



**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Ηλεκτρονικών
Συστημάτων**

ΠΜΣ Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα

Διπλωματική Εργασία

**«Μελέτη ισχύος αυτονόμου Φ/Β με χρήση οδηγού και χωρίς
μεσώ συστήματος μικροελεγκτή.»**

**Επιβλέπων: Αγγελος Γιακουμής
Επίκουρος Καθηγητής**

**Φοιτητής: Αβραμίδης Κωνσταντίνος AM 52001m
Θεσσαλονίκη Φεβρουάριος 2025**

Τίτλος Δ.Ε.: Μελέτη ισχύος αυτονόμου φ/β με χρήση οδηγού και χωρίς μεσώ συστήματος μικροελεγκτή.

Κωδικός Δ.Ε.: 22352

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **Αβραμίδης Κωνσταντίνος**

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: **Αγγελος Γιακουμής**

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 11-12-2022

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.:

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα» στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Γεώργιου Μυλωνά που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract.....	6
Εισαγωγής.....	9
1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	10
1.1 Γενικά	10
1.2 Μορφές ενέργειας και η κυρίες πηγές τους	10
1.2.1.Πυρηνική ενέργεια	11
1.2.2.Πετρέλαιο	11
1.2.3.Φυσικό αέριο.....	12
1.2.4.Λιγνίτης.....	12
1.3.Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	13
1.3.1.Αιολική ενέργεια.....	13
1.3.2 Βιομάζα.....	11
1.3.3 Γεωθερμία.....	12
1.3.4.Υδραυλική ενέργεια.....	14
1.3.5 Ενέργεια κυμάτων -ωκεανών	14
1.3.6.Ηλιακή ενέργεια	14
1.4.Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	16
1.5.Ευρωπαϊκό νομικό και θεσμικό πλαίσιο για τις ανανεώσιμες πηγές.....	17
1.6.Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα	17
1.7.Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα	17
2. Ηλιακή ενέργεια και κατηγορίες ηλιακών συστημάτων	18
2.1 Γενικά	18
2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η συνιστώσες μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας	19
2.3 Ενθυλάκωση των φωτοβολταϊκών μονάδων	20

2.4 Διάκριση μεταξύ ηλιακών συλλεκτών	20
2.5 Τρόποι σύνδεσης Φ/β πλαισίων	27
2.6 Τύποι Φ/β συστημάτων	27
2.7 Συνθήκες λειτουργίας και πρότυπα	27
2.7.1 Μέγιστο σημείο λειτουργίας	28
2.7.2 Προσανατολισμός και βέλτιστη κλίση Φ/β πλαισίων	29
2.7.3. Παχος καλωδίων	29
2.7.4 Μελέτη αποδόσεων Φ/β συστημάτων	30
3. Δομικά στοιχεία αυτονόμου Φ/β συστήματος	34
3.1 Γενικά	34
3.2 Διάκριση φ/β συστημάτων με βάση τον τρόπο συνδεσης	35
3.2.1 Εντός δικτύου (On grid)	35
3.2.2 Εκτός δικτύου (Off-grid).....	35
3.2.3. Υβριδικα συστήματα.....	36
3.3 Βασικά μέρη ενός φ/β συστήματος	36
3.3.1 Γενικά.....	36
3.3.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ	37
3.3.3. Ρυθμιστής η ελεγκτής φόρτισης	38
3.3.4 Μπαταρίες	38
3.3.5 Μετατροπείς	40
3.3.6. Προστασίας και έλεγχος συστήματος	42
3.3.7 Χρήση πυκνωτή στην έξοδο του φ/β.....	43
3.3.8 Νησιδοποίηση σε φ/β	43
4. Εισαγωγή στα βασικά εξαρτήματα	44
4.1 Μικροϋπολογιστές	44
4.1.2 Esp(Espressif Systems Platform) 32	44
4.1.3 Βηματικοί κινητήρες	45
4.1.4. Αισθητήρας μέτρησης ρεύματος και τάσης	45
4.1.5 Σταθεροποιητής τάσης	45

4.1.6 Μετατροπéας sub σε σειριακή επικοινωνία	46
4.1.7. TTL logic.....	46
4.2 Διαγραμματική ανάλυση υλικού	48
4.3 Σχεδιασμός στο Easy Eda	49
4.4 Ανάλυση λογισμικού	53
4.5 Μηχανολογική ανάλυση	57
5. Προσομοίωση και έλεγχος του συστήματος	63
Γενικό συμπέρασμα.....	71
Βιβλιογραφία.....	73

«Μελέτη Ισχύος Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Χρήση Οδηγού και Χωρίς, μέσω Συστήματος Μικροελεγκτή»

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία «Μελέτη Ισχύος Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Χρήση Οδηγού και Χωρίς, μέσω Συστήματος Μικροελεγκτή» επικεντρώνεται στη μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ενός αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος που χρησιμοποιεί τον Μικροελεγκτή ESP32 για την παρακολούθηση, διαχείριση και έλεγχο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει την επιλογή βασικών εξαρτημάτων, όπως Μικροελεγκτή πάνελ, μετατροπείς και αισθητήρες, καθώς και την ανάπτυξη λογισμικού στη γλώσσα προγραμματισμού C για τη συλλογή δεδομένων (τάση, ρεύμα, κατανάλωση ισχύος) και τη ρύθμιση της λειτουργίας του.

Η αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και της εκτεταμένης χρήσης ηλεκτρονικών συσκευών καθιστά αναγκαία τη μετάβαση σε βιώσιμες ενεργειακές λύσεις. Η ηλιακή ενέργεια, ως η πιο άφθονη ανανεώσιμη πηγή, αναπτύσσεται ταχύτατα, με την παγκόσμια δυναμικότητα να εκτιμάται σε 1.200 GW το 2023, αντιπροσωπεύοντας το 4-5% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα, η ηλιακή ενέργεια είναι άφθονη, με μηδενικό κόστος και χωρίς επιβλαβείς εκπομπές, γεγονός που την καθιστά ιδανική λύση για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών.

Τα αυτόνομα Μικροελεγκτή συστήματα προσφέρουν ενεργειακή αυτονομία σε περιοχές όπου η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι δύσκολη ή οικονομικά ασύμφορη, όπως νησιά, ορεινές και αγροτικές περιοχές. Το σύστημα που αναπτύχθηκε συνδυάζει την ηλιακή παρακολούθηση και τη ρύθμιση της κίνησης του Φωτοβολταϊκού πάνελ, εξασφαλίζοντας τη μέγιστη αποδοτικότητα στην παραγωγή και διαχείριση ενέργειας. Ο ESP32 λειτουργεί ως ο κεντρικός ελεγκτής, λαμβάνοντας δεδομένα από αισθητήρες και ελέγχοντας την κίνηση του πάνελ, επιτρέποντας δυναμική προσαρμογή της θέσης του ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο περιόδους, μία καλοκαιρινή από τις 24 έως τις 31 Αυγούστου και μία χειμερινή από τις 2 έως τις 8 Φεβρουαρίου, υπό πραγματικές συνθήκες, ώστε να εξαχθούν ακριβή δεδομένα. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε σε δύο κατηγορίες, με χρήση οδηγού (ιχνηλάτη) και χωρίς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση οδηγού αύξησε σημαντικά την παραγωγή ισχύος, καθώς το πάνελ ακολουθεί δυναμικά την πορεία του ήλιου. Η διαφορά στην αποδοτικότητα ήταν ιδιαίτερα αισθητή τον χειμώνα, όπου η γωνία του ήλιου μεταβάλλεται ταχύτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Παρατηρήθηκαν συνθήκες στις οποίες η ηλιακή παρακολούθηση είναι πιο αποτελεσματική, όπως σε συννεφιασμένες ημέρες με συχνές μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας.

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα, προτείνονται ενέργειες για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η βελτίωση της ακρίβειας του ηλιακού ιχνηλάτη μέσω προηγμένων αλγορίθμων ελέγχου, η αύξηση της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος σε μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, η χρήση εξελιγμένων αισθητήρων και η βελτίωση του ενεργειακού αποθέματος μέσω αποδοτικότερης αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η χρήση ηλιακής παρακολούθησης μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή, ιδιαίτερα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες ηλιοφάνειας. Η συνεχής ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών συμβάλλει στην ενεργειακή αυτονομία και καθιστά τα συστήματα με πιο αποδοτικά και βιώσιμα, ενισχύοντας τη μετάβαση σε ένα πιο πράσινο και βιώσιμο ενεργειακό μοντέλο.

"Power Study of an Autonomous Photovoltaic System with and Without a Tracker, Using a Microcontroller System"

Abstract

This thesis, titled "Power Study of an Autonomous Photovoltaic System with and Without a Tracker, using a Microcontroller System", focuses on the study, design, and development of an autonomous photovoltaic system utilizing the ESP32 microcontroller for monitoring, management, and control of energy production. The system includes the selection of key components such as photovoltaic panels, converters, and sensors, as well as the development of software in the C programming language for data collection (voltage, current, power consumption) and system operation optimization.

The increasing global energy demand, driven by population growth and extensive use of electronic devices, makes the transition to sustainable energy solutions imperative. Solar energy, being the most abundant renewable energy source, is rapidly expanding, with the global capacity estimated at 1,200 GW in 2023, accounting for 4-5% of total global electricity production. In Greece, solar energy is widely available, cost-free, and produces no harmful emissions, making it an ideal solution for meeting energy needs.

Autonomous photovoltaic systems provide energy independence, particularly in regions where access to the power grid is challenging or economically unfeasible, such as islands, mountainous areas, and remote agricultural lands. The developed system integrates solar tracking and dynamic panel movement adjustment, ensuring maximum efficiency in energy production and management. The ESP32 microcontroller acts as the system's central controller, receiving data from sensors and adjusting the panel's position dynamically based on sunlight conditions.

Measurements were conducted over two periods, one during summer (August 24–31) and another in winter (February 2–8), under real-world conditions, to obtain accurate performance data. The analysis was divided into two categories: with and without the solar tracker. The results demonstrated that using a solar tracker significantly increased power output, as the panel dynamically followed the sun's trajectory. The efficiency difference was more pronounced in winter, where the sun's angle changes more rapidly throughout the day. Conditions where solar tracking was most effective were also observed, such as on cloudy days with frequent variations in solar radiation.

Based on the experimental findings, several recommendations are made for optimizing solar energy production. These include improving the accuracy of the solar tracker through advanced control algorithms, increasing the response speed of the system to changes in sunlight intensity, using advanced sensors for higher measurement precision, and enhancing energy storage capabilities for greater efficiency in power management.

The study concludes that solar tracking can significantly enhance energy production, especially under varying sunlight conditions. The continued advancement of such technologies contributes to energy autonomy and makes photovoltaic systems more efficient and sustainable, further supporting the transition toward a greener and more environmentally friendly energy model.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα" στο τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Άγγελο Γιακουβή, ο οποίος δέχτηκε να με εμπιστευθεί να συνεργαστούμε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Οφείλω να τον ευχαριστήσω για τη στήριξη και συμπαράστασή του, τόσο επιστημονικά όσο και ανθρώπινα, σε όλη την πορεία της συνεργασίας μας.

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή είναι μία από τις πιο σοβαρές προκλήσεις της εποχής μας, με τις συνέπειές της να γίνονται όλο και πιο αισθητές στην καθημερινότητά μας. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, η αύξηση της θερμοκρασίας, η απώλεια βιοποικιλότητας και η υποβάθμιση των φυσικών πόρων είναι μερικά μόνο από τα σημάδια που υπογραμμίζουν τη σοβαρότητα της κατάστασης. Ως αποτέλεσμα, η ανάγκη για την υιοθέτηση μέτρων που θα περιορίσουν την περαιτέρω επιβάρυνση του πλανήτη γίνεται επιτακτική. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, αποκτούν κομβικό ρόλο. Αποτελούν μία από τις ελάχιστες εναλλακτικές που μπορούν να προσφέρουν λύσεις μακροπρόθεσμου οφέλους, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και περιορίζοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Ειδικότερα, η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, χάρη στην αφθονία του ήλιου σε χώρες όπως η Ελλάδα, προσφέρει μοναδικές για βιώσιμη ανάπτυξη. Τα αυτόνομα Μικροελεγκτή συστήματα, ως ένα παράδειγμα καινοτόμου τεχνολογίας, έρχονται να δώσουν απαντήσεις σε καίρια ζητήματα, όπως η ενεργειακή αυτονομία και η κάλυψη των αναγκών. [1] σε απομακρυσμένες περιοχές. Αυτά τα συστήματα αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να απαιτείται διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Έτσι, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε σε περιοχές όπου η πρόσβαση στο το δίκτυο είναι δύσκολο ή οικονομικά ασύμφορο, όπως νησιά, ορεινές περιοχές ή αγροτικές εκτάσεις. Επιπλέον, τα αυτόνομα Μικροελεγκτή συμβάλλουν στη μείωση του ενεργειακού κόστους και ενισχύουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας μέσω συσσωρευτών εξασφαλίζει συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. Παράλληλα, η τεχνολογία αυτή δίνει τη δυνατότητα σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις να μειώσουν το ενεργειακό τους αποτύπωμα, ενώ ενθαρρύνει τη μετάβαση σε ένα πιο «πράσινο» μέλλον. Η προσωπική μου ενασχόληση με τα αυτόνομα Μικροελεγκτή συστήματα προέκυψε από την κατανόηση του ρόλου τους στη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς και από τις ανεξάντλητες δυνατότητες που προσφέρει η ηλιακή ενέργεια στη χώρα μας. Μέσα από την εμπάθυση σε αυτό το αντικείμενο, φιλοδοξώ να συμβάλω με τη σειρά μου στην προώθηση και υλοποίηση καινοτόμων λύσεων που θα συμβάλουν στη διατήρηση του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ενός αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος, με τη χρήση μικροελεγκτή ESP32 ως βασικού εργαλείου ελέγχου και διαχείρισης το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα ακριβούς ελέγχου των διαφόρων στοιχείων του συστήματος, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές μικρής και μέσης κλίμακας. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τον σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος το οποίο περιλαμβάνει την επιλογή των βασικών εξαρτημάτων, όπως τα Μικροελεγκτή πάνελ, οι μετατροπείς και οι αισθητήρες. Στη συνέχεια αναπτύσσεται λογισμικό γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C με στόχο τη συλλογή δεδομένων, όπως η τάση, το ρεύμα και η κατανάλωση της ισχύος. καθώς και την ρύθμιση της λειτουργίας του συστήματος. Ακολουθεί η προσομοίωση και η υλοποίηση, όπου αναλύεται η απόδοση του συστήματος μέσω δοκιμών σε πραγματικές συνθήκες, με απώτερο στόχο τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής του λειτουργίας. Τέλος, η αξιολόγηση, μέσω της καταγραφής και ανάλυσης των οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών που προκύπτουν από τη χρήση του σύστημα

1.Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1.1 Γενικά

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι πηγές ενέργειας που είναι άφθονες στο φυσικό περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ είναι πρακτικά ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, ενώ η εκμετάλλευσή τους περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα στοχεύουν στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. ^[2] Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών εμφανίστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά την επίγνωση των σοβαρών παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συμβολής στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και ενισχύοντας την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού τους. Ταυτόχρονα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο τομέας της ενέργειας είναι ο κλάδος που ευθύνεται πρωτίστως για την περιβαλλοντική ρύπανση.

Είναι αναμφισβήτητο ότι η ενέργεια είναι μια αναγκαιότητα της καθημερινής ζωής, όπως το φαγητό και το νερό. Με το πέρασμα των χρόνων, σημειώθηκε σημαντική αύξηση του πληθυσμού της γης που είναι ευθέως ανάλογη με την ενέργεια που καταναλώνεται σε καθημερινή βάση. Όλα τα πιθανά gadget και ο νέος εξοπλισμός που έχει ο καθένας μας χρειάζονται άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο, κάποιο είδος ενέργειας για να λειτουργήσουν. Με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, καθίσταται απαραίτητος ο εντοπισμός βιώσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακών πόρων που μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο άφθονη μορφή ενέργειας που έχουμε στη διάθεσή μας. Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας το 2025 εκτιμάται ότι είναι περίπου 600 έως 620 exajoules (EJ), με βάση τις τάσεις από οργανισμούς όπως ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA). Αυτή η ανάπτυξη οφείλεται στην αυξανόμενη ζήτηση, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς και στη στροφή προς καθαρότερες πηγές ενέργειας. Πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ότι αυτές οι εκτιμήσεις μπορεί να αλλάξουν λόγω τεχνολογικών προόδων, αλλαγών πολιτικής ή απροσδόκητων παγκόσμιων γεγονότων.; Έχει διεξαχθεί έρευνα που δείχνει μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στον κόσμο. Συγκεκριμένα, αναμένεται αύξηση έως και 56% μέχρι το έτος 2040 και παρά το ενεργειακό δυναμικό που έχουμε στη διάθεσή μας .

