκαλεί την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου λόγω ηλεκτρόλυσης και μειώνει τη στάθμη του ηλεκτρολύτη, ενώ η υπερεκφόρτιση περιορίζει σημαντικά το χρόνο ζωής του συσσωρευτή. Ειδικά για τους συσσωρευτές μολύβδου οξέος είναι αναγκαίος ο εξαερισμός του χώρου που εγκαθίσταται, καθώς οι συσσωρευτές αυτοί κατά τη φόρτιση παράγουν υδρογόνο, το οποίο όταν βρίσκεται σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 4% κατά όγκο στον αέρα είναι εκρηκτικό. Επίσης για τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου θα πρέπει να προβλέπεται εγκατάσταση πυροπροστασίας στον χώρο εγκατάστασής τους. Ο ελεγκτής φόρτισης ενεργοποιείται όταν η τάση στα άκρα του σωρευτεί ξεπεράσει συγκεκριμένα όρια τάσεως.

Ο ελεγκτής φόρτισης διακρίνεται σε 2 τύπους:

- **παράλληλος ελεγκτής φόρτισης f** όταν η μοναδική πηγή συνεχούς ρεύματος είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα, ο ελεγκτής φόρτισης συνδέεται παράλληλα με αυτό και είναι γραμμικός ή διακοπτικός. Δεν χρησιμοποιείται συχνά επειδή δεν είναι επεκτάσιμος δηλαδή δεν μπορούμε να βάλουμε ένα ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος.
- **Ελεγκτής φόρτισης σειράς** ο συγκεκριμένος ελεγκτής φόρτισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

(όπως φωτοβολταϊκό σύστημα ανεμογεννήτριες και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος).

Σημαντικό να αναφερθεί ότι ο ελεγκτής φόρτισης πρέπει να είναι πάρα πολύ αξιόπιστος και πάρα πολύ ποιοτικός γιατί από αυτόν εξαρτάται και η ζωή των μπαταριών.

4.9 Επιλογή ελεγκτή φόρτισης

Για την επιλογή του ελεγκτή φόρτισης λαμβάνουμε υπόψιν 3 παραμέτρους:

- Την ονομαστική τάση
- το ρεύμα εισόδου
- και το ρεύμα εξόδου

Η ονομαστική τάση πρέπει να έχει τάση ίση με την ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή. Το ρεύμα εισόδου πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δεχθεί το μέγιστο ρεύμα, που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία και το ρεύμα εξόδου πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης, που λειτουργούν ταυτόχρονα.

4.10 Διάφοροι μετατροπείς τάσεως

Οι μετατροπείς τάσεως είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, που προσαρμόζουν την τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην τάση του συστήματος αποθήκευσης. Οι διατάξεις αυτές διακρίνονται σε 3 τύπους:

- μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή DC-DC
- μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη DC-AC
- και μετατροπέας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή AC-DC

Ο μετατροπέας συνεχούς τάσης σε συνεχή προσαρμόζει την τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή και τον

προστατεύει από συνθήκες υπέρτασης. Στον μετατροπέα συνεχούς τάσεως σε συνεχή μπορεί να προστεθεί μια ηλεκτρονική διάταξη που ονομάζεται ρυθμιστής ισχύος MPPT η οποία επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος.

Υπάρχουν και μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή όπου και αυτοί χρησιμοποιούνται στα αυτόνομα συστήματα και αντίστοιχα υπάρχουν και ολοκληρωμένες μονάδες.

Ολοκληρωμένες μονάδες είναι ένα power center το οποίο έχει και τον ελεγκτή φόρτισης και μετατροπέα τάσεως DC-DC. Για την σταθεροποίηση της τάσης στα αυτόνομα συστήματα χρησιμοποιείται DC-DC επειδή η τάση στην έξοδο των φωτοβολταϊκών δεν είναι σταθερή αλλά αλλάζει με την ηλιακή ακτινοβολίας είτε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Επίσης ο μετατροπέας DC-DC προστατεύει τις μπαταρίες από την υπερφόρτιση στέλνοντας την περίσσεια σε ηλεκτρικά φορτία απόρριψης. Όταν ο ρυθμιστής τάσης διαθέτει και ανιχνευτή μέγιστου σημείου ανιχνεύει και μεταφέρει το σημείο λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στην τάση που αντιστοιχεί στην μέγιστη ισχύ και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μέγιστη δυνατή ενεργειακή αξιοποίηση.

Ο μετατροπέας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα για την μετατροπή της εναλλασσόμενης ηλεκτρικής τάσεως (παραδείγματος χάρη μιας ανεμογεννήτριας ή ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος) σε συνεχή και σε συνδυασμό με έναν μετατροπέα τάσεως DC-DC.

4.11 Επιλογή ηλεκτρικών αγωγών

Οι ηλεκτρικοί αγωγοί συνδέουν όλες τις διατάξεις ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μεταξύ τους. Σε κάθε ηλεκτρικό αγωγό, f σύμφωνα με το νόμο του Ohm, η πτώση τάσεως είναι ίση με το γινόμενο της αντίστασης του αγωγού επί την ένταση του διερχόμενου ρεύματος. Δηλαδή:

$$V=I*R$$

Όπου:

- V (Volts) η πτώση τάσεως
- R (Ohm) η αντίσταση αγωγού
- I (Ampere) και η ένταση ρεύματος

Η αντίσταση τώρα ενός ηλεκτρικού αγωγού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R=\rho*(l/S)$$

Όπου:

- ρ ($\Omega*mm^2/m$) η ειδική αντίσταση αγωγού
- l (m) μήκος αγωγού
- S(mm^2) διατομή αγωγού

Έπειτα υπάρχει ο νόμος του Joule όπου λέει ότι όταν ένας ηλεκτρικός αγωγός διαρρέεται από ρεύμα τότε απορροφά ηλεκτρική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή αυξάνει την θερμοκρασία που έχει ο λόγος με αποτέλεσμα να έχει θερμικές απώλειες όπου συμβολίζονται με Q

άρα οι θερμικές απώλειες ηλεκτρικού αγωγού f υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q=I^2*R*T$$

Όπου,

- Q (J) οι θερμικές απώλειες ηλεκτρικού αγωγού
- T (s) το χρονικό διάστημα ροής ρεύματος

Για την επιλογή ηλεκτρικών αγωγών σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία:

Βήμα πρώτο είναι ο σχεδιασμός όλης της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Ο σχεδιασμός πρέπει να δείχνει την ακριβή θέση όλων των διατάξεων του φωτοβολταϊκού συστήματος ώστε να υπολογιστεί το μήκος των αγωγών μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του ελεγκτή φόρτισης, του ελεγκτή φόρτισης και των συσσωρευτών και των συσσωρευτών έως το φορτίο κατανάλωσης. Είναι σημαντικό για να έχουμε σωστή μέτρηση της τάσεως του συσσωρευτή από τον ελεγκτή φόρτισης να βρίσκονται σε απόσταση από 1 έως 2 m το πολύ μεταξύ τους.

Βήμα δεύτερο είναι να υπολογιστεί η ένταση ρεύματος στους αγωγούς. Όπως προαναφέρθηκε πρέπει να υπολογιστεί η ένταση ρεύματος στους αγωγούς σε 3 κομμάτια.

- Για το πρώτο τμήμα του αγωγού φωτοβολταϊκή συστοιχία με ελεγκτή φόρτισης, λαμβάνετε I= 1,25*Isc (A)
- Για το τμήμα αγωγού ελεγκτή φόρτισης με συσσωρευτή λαμβάνουμε επίσης λαμβάνετε I= 1,25*Isc (A)
- Αλλά για το τρίτο τμήμα αγωγού συσσωρευτή με φορτίων κατανάλωσης λαμβάνετε I=Pk/Vk όπου Pk και Vk η ισχύς κατανάλωσης και η τάση κατανάλωσης αντίστοιχα.

Βήμα τρίτο

1. για να βρεθεί η διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των κλάδων της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με το μετατροπέα τάσεως DC-AC.

$$S=(2*\rho*I*I_{m\Sigma})/(\Delta V/V)*V_{m\Sigma}\ (mm^2)$$

Όπου,

- ρ σε ($\Omega*mm^2/m$) ειδική αντίσταση ηλεκτρικού αγωγού
- I σε m μήκος ηλεκτρικού αγωγού σύνδεσης
- $I_{m\Sigma}$ σε A είναι η μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας, δηλαδή το ρεύμα εισόδου στον μετατροπέα τάσεως
- ΔV/V επιτρεπόμενη πτώση τάσεως
- $V_{m\Sigma}$ σε V οι νέοι στην τάση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας

2. Για να βρεθεί η διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων ενός κλάδου χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπους με μια μικρή διαφορά

$$S=(2*\rho*I*I_{m\Pi})/(\Delta V/V)*V_{m\Pi}\ (mm^2)$$

Όπου,

- $I_{m\Pi}$ σε A μέγιστη ένταση ρεύματος πλαισίου
- $V_{m\Pi}$ σε V μέγιστη τάση ρεύματος πλαισίου