Από το 2023, η παγκόσμια ηλιακή δυναμικότητα εκτιμάται σε περίπου 1.200 (GW), κάτι που μεταφράζεται σε σημαντικό ποσό παραγωγής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει περίπου το 4-5% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, αυτό το μερίδιο αυξάνεται ραγδαία καθώς περισσότερες χώρες επενδύουν σε υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.. Υπάρχουν χώρες που αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες για τη μετάβαση από τη χρήση επιβλαβών καυσίμων στις ηλιακές εφαρμογές. Οι χώρες του G-20 έχουν αναλάβει να βρουν λύσεις για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε βάρος των υπολοίπων. Είναι γεγονός ότι τα ορυκτά καύσιμα θα εξαντληθούν τελικά, αλλά επιπλέον, η εκτεταμένη χρήση τους έχει κάποιες σοβαρές συνέπειες, άμεσες και έμμεσες, για τον άνθρωπο. Η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας έχει αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, εκλύεται CO₂ στην ατμόσφαιρα, το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο θα συζητηθεί αργότερα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα ηλιακό πάνελ 4 KW που χρησιμοποιείται σε σπίτια για 25 χρόνια μπορεί να αντισταθμίσει 199.697 λίβρες CO₂. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πόσο μεγάλο αντίκτυπο μπορεί να έχει ένα μόνο σπίτι στην προστασία του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες.

1.2 Μορφές ενέργειας και η κυρίες πηγές τους.

Ενέργεια είναι η ικανότητα που έχει ένα αντικείμενο ή ένα σύστημα να παράγει αλλαγές στον εαυτό του ή σε άλλους. Ο ΟΗΕ το κατατάσσει ως κάτι «απαραίτητο για όλες σχεδόν τις μεγάλες προκλήσεις και ευκαιρίες που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα». Υπάρχουν δύο μορφές ενέργειας, η ανανεώσιμες και η μη ανανεώσιμες.

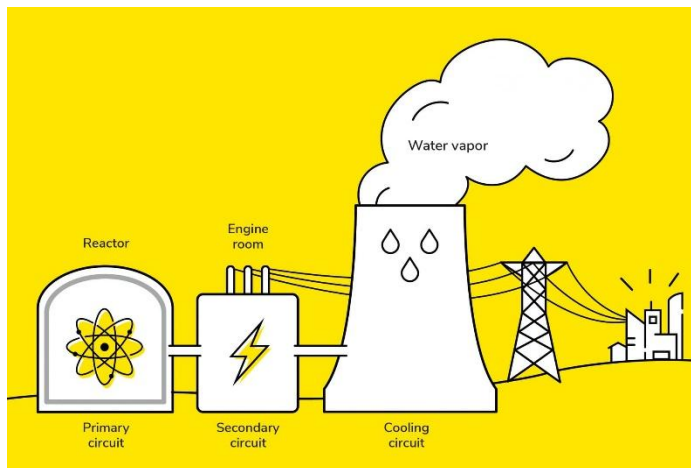
Κατηγορία	Μορφές Ενέργειας	Παραδείγματα
Ανανεώσιμες Πηγές	Ηλιακή Ενέργεια	Φωτοβολταϊκά, ηλιακή θέρμανση
	Αιολική Ενέργεια	Ανεμογεννήτριες
	Υδραυλική-Ενέργεια (υδροηλεκτρική)	Υδροηλεκτρικοί σταθμοί
	Γεωθερμική Ενέργεια	Ηφαιστειακή θερμότητα, γεωθερμικά πεδία
	Βιοενέργεια (από βιομάζα)	Καύση ξύλου, βιοκαύσιμα
Μη Ανανεώσιμες Πηγές	Ορυκτά Καύσιμα	Πετρέλαιο, φυσικό αέριο, λιγνίτης
	Πυρηνική Ενέργεια	Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Πίνακας: 1. Διαχωρισμός πηγών ενέργειας, [3].

1.2 Μη ανανεώσιμες πηγές

1.2.1 Πυρηνική ενέργεια.

Πυρηνική ενέργεια είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν οι ατομικοί πυρήνες χωρίζονται ή συγχωνεύονται. Αυτή η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως την συναντάμε σε εφαρμογές



για την κίνηση πλοίων και υποβρυχίων, καθώς και για άλλες εφαρμογές. Η βασικές αρχές που την διέπουν είναι η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη . Πυρηνική σχάση είναι όταν ένας βαρύς πυρήνας, όπως το ουράνιο-235 ή το πλουτώνιο-239, διασπάται σε μικρότερους πυρήνες και απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται σε πυρηνικούς σταθμούς. Ενώ, η πυρηνική σύντηξη όταν δύο ελαφροί πυρήνες, όπως τα ισότοπα του υδρογόνου (δευτέριο και τρίτιο), συγχωνεύονται για να σχηματίσουν έναν βαρύτερο πυρήνα με αυτόν τον τρόπο απελευθερώνεται επίσης ενέργεια. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει στον Ήλιο και σε άλλα αστέρια. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Πυρηνικής Ενέργειας (NEI), οι Ηνωμένες Πολιτείες

απέφυγαν περισσότερους από 476 εκατομμύρια μετρικούς τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα το 2019, ένα πραγματικά πολύ σημαντικό νούμερο. Στις μέρες μας υπάρχουν 31 χώρες που παράγουν το 14% του ηλεκτρισμού παγκοσμίως, μέσω των 439 πυρηνικών αντιδραστήρων που βρίσκονται σε λειτουργία αυτή τη στιγμή..

1.2.2 Πετρέλαιο

Το αργό πετρέλαιο (ή μαύρος χρυσός) είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων που υπάρχει σε υγρή μορφή σε φυσικές υπόγειες δεξαμενές και παραμένει υγρό σε ατμοσφαιρική πίεση αφού περάσει από εγκαταστάσεις διαχωρισμού.

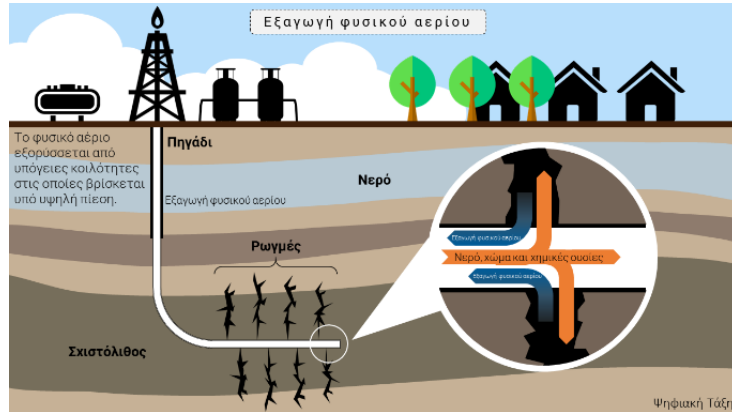


Εξάγεται μέσω γεωτρήσεων (βλ. εικόνα) και χρησιμοποιείται για μεταφορά, θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ υπάρχουν πάνω από 160 διαφορετικοί τύποι αργού πετρελαίου, τα πιο γνωστά από τα οποία είναι West Texas Intermediate (WTI), Brent Crude, OPEC Reference Basket, Dubai Crude, Bonny Light κ.λπ. Από την καύση του απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και οξείδια του θείου (SO) στην ατμόσφαιρα, τα οποία ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι με τα σημερινά επίπεδα κατανάλωσης λαδιού, έχει υπολογιστεί ότι απομένουν περίπου 47 χρόνια

χρήσης του μέχρι να εξαντληθεί.

1.2.3 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα από τα σημαντικότερα ορυκτά καύσιμα και αποτελεί βασική πηγή ενέργειας σε πολλούς τομείς, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η θέρμανση και οι μεταφορές. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄), αλλά μπορεί επίσης να περιέχει μικρές ποσότητες άλλων αερίων, όπως αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και άζωτο. Είναι ορυκτό καύσιμο και σχηματίζεται όταν στρώματα αποσυντιθέμενης φυτικής και ζωικής ύλης εκτίθενται σε έντονη θερμότητα και πίεση κάτω από την επιφάνεια της Γης για εκατομμύρια χρόνια, ενώ τα φυτά αυτά είχαν αρχικά αποκτήσει ενέργεια από τον ήλιο η οποία αποθηκεύεται με τη μορφή χημικών δεσμών στο αέριο. Ικανοποιεί τη σχέση με τα 3Α είναι δηλαδή



άχρωμο, άοσμο και άγευστο και αποτελεί κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.4 Λιγνίτης

Ο λιγνίτης, ή άνθρακας, είναι ένα σκούρο καφέ έως μαύρο εύφλεκτο ορυκτό που έχει σχηματιστεί εδώ και εκατομμύρια



χρόνια από τη μερική αποσύνθεση φυτικού υλικού που υπόκειται σε αυξημένη πίεση και θερμοκρασία σε μια ατμόσφαιρα χωρίς αέρα. Τα κοιτάσματα λιγνίτη δημιουργήθηκαν ουσιαστικά από τόνους νεκρών και σε αποσύνθεση φυτών σε μια βαλτώδη ατμόσφαιρα πριν από 50 έως 70 εκατομμύρια χρόνια. Η θερμαντική περιεκτικότητα του λιγνίτη είναι περίπου 7.000 Btus ανά λίβρα και η περιεκτικότητα σε νερό είναι περίπου 35%, ενώ πρέπει να τονιστεί ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον λιγνίτη είναι άφθονη, χαμηλού κόστους, αξιόπιστη και περιβαλλοντικά βιώσιμη.

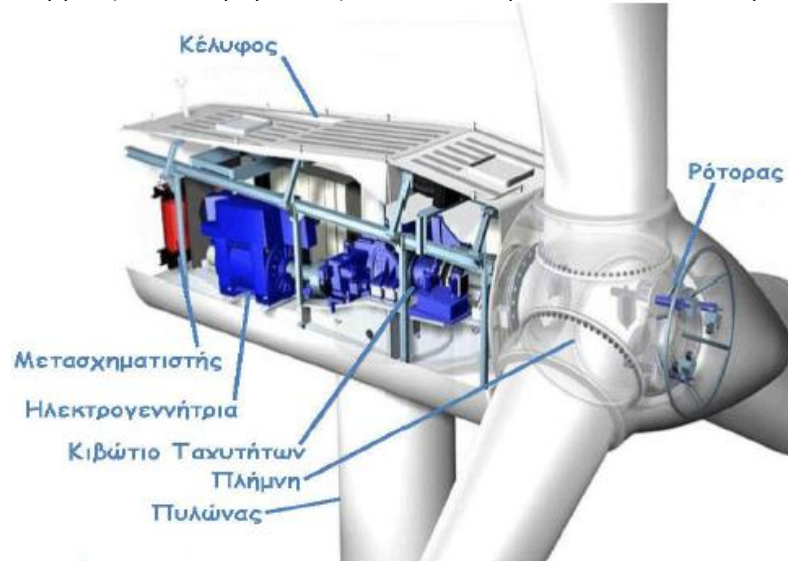
Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο λιγνίτης προκαλεί συχνά συγκρούσεις μεταξύ των μόνιμων κατοίκων μιας περιοχής και της εκάστοτε κυβέρνησης, αφού η εγκατάσταση ενός τέτοιου εργοστασίου αφενός υποβαθμίζει την περιοχή και αφετέρου μπορεί να προκαλέσει πολύ σοβαρά προβλήματα υγείας στους ντόπιους.

1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (renewable energy sources) είναι πηγές ενέργειας που δεν εξαντλούνται και έχουν μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Βασίζονται σε φυσικά φαινόμενα που ανανεώνονται συνεχώς, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, το νερό και η γεωθερμία. Παίζουν κρίσιμο ρόλο στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Το κύριο ερώτημα είναι εάν μπορούν οι Α.Π.Ε να καλύψουν όλο το ενεργειακό φορτίο. Η απάντηση είναι αρκετά πολύπλοκη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η τεχνολογική ανάπτυξη, οι γεωγραφικές συνθήκες, οι οικονομικοί πόροι και οι πολιτικές αποφάσεις που θα παρθούν κύριος από τις ρυπογόνες χώρες. [4] Την περίοδο που διανύουμε υπάρχουν χώρες όπως η Ισλανδία που χρησιμοποιεί κυρίως γεωθερμία και υδροηλεκτρική ενέργεια. Η Νορβηγία όπου βασίζεται κυρίως σε υδροηλεκτρική ενέργεια και η Κόστα Ρίκα η οποία έχει φτάσει κοντά στο 100% ΑΠΕ με υδροηλεκτρική, γεωθερμική και αιολική ενέργεια, οι οποίες πλησιάζουν το 100% τον ηλεκτρικών τους αναγκών να καλύπτεται από ΑΠΕ.

1.3.1 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας, που σημαίνει ότι δεν μολύνει τον αέρα όπως άλλες μορφές ενέργειας. Δεν παράγει διοξείδιο του άνθρακα ούτε απελευθερώνει επιβλαβή υποπροϊόντα που μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντική υποβάθμιση ή να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία, όπως αιθαλομίχλη, όξινη βροχή ή άλλα αέρια που παγιδεύουν τη θερμότητα.

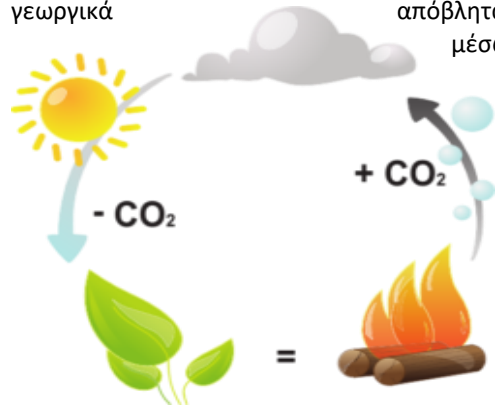


Τεχνικά, η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ηλιακής ενέργειας. [5] Το φαινόμενο που ονομάζουμε «άνεμος» προκαλείται από διαφορές στην θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης και τη γεωγραφία του πλανήτη. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), το σύστημα θα αποκτήσει εγκατεστημένη ισχύ 3,372 μεγαβάτ (MW) μόνο από αιολική ενέργεια σε σύγκριση με τα 746 μεγαβάτ (MW) στα τέλη του 2006.[2] Η Ελλάδα επέλεξε να επενδύσει κατά κύριο λόγο στην αιολική ενέργεια κατά 77%, ενώ οι

υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές αποτελούν από κοινού το υπόλοιπο 23% της παραγωγής με την υδροηλεκτρική ενέργεια όντας δεύτερη με 11%.

1.3.2 Βιομάζα

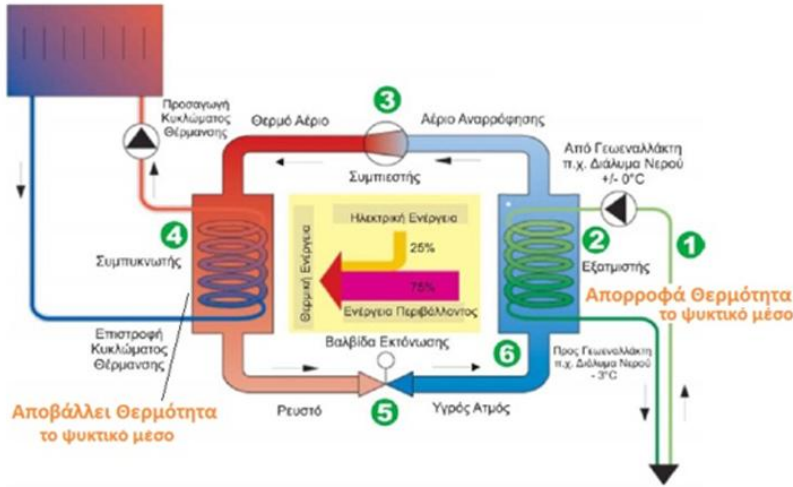
Η βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που προέρχεται από οργανικά υλικά, όπως φυτικά υπολείμματα, γεωργικά απόβλητα, ξύλο και άλλα βιολογικά υλικά. [6] Χρησιμοποιείται για την παραγωγή



μέσω διαφόρων τεχνολογιών, όπως η καύση, η ανακύκλωση και η βιοχημική μετατροπή. Είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχει άφθονη αγορά οργανικών υλικών. Η χρήση της βιομάζας συγκαταλέγεται στο γεγονός ότι δημιουργείται διοξείδιο του φυτού που τίθεται στον αέρα, το οποίο καταναλώνεται από την αναγέννηση των νέων με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια ισορροπημένη ατμόσφαιρα. Τέλος, παρ' όλο που η βιομάζα έχει πολλές προοπτικές ώστε να βοηθήσει τον άνθρωπο και τον κόσμο γενικότερα, δεν υπάρχει ακόμη η τεχνολογία για την χρήση της αντί των ορυκτών καυσίμων.

1.3.3 Γεωθερμία

Η Γη παράγει θερμότητα μέσω της ραδιενεργής διάσπασης στοιχείων στο μανδύα της και τον πυρήνα της καθώς και από την αρχική θερμότητα που διατηρείται από τον σχηματισμό του πλανήτη. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται στην επιφάνεια μέσω θερμών νέων και ατμού. Την εντοπίζουμε κυρίως σε περιοχές με ηφαιστειακή ή τεκτονική.