3. Και για τη διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης μονοφασικού μετατροπέα τάσεως DC-AC με ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$S=(2*I*P_{\rho\Sigma})/[(\Delta V/V)*\kappa*V\varphi^2] \text{ σε } mm^2$$

Όπου,

- K σε $[m/(\Omega*mm^2)$ είναι η αγωγιμότητα για θ = 40-60 βαθμούς κελσίου

$$\kappa=56[1-0,004(\theta-20)]$$

- Και Vφ σε V η φασική τάση 230V

4. Για την διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης τριφασικού μετατροπέα τάσεωςDC-AC με ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος

$$S=(I*P_{\rho\Sigma})/[(\Delta V/V)*\kappa*V\pi^2] \text{ σε } mm^2$$

Όπου Vπ είναι η πολική τάση 398V.

Βήμα τέταρτο υπολογισμός πτώσης τάσης στους αγωγούς. Παρακάτω θα παρουσιαστεί ο **πίνακας 3** όπου αναφέρει την πτώση τάσεως σε ηλεκτρικούς αγωγούς από χαλκό. Με τη βοήθεια του θα υπολογίζεται η πτώση τάσεως γνωρίζοντας τη διατομή S, την ένταση ρεύματος I, και την απόσταση l για κάθε αγωγό.

Διατομή S	mm^2	1,5	2,5	4	6	10	15	25
Αντισταση R	mΩ/m	13,3	8	5	3,3	2	1,3	0,8
ένταση ρεύματος I	πτώση τάσεως ανά μέτρο διπλού αγωγού							
1A	mV/m	26,6	16	10	6,6	4	2,6	1,6
2A	mV/m	79,8	48	30	19,8	12	7,8	4,8
5A	mV/m	133,4	80	50	33,4	20	13,3	8
10A	mV/m	266	160	100	66	40	26	16

Πίνακας 3. πτώση τάσεως σε ηλεκτρικούς αγωγούς από χαλκό

Βήμα πέμπτο υπολογισμός συνολικής πτώσης τάσεως μεταξύ φωτοβολταϊκής συστοιχίας και συσσωρευτή. Η συνολική πτώση τάσεως ΔV μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του συσσωρευτή υπολογίζεται από το άθροισμα των πτώσεων τάσεων που βρέθηκαν παραπάνω, δηλαδή την πτώση τάσεως αγωγού φωτοβολταϊκής συστοιχίας με συσσωρευτή, την πτώση τάσεως ελεγκτή φόρτισης, την πτώση τάσεως διόδων αντεπιστροφής και την πτώση τάσεως της φωτοβολταϊκής συστοιχίας λόγω αύξησης της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων άνω των 25 βαθμών κελσίου.

Η πτώση τάσεως του ελεγκτή φόρτισης είναι ίση με

- 0,24 V για τάση 12 V
- και 0,44 V για τάση 24 V

Και η πτώση τάσεως διόδων αντεπιστροφής =0,5V.

Βήμα έκτο ο έλεγχος μέγιστης τάσεως της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Υπάρχει ένας γενικός κανόνας που λέει ότι η μέγιστη τάση $V_{mΣ}$ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του αθροίσματος της ονομαστικής τάσεως V_B του ηλεκτρικού συσσωρευτή και της συνολικής πτώσεις τάσεως ΔV μεταξύ της συστοιχίας και συσσωρευτή. Δηλαδή

$$V_{mΣ} >= V_B + ΔV$$

4.12 Συντήρηση καλωδίων

Για την διατήρηση μακροπρόθεσμης αξιοπιστίας και απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η συντήρηση των καλωδίων είναι απαραίτητη. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικές τακτικές για τη σωστή συντήρηση των καλωδίων.

Τα ηλιακά καλώδια είναι ιδιαίτερα καλώδια όπου έχουν σχεδιαστεί για φωτοβολταϊκά συστήματα ενέργειας, χρησιμεύουν στη σύνδεση των φωτοβολταϊκών πάνελ με αντιστροφείς αλλά και άλλα εξαρτήματα. Ο σκοπός και λειτουργία τους είναι να μεταφέρουν με ασφάλεια το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στον αντιστροφέα για μετατροπή σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Η συντήρηση αυτών των καλωδίων είναι πραγματικά σημαντική για πολλούς και διάφορους λόγους όπως για

την πρόληψη απώλειας της ισχύος, ή την υπερθέρμανση, ή και την αποτυχία του συστήματος λόγω φθοράς ή διάβρωσης και ζημιάς.

Αρχικά θα πρέπει να γίνεται τακτικοί έλεγχοι στο σύστημα, αφού μπορεί να προκύψουν πιθανά ζητήματα όπου θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια αλλά και την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Για αυτό θα ήταν καλό, κάθε χρόνο τουλάχιστον μια φορά να γίνονται αυτός ο έλεγχος ή και ακόμα καλύτερα πριν και μετά από ακραίες καιρικές συνθήκες (όπως έντονη βροχόπτωση, χιόνι ή και δυνατούς ανέμους).

Ο απογυμνωμένος αγωγός του καλωδίου αποτελεί σημαντική ανησυχία και πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα. Μια μικρή απογύμνωση μπορεί να οδηγήσει σε ηλεκτρικό τόξο, βραχυκύκλωμα με αποτέλεσμα για κίνδυνο πυρκαγιάς. Ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους η τακτική συντήρηση και επιθεώρηση των καλωδίων του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σημαντικό.

Επίσης τα καλώδια πρέπει να παραμένουν καθαρά, για τη συσσώρευση λάσπης σκόνης και ρύπων στην επιφάνεια των καλωδίων των φωτοβολταϊκών συστημάτων, επηρεάζονται για απόδοση αφού δημιουργεί ένα στρώμα μόνωσης όπου μειώνει τη διάχυση της θερμότητας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντίσταση και οδηγώντας σε απώλειες ενέργειας αλλά και σε πιθανή υπερθέρμανση.

Έπειτα η συσσώρευση επικαλύψεων ρύπων, μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον ανάπτυξης υγρασίας το οποίο αυξάνει το κίνδυνο διάβρωσης και ηλεκτρικών βλαβών. Χρειάζεται με μια μαλακή βούρτσα ή ένα πανί να αφαιρείται από τον ιδιοκτήτη, ο οποιοσδήποτε ορατός ρύπος, σκόνη η επικάλυψη από την επιφάνεια των καλωδίων.

Ιδιαίτερη προσοχή σε σημεία του φωτοβολταϊκού συστήματος όπου τα καλώδια είναι εκτεθειμένα στο περιβάλλον. Για παράδειγμα σε ταράτσα ή σε εγκαταστάσεις στο έδαφος.

Τα καλώδια των φωτοβολταϊκών συστημάτων που είναι σε εξωτερικούς χώρους, είναι άμεσα εκτεθειμένα στο περιβάλλον άρα και στην επίδραση διαφόρων περιβαντολλογικών στοιχείων όπως η ηλιακή ακτινοβολία η υγρασία και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Οι παραπάνω συνθήκες με την πάροδο του χρόνου τα καλώδια γέρνουν, με αποτέλεσμα να τα οδηγήσουν σε μια φυσική φθορά αλλά και πιθανή αστοχία. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για την προστασία των καλωδίων ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αλλά και γενικά σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, είναι να τοποθετηθούν τα καλώδια σε ένα σύστημα διαχείρισης καλωδίων όπως σχάρα καλωδίων κανάλια ή κάτι αντίστοιχο σαν κλιπ. Αυτά τα συστήματα βοηθούν τόσο στην οργάνωση όσο και στην υποστήριξη των καλωδίων, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο πλεξίματος των καλωδίων και την πρόκληση ατυχήματος ή αστοχίας.

Για μια μελέτη, θα ήταν καλό να ληφθεί υπόψη, κατά την επιλογή προστατευτικών μέτρων για τα καλώδια των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα παίζουν καθοριστικό ρόλο όπως η τοποθεσία εγκατάστασης, περιβαντολλογικές συνθήκες, και πιθανή συγκεκριμένοι ιδιαίτεροι κίνδυνοι που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή τις εγκαταστάσεις.

Είναι απαραίτητο σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα να διασφαλίζεται από τον μηχανικό η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία και η ασφάλεια των καλωδίων μέσω της κατάλληλης εγκατάστασης αυτό λαμβάνοντας υπόψη όλων των απαραίτητων προδιαγραφών.

Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί ότι η προσεκτική τήρηση των οδηγιών του κατασκευαστή και των βέλτιστων πρακτικών του κλάδου, αποτελούν το πρότυπο για μια βέλτιστη εγκατάσταση.

Επίσης σημαντικό, είναι να αποφεύγονται οι αιχμηρές στροφές οι στροφές στα καλώδια, καθώς αυτές οι παραμορφώσεις μπορούν να διακινδυνεύσουν την ακεραιότητα της μόνωσης και των αγωγών προκαλώντας πιθανή βλάβη. Ακολουθώντας αυτά τα πρωτόκολλα εγκατάστασης ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος και μεγιστοποιείται η απόδοση αφού μειώνονται οι ενεργειακές απώλειες.