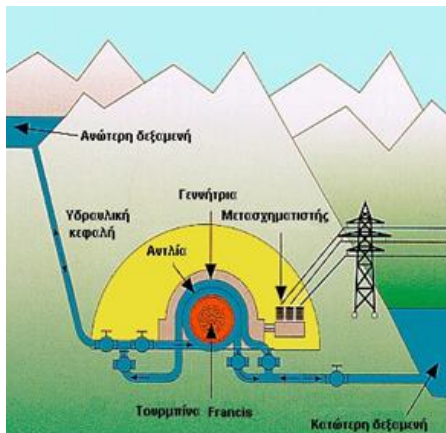


δραστηριότητα και σε θερμικές πηγές οι οποίες χωρίζονται σε φυσικές και τεχνητές πηγές θερμότητας. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται γεωθερμία και αποτελεί μια καθαρή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή γεωθερμική δραστηριότητα. Μερικές φορές μεγάλες ποσότητες αυτής της θερμότητας διαφεύγουν φυσικά και έτσι προκύπτουν μερικά γνωστά μας περιστατικά, όπως ηφαιστειακές εκρήξεις και θερμοπίδακες. Αυτή η θερμότητα μπορεί να συλληφθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας χρησιμοποιώντας ατμό που προέρχεται από το

θερμαινόμενο νερό που αντλείται κάτω από την επιφάνεια, το οποίο στη συνέχεια ανεβαίνει στην κορυφή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία ενός στροβίλου. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι τόσο συνηθισμένη όσο και άλλοι τύποι ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά έχει σημαντικό ενεργειακό δυναμικό και δεδομένου ότι αναπληρώνεται φυσικά δεν διατρέχει κίνδυνο εξάντλησης. Παρ' όλα τα κύρια μειονεκτήματά της είναι ότι αποτελεί μια άκρως δαπανηρή επένδυση όσον αφορά την κατασκευή της υποδομής και εμφανίζει ευπάθεια σε σεισμούς σε ορισμένες περιοχές του κόσμου.

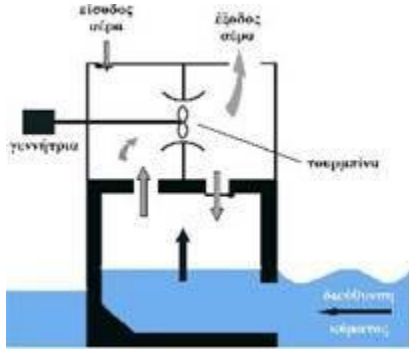
1.3.4 Υδραυλική ενέργεια

Το νερό στη φύση, όταν βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, έχει δυναμική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε κινητική όταν το νερό ρέει προς χαμηλότερες περιοχές. Με τα υδροηλεκτρικά έργα (υδροταμειυτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, [7] ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) γίνεται δυνατή η εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διοχετεύεται στην κατανάλωση του ηλεκτρικού δικτύου. Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης εναλλακτικής μορφής ενέργειας είναι πως να μην μολύνει τον αέρα, διαταράσσει όμως τις πλωτές οδούς και επηρεάζει αρνητικά τα ζώα που ζουν σε αυτά, αλλάζοντας τα επίπεδα του νερού, τα ρεύματα και τις διαδρομές μετανάστευσης για πολλά ψάρια και άλλα οικοσυστήματα γλυκού νερού, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις όπου τα συστήματα αποθήκευσης ενδέχεται να χρειαστεί να χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την άντληση νερού. Στην Ελλάδα έχουμε καταφέρει μέσω της υδροηλεκτρικής ενέργειας να καλύπτεται περί το 10% των ενεργειακών μας αναγκών.

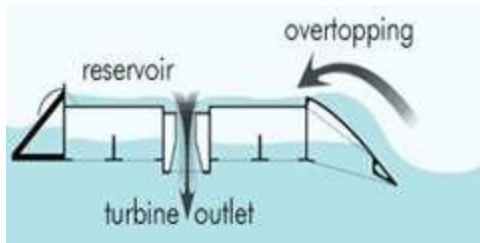


1.3.5 Ενέργεια κυμάτων-ωκεανών

Ο ωκεανός μπορεί να παράγει δύο τύπους ενέργειας: θερμική και μηχανική. Η θερμική ενέργεια του ωκεανού βασίζεται στις θερμοκρασίες της επιφάνειας του ζεστού νερού για την παραγωγή ενέργειας μέσω μιας ποικιλίας διαφορετικών συστημάτων. Η μηχανική ενέργεια του ωκεανού χρησιμοποιεί τις άμπωτες και τις ροές των παλιρροιών για να παράγει ενέργεια, η οποία δημιουργείται από την περιστροφή και τη βαρύτητα της γης από το φεγγάρι. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να παραχθεί η κινητική ενέργεια των κυμάτων φαίνεται στην εικόνα και μπορεί να περιστρέψει μια τουρμπίνα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια αναπαράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης τη ενέργειας των κυμάτων. Ένας ακόμη τρόπος εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας είναι η αξιοποίηση του φαινομένου των παλιρροιών όπως φαίνεται στην εικόνα. Τα εισερχόμενα νερά της παλιρροίας στην ακτή μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε τα αποθηκευμένα νερά



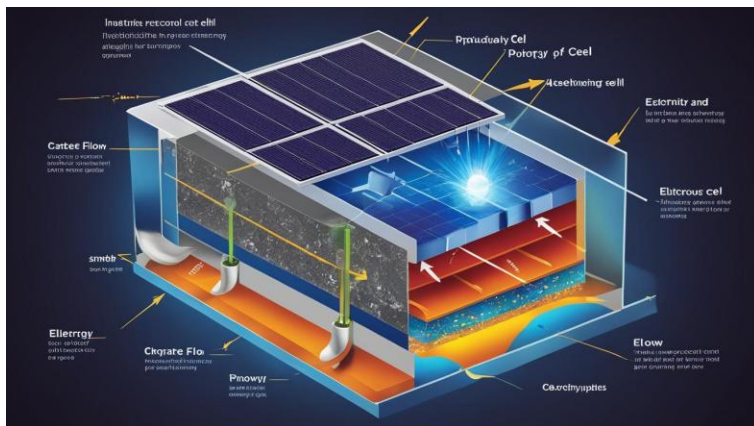
ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Σε αντίθεση με άλλες μορφές ενέργειας, η κυματική είναι προβλέψιμη και είναι εύκολο να εκτιμηθεί η



ποσότητα ενέργειας που θα παραχθεί. Αντί να βασίζεται σε διάφορους παράγοντες, όπως ο ήλιος και ο άνεμος, η ενέργεια των κυμάτων είναι πολύ πιο συνεπής. Αυτός ο τύπος ανανεώσιμης ενέργειας είναι επίσης άφθονος, οι πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις τείνουν να είναι κοντά σε ωκεανούς και λιμάνια, καθιστώντας ευκολότερη την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας για τον τοπικό πληθυσμό. Το δυναμικό της κυματικής ενέργειας είναι ένα εκπληκτικό ακόμη ανεκμετάλλευτος ενεργειακός πόρος με εκτιμώμενη ικανότητα παραγωγής 2640 TWh / έτος. Εκείνοι που ζουν κοντά στον ωκεανό επωφελούνται σίγουρα από την κυματική ενέργεια, αλλά όσοι ζουν σε στεγασμένες πολιτείες δεν θα έχουν άμεση πρόσβαση σε αυτήν την ενέργεια. Ένα άλλο μειονέκτημα για την ενέργεια των ωκεανών είναι ότι μπορεί να διαταράξει τα πολλά ευαίσθητα οικοσυστήματα του ωκεανού. Παρόλο που είναι μια πολύ καθαρή πηγή ενέργειας, πρέπει να κατασκευαστούν μεγάλα μηχανήματα σε κοντινή απόσταση για να βοηθήσουν στη σύλληψη αυτής της μορφής ενέργειας, η οποία μπορεί να προκαλέσει διαταραχές στα πυθμένα του ωκεανού και τη θαλάσσια ζωή που την κατοικεί. Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο καιρός, όταν εμφανίζεται τραχύς καιρός, αλλάζει τη συνέπεια των τιμών, παράγοντας έτσι χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με τα κανονικά κύματα χωρίς θυελλώδη καιρό.

1.3.6 Ηλιακή ενέργεια

Την ηλιακή ενέργεια την αφήσαμε για το τέλος γιατί είναι αυτή που θα μας απασχολήσει στην παρούσα εργασία οπότε και θα ασχοληθούμε με αυτή εκτενέστερα στη συνέχεια. Η ηλιακή ενέργεια λοιπόν χρησιμοποιεί το φως και τη θερμότητα του ήλιου για να παράγει ανανεώσιμη ή «πράσινη» ισχύ. Η πιο κοινή μορφή ηλιακής ενέργειας αξιοποιείται από ηλιακούς συλλέκτες ή Μικροελεγκτή κύτταρα. Σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας ή σε μεγάλες εκτάσεις γενικότερα, είναι τοποθετημένοι σχεδόν από άκρη σε άκρη για να συλλάβουν το φως του ήλιου. Πολλές φορές τους συναντάμε πάνω από σπίτια και στις ταράτσες άλλων κτηρίων. [8] Τα κελιά δημιουργούνται από υλικά ημιαγωγών. Οι ηλιακοί συλλέκτες



μπορούν να παράγουν ενέργεια για χιλιάδες ανθρώπους ταυτόχρονα. Οι ηλιακοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

χρησιμοποιούν μια ποικιλία τεχνικών για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιώντας τον ήλιο.

1.4 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η ενεργειακή μετάβαση και η στροφή σε πιο καθαρές μορφές ενέργειας αναμένεται αναμφισβήτητα να έχει θετική επίδραση τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε ως θετικά τα εξής:

- Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της μετάβασης στην πράσινη ενέργεια είναι η δυνατότητα μετριασμού των καταστροφικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας για τη σύγχρονη κοινωνία μας, απελευθερώνουν επιβλαβή αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας στην επιτάχυνση της παγκόσμιας υπερθέρμανσης και την κλιματική αλλαγή. Με τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική ενέργεια και η υδροηλεκτρική ενέργεια, μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μετριάζοντας τις δυσμενείς επιπτώσεις στο κλίμα του πλανήτη μας.

- Ένα άλλο πλεονέκτημα της ενεργειακής μετάβασης είναι οι δυνατότητες οικονομικής ανάπτυξης και δημιουργίας θέσεων εργασίας. Ο τομέας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γνώρισε ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, με τις επενδύσεις να εκτοξεύονται στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων τεχνολογιών, των υποδομών και της καινοτομίας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολυάριθμων θέσεων εργασίας στον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που κυμαίνονται από κατασκευή, εγκατάσταση, συντήρηση και έρευνα και ανάπτυξη. Η ενεργειακή μετάβαση μπορεί να τονώσει την οικονομική ανάπτυξη, να προωθήσει την τεχνολογική καινοτομία και να δημιουργήσει θέσεις εργασίας ευκαιρίες, συμβάλλοντας σε ένα βιώσιμο και ευημερούν μέλλον.

- Επιπλέον, η μετάβαση στην πράσινη ενέργεια μπορεί επίσης να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια και να μειώσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Τα ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένοι πόροι που υπόκεινται σε τιμές σταθαιές και γεωπολιτικές εντάσεις, που οδηγούν σε διακοπές εφοδιασμού και ενεργειακή ανασφάλεια.

- Αντίθετα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι άφθονες, ευρέως διαθέσιμες και εγχώριες πηγές, η χρήση των οποίων οδηγεί σε μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και αύξηση της ενεργειακής ανεξαρτησίας.

Εξετάζοντας όμως το θέμα πιο βαθιά και σκεπτόμενοι συνολικά αυτή τη μετάβαση, μπορούμε σίγουρα να εντοπίσουμε και αρνητικές επιπτώσεις οι οποίες είναι ορατές σε όλους τους τομείς. Πιο συγκεκριμένα:

- Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι το αρχικό κόστος μετάβασης στην πράσινη ενέργεια. Ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει περισσότερο ανταγωνιστικές ως προς το κόστος τα τελευταία χρόνια, εξακολουθούν να υπάρχουν αρχικά κόστη που σχετίζονται με την ανάπτυξη, τις υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακά πάνελ, ανεμογεννήτριες και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό το κόστος μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την είσοδο, ειδικά για τις αναπτυσσόμενες χώρες ή τις κοινότητες με περιορισμένους οικονομικούς πόρους, εμποδίζοντας την ευρεία υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Μια άλλη πρόκληση της ενεργειακής μετάβασης είναι η μεταβλητότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία μπορούν εύκολα να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν κατόπιν ζήτησης, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και μπορεί να μην είναι πάντα διαθέσιμες με συνέπεια και αξιόπιστο τρόπο. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις όσον αφορά τη διασφάλιση προσφοράς μιας σταθερής και αξιόπιστης ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής ζήτησης ή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.

- Επιπλέον, ενδέχεται να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ενεργειακών έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται γενικά περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον από τα ορυκτά καύσιμα, έχουν αρνητικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τον εκτοπισμό των τοπικών κοινωνιών και την απώλεια βιοποικιλότητας. Τα έργα αιολικής και ηλιακής ενέργειας ενδέχεται επίσης να απαιτούν σημαντική χρήση γης, και μπορεί να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την καταστροφή των οικοσυστημάτων, τις οπτικές επιπτώσεις και την ηχορύπανση. Η εξέταση και ο μετριασμός αυτών των επιπτώσεων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση μιας δίκαιης και βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης.

1.5 Ευρωπαϊκό νομικό και θεσμικό πλαίσιο για τις ανανεώσιμες πηγές

Η στρατηγική «Ευρώπη 2020» περιλαμβάνει ως στόχο την επίτευξη του 20% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020 και τουλάχιστον 32% έως το 2030.[6] Τα στοιχεία αυτά βασίζονται στη χρήση ενέργειας σε όλες τις μορφές της και στους τρεις βασικούς τομείς, στον τομέα θέρμανσης και ψύξης, στον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας και στον τομέα των μεταφορών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Πράσινη Βίβλο (96/576) θέτει σε πρώτο επίπεδο τους προβληματισμούς για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και προσπαθεί να κάνει τα κράτη-μέλη προς την απεξάρτηση τους από τις ρυπογόνες πηγές συμβατικής ενέργειας που μετακινούνται κατά κόρον και να τα στρέψει στη συστηματικότερη χρήση των φιλικών προς το περιβάλλον ΑΠΕ. Με προώθηση και η χρήση του ΑΠΕ είναι ανάγκη να προστατευθεί το περιβάλλον με τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Οι στόχοι που έθεσε και προώθησε η Πράσινη Βίβλος ήταν:

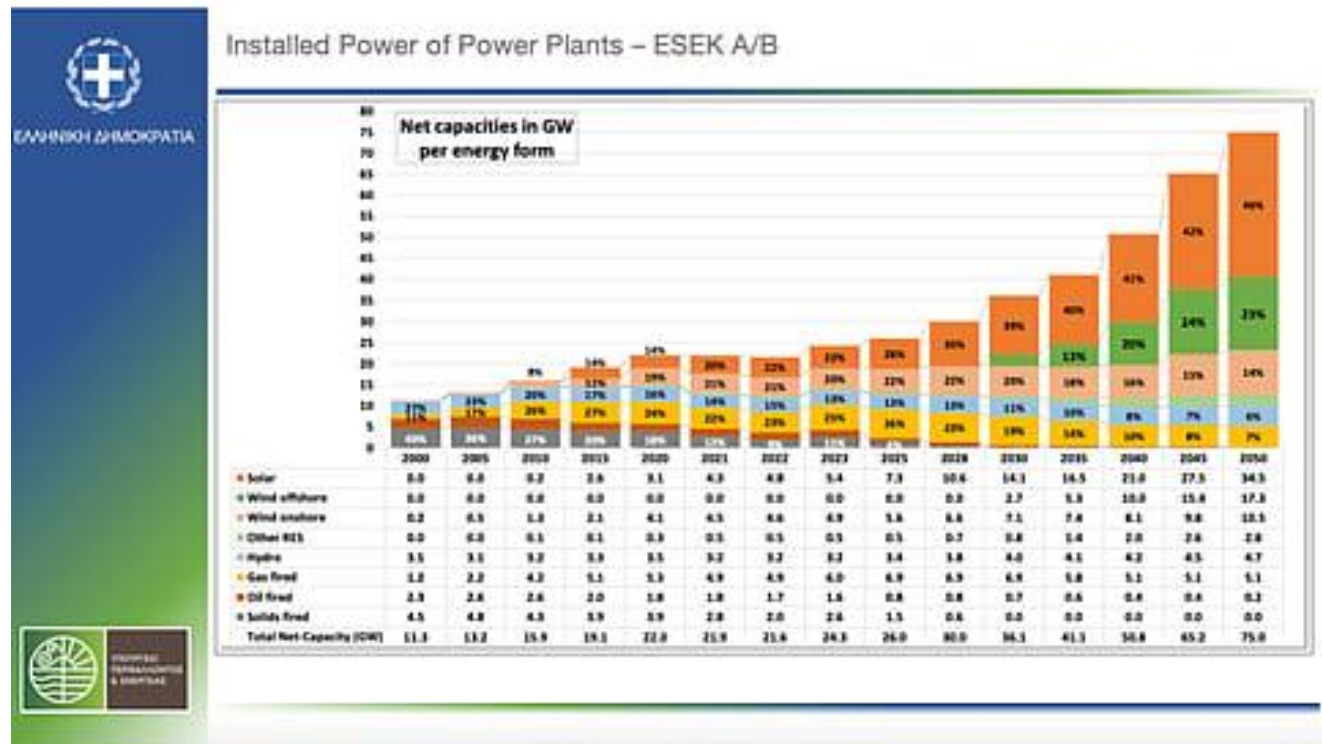
- Ο διπλασιασμός του ποσοστού χρήσεως των ΑΠΕ στο ενεργειακό πλαίσιο της Ε.Ε. μέχρι το 2010 γύρω στο 12%.
- Η ενθάρρυνση της συνεργασίας μεταξύ των κρατών-μελών σχετικά με τις ΑΠΕ.
- Η ενδυνάμωση των πολιτικών της Κοινότητας σχετικά με την πρόοδο και την εξέλιξη του ΑΠΕ, που ενδιαφέρει και ως οικονομικό μέγεθος.
- Η παρακολούθηση της προόδου που συντελείται ως προς την εγκατάσταση των στόχων που θέτει η Πράσινη Βίβλος, σχετικά με τη συστηματική χρήση του ΑΠΕ.
- Έκδοση κοινοτικών οδηγιών που διευκολύνει τις διαδικασίες περάτωσης του έργου.