Η αντικατάσταση των καλωδίων που έχουν υποστεί φθορά είναι απαραίτητη και άκρως αναγκαία για την ασφάλεια του φωτοβολταϊκού συστήματος και του γύρω περιβάλλοντος. Χρήση της αντικατάστασης μπορεί να επηρεάσει τη συνολική απόδοση του συστήματος επίσης. Καλό θα ήταν τα καλώδια να θεωρηθεί ότι μια καλή επένδυση είναι σε υψηλής ποιότητας και ανθεκτικά, και φυσικά να πληρούν τα

πρότυπα του κλάδου και να είναι σχεδιασμένα ειδικά για εξωτερική χρήση, διασφαλίζοντας την ορθή λειτουργία και διάρκεια ζωής του εκάστου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Συνοψίζοντας η διασφάλιση της καλής συντήρησης των καλωδίων κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στην Ελλάδα είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη απόδοση, ασφάλεια και μακροζωϊα του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ακολουθώντας αυτές τις τακτικές επιτυγχάνεται f η μέγιστη παραγωγή ενέργειας και η προστασία της επένδυσης στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Κεφάλαιο 5 παράδειγμα εξοχικής κατοικίας

Παρακάτω δίνετε παράδειγμα υπολογισμού εξοχικής κατοικίας στις Βρύσσες Αποκορώνου Χανίων το οποίο καλύπτει τις παρακάτω ηλεκτρικές καταναλώσεις:

Πίνακας 5. ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης Εκ (kWh/ημ.)			
Είδος συσκευής	**Ηλεκτρική ισχύς Pκ (kW)**	**Χρόνος λειτουργείας Τ (h)**	**Ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης Εκ (kWh/ημ.)**
Εξωτ. φωτισμός	**0,4**	**6**	**2,4**
Εσωτ. φωτισμός	**0,2**	**4**	**0,8**
Ψυγειοκαταψύκτης	**0,2**	**10**	**2**
Πληντήριο ρούχων	**3**	**1**	**3**
ΣΥΝΟΛΟ	**3,8**		**8,2**

Πίνακας 5. Υπολογισμός ενέργειας κατανάλωσης.

Βήμα πρώτο ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης Εκ.

Η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωσης Εκ προκύπτει από το άθροισμα των γινομένων της ηλεκτρικής ισχύος Pκ κάθε συσκευής επί το χρόνο λειτουργίας της Τ. Στον παραπάνω πίνακα υπάρχει το σύνολο **Εκ=8,2 kWh/ημέρα**.

Θεωρητικά το 30% από το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας κατανάλωσης Εκ καλύπτεται απευθείας από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ το υπόλοιπο αποταμιεύεται στον ηλεκτρικό συσσωρευτή για την κάλυψη των αναγκών στο εικοσιτετράωρο.

Επιλογή ποσοστού φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας b.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ιδανική περίπτωση είναι το **b=0,7**, αλλά θα παρθεί b=1 που σημαίνει ότι η τροφοδοσία είναι μόνο από τον συσσωρευτή.

Βήμα δεύτερο εύρεση η γωνία κλίσης β και ηλιακής ακτινοβολίας E_{HA}.

Από PVGIS

1. photovoltaic performance
2. σημείο στον χάρτη

3. optimize slope για την εύρεση βέλτιστης γωνίας κλίσης β
4. και τέλος visualize results.

Προκύπτουν **β=28°** και **E_{HA} (Δεκεμβρίου) = 74,04 kWh/m^2**. Επιλέχθηκε ο μήνας Δεκέμβριος διότι έχει τη χαμηλότερη ηλιακής ακτινοβολίας.

Βήμα τρίτο ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας $Pp_Σ$ σε (kWp).

Ισχύ αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων n ημερών αυτονομίας (στην παρόν μελέτη **n=3**) 3υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$Pp_Σ$=[(Εκ*P_{STC}*m)/(E_{HA}*$σ_{ΑΣ}$*σμ)]*[N/(N-n)].

- **Εκ=8,2 kWh/ημέρα.**
- **P_{STC}=1 kW/m^2** είναι η ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC.
- **m=1,2** είναι ο συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων.
- **E_{HA} (Δεκεμβρίου)= 74,04 kWh/m^2 ή E_{HA} (Δεκεμβρίου)=2,388 kWh/m^2*ημέρα**
- **$σ_{ΑΣ}$=0,77** είναι ο συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκής συστοιχίας, υπολογίζεται παρακάτω.
- **σμ=0,75** είναι ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας. Για σύστημα με ηλεκτρονικό συσσωρευτή και μετατροπές τάσεως DC-DC και DC-AC δίνετε 0,75.
- **N=31** και **n=3**

Άρα με τον παραπάνω τύπο και τα δεδομένα υπολογίζεται **$Pp_Σ$=7,89 kW.**

Αναλυτικότερα για τον $\sigma_{AΣ}$

$\sigma_{AΣ}=\sigma\gamma*\sigma\rho*\sigma\theta*\sigma\delta*\sigma\alpha*\sigma\kappa$

- σγ=20%/30 έτη (από το datasheet)= (20/100)/30= 0,0067, άρα σγ=1-0,0067, αρα σγ=0.9933 συντελεστής γήρανσης για το πρώτο έτος
- σρ=0,95 συντελεστής ρύπανσης
- σδ=0,99 συντελεστής διόδου
- σα=0,98 συντελεστής ανομοιογένειας
- σκ=0,98 συντελεστής καλωδίωσης
- σθ=1-[(ta+tcell)-25]*0,0034, όπου ta=13,2^{O}C και tcell= ta+[(NOCT-20)/800]*G, με NOCT=43^{O}C (από datasheet) και G=800 προκύπτει tcell= 36,2^{O}C άρα σθ=0,92

άρα $\sigma_{AΣ}$**=0,77.**

Έχει επιλεχθεί το φωτοβολταϊκό πάνελ **PERL HALFCUT 460W (172,36**€)και παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα από το datasheet.

- Απόδοση εώς 21,8%
- Συντελεστής θερμοκρασίας -0,34%/°C
- Συντελεστής γήρανσης 20%/30 έτη
- Pmax=460W
- Voc=41,8 V
- Isc=13,78 A
- Vmpp=35,2 V
- Impp=13,08 V

Βήμα τέταρτο μέγιστη τάση φωτοβολταϊκή συστοιχίας Vms

η μέγιστη τάση φωτοβολταϊκή συστοιχία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το γινόμενο 1,2 επί για την ονομαστική τάση του ηλεκτρονικού συσσωρευτή. Η ονομαστική τάση του ηλεκτρονικού συσσωρευτή Vb=48V. Άρα Vms>1,2*Vb.

Βήμα πέμπτο αριθμός πλαισίων.

Ο αριθμός των πλαισίων καθορίζεται από την ονομαστική ισχύς του συστήματος και του πλαισίου.

$P_{PΣ}/P_{PΠ}$= 7,89 kW/0,46kW=17,15 πλαίσια άρα με 20 πλαίσια θα φτάνει τα 9,2 kW το σύστημα. 5 πλαίσια σε σειρά και 4 παράλληλα, με μέγιστη τάση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας Vms=209 V.

Βήμα έκτο επιλογή βάθους εκφόρτισης βεκ.

Αφού το σύστημα έχει 9,2 kWp τότε επιλέγεται ονομαστική τάση Vb=48V, και βεκ=0,4 για 3 μέρες αυτονομίας. Άρα και οι κύκλοι λειτουργίας πρέπει να είναι περισσότεροι από 3000.

Βήμα έβδομο ονομαστική χωρητικότητα ηλεκτρονικού συσσωρευτή.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ονομαστική χωρητικότητα ηλεκτρονικού συσσωρευτή υπολογίζεται από τον τύπο:

$C=[(n+b)*m*Eκ]/(\sigma_{γB}*\sigma_{εκ}*\beta_{εκ}*V_B)$ σε Ah

Όπου:

- n=3 μέρες αυτονομίας
- b=1
- m=1,2
- Εκ=8,2 kWh/ημέρα
- $\sigma_{γB}$=0,8 ο συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή
- $\sigma_{εκ}$=0,91 είναι ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας με μετατροπέα
- $\beta_{εκ}$=0,4
- V_B=48 V

Με αντικατάσταση προκύπτει C=2.816 Ah.

Θα επιλεχθεί η μπαταρία Sunlight sOpzs 2V-720Ah με τιμή 175€+ΦΠΑ σε 48 μονάδες.

Βήμα όγδοο επιλογή ελεγκτή φόρτισης.