1.6 Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πολλά, εξαιτίας της αφθονίας των ενεργειακών πηγών. Εκτός από την εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει πολύ θετικές επιπτώσεις στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Σήμερα, την ενεργειακή κατάσταση στη χώρα μας καθορίζουν 3 βασικές παράμετροι:

- Υψηλή εξάρτηση από εισαγόμενη ενέργεια. Η επίμονη και εκτεταμένη ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας αγγίζει το 54,3% της ποσότητας πρωτογενούς ενέργειας (στοιχεία 1994) και έχει πολλές δυσμενείς συνέπειες για τη χώρα μας, όπως: τεράστιο συναλλαγματικό κόστος, εξάρτηση από τις χώρες εφοδιασμού με ενέργεια και ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού στην περιόδους κρίσης, που δεν είναι ασυνήθιστες στις πετρελαιοπαραγωγικές χώρες.
- Η μεγάλη εξάρτηση της χώρας από το εξωτερικό για τις μεγάλες επενδύσεις που πραγματοποιεί στον ενεργειακό τομέα. Ένδειξη της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από το εξωτερικό δίνεται από το λεγόμενο βαθμό ενεργειακής αυτοδυναμίας, που είναι το ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας που καλύπτεται από εγχώρια παραγωγή. Αν ληφθεί υπόψη η σημαντική συναλλαγματική δαπάνη για τις εισαγωγές ενέργειας, κυρίως μετά την ενεργειακή κρίση, είναι εμφανές ότι η αύξηση του βαθμού της ενεργειακής αυτοδυναμίας θα πρέπει να είναι για τη χώρα μας κύριος μοχλός της ενεργειακής της πολιτικής. Ο βαθμός της ενεργειακής αυτοδυναμίας της χώρας μας ανήλθε από το 19% του συνόλου το 1973 σε 34,5% του συνόλου το 1994. Παρόλο που από το 1973 η εξέλιξη στον τομέα της ενεργειακής αυτοδυναμίας στη χώρα μας είναι θετική, οι επενδύσεις τα προσεχή χρόνια στον ενεργειακό τομέα θα είναι της τάξης των δισεκατομμυρίων δολαρίων. Η ανάθεση των επενδύσεων αυτών σε οίκους του εξωτερικού σε μεγάλο ποσοστό, έχει για την Ελλάδα τεράστια πρόσθετη συναλλαγματική δαπάνη και ανάλογη εξάρτηση,
- Η χαμηλή απόδοση του ενεργειακού τομέα. Η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα υψηλή ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Αυτό οφείλεται, τόσο στις σχετικά μεγάλες απώλειες στη φάση της μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε τελική, όσο και στη σπατάλη κατά την κατανάλωση ενέργειας.

1.7 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Στην Ελλάδα



Εικόνα 1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα [10]

Σύμφωνα με την έκθεση του Υπουργείου Ενέργειας και Περιβάλλοντος, η Ελλάδα φτάνει στην πρώτη πεντάδα στην κατά κεφαλή παραγωγή φωτοβολταϊκών κυττάρων και ηλιακής θέρμανσης νερού. Από το 2005 και κάθε χρόνο, ο οργανισμός Renewable Energy Policy Network δημοσιεύει την μελέτη Renewables Global Status Report. Πρόκειται για μία συλλογή μεγεθών που μετρούν τις επιδόσεις πολλών κρατών σε ένα μεγάλο αριθμό τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κυμαίνονται από Μικροελεγκτή μέχρι γεωθερμική ενέργεια και κυματογεννήτριες. Οι τεχνολογίες που περιλαμβάνονται δεν αναφέρονται μόνο σε παραγωγή ρεύματος, αλλά κυμαίνονται σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων όπως βιομάζα, υδρογεννήτριες, γεωθερμική ενέργεια και φυσικά ανεμογεννήτριες και Μικροελεγκτή. Αυτές μελετώνται τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε παγκόσμιο, καθώς και η σχετικές επιδόσεις τους ως προς παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, που φυσικά έχουν ως βασικό αντιπρόσωπό τους τα ορυκτά καύσιμα. Καθώς η Ελλάδα αναθεωρεί το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, η ηλιακή ενέργεια θεωρείται ως η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας μακροπρόθεσμα. Η ηλιακή ενέργεια θα είναι η κορυφαία πηγή παραγωγής ενέργειας για την Ελλάδα μέχρι το τέλος αυτής της δεκαετίας, σύμφωνα με το αναθεωρημένο NECP της κυβέρνησης. (Πηγή: Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Ελλάδα)

Η ηλιακή ενέργεια θα είναι η κορυφαία πηγή παραγωγής ενέργειας για την Ελλάδα μέχρι το τέλος αυτής της δεκαετίας, σύμφωνα με το αναθεωρημένο NECP της κυβέρνησης. Το αναθεωρημένο NECP της Ελλάδας προτείνει την αύξηση της συνολικής ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της χώρας έως το 2030 σε 28 GW και έως το 2050 σε πάνω από 65 GW. Η Solar θα συνεισφέρει το μεγαλύτερο μερίδιο με συνολική ισχύ 14,1 GW έως το 2030 και 34,5 GW έως το 2050. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια ξεκινά με στόχο μόνο 2,7 GW έως το 2050, αλλά αυξάνεται σε 17,3 GW έως το 2050, ξεπερνώντας τα 10,5 GW του χερσαίου ανέμου. Στο πλαίσιο του αναθεωρημένου Εθνικού του Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος (NECP), το ελληνικό Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος έχει χαράξει τον μεγαλύτερο στόχο παραγωγής ενέργειας για την ηλιακή φωτοβολταϊκή τεχνολογία, με στόχο να αυξήσει τη σωρευτική παραγωγή σε 14,1 GW έως το 2030 και 34,5 GW έως το 2050, από 4,8 GW που είχε εγκαταστήσει στο τέλος του 2022. Πάνω από 28 GW σωρευτική δυναμικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στοχεύεται έως το 2030 βάσει του νέου σχεδίου, συμπεριλαμβανομένων 2,7 GW υπεράκτιων αιολικών, 7,1 GW χερσαίων αιολικών, 4,0 GW υδροηλεκτρικής ενέργειας και τα υπόλοιπα 800 MW που προέρχονται από άλλες ανανεώσιμες πηγές. Μέχρι το 2050, ο συνολικός στόχος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

είναι να φτάσει τα 65 GW από τα 75 GW συνολική καθαρή δυναμικότητα παραγωγής ενέργειας. Μέχρι στιγμής, η υπεράκτια αιολική ενέργεια έχει στόχο να αυξηθεί τη συνολική της ισχύ σε συνολικά 17,3 GW, ενώ η χερσαία αιολική ενέργεια θα αντιπροσωπεύει 10,5 GW, η υδροηλεκτρική ενέργεια 4,7 GW και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αντιπροσωπεύουν 2,8 GW. Όσον αφορά την ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια θα αντιπροσωπεύει σχεδόν 20 TWh έως το 2030 και 56,5 TWh έως το 2050. Το ενημερωμένο ESEK έχει σχεδιαστεί για να αντικαταστήσει το NECP του 2019, βάσει του οποίου η Ελλάδα στόχευε σε ηλιακή ισχύ 7,7 GW έως το 2030 από τα 19 GW συνολικής ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σκοπεύει να υποβάλει το τελικό έγγραφο, μετά την εξέταση των σχολίων στη δημόσια διαβούλευση της ίδιας, στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΚ) έως τον Απρίλιο του 2023. Η αποθήκευση ενέργειας βρίσκει εξέχουσα θέση στα αναθεωρημένα σχέδια με την κυβέρνηση να στοχεύει στη χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών (BESS) 5,6 GW έως το 2030, ανεβάζοντάς την στα 23,3 GW έως το 2050. Ακόμη και η υδροάντληση έχει ενσωματωθεί να έχει αθροιστική χωρητικότητα 2,5 GW και 5,2 GW έως το 2053 και αντίστοιχα. Το πράσινο υδρογόνο και η αποθήκευση ενέργειας αναφέρονται επίσης στο ενημερωμένο NECP της Ελλάδας. (Πηγή: Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Ελλάδα) Το πράσινο υδρογόνο και η αποθήκευση ενέργειας αναφέρονται επίσης στο επικαιροποιημένο NECP της Ελλάδας. (Πηγή: Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Ελλάδα) Συνειδητοποιώντας τη σημασία του πράσινου υδρογόνου στην απανθρακοποίηση της συνολικής οικονομίας και του εξαγωγικού δυναμικού που προσφέρει, η Ελλάδα σκοπεύει να επεκταθεί στα 14,7 GW έως το 2050, με δυναμικότητα 1,2 GW για αιολική και ηλιακή ενέργεια στην Αίγυπτο (βλ. Η τοπική πύλη ενεργειακών ειδήσεων Energygress που μοιράστηκε την παρουσίαση του υπουργού Ενέργειας Κώστα Σκρέκα και ανέφερε ότι το επικαιροποιημένο NECP στοχεύει το 80% της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το 2030 και το μερίδιό τους στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στοχεύει στο 45%. Ο υπουργός είπε ότι ο κύριος στόχος πίσω από την αναθεώρηση του NECP είναι να απογαλακτιστεί η χώρα από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των πολιτών της. Σκρέκας πρόσθεσε, «Το νέο προτεινόμενο ΕΣΕΚ είναι δομημένο με τρόπο που δίνει υπεραξία στην ελληνική οικονομία και εγχώρια προστιθέμενη αξία, δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας ενώ, με τον μετασχηματισμό του ενεργειακού τομέα, θα επιτύχουμε ανταγωνιστικές τιμές ενέργειας για όλους τους καταναλωτές». Η τοπική ένωση ηλιακών φωτοβολταϊκών HELAPCO, στην προοπτική αγοράς της ΕΕ για την ηλιακή ενέργεια 2022-2028 της SolarPower Europe, ανέμενε ότι οι αναθεωρημένοι στόχοι Φ/Β στο πλαίσιο του NECP θα ήταν κάτω από το πραγματικό δυναμικό της αγοράς, καθώς πιστεύει ότι μπορεί να ανέλθει στα 16,3 GW έως το 2030. Ωστόσο, σημαντικό σημείο συμφόρησης παραμένει η χωρητικότητα του δικτύου.

2. Ηλιακή ενέργεια και κατηγορίες ηλιακών συστημάτων

2.1 Γενικά

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και διαδραματίζει βασικό ρόλο στη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή υποδομή. Βασίζεται στην άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως Μικροελεγκτή συστήματα (ΦΒ) και ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες. [11] Στην Ελλάδα υπάρχει αφθονία και μεγάλη ποσότητα ενέργειας, με μηδενικό κόστος και χωρίς επιβλαβείς εκπομπές. Η ηλιακή ενέργεια αναφέρεται στο σύνολο των διαφορετικών μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο, όπως το φως, η θερμότητα και η ακτινοβολία. Είναι πρακτικά ανεξάντλητο, αφού η πηγή του, ο Ήλιος, δεν περιορίζεται ούτε χωρικά ούτε χρονικά. Η ενέργεια που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται από διεργασίες στον Ήλιο. Ο Ήλιος, ένα αστέρι μεσαίου μεγέθους, αποτελείται από ιονισμένο πλάσμα, δηλαδή θετικά και αρνητικά ιόντα που κινούνται σε υψηλές θερμοκρασίες (εκατομμύρια βαθμούς). Σε αυτές τις συνθήκες, οι πυρήνες του υδρογόνου συνδυάζονται, ξεπερνώντας τις ηλεκτρομαγνητικές απωθητικές δυνάμεις και σχηματίζοντας ηλιακούς πυρήνες. Αυτή η πυρηνική σύντηξη παράγει τεράστιες ποσότητες ενέργειας, οι οποίες ακτινοβολούνται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Η Γη απορροφά μόνο το ένα δισεκατομμυριοστό της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά αυτή η ποσότητα είναι τεράστια. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη σε μια εβδομάδα είναι σχεδόν ίση με τη συνολική αποθηκευμένη ενέργεια όλων των καυσίμων στον πλανήτη. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε ένα συγκεκριμένο σημείο της Γης σε μια δεδομένη στιγμή εξαρτάται από την ένταση και την κατεύθυνσή της. Κάποια από αυτά είναι η άμεση ακτινοβολία

που προέρχεται απευθείας από τον Ήλιο, ενώ το υπόλοιπο απορροφάτε από την ατμόσφαιρα, αντανακλάται στο διάστημα ή στην επιφάνεια της Γης. Η ακτινοβολία που φτάνει στη Γη μετά από αντανακλάσεις, χωρίς συγκεκριμένη κατεύθυνση, ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία. [12] Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: παθητικά ηλιακά συστήματα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα και Μικροελεγκτή συστήματα. Τα παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται την



Εικόνα 2 :Διάκριση συστημάτων ηλιακής ενέργειας

θερμότητα που εκπέμπεται από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα Μικροελεγκτή συστήματα βασίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική μέσω του Φωτοβολταϊκού φαινομένου. Ένα παθητικό ηλιακό σπίτι χρησιμοποιεί τον ήλιο για να συλλέγει και να διατηρεί θερμότητα μέσω μεγάλων παραθύρων με νότια έκθεση και υλικών που αποθηκεύουν θερμότητα, γνωστών ως θερμική μάζα. Το ποσοστό της θερμικής ενέργειας που μπορεί να καλύψει ένα τέτοιο σπίτι ονομάζεται παθητικό ηλιακό κλάσμα και εξαρτάται από το μέγεθος των παραθύρων και την ποσότητα της θερμικής μάζας. Η ιδανική αναλογία μεταξύ θερμικής μάζας και επιφάνειας παραθύρων ποικίλλει ανάλογα με το κλίμα.

Επιπλέον, τα καλά σχεδιασμένα παθητικά ηλιακά σπίτια εξασφαλίζουν φυσικό φως καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και άνεση κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης μέσω νυχτερινού αερισμού. [13]

Για να είναι αποτελεσματικός, ένας παθητικός ηλιακός σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής βασικά στοιχεία:

1. Σωστά προσανατολισμένα παράθυρα: Τα παράθυρα πρέπει να είναι στραμμένα προς το νότο (μέσα σε 30 μοίρες) και να μην σκιάζονται από άλλα κτίρια ή δέντρα κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, ιδιαίτερα από τις 9 π.μ. έως τις 3 μ.μ. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, του φθινοπώρου και της περιόδου ψύξης, τα παράθυρα πρέπει να σκιάζονται για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Τα καθαρά τζάμια βοηθούν στη μεγιστοποίηση της ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται στο σπίτι.
2. Θερμική μάζα: Η θερμική μάζα, όπως σκυρόδεμα, τούβλα, πέτρα ή πλακάκια, απορροφά θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την απελευθερώνει το βράδυ. Άλλα υλικά, όπως νερό ή υλικά αλλαγής φάσης, είναι ακόμα πιο αποτελεσματικά, αλλά τα τούβλα και η πέτρα έχουν το πλεονέκτημα ότι λειτουργούν ταυτόχρονα ως δομικά και διακοσμητικά υλικά. Σε καλά μονωμένα σπίτια σε μέτρια κλίματα, η θερμική μάζα που υπάρχει στα έπιπλα ή στους τοίχους μπορεί να είναι αρκετή, χωρίς να χρειάζονται πρόσθετα υλικά. Επίσης, είναι σημαντικό να μην εμποδίζονται τα ηλιακά φώτα από αντικείμενα που μπορεί να μπλοκάρουν την πρόσβαση στη θερμική μάζα.
3. Μηχανισμοί διανομής θερμότητας: Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγιμότητας, μεταφοράς και ακτινοβολίας. Η αγωγή συμβαίνει όταν η θερμότητα μεταφέρεται μεταξύ δύο αντικειμένων σε άμεση επαφή. Η μεταφορά αφορά τη μετακίνηση θερμότητας μέσω ρευστών, όπως αέρας ή νερό, και στα παθητικά ηλιακά σπίτια χρησιμοποιούνται συχνά ανεμιστήρες για να μεταφέρουν ζεστό αέρα σε άλλα δωμάτια. Η ακτινοβολία είναι η αίσθηση της ζέστης που νιώθουμε όταν βρισκόμαστε κοντά σε μια ζεστή επιφάνεια, όπως ένα παράθυρο ή μια σόμπα. Τα σκούρα χρώματα απορροφούν περισσότερη θερμότητα και είναι ιδανικά για θερμική μάζα.
4. Τεχνικές ελέγχου: Για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση, χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως προεξοχές στέγης που σκιάζουν τα παράθυρα το καλοκαίρι, ηλεκτρονικοί θερμοστάτες που ελέγχουν ανεμιστήρες, λειτουργικοί εξαεριστήρες, αποσβεστήρες, περσίδες χαμηλής εκπομπής, μονωτικά ρολά και τέντες. Αυτά τα στοιχεία βοηθούν στη διαχείριση της θερμότητας και του φωτός στο σπίτι, εξασφαλίζοντας άνεση και ενεργειακή απόδοση.

2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η συνιστώσες μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω ημιαγωγών που εμφανίζουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Τα περισσότερα Μικροελεγκτή πάνελ είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο, το οποίο μπορεί να είναι μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο. Όταν το φως πέφτει σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, τα φωτόνια του φωτός απελευθερώνουν ηλεκτρόνια από τα άτομα του ημιαγωγού, δημιουργώντας ένα ρεύμα. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει εξελιχθεί σημαντικά, επιτρέποντας την κατασκευή πιο αποδοτικών και οικονομικών πάνελ. Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πολλές και ποικίλες, που κυμαίνονται από οικιακές εγκαταστάσεις έως μεγάλες ηλιακές. Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ρύπων, προσφέροντας μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων συνοδεύεται από σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά ενεργειακά, όπως η μείωση του κόστους για αυτούς και η μείωση της εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας. Ταυτόχρονα, η παραγωγή και η ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει ορισμένες περιβαλλοντικές συνέπειες, οι οποίες μπορούν να μετρηθούν με κατάλληλες τεχνολογικές και πρακτικές. [14]

Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από διάφορες συνιστώσες που συνεργάζονται για να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ας δούμε κάθε συνιστώσα πιο αναλυτικά:

1. **Φωτοβολταϊκά Πάνελ** Τα Μικροελεγκτή πάνελ είναι τα κύρια στοιχεία που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια είναι φτιαγμένα από τις φ/β κυψέλες και τα φ/β πλαίσια. Αποτελούνται από πολλά Μικροελεγκτή κύτταρα που είναι κατασκευασμένα κυρίως από ημιαγωγούς, όπως το πυρίτιο. Όταν το φως πέφτει σε αυτά τα κύτταρα, τα φωτόνια ενεργοποιούν τα ηλεκτρόνια, προκαλώντας τη ροή ρεύματος.
2. **Αντιστροφέας (Inverter)** Ο αντιστροφέας είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα Μικροελεγκτή πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις οικιακές και εμπορικές εφαρμογές.
3. **Βάσεις Στήριξης** Οι βάσεις στήριξης κρατούν τα πάνελ στη σωστή γωνία και θέση για να μεγιστοποιήσουν την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Υπάρχουν σταθερές βάσεις και βάσεις με συστήματα παρακολούθησης

4. που προσαρμόζουν τη θέση των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας για βέλτιστη απόδοση.
5. **Σύστημα Παρακολούθησης (Tracking System)** Τα συστήματα παρακολούθησης επιτρέπουν στα πάνελ να ακολουθούν την πορεία του ήλιου, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα. Υπάρχουν μονοαξονικά και διπλοαξονικά συστήματα που προσφέρουν διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας στην κίνηση των πάνελ.
6. **Καλωδιώσεις και Συνδέσεις** Τα καλώδια και οι συνδέσεις είναι κρίσιμα για τη μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα πάνελ στον αντιστροφέα και από εκεί στο ηλεκτρικό δίκτυο ή το σύστημα αποθήκευσης.
7. **Σύστημα Αποθήκευσης (Μπαταρίες)** Οι μπαταρίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια για μελλοντική χρήση, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η ηλιοφάνεια δεν είναι συνεχής (π.χ. τη νύχτα ή σε συννεφιασμένες ημέρες). Αυτό εξασφαλίζει την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.
8. **Σύστημα Ελέγχου και Παρακολούθησης** Τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση της απόδοσης των πάνελ, τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων ή βλαβών και τη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται.

Αυτές οι συνιστώσες συνεργάζονται για να εξασφαλίσουν την αποδοτική παραγωγή και χρήση της ηλιακής ενέργειας, προσφέροντας μια βιώσιμη λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Ωστόσο υπάρχουν και παράγοντες που επηρεάζουν τις παραπάνω συνιστώσες. Οι παράγοντες αυτοί σύμφωνα με την βιβλιογραφία είναι.

- **Ηλιακή ακτινοβολία:** Αυξάνει τη ροή του ρεύματος.
- **Θερμοκρασία:** Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την τάση.
- **Σκιές:** Μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το ρεύμα και την ισχύ.
- **Μετατροπές και απώλειες:** Οι απώλειες μετατροπής επηρεάζουν τη συνολική απόδοση.

Οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση ενός φ/β συστήματος και οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη.

2.3 Η ενθυλάκωση των φωτοβολταϊκών μονάδων

Το EVA (αιθυλένιο-οξικό βινύλιο) [15] είναι ένα σημαντικό συστατικό των φωτοβολταϊκών (PV) κυψελών. Είναι ένας τύπος θερμοπλαστικού συμπολυμερούς που χρησιμοποιείται συνήθως ως ενθυλακωτικό σε ηλιακές μονάδες. Το EVA είναι γνωστό για την καλή του πρόσφυση στο γυαλί, την εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες, την αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία και την υψηλή διαπερατότητα. Αυτές οι ιδιότητες το καθιστούν ιδανικό υλικό για την ενθυλάκωση των φωτοβολταϊκών κυψελών, την προστασία τους από περιβαλλοντικούς παράγοντες και τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής τους απόδοσης. Η διαδικασία ενθυλάκωσης EVA περιλαμβάνει την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών κυψελών ανάμεσα σε δύο φύλλα γυαλιού, επικαλυμμένα με ένα στρώμα EVA, και στη συνέχεια τη συγκόλλησή τους χρησιμοποιώντας θερμότητα και πίεση. Το στρώμα EVA λειτουργεί ως φράγμα υγρασίας, εμποδίζοντας την είσοδο νερού στη μονάδα και προκαλώντας διάβρωση ή αποκόλληση των φωτοβολταϊκών κυψελών. Παρέχει επίσης μηχανική υποστήριξη για τη μονάδα και την προστατεύει από φυσική φθορά.

Οι ιδιότητες του EVA που το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε φωτοβολταϊκές μονάδες.

1. **Πρόσφυση σε γυαλί και PV κυψέλες:** Το EVA προσφέρει ισχυρή πρόσφυση ανάμεσα στις φωτοβολταϊκές κυψέλες και το προστατευτικό γυαλί. Εξασφαλίζει ότι τα στρώματα της μονάδας παραμένουν σταθερά, ακόμα και υπό συνθήκες πίεσης ή θερμοκρασιακών μεταβολών.
2. **Υψηλή διαπερατότητα:** Το EVA είναι εξαιρετικά διαφανές, επιτρέποντας το μέγιστο δυνατό φως να φτάνει στις φωτοβολταϊκές κυψέλες για αποδοτική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.
3. **Αντοχή σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV):** Το EVA είναι σταθερό υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, αποτρέποντας την αλλοίωση ή την αποδόμηση της δομής του με την πάροδο του χρόνου. Αυτό εξασφαλίζει τη μακροχρόνια απόδοση και αντοχή της μονάδας.
4. **Αντοχή στις καιρικές συνθήκες:** EVA μπορεί να αντέξει σε ακραίες θερμοκρασίες (-40°C έως +85°C), υγρασία και έκθεση σε ακραία περιβάλλοντα. Είναι ανθεκτικό στη γήρανση λόγω οξειδωτικών παραγόντων, όπως το οζόν και η ακτινοβολία.
5. **Φράγμα υγρασίας:** Παρέχει προστασία έναντι της υγρασίας που μπορεί να διεισδύσει στη μονάδα, αποτρέποντας φαινόμενα διάβρωσης και αποκόλλησης των PV κυψελών.
6. **Μηχανική στήριξη:** Το EVA προσφέρει επιπλέον δομική υποστήριξη, μειώνοντας τους κραδασμούς και προστατεύοντας τις κυψέλες από φυσική φθορά.

2.3.1 Η διαδικασία ενθυλάκωσης

Η διαδικασία ενθυλάκωσης EVA είναι μια σύνθετη αλλά κρίσιμη διαδικασία που διασφαλίζει την ανθεκτικότητα, τη σταθερότητα και την ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Η σωστή εφαρμογή της διαδικασίας και η

χρήση υψηλής ποιότητας υλικών καθιστούν τις φωτοβολταϊκές μονάδες ικανές να αντέχουν τις δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες και να αποδίδουν αξιόπιστα για δεκαετίες. [16]

1. **Συνδυασμός στρώσεων:** Η διαδικασία ξεκινά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών κυψελών ανάμεσα σε δύο φύλλα EVA. Αυτά τα φύλλα EVA τοποθετούνται ανάμεσα σε ένα προστατευτικό γυαλί (πάνω) και ένα πίσω φύλλο (συνήθως πολυμερικό).
2. **Διαδικασία θερμοσυγκόλλησης:** Τα στρώματα αυτά περνούν από μία θερμική επεξεργασία σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (συνήθως 140°C-160°C) και πίεσης. Σε αυτή τη φάση, το EVA διασταυρώνεται (crosslinking), αποκτώντας θερμοσκληρυνόμενες ιδιότητες, δηλαδή σταθερότητα στη θερμότητα.
3. **Τελική μορφοποίηση:** Μετά τη διασταύρωση, το EVA στερεοποιείται και αποκτά την τελική του μορφή, εξασφαλίζοντας την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών κυψελών μέσα σε μια σταθερή και ανθεκτική δομή.

Παρόλο που το EVA είναι ένα εξαιρετικό υλικό, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

1. **Κιτρίνισμα (yellowing):** Μακροχρόνια έκθεση σε UV ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει κιτρίνισμα, μειώνοντας τη διαπερατότητα του φωτός.
2. **Διάχυση οξικού οξέος:** Κατά τη διάρκεια της θερμοσυγκόλλησης, παράγεται μικρή ποσότητα οξικού οξέος, η οποία μπορεί να επηρεάσει τα υπόλοιπα υλικά της μονάδας.

Για την αντιμετώπιση αυτών, οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν τροποποιημένα ή βελτιστοποιημένα EVA, ενισχυμένα με UV σταθεροποιητές ή άλλες προσμίξεις.

2.4 Διάκριση μεταξύ ηλιακών συλλεκτών

Τα Μικροελεγκτή συστήματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση την τεχνολογία των πάνελ που χρησιμοποιούν. Η πιο διαδεδομένη κατηγορία είναι τα κρυσταλλικά πάνελ, τα οποία περιλαμβάνουν μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά πάνελ. Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ είναι κατασκευασμένα από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο προέρχεται από ένα μόνο κρύσταλλο. Αυτή η τεχνολογία χαρακτηρίζεται από την υψηλή της απόδοση, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 18% και 22%, και την εξαιρετική απόδοση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Το κόστος κατασκευής τους είναι υψηλό, αλλά η διάρκεια ζωής τους μπορεί να ξεπεράσει τα 25 χρόνια. [17] Από την άλλη πλευρά, τα πολυκρυσταλλικά πάνελ είναι κατασκευασμένα από πολλούς κρυστάλλους πυριτίου συντηγμένους σε μια ενιαία

πλάκα. Η απόδοσή τους είναι ελαφρώς χαμηλότερη, μεταξύ 15% και 18%, και είναι πιο οικονομικά στην παραγωγή τους, αλλά απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια για την ίδια παραγωγή ενέργειας.

Μονοκρυσταλλικοί ηλιακοί συλλέκτες (SI): Τα μονοκρυσταλλικά Μικροελεγκτή πάνελ είναι μια από τις πιο προηγμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες στον τομέα της ηλιακής ενέργειας. Είναι κατασκευασμένα από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο προέρχεται από ένα μόνο κρύσταλλο πυριτίου, που τους προσδίδει μοναδικά χαρακτηριστικά και υψηλή απόδοση. Η διαδικασία κατασκευής των μονοκρυσταλλικών πάνελ ξεκινά με τη δημιουργία μιας μονοκρυσταλλικής ράβδου πυριτίου, γνωστής και ως «πλίνθου», μέσω της μεθόδου Czochralski. Στη συνέχεια η ράβδος κόβεται σε λεπτές πλάκες, τις λεγόμενες «γκοφρέλες», οι οποίες είναι οι κύριες μονάδες των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ διακρίνονται από την ομοιόμορφη σκούρα μαύρη επιφάνεια και τις κομμένες γωνίες των κυψελών, που προκύπτουν από τη διαδικασία κοπής. Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ προσφέρουν την υψηλότερη απόδοση από όλες τις τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου, με ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 18% και 22%. Η υψηλή απόδοση καθαρότητας μονοκρυσταλλικού πυριτίου, που επιτρέπει την πιο αποτελεσματική μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, έχουν καλή απόδοση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή όταν ο ήλιος δεν βρίσκεται στη βέλτιστη γωνία.

Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα:

1. Υψηλή απόδοση: Είναι ιδανικά για εφαρμογές με περιορισμένη διαθέσιμη επιφάνεια, καθώς παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες.
2. Διάρκεια ζωής: Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, που συχνά ξεπερνά τα 25 χρόνια, διατηρώντας την απόδοσή τους για το μεγαλύτερο μέρος αυτής της διάρκειας.
3. Απόδοση χαμηλού φωτισμού: Λειτουργούν αποτελεσματικά ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού ηλιακού φωτός ή σκιάς, καθιστώντας τα κατάλληλα για περιοχές με μεταβλητές καιρικές συνθήκες.
4. Αισθητική: Το ομοιόμορφο σκούρο χρώμα τους θεωρείται πιο ελκυστικό αισθητικά για οικιακές εγκαταστάσεις.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα μονοκρυσταλλικά πάνελ έχουν ορισμένα μειονεκτήματα:

1. Υψηλότερο κόστος: Η διαδικασία παραγωγής τους είναι πιο περίπλοκη και ενεργοβόρα, γεγονός που αυξάνει το κόστος τους σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ.
2. Περιβαλλοντική επιβάρυνση: Η κατασκευή τους απαιτεί περισσότερη ενέργεια, αυξάνοντας το αποτύπωμα κατά την παραγωγή.
3. Απώλεια απόδοσης σε υψηλή θερμοκρασία: Αν και όλα είναι αποδοτικά, η θερμοκρασία τα επηρεάζει περισσότερο από την πάνελ λεπτής μεμβράνης.

Πολυκρυσταλλικά Ηλιακά Φωτοβολταϊκά πάνελ (p-Si) : Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά Μικροελεγκτή πάνελ (p-Si) είναι μια από τις πιο διαδεδομένες και οικονομικές τεχνολογίες στον τομέα των ηλιακών πάνελ. Κατασκευάζονται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο προέρχεται από πολλούς μικρούς κρυστάλλους πυριτίου που συγχωνεύονται σε ένα ενιαίο φύλλο. Αυτή η κατασκευαστική προσέγγιση προσφέρει χαμηλότερο κόστος παραγωγής συγκριτικά με τα μονοκρυσταλλικά πάνελ, ενώ διατηρεί ικανοποιητική απόδοση. Η διαδικασία κατασκευής πολυκρυσταλλικών πάνελ ξεκινά με τη σύνθεση πολλών μικρών κομματιών πυριτίου, τα οποία χύνονται σε καλούπια για να σχηματίσουν ένα μπλοκ. Αυτό το μπλοκ, που αποτελείται από πολλούς κρυστάλλους, κόβεται στη συνέχεια σε λεπτές πλάκες «βαφές» (wafers). Οι λεπτές πλάκες τοποθετούνται σε πάνελ και συνδέονται ηλεκτρικά για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η επιφάνεια των πολυκρυσταλλικών πάνελ έχει μια χαρακτηριστική μπλε απόχρωση και δεν είναι τόσο ομοιόμορφη όσο αυτή των μονοκρυσταλλικών πάνελ. Η απόδοση των πολυκρυσταλλικών πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 15% και 18%. Αν και είναι χαμηλότερο από αυτό των μονοκρυσταλλικών πάνελ, παραμένει ικανοποιητικό για πολλές εφαρμογές. Τα πολυκρυσταλλικά πάνελ είναι λιγότερο αποδοτικά σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή υψηλής θερμοκρασίας, γεγονός που επηρεάζει την απόδοσή τους σε ορισμένα κλίματα. Ωστόσο, η τεχνολογία τους έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, κλείνοντας τη διαφορά με τα μονοκρυσταλλικά.

Τα πολυκρυσταλλικά πάνελ έχουν πολλά πλεονεκτήματα:

1. Χαμηλότερο κόστος: Είναι πιο οικονομικά από τα μονοκρυσταλλικά πάνελ, καθιστώντας τα μια προσιτή επιλογή για οικιακές και εμπορικές εφαρμογές.
2. Απλούστερη κατασκευή: Η παραγωγή τους απαιτεί λιγότερη ενέργεια και είναι λιγότερο χρονοβόρα σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά πάνελ.
3. Αξιοπιστία: Παρέχουν καλή απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής, συνήθως πάνω από 20 χρόνια

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα πολυκρυσταλλικά πάνελ έχουν ορισμένα μειονεκτήματα:

1. Χαμηλότερη απόδοση: Απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια για να παράγουν την ίδια ποσότητα ενέργειας με τα μονοκρυσταλλικά πάνελ, κάτι που μπορεί να είναι περιοριστικός παράγοντας σε μικρούς χώρους.
2. Ευαισθησία στη θερμότητα: Η απόδοσή τους μειώνεται πιο έντονα σε υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που μπορεί να τα κάνει λιγότερο αποτελεσματικά σε θερμά κλίματα.
3. Αισθητική: Η μπλε, ανώμαλη επιφάνειά τους θεωρείται από ορισμένους λιγότερο ελκυστική από την ομοιόμορφη μαύρη εμφάνιση των μονοκρυσταλλικών πάνελ.

Λεπτά ηλιακά υμένια : Τα λεπτά ηλιακά υμένια (Thin-Film Solar Cells, TFSC) [18] είναι μια τεχνολογία ηλιακών κυττάρων που χαρακτηρίζεται από τη χρήση πολύ λεπτών στρωμάτων φωτοευαίσθητων υλικών για τη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η τεχνολογία διαφέρει από τις παραδοσιακές πυριτικές ηλιακές κυψέλες, οι οποίες χρησιμοποιούν πιο παχιά στρώματα πυριτίου. Τα λεπτά ηλιακά κύτταρα (Thin-Film Solar Cells, TFSC) χαρακτηρίζονται από τη χρήση πολύ λεπτών στρωμάτων φωτοευαίσθητων υλικών, με πάχος μόνο μερικών μικρομέτρων, γεγονός που τα καθιστά ελαφριά και ευέλικτα. Χρησιμοποιούν υλικά όπως αμορφό πυρίτιο (a-Si), κάδμιο τελλούριο (CdTe), δισεληνίδιο του γαλλίου-ινδίου-χαλκού (CIGS) και οργανικά υλικά. Είναι κατασκευασμένα με τεχνικές όπως η εναπόθεση ατμών ή η εκτύπωση, που είναι λιγότερο ενεργοβόρες και επιτρέπουν μεγάλης κλίμακας παραγωγή. Έχουν χαμηλότερο κόστος παραγωγής, καλύτερη απόδοση σε συνθήκες αδύναμου φωτός και μπορούν να εφαρμοστούν σε εύκαμπτες επιφάνειες, αλλά γενικά έχουν χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πυριτικά κύτταρα.

Τα πλεονεκτήματα των TSFC:

1. Ευελιξία: Λόγω του λεπτού πάχους τους, τα TFSC μπορούν να εφαρμοστούν σε εύκαμπτα υποστρώματα, όπως πλαστικό ή μέταλλο, γεγονός που διευρύνει τις δυνατότητες εφαρμογής τους.
2. Κατασκευαστική διαδικασία: Η κατασκευή τους συχνά περιλαμβάνει τεχνικές όπως η εναπόθεση ατμών (vapor deposition) ή η εκτύπωση (printing), οι οποίες είναι λιγότερο ενεργοβόρες και μπορούν να γίνουν σε μεγάλες κλίμακες.

Τα Μειονεκτήματα τους:

1. Χαμηλότερη απόδοση: Σε γενικές γραμμές, τα TFSC έχουν χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά πυριτικά κύτταρα.
2. Διαβρωτικότητα: Ορισμένα υλικά, όπως το CdTe, περιέχουν τοξικά στοιχεία (π.χ. κάδμιο), γεγονός που δημιουργεί περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Ένας άλλος τύπος λεπτού ηλιακού συλλέκτη που αξίζει να αναφέρουμε είναι το :

Ηλιακό στοιχείο άμορφου πυριτίου (a-Si) : Το Ηλιακό στοιχείο άμορφου πυριτίου είναι ένας τύπος ηλιακής κυψέλης λεπτής μεμβράνης που χρησιμοποιεί άμορφο πυρίτιο (a-Si) ως το κύριο φωτοευαίσθητο υλικό. Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό) στο ότι δεν έχει μια κανονική, κρυσταλλική δομή, αλλά μια χαοτική, διαταραγμένη δομή σε ατομικό επίπεδο. Αυτή η ιδιότητα του προσδίδει ορισμένα μοναδικά χαρακτηριστικά. Το άμορφο ηλιακό κύτταρο πυριτίου (a-Si) χρησιμοποιεί άμορφο πυρίτιο ως φωτοευαίσθητο υλικό, το οποίο δεν έχει κρυσταλλική δομή, προσφέροντας υψηλή απορρόφηση φωτός ακόμα και σε πολύ λεπτά στρώματα (1 μm ή λιγότερο). Είναι ελαφρύ, εύκαμπτο και κατασκευάζεται με οικονομικές μεθόδους, όπως η χημική εναπόθεση ατμών (PECVD). Έχει χαμηλότερο κόστος παραγωγής και καλύτερη απόδοση σε συνθήκες αδύναμου φωτός σε σύγκριση με τα κρυσταλλικά πυριτικά κύτταρα, αλλά η απόδοσή του είναι γενικά χαμηλότερη (6-10%) και επηρεάζεται από το φαινόμενο Staebler-Wronski, που μειώνει την απόδοση με την έκθεση στο φως. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως φορητές συσκευές, ενσωματωμένες ηλιακές επιφάνειες (BIPV) .

Τα πλεονεκτήματα των (a-Si):

1. Χαμηλότερο κόστος: Λόγω της μικρότερης ποσότητας υλικού και της απλούστερης διαδικασίας παραγωγής.
2. Απόδοση σε αδύναμο φως: Τα a-Si κύτταρα έχουν καλύτερη απόδοση σε συνθήκες αδύναμης φωτεινότητας (π.χ. συννεφιασμένος καιρός) σε σύγκριση με τα κρυσταλλικά πυριτικά κύτταρα.
3. Ευελιξία: Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου η ευελιξία και το ελαφρύ βάρος είναι σημαντικά, όπως σε φορητές συσκευές ή ενσωματωμένες επιφάνειες.

Τα μειονεκτήματα τους:

1. Χαμηλότερη απόδοση: Η απόδοση των a-Si κυττάρων είναι γενικά χαμηλότερη (6-10%) σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά πυριτικά κύτταρα (15-22%).
2. Φαινόμενο φθοράς (Staebler-Wronski effect): Η απόδοση των a-Si κυττάρων μπορεί να μειωθεί αρχικά κατά 10-30% όταν εκτίθενται στο φως, γεγονός που περιορίζει τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα τους.
3. Περιορισμένη διάρκεια ζωής: Έχουν συνήθως μικρότερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τα κρυσταλλικά πυριτικά κύτταρα.

Διπλής όψης Μικροελεγκτή πάνελ(Bifacial Panels): Τα διπλής όψης φ/β πάνελ είναι μια καινοτόμος τεχνολογία στον τομέα της ηλιακής ενέργειας, καθώς μπορούν να συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία τόσο από την μπροστινή όσο και από την πίσω πλευρά τους. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά πάνελ μονής όψης, τα οποία περιέχουν το φως του ήλιου μόνο από την μπροστινή επιφάνεια, τα πάνελ διπλής όψης εκμεταλλεύονται επίσης την ανακλώμενη ακτινοβολία από το έδαφος ή άλλες επιφάνειες, αυξάνοντας την ενεργειακή απόδοση. Η κατασκευή των δύο όψεων βασίζεται στη χρήση διαφανών υλικών, όπως γυαλί ή ειδικό πλαστικό και στις δύο πλευρές, ώστε να επιτρέπεται η απορρόφηση του φωτός και από τις δύο κατευθύνσεις. Τα Μικροελεγκτή στοιχεία που αναφέρονται είναι συνήθως μονοκρυσταλλικά, λόγω της υψηλής απόδοσης τους, ενώ η προστασία τους από εξωτερικούς παράγοντες ενισχύεται χάρη στη διπλή στρώση γυαλιού. Το γυαλί παρέχει αντοχή στις καιρικές συνθήκες, την υγρασία και τις μηχανικές βλάβες, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής των πάνελ. Η κατασκευή τους μπορεί να περιλαμβάνει κουφώματα ή να είναι χωρίς πλαίσιο, ανάλογα με τις οδηγίες της εγκατάστασης. Τα φ/β πάνελ διπλής όψης λειτουργούν συλλέγοντας την άμεση ηλιακή ακτινοβολία από την μπροστινή πλευρά, ενώ η πίσω πλευρά εκμεταλλεύεται την ανακλώμενη ακτινοβολία από το έδαφος. Το

επίπεδο ενεργειακής απόδοσης εξαρτάται σημαντικά από το albedo, δηλαδή από την ανακλαστικότητα της επιφάνειας όπου είναι εγκατεστημένα. Επιφάνειες όπως το λευκό τσιμέντο, η άμμος ή το χιόνι ενισχύουν την απόδοση, ενώ οι πιο σκούρες ή λιγότερο ανακλαστικές επιφάνειες έχουν μικρότερη συμβολή στην παραγωγή ενέργειας από την πίσω πλευρά. Η χρηστών συγκεκριμένων πάνελ μπορεί να αυξήσει την παραγωγή ενέργειας από 10% έως 30%, ανάλογα με τις συνθήκες εγκατάστασης. Ταυτόχρονα, τα πάντα έχουν αυξημένη αντοχή λόγω των υλικών τους, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση του κόστους συντήρησης και στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους. Ωστόσο, το αρχικό κόστος είναι υψηλότερο από αυτό των πάνελ μονής όψης, καθώς η κατασκευή και η χρήση διαφανών υλικών αυξάνουν το κόστος. Επιπλέον, η πλήρης αξιοποίηση της απόδοσης των πάνελ διπλής όψης απαιτεί σωστή τοποθέτηση και επιλογή ανακλαστικής επιφάνειας, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο ιδανικά για περιοχές με χαμηλό albedo.

Τα πλεονεκτήματα των πάνελ δύο όψεων περιλαμβάνουν

1. αυξημένη ενεργειακή απόδοση, δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από δύο πλευρές,
2. μεγαλύτερη αντοχή και ευελιξία στην εγκατάσταση, είτε σε επίπεδες στέγες, στο έδαφος είτε σε κάθετες επιφάνειες.

Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα:

1. όπως το υψηλότερο αρχικό κόστος
2. ανάγκη για προσεκτικό σχεδιασμό της εγκατάστασης για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας.

Τα πάνελ διπλής όψης εφαρμόζονται σε ηλιακά πάρκα, εμπορικές και καινοτόμες αρχιτεκτονικές λύσεις. Στα ηλιακά πάρκα η τοποθέτηση σε υπερυψωμένες βάσεις επιτρέπει τη μέγιστη αξιοποίηση της πίσω πλευράς ενώ στα κτίρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εκτός από την παραγωγή ενέργειας.

Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV) :Τα Μικροελεγκτή ενσωματωμένα σε κτίρια (Building Integrated Photovoltaics – BIPV) αποτελούν μια καινοτόμο τεχνολογία που συνδυάζει την παραγωγή ηλιακής ενέργειας με την αρχιτεκτονική σχεδίαση κτιρίων. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά Μικροελεγκτή συστήματα που τοποθετούνται σε στέγες ή σε ξεχωριστές βάσεις, τα BIPV ενσωματώνονται στα ίδια τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, όπως στην πρόσοψη, στα παράθυρα, στις στέγες ή ακόμα και σε σκιάστρα. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας χωρίς επιπλέον χώρο και παρέχει παράλληλα αισθητικά πλεονεκτήματα. Τα συστήματα BIPV λειτουργούν ως πολυλειτουργικά δομικά υλικά, προσφέροντας ενεργειακή απόδοση και ταυτόχρονα καλύπτοντας τις απαιτήσεις για θερμομόνωση, ηχομόνωση και προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Τα πάνελ που χρησιμοποιούνται σε συστήματα BIPV μπορούν να κατασκευαστούν από διαφορετικά υλικά και τεχνολογίες, όπως μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή λεπτών υμενίων φωτοβολταϊκών, ανάλογα με τις εφαρμογές της.

Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στα κτίρια προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα.:

1. Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χώρου, καθώς τα πάντα ενσωματώνονται σε υπάρχοντα δομικά στοιχεία, αποφεύγοντας την ανάγκη για ξεχωριστές βάσεις.
2. Βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, μειώνοντας την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
3. Τα BIPV εισάγουν επίσης στη μείωση του λειτουργικού κόστους του κτιρίου, μέσω της παραγωγής καθαρής ενέργειας.
4. Παρέχουν ευελιξία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, δίνοντας τη δυνατότητα δημιουργίας αισθητικών ελκυστικών λύσεων που ενσωματώνονται αρμονικά στην κατασκευή.

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα.

1. Το κόστος εγκατάστασης των BIPV είναι συνήθως υψηλότερο σε σχέση με τα παραδοσιακά Μικροελεγκτή συστήματα, λόγω της πολυπλοκότητας στην ενσωμάτωσή τους και της χρήσης ειδικών υλικών.
2. Η απόδοσή τους εξαρτάται από τον σχεδιασμό του κτιρίου, την τοποθεσία και τον προσανατολισμό των επιφανειών όπου ενσωματώνονται τα πάντα.
3. Η συντήρηση και η επισκευή μπορεί επίσης να είναι πιο περίπλοκη, καθώς τα πάντα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του κτιρίου.

Οι εφαρμογές των συστημάτων BIPV περιλαμβάνουν κυρίως κτίρια κατοικιών, εμπορικά κτίρια και δημόσιες υποδομές. Σε κτίρια κατοικιών, τα BIPV για την ενεργειακή αυτάρκεια και την αισθητική αναβάθμιση. Στα εμπορικά κτίρια, συχνά λειτουργούν ως μέσο βιώσιμης ανάπτυξης και προβολής περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης. Σε δημόσια έργα, τα BIPV ενισχύουν τη χρήση καθαρής ενέργειας, προωθώντας την πράσινη ανάπτυξη.

Οργανικά Φωτοβολταϊκά (OPV) : Τα οργανικά Μικροελεγκτή (Organic Photovoltaics – OPV) [19] αντιπροσωπεύουν μια πρωτοποριακή τεχνολογία στον τομέα της ηλιακής ενέργειας, βασισμένη στη χρήση οργανικών υλικών για την απορρόφηση του φωτός και τη μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε αντίθεση με τα συμβατικά Μικροελεγκτή που χρησιμοποιούμενα υλικά, όπως το πυρίτιο, τα OPV βασίζονται σε οργανικά πολυμερή ή μόρια που έχουν την ικανότητα να διεγείρονται από το φως και να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η βασική αρχή λειτουργίας του OPV περιλαμβάνει την απορρόφηση φωτός από το ενεργό υλικό, την παραγωγή διεγερμένων ηλεκτρονίων και οπών (excitons) και τη διαχωριστική τους μεταφορά σε ηλεκτρόδια, όπου παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Οι συσκευές OPV αποτελούνται συνήθως από πολλαπλές στρώσεις, όπως το υπόστρωμα (συχνά εύκαμπτο πλαστικό ή γυαλί), η ενεργή στρώση που περιλαμβάνει τα οργανικά υλικά, τις ηλεκτρικές στρώσεις (άνοδος και κάθε περίπτωση) και επιπλέον στρώσεις για βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των OPV:

1. είναι η ευελιξία και η ελαφρότητά τους.
2. Τα οργανικά υλικά μπορούν να εναποθεθούν σε εύκαμπτα υποστρώματα, καθιστώντας τα OPV ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν φορητότητα ή καμπύλες επιφάνειες.
3. Η παραγωγή τους μπορεί να γίνει με τεχνική εκτύπωση χαμηλού κόστους, όπως η εκτύπωση roll-to-roll, που μειώνουν σημαντικά το κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών.

Ωστόσο, τα OPV αντιμετωπίζουν και σημαντικές προκλήσεις.

1. Η απόδοσή τους, δηλαδή το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, παραμένει χαμηλότερη από εκείνη των ανόργανων φωτοβολταϊκών. Παρόλο που έχουν βελτιώσεις και οι αποδόσεις αγγίζουν πλέον το 15% σε εργαστηριακό επίπεδο, βρίσκονται ακόμη πίσω από τις αποδόσεις των συμβατικών τεχνολογιών πυριτίου.
2. Ένα άλλο ζήτημα είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής τους, καθώς τα οργανικά υλικά είναι ευαίσθητα στην υγρασία, το οξυγόνο και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που οδηγεί σε υποβάθμιση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου.

Τα OPV βρίσκουν εφαρμογές σε ειδικές αγορές όπου η ευελιξία, το χαμηλό βάρος και το χαμηλό κόστος είναι πιο σημαντικά από την απόδοση. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη χρήση τους σε φορητές συσκευές, σε ευέλικτες και ελαφριές δομές, σε ενσωματωμένες εφαρμογές σε κτίρια (BIPV) και σε φορητά συστήματα φόρτισης. Επίσης, τα OPV είναι ιδανικά για αισθητικές εφαρμογές, καθώς μπορούν να παραχωρηθούν σε διαφορετικά χρώματα και διαφάνειες, επιτρέποντας τη δημιουργία ηλιακών πάνελ που ενσωματώνονται αρμονικά στους σχεδιασμούς ή κτιρίων.

Φωτοβολταϊκά πάνελ τρίτης γενιάς : Τα ηλιακά πάνελ τρίτης γενιάς αντιπροσωπεύουν την πιο σύγχρονη εξέλιξη στην τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων, συνδυάζοντας καινοτόμα υλικά και αρχές λειτουργίας για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση του κόστους παραγωγής και την επέκταση των δυνατοτήτων εφαρμογής τους. Ενώ οι πρώτες δύο γενιές επικεντρώθηκαν στη χρήση κρυσταλλικού πυριτίου και τεχνολογιών λεπτών υμενίων, τα πάνελ τρίτης γενιάς ενσωματώνουν νέες ιδέες και υλικά, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πάνελ τρίτης γενιάς είναι η χρήση μη παραδοσιακών ημιαγωγών υλικών, όπως οργανικά μόρια, νανοσωματίδια, περοβσκίτες, ενώσεις καπνού ή ακόμα και βαφές που απορροφούν το φως. Τα υλικά αυτά έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια με καινοτόμους τρόπους, ανοίγοντας νέους δρόμους για την ηλιακή τεχνολογία. Μια από τις πιο γνωστές τεχνολογίες της τρίτης γενιάς είναι τα τεχνολογία. Μια ηλιακά πάνελ (Perovskite Solar Cells). Τα τεχνολογία. Μια υλικά είναι κρυσταλλικά και διαθέτουν εξαιρετική απορρόφηση φωτός και υψηλή απόδοση μετατροπής ενέργειας, η οποία έχει ξεπεράσει το 25% σε εργαστηριακό επίπεδο. Παράλληλα, μπορούν να παραχθούν με χαμηλό κόστος μέσω απλών τεχνικών, όπως η εκτύπωση με ψεκασμό ή η επίστρωση, γεγονός που τα καθιστά ελκυστική επιλογή για τη βιομηχανία. Μια άλλη πολλά υποσχόμενη τεχνολογία είναι τα οργανικά Μικροελεγκτή (OPV), τα οποία βασίζονται σε οργανικά πολυμερή ή μόρια για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας. Τα OPV είναι ευέλικτα, ελαφριά και μπορούν να παραχθούν σε διαφορετικά χρώματα και διαφάνειες, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως η ενσωμάτωση σε κτίρια (BIPV) και σε φορητές συσκευές. Άλλες τεχνολογίες περιλαμβάνουν τα Μικροελεγκτή με κβαντικές κουκκίδες (Quantum Dot Solar Cells), τα οποία χρησιμοποιούν νανοσωματίδια για την απορρόφηση του φωτός, και τα ηλιακά πάνελ βαφής (Dye-Sensitized Solar Cells – DSSC), που βασίζονται σε ευαίσθητες βαφές για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα DSSC είναι γνωστά για την ευκολία κατασκευής τους και την ικανότητά τους να λειτουργούν καλά υπό συνθήκες χαμηλού φωτισμού.

Τα πλεονεκτήματα των πάνελ τρίτης γενιάς είναι πολυάριθμα.:

1. Παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες, καθώς χρησιμοποιούν λιγότερες πρώτες ύλες και μπορούν να παραχθούν με απλοποιημένες μεθόδους.
2. Είναι πιο ευέλικτα και ελαφριά, διευρύνοντας τις πιθανές εφαρμογές τους.
3. Τα DSSC, είναι ιδανικά για αισθητικές ή φορητές εφαρμογές, ενώ τα τεχνολογία. Μια πάνελ προσφέρουν εξαιρετικά υψηλές αποδόσεις.

Ωστόσο, υπάρχουν και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

1. Πολλά υλικά τρίτης γενιάς, όπως τα τεχνολογία. Μια και τα οργανικά, παρουσιάζουν προβλήματα ανθεκτικότητας, καθώς είναι ευαίσθητα σε περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η υγρασία, η θερμότητα και η υπεριώδης ακτινοβολία.
2. Η απόδοσή τους σε εμπορική κλίμακα είναι συχνά χαμηλότερη από αυτή που επιτυγχάνεται στα εργαστήρια.

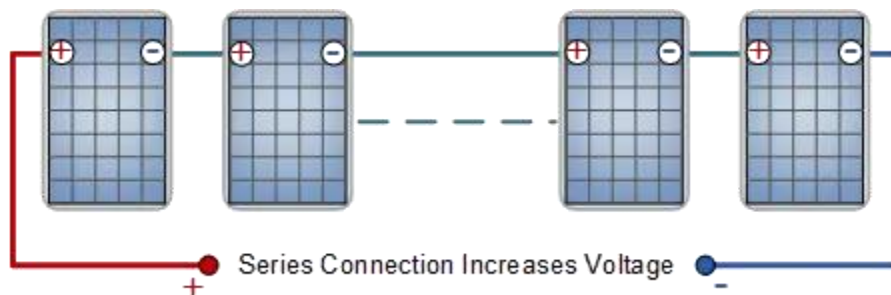
Η ανάπτυξη τεχνικών για την ενίσχυση της διάρκειας ζωής και της αξιοπιστίας αυτών των πάνελ αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη βιομηχανία.

Τα ηλιακά πάνελ τρίτης γενιάς αντιπροσωπεύουν το μέλλον της ηλιακής ενέργειας, συνδυάζοντας καινοτόμα υλικά και τεχνολογίες για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη μείωση του κόστους. Παρόλο που αντιμετωπίζουν ακόμη προκλήσεις, οι συνεχείς ερευνητικές προσπάθειες αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντικές προόδους, καθιστώντας τα μια βιώσιμη λύση για την ενεργειακή μετάβαση σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.5 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β πλαισίων

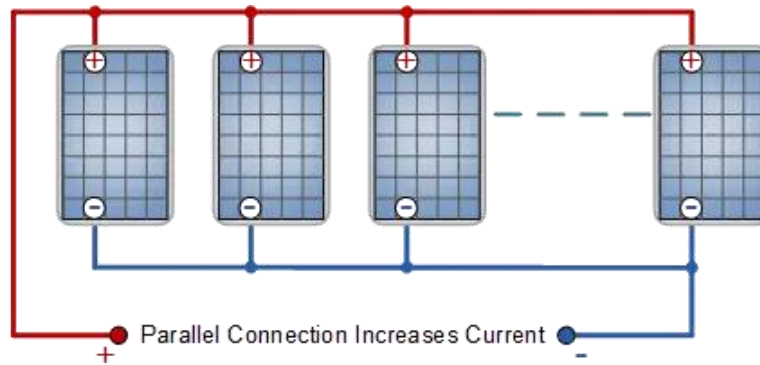
Τα Μικροελεγκτή (Φ/Β) συστήματα μπορούν να συνδεθούν με [20] διάφορους τρόπους ανάλογα με τη χρήση και τις ανάγκες. Οι τρόποι που μπορούν να συνδεθούν είναι: σε σειρά, παράλληλα, μεικτά.

Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επομένου και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά. Τα πλαίσια που θα συνδεθούν σε σειρά πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης (ISK) και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_m). Η συνολική τάση της συστοιχίας είναι το άθροισμα των τάσεων των 'ν' πλαισίων. Έτσι προκύπτει ότι έχουμε: $VOC = VOC1 + VOC2 + \dots + VOCn$ (τάση ανοικτού κυκλώματος) $n m = V m A + V m.2 + \dots + V m. n$ (τάση μέγιστης ισχύος)



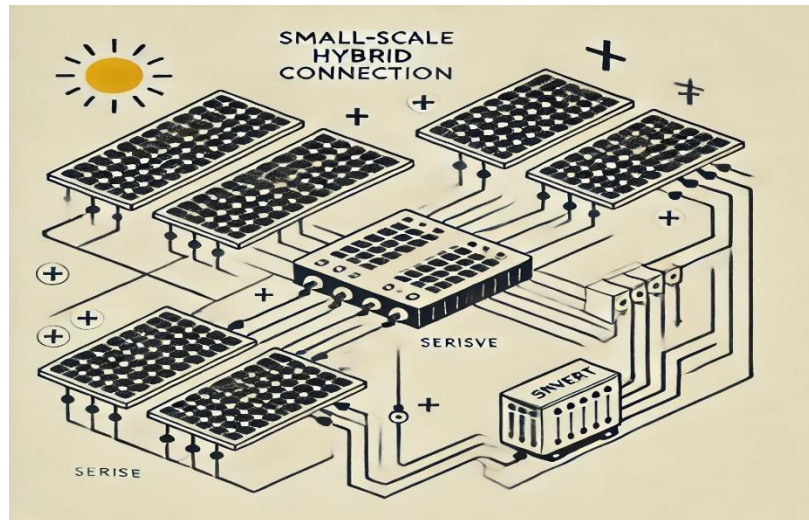
Εικόνα 3: Σύνδεση φ/β σε σειρά

Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα : Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με το θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό πόλο του άλλου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων παράλληλα. Τα πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα πρέπει να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος VOC. Το συνολικό ρεύμα της συστοιχίας είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε πλαισίου. Έτσι έχουμε: $ISC = ISC 1 + I SC2 + \dots + I sCn$ (ένταση βραχυκυκλώματος) $I m = I m. 1 + I m. 2 + \dots + I m n$ (ένταση μέγιστης ισχύος)



Εικόνα 4: Σύνδεση φ/β παράλληλα

Μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων: Με αυτή τη μεικτή σύνδεση πετυχαίνουμε την αύξηση του ρεύματος και της τάσης ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά πλαίσια. Από τεχνική άποψη είναι συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις. Η τάση καθορίζεται από τα στοιχεία που είναι σε σειρά, ενώ το συνολικό ρεύμα από τις παράλληλες ομάδες. Η συνολική ισχύς που προκύπτει από μια σύνδεση πλαισίων, ανεξάρτητα του τύπου της, είναι το άθροισμα της ισχύος κάθε πλαισίου χωριστά. Τα πλαίσια που αποτελούν μια συστοιχία πρέπει να εργάζονται όλα κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Στο Σχήμα φαίνεται η μεικτή σύνδεση τεσσάρων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Οι ακροδέκτες της συστοιχίας που προκύπτει είναι οι A (θετικός ακροδέκτης) και B (αρνητικός ακροδέκτης).



Εικόνα 5: Σύνδεση φ/β με μεικτή συνδεσιμότητα

2.6 Τύποι φ/β συστημάτων

Τα Μικροελεγκτή (Φ/Β) συστήματα διακρίνονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, τη σύνδεση, την τεχνολογία και την εφαρμογή τους. Οι κυριότεροι τύποι Φ/Β συστημάτων είναι οι εξής:

1. **Αυτόνομα Φ/Β συστήματα (Off-Grid Systems):** Αυτά τα συστήματα λειτουργούν από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές χωρίς πρόσβαση σε κεντρικό δίκτυο.
2. **Διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα (Grid-Connected Systems):** Αυτά τα συστήματα είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτροδότησης και τις διαφημίσεις για οικιακή, εμπορική και βιομηχανική χρήση. Η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β πάνελ είτε χρησιμοποιείται άμεσα είτε τροφοδοτεί το δίκτυο. Δεν απαιτούνται μπαταρίες, καθώς η περίσσεια ενέργειας μπορεί να αποθηκεύεται στο δίκτυο μέσω συμψηφισμού ενέργειας (net

metering). Είναι οικονομικά αποδοτικά, καθώς μειώνουν τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτά τα συστήματα είναι ιδανικά για περιοχές με αξιόπιστο δίκτυο.

3. **Υβριδικά Φ/Β συστήματα (Hybrid Systems):** Συνδυάζουν χαρακτηριστικά των αυτονόμων και των διασυνδεδεμένων συστημάτων. Περιλαμβάνουν: Σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Στα υβριδικά συστήματα, η ενέργεια που παράγεται από τα πάντα μπορεί να αποθηκευτεί στις μπαταρίες, να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να διοχετευθεί στο δίκτυο. Είναι πολύ χρήσιμο σε περιοχές με ασταθή δίκτυο.
4. **Φ/Β συστήματα ενσωματωμένα σε κτίρια (Building-Integrated Photovoltaics – BIPV):** Αυτά τα συστήματα ενσωματώνονται απευθείας σε δομικά στοιχεία του κτιρίου, όπως στέγες, προσόψεις και παράθυρα. Ο σχεδιασμός τους παρέχει διπλή λειτουργικότητα: παραγωγή ενέργειας και δομική αισθητική. Είναι ιδανικά για βιώσιμη αρχιτεκτονική και ενεργειακά αποδοτικά κτίρια.
5. **Φ/Β συστήματα διπλής όψης (Bifacial Panels Systems)** Αυτά τα συστήματα ειδικά πάνελ που απορροφούν ηλιακή ενέργεια τόσο από την μπροστινή όσο και από την πίσω πλευρά. Είναι πιο αποδοτικά όταν τοποθετούνται σε επιφάνειες που ανακλούν το φως, όπως άμμος ή χιόνι, και συχνά αναφέρεται σε μεγάλη κλίμακα.
6. **Ευέλικτα ή φορητά Φ/Β συστήματα:** Τα ευέλικτα πάνελ είναι λεπτά, ελαφριά και κατάλληλα για φορητές εφαρμογές, όπως κάμπινγκ, σκάφη ή στρατιωτική χρήση. Είναι συχνά κατασκευασμένα από υλικά όπως τα οργανικά Μικροελεγκτή (OPV).
7. **Πλωτά Φ/Β συστήματα (Floating PV Systems):** Εγκαθίστανται σε υδάτινες επιφάνειες, όπως λίμνες και φράγματα, εξοικονομώντας χώρο στην ξηρά. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν πλεονεκτήματα, όπως η μείωση της εξάτμισης του νερού και η βελτιωμένη απόδοση λόγω της ψύξης από το νερό.

2.7 Προσομοίωση συνθήκων λειτουργίας και πρότυπα.

Οι ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (Standard Test Conditions - STC) ενός Φωτοβολταϊκού (PV) συστήματος καθορίζονται για τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικών φωτοβολταϊκών πάνελ και αποτελούν τις συνθήκες υπό τις οποίες μετράται η απόδοση και η ισχύς ενός πάνελ. Οι STC είναι ένα σύνολο προτύπων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για δοκιμές φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (STC):

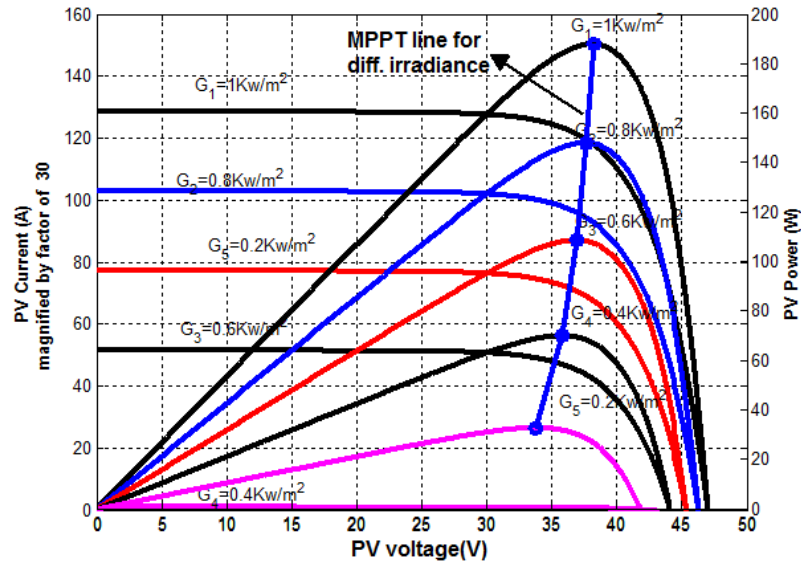
1. **Ηλιακή ακτινοβολία (Irradiance):** Ορίζεται σε 1.000 W/m^2 και αντιστοιχεί στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του πάνελ..
2. **Θερμοκρασία κυψελών (Cell Temperature):** Καθορίζεται στους 25°C . Είναι η θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής κυψέλης κατά τη διάρκεια της μέτρησης.
3. **Θερμοκρασία κυψελών (Cell Temperature):** Καθορίζεται στους 25°C . Είναι η θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής κυψέλης κατά τη διάρκεια της μέτρησης.
4. **Φασματική κατανομή (Solar Spectrum):** Προσαρμόζεται σε AM 1.5 (Air Mass 1.5). Η AM 1.5 αντιπροσωπεύει τη φασματική σύνθεση του ηλιακού φωτός αφού αυτό έχει διαπεράσει την ατμόσφαιρα υπό γωνία περίπου $48,2^\circ$ (τυπικές συνθήκες μέσης γεωγραφικής περιοχής).

Οι STC χρησιμοποιούνται για την συγκριτική αξιολόγηση: Οι STC εξασφαλίζουν ότι οι προδιαγραφές των πάνελ (όπως η μέγιστη ισχύς - P_{max}) μπορούν να συγκριθούν ανεξαρτήτως κατασκευαστή. Ωστε να γίνει Πιστοποίηση απόδοσης: Οι τιμές που δίνονται από τον κατασκευαστή (π.χ. ονομαστική ισχύς) βασίζονται σε αυτές τις συνθήκες ώστε να παρέχουν μια κοινή βάση μέτρησης που ισχύει για όλα τα Μικροελεγκτή πάνελ. [21]

Στην πράξη, οι συνθήκες στο πεδίο (πραγματικές συνθήκες λειτουργίας) συχνά διαφέρουν από τις STC. Παράγοντες όπως οι αλλαγές στη θερμοκρασία, η μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία, η γωνία πρόσπτωσης του φωτός, και η σκίαση επηρεάζουν την πραγματική απόδοση του πάνελ. Για να προσομοιώσουν καλύτερα τις συνθήκες πεδίου, χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι μέτρησης, όπως οι Συνθήκες Λειτουργίας Εξωτερικού Χώρου (NOCT - Nominal Operating Cell Temperature).

2.7.1 Μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPP)

Το Μέγιστο Σημείο Λειτουργίας (Maximum Power Point - MPP) είναι μια βασική έννοια στα Μικροελεγκτή (PV) συστήματα και αναφέρεται στο σημείο όπου τα Μικροελεγκτή πάνελ παράγουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ υπό συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας. Η ισχύς που παράγει ένα φωτοβολταϊκό πάνελ εξαρτάται από την τάση και το ρεύμα, και το MPP αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη συνδυαστική τιμή αυτών των δύο παραμέτρων. Η χρήση trackers (MPPT) για την εύρεση του μέγιστου σημείου απόδοσης είναι πολύ διαδεδομένη οι οποίοι παρακολουθούν την τάση και το ρεύμα σε πραγματικό χρόνο και το ρυθμίζουν στην μέγιστη τιμή της απόδοσης.



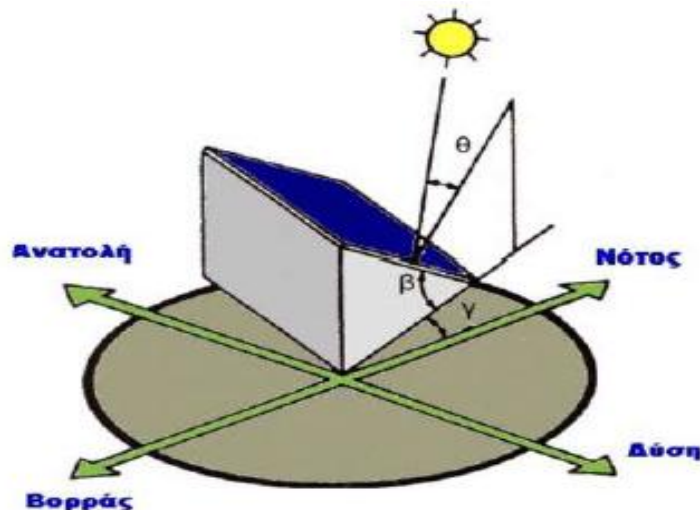
Εικόνα 6 : Χαρακτηριστική καμπύλη I-V [22]

Τα πλεονεκτήματα του MPPT και γιατί πρέπει να χρησιμοποιείται σε κάθε εφαρμογή φ/β συστήματος

1. Μεγαλύτερη απόδοση: Μπορεί να αυξήσει την παραγωγή ενέργειας έως και 30% σε σχέση με συμβατικά συστήματα.
2. Προσαρμοστικότητα: Προσαρμόζεται στις συνθήκες (π.χ., χαμηλή ακτινοβολία ή υψηλές θερμοκρασίες).
3. Υποστήριξη διαφορετικών συστημάτων: Συμβατό με μεγαλύτερη ποικιλία μπαταριών και τάσεων.

2.7.2 Προσανατολισμός και βέλτιστη κλίση φ/β πλαισίων

Ο προσανατολισμός και η εύρεση της σωστής γωνίας κλίσης είναι να μεν μια απλή υπόθεση αλλά για να πετύχουμε το σκοπό μας και το σύστημα μας να αποδίδει τα μέγιστα πρέπει αυτή η διαδικασία να γίνει σωστά. Εάν επιλεγεί λάθος κλίση σε σχέση με την περιοχή που μας ενδιαφέρει, θα υπάρχει και διαφορετική παραγωγή ρεύματος από την αναμενόμενη. Σε μια ιδανική περίπτωση, η γωνία κλίσης είναι το γεωγραφικό πλάτος της γεωγραφικής θέσης που μας αφορά. Ως εκ τούτου, για οποιαδήποτε περιοχή υπολογίζεται μια συγκεκριμένη γωνία κλίσης με τη μέγιστη ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για ένα σταθερό πάνελ. Επίσης, συνιστάται στο βόρειο ημισφαίριο τα πάνελ που βλέπουν προς το νότο, ενώ στο νότιο ημισφαίριο προς το βορά, μιας και ο ήλιος κινείται επάνω στον ισημερινό, για να εκμεταλλευτούν στο μέγιστο την ακτινοβολία του ήλιου.



Εικόνα 7: Εύρεση μέγιστου σημείου προσανατολισμού

Βασικές αρχές τοποθετήσεις ενός φ/β : Στην Ελλάδα και γενικά στο βόρειο ημισφαίριο, τα Μικροελεγκτή πρέπει να είναι στραμμένα προς τον Νότο. Αυτό εξασφαλίζει τη μέγιστη έκθεση στον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αν ο νότιος προσανατολισμός δεν είναι εφικτός, μικρές αποκλίσεις (π.χ., νοτιοανατολικά ή νοτιοδυτικά) δεν επηρεάζουν δραματικά την απόδοση, με απώλειες 2-5%. διασύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων (PV systems) είναι μια σημαντική πρακτική, ειδικά όταν θέλουμε να συνδέσουμε πολλαπλά συστήματα για να αυξήσουμε την παραγόμενη ισχύ ή να βελτιστοποιήσουμε τη διαχείριση της ενέργειας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει τη σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ, inverters, συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) και συστημάτων παρακολούθησης. Η γωνία κλίσης εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και τις εποχιακές απαιτήσεις: [23] Για σταθερές εγκαταστάσεις: Η βέλτιστη γωνία είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής στην Ελλάδα, αυτό είναι περίπου 30°–35°. Η Εποχιακή ρύθμιση (αν είναι εφικτή) τον χειμώνα: Μεγαλύτερη γωνία (+15° από το γεωγραφικό πλάτος) και το καλοκαίρι: Μικρότερη γωνία (-10° από το γεωγραφικό πλάτος).

Τοποθεσία: Ανοικτοί χώροι: Εξασφάλισε ότι τα πάνελ δεν σκιαζονται από δέντρα, κτίρια ή άλλα εμπόδια κατά τη διάρκεια της ημέρας. Υψόμετρο: Περιοχές με χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία και καθαρό ουρανό, όπως ορεινές περιοχές, προσφέρουν καλύτερη απόδοση στέγες ή επίγεια εγκατάσταση

Περιβαλλοντικοί Παράγοντες : Αιολικές συνθήκες: Εξασφάλισε σταθερότητα στον εξοπλισμό, ιδιαίτερα σε περιοχές με δυνατούς ανέμους. Θερμοκρασία: Τα Μικροελεγκτή λειτουργούν καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την απόδοση.

Καθαριότητα: Φροντίστε για τον καθαρισμό των πάνελ (σκόνη, γύρη, αλάτι σε παραθαλάσσιες περιοχές).

Χρήση Λογισμικών και Εργαλείων : Μπορείς να χρησιμοποιήσεις εξειδικευμένα εργαλεία (π.χ., PVGIS, Helioscope) για τον υπολογισμό ηλιακής ακτινοβολίας για την Προσομοίωση της απόδοσης για διαφορετικές γωνίες και τους προσανατολισμούς όπως επίσης και για την εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας.

2.7.3 Πάχος των καλωδίων

Το σωστό πάχος των καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα κύκλωμα, για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση που επιδιώκουμε, σχετίζεται άμεσα με την τάση και την ένταση του ρεύματος που υπάρχει στο κύκλωμα αυτό. Σε διαφορετική περίπτωση, αν δεν γίνει σωστή επιλογή καλωδίου, θα έχουμε απώλεια ρεύματος και σε δεύτερο βαθμό μπορεί να υπάρξει ενδεχόμενο βραχυκύκλωμα ή ακόμη και πυρκαγιά από το λιώσιμο των καλωδίων. Τέλος, έχει διαπιστωθεί πως όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος και το μήκος του καλωδίου, ανάλογα μεγάλο πρέπει να είναι και το πάχος του.

2.7.4 Μελέτη αποδόσεων φ/β συστημάτων

Λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης ενός πλήρους Φωτοβολταϊκού συστήματος, οι ερευνητές ανά τον κόσμο να προσπαθήσουν να μειώσουν το κόστος των φ/β συστημάτων ώστε να πείσουν τον κόσμο να ασχοληθεί πιο σοβαρά με αυτά. Οι μέθοδοι που ακολουθούν παραθέτονται παρακάτω. [23] Η εφαρμογή που συναντάμε περισσότερο αφορά τη συγκέντρωση της ακτινοβολίας, η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση φακών και κάτοπτρων που έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση με αποτέλεσμα βοηθούν στη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στα φ/β στοιχεία. Η εταιρεία Fresnel είναι αυτή που κατάφερε τα προϊόντα της να συνδυάζουν χαμηλό κόστος και βέλτιστη απόδοση οπτικής συγκέντρωσης αλλά και πολύ καλή ανοχή σε γεωμετρικές αποκλίσεις που αφορούν της ευθυγράμμισης του ήλιου. Η βελτιστοποίηση των υλικών που επιτυγχάνεται με τη χρήση ημιαγωγών υλικών τα οποία προηγουμένως έχουν υποστεί μια κατεργασία. Ο φασματικός διαχωρισμός (πρίσμα) της ακτινοβολίας μέσω του οποίου επιτυγχάνεται επιλεκτική εκμετάλλευση του ηλιακού φάσματος και το οποίο στη συνέχεια κατευθύνεται σε πλαίσια με διαφορετικό ενεργειακό διάκενο. Η φασματική επεξεργασία της ακτινοβολίας η οποία ουσιαστικά αναφέρεται στην επέμβαση που γίνεται στη σύσταση του φάσματος που φθάνει στη Γη, με απώτερο σκοπό η ηλιακή ακτινοβολία να αποτελείται από φωτόνια συγκεκριμένης ενέργειας.

3. Δομικά στοιχεία αυτονόμου φ/β συστήματος

3.1 Γενικά

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με ένα αυτονομημένο φ/β σύστημα το οποίο όπως το λέει και το όνομα του λειτουργεί εκτός δικτύου. Εκμεταλλεύεται την ακτινοβολία του ήλιου για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών πάνελ, μια ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες και να χρησιμοποιηθεί σε στιγμές όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Τα συστήματα φ/β μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τροφοδότηση φορτίων εναλλασσόμενου ρεύματος με χρήση μετατροπέων (DC-AC) όπως και συστήματα συνεχούς ρεύματος σε διάφορες εφαρμογές. [24] Η τοποθέτηση μιας συσκευής ή εξαρτήματος σε μια φ/β εγκατάσταση χωρίς τον σωστό υπολογισμό και τη σωστή επιλογή, που έχει ως αποτέλεσμα τη μη αποδοτική λειτουργία του συστήματος, το μεγάλο πιθανή κατασκευή και την εμφάνιση συχνών ανωμαλιών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Τα αυτόνομα αυτά συστήματα κάνουν την εμφάνισή τους όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια καθώς συνδυάζουν οικονομία και αξιοπιστία. Με τον όρο αξιοπιστία εννοούμε πως η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει βελτιωθεί αισθητά σε σχέση με τα αυτόνομα πάνελ της προηγούμενης δεκαετίας, μιας και έχουν την ικανότητα να τροφοδοτήσουν φορτίο με την προϋπόθεση να υπάρξει η σωστή προεργασία και μελέτη από έναν έμπειρο μηχανικό. Ένα πλήρες αυτόνομο σύστημα αποτελείται από τα Μικροελεγκτή πάνελ, τους συσσωρευτές, έναν ελεγκτή φόρτισης και έναν αντιστροφέα (Inverter). Η άριστη λειτουργία ενός αυτόνομου Φωτοβολταϊκού μπορεί να εξασφαλιστεί μόνο με τη σωστή συνεργασία των προαναφερθέντων τμημάτων.

3.2 Διάκριση φ/β συστημάτων με βάση το τρόπο σύνδεσης

Τα Μικροελεγκτή συστήματα (Φ/Β) μπορούν να διακριθούν σε εντός δικτύου (on-grid) και εκτός δικτύου (off-grid) ανάλογα με το αν συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο ή όχι. Ας δούμε τις βασικές διαφορές, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε συστήματος: [25]

3.2.1. Εντός Δικτύου (On-Grid)

Αυτά τα συστήματα συνδέονται άμεσα με το ηλεκτρικό δίκτυο και βασίζονται σε αυτό για τη λειτουργία τους.

Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι:

1. Παράγουν ενέργεια από τον ήλιο, η οποία καταναλώνεται άμεσα ή διοχετεύεται στο δίκτυο όταν υπάρχει περίσσεια.
2. Αντλούν ενέργεια από το δίκτυο όταν τα πάντα δεν παράγουν επαρκή ισχύ (π.χ., τη νύχτα ή σε συννεφιά).
3. Συνήθως μετρητές διπλής κατεύθυνσης για τον υπολογισμό της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας (Net Metering ή Feed-in Tariff).

Με τα πλεονεκτήματα τους

1. Χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης: Δεν απαιτούνται μπαταρίες.
2. Αυξημένη απόδοση: Το πλεόνασμα ενέργειας πωλείται ή συμψηφίζεται με την κατανάλωση.
3. Αξιοπιστία: Εξασφαλίζεται συνεχής παροχή ρεύματος μέσω του δικτύου.

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα.

1. Εξάρτηση από το δίκτυο: Δεν λειτουργούν σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.
2. Περιορισμοί στις περιοχές χωρίς δίκτυο ή σε απομονωμένες τοποθεσίες.
3. Ιδανικές εφαρμογές αστικές κατοικίες και επιχειρήσεις.
4. Περιοχές με αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο.

3.2.2. Εκτός Δικτύου (Off-Grid)

Αυτά τα συστήματα λειτουργούν από το ηλεκτρικό δίκτυο και αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια σε μπαταρίες.

Τα βασικά Χαρακτηριστικά τους είναι:

1. Η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες για χρήση της στιγμής.
2. Δεν υπάρχει σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο.
3. Χρησιμοποιούνται μετατροπείς (inverters) για τη μετατροπή της DC ενέργειας από τα πάνελ σε AC.

Με κυρία πλεονεκτήματα τους

1. Αυτονομία: Λειτουργούν από το δίκτυο.
2. Κατάλληλα για απομακρυσμένες περιοχές: Χωριά, νησιά ή περιοχές χωρίς πρόσβαση στο δίκτυο.

3. Σταθερότητα ενέργειας: Εξασφαλίζουν τροφοδοσία σε περιοχές με συχνές διακοπές ρεύματος. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα.
 1. Υψηλό κόστος εγκατάστασης: Απαιτούνται μπαταρίες, οι οποίες είναι ακριβείς και έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής.
 1. Περιορισμένη ενέργεια: Εξαρτάται από την αποθηκευμένη ισχύ στις μπαταρίες.
 2. Συντήρηση: Οι μπαταρίες απαιτούν τακτική συντήρηση και αντικατάσταση.
 3. Ιδανικές εφαρμογές (Εξοχικές κατοικίες ή αγροτικές, μικρά απομακρυσμένα χωριά, νησιά ή περιοχές χωρίς δίκτυο. Εφαρμογές για ειδικούς σκοπούς (π.χ., φώτα δρόμων, τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί).

3.2.3. Υβριδικά Συστήματα

Συνδυάζουν χαρακτηριστικά των συστημάτων εντός και εκτός δικτύου: Συνδέονται με το δίκτυο αλλά διαθέτουν και μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας. Παρέχουν