Πρέπει η ονομαστική τάση να είναι ίση με την ονομαστική τάση συσσωρευτή, δηλαδή Vβ=48V. Θα επιλεχθεί ελεγκτής φόρτισης σε σειρά. Πρέπει το μέγιστο ρεύμα εισόδου στον ελεγκτή φόρτισης να είναι ενάμισι φορές μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα της συστοιχίας. Μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας ισούται με το μέγιστο ρεύμα των πλαισίων που είναι σε σειρά. Στη συστοιχία είναι 5 πάνελ σε σειρά των 4 ομάδων παράλληλα. Άρα :

$\mathbf{Im_{\Sigma}=Im_{\Pi}*N\pi}$=13,08A*4=52,32A

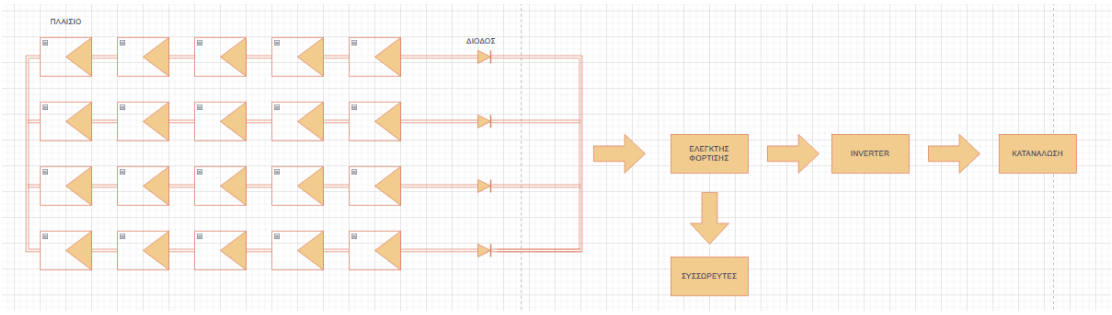
Άρα το μέγιστο ρεύμα εισόδου είναι: 1,5*52,32A =78,48 περίπου **80A**

Για το ρεύμα εξόδου τώρα ο ελεγκτής φόρτισης πρέπει να μπορεί να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Έστω ότι τα φορτία που λειτουργούν ταυτόχρονα είναι περίπου 2800 Watt.

Το ρεύμα εξόδου είναι 2800W/220V=12,72V. Άρα επιλέγετε ο ρυθμιστής φόρτισης smart-asia mppt solar charge controller αξίας 411,29€ χωρίς ΦΠΑ.

Βήμα ένατο είναι η επιλογή μετατροπέα τάσεως.

Η ονομαστική τάση του μετατροπέα τάσεως πρέπει να είναι ίση με του συσσωρευτή δηλαδή 48 V η ισχύς εξόδου πρέπει να είναι πάνω από 2800 W, η ισχύ αιχμής πρέπει να είναι 3 φορές μεγαλύτερη και τέλος η τάση εξόδου πρέπει να είναι 220 V έχει επιλεχθεί ο και solar power inverter 3000W DC48-AC220 κοστίζει 128€.



Εικόνα 15. Διάγραμμα σύνδεσης συστήματος.

Πίνακας τιμών εξαρτημάτων και εργασιών:

Υλικά-εργασία	Κόστος τεμαχίων-εργασίων
20 PERL HALFCUT 460W	3.447,20€
Sunlight sOpzs 2V-720Ah	8.400€
solar power inverter	128€
Μεταφορά και εγκατάσταση υλικών	1000€
Ηλεκρικός πίνακας και καλωδιώσεις	1070€
Αντικεραυνική προστασία	350€
Εργασία και μελέτη	2500€
ΣΎΝΟΛΟ	**16.895,2€**

Συμπεράσματα

Η μελέτη και η ανάλυση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία καταδεικνύει τις δυνατότητες και τα οφέλη της εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων. Από την ανάλυση του παραδείγματος προκύπτει ότι ένα σωστά σχεδιασμένο φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να καλύψει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες μιας κατοικίας ή εγκατάστασης. Η σωστή επιλογή των παραμέτρων του συστήματος όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπαταρίες και ρυθμιστής φόρτισης εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και αποδοτικότητα στην παραγωγή και την αποθήκευση ενέργειας.

Η εφαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος συμβάλλει στην αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές και μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών αποδεικνύεται η φιλική προς το περιβάλλον και ενισχύει τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Παρά το υψηλό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποδεικνύονται οικονομικά μακροπρόθεσμα. Υπάρχουν χαμηλές δαπάνες για τη συντήρηση και μηδενικό κόστος καυσίμων.

Τέλος η αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες για χρήση κατά τους περιόδους με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία, παρόλο που παραμένει μία από τις κυριότερες προκλήσεις, η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών μπαταριών αναμένονται να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση και οικονομικότητα των φωτοβολταικών συστημάτων.

Συμβολισμοί

σύμβολο	μονάδα μέτρησης	ονομασία
δ	°	Λόξωση της εκλειπτικής
N,n		Μέρα του έτους
T		Περίοδος
φ	°	γεωγραφικό πλάτος
λ	°	γεωγραφικό μήκος
α	°	αζιμούθιο
γ	°	γωνία ύψος
z	°	ζενίθια απόσταση,γωνία
AM	-	Μάζα αέρα
G	W/m^2	ολική οριζόντια ακτινοβολία
Bn	W/m^2	απευθείας κάθετη ακτινοβολία
D	W/m^2	διάχυτη ακτινοβολία
Isc	A(Ampere)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
Voc	V(Volts)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
Pm	W(Watt)	μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς
FF	-	συντελεστής πλήρωσης
Tcell	°C	θερμοκρασία κυψέλης
Tair	°C	θερμοκρασία αέρα
G	W/m2	ένταση ακτινοβολίας
n		βαθμός απόδοσης
P_m	W	max αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς
P_{HA}	W	ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
I_m	A	ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος
V_m	V	τάση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος
FF		συντελεστής πλήρωσης
I_{sc}	V	ρεύμα βραχυκύκλωσης
V_{oc}	V	τάση ανοιχτού κυκλώματος
Σθ	°C	συντελεστής θερμοκρασίας

γ_{mp}		συντελεστής θερμοκρασίας από datasheet
Σθ		συντελεστής θερμοκρασιας
Σρ		συντελεστής ρύπανσης
Σγ		συντελεστής γήρανσης
Σδ		συντελεστής διόδου
n_{π}		ο βαθμός απόδοσης
n_{Σ}		βαθμός απόδοσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας
σ_{α}		ο συντελεστής ανομοιογένειας
σ_{κ}		ο συντελεστής καλωδιώσεων
σ_{μ}		Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας σ_{μ}
S	m^2	επιφάνεια
Ep	Wh	αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια
E_{HA}	Wh/m^2	Ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας
η_{β}		βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή
Εεκ	J	αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια
Εκ	J	προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια
C	Coulomb	χωρητικότητα συσσωρευτή
b		ποσοστό φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας
m		συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων
$\sigma_{\gamma B}$		συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή
$\sigma_{\varepsilon\kappa}$		συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης
$\beta_{\varepsilon\kappa}$		βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή

V_B	Volts	ονομαστική τάση συσσωρευτή
Pp	W	μαξ αποδιδόμενη ισχύς

Βιβλιογραφία

Πηγές:

Φωτοβολταϊκά συστήματα Ιωάννη Ε. Φραγκιαδάκη, 4η έκδοση

Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις Σταμάτη Δ. Περδιος, γ' έκδοση

Εικόνα εξώφυλλου.: https://www.skai.gr/news/finance/fotovoltaika-sti-stegi-anoikse-i-platforma-epidotisi-eos-kai-75-gia-noikokyria

Εικονα εισαγωγής.: https://www.pvtech.gr/component/content/article/88-photovoltaika/photovoltaika-se-ktiria/photovoltaika-oikiaka-steges-10kw/253-faq-oikiaka-photovoltaika-sef?Itemid=414

Εικόνα 1 .: https://physics4u.wordpress.com/2017/09/22/%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CF%8D%CF%81%CF%89-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%BF-%CE%B5%CE%B1%CF%85%CF%84%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%BA/

Εικόνα 2.: https://www.astro.auth.gr/~mplionis/lecture1.pdf

Εικόνα 3.: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%80%CE%BB%CE%AC%CF%84%CE%BF%CF%82

Εικόνα 4.: https://www.kiosterakis.gr/plus/geografiko-mikos-kai-platos

Εικόνα 5.: https://ggeorgala.ecodomisi.gr/2009/04/%CE%B7%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C-%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1/

Εικόνα 6.: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE3-Bioklimatika-final.pdf

Εικόνα 7.: https://www.ti-soft.com/el/support/help/electricaldesign/libraries/products/pvmodules/what-must-know/air_mass

Εικόνα 8.:

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF

Εικόνα 9 .: https://www.ti-soft.com/el/support/help/electricaldesign/libraries/products/pvmodules/what-must-know/i-v-curve

Εικόνα 10.: https://www.solar-pvmodules.com/blog/syntelestis-thermokrasias-kai-iliaka-panel-odigos-gia-to-2023

Εικόνα 11.: https://www.mep.gr/services/erga-i-m-kataskeyi/pvsolar/

Εικόνα 12 .: https://www.ecgsolax.com/blogs/for-beginners/does-hybrid-inverter-need-charge-controller

Εικόνα 13 .: https://www.mp-energy.gr/blog/19/net-metering-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BC%CF%80%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%B5%CF%83.html

Εικόνα 14.: https://sfyri.gr/shop/rythmistis-fortisis-pwm-mppt-lcd-t40-40ah-12v-24v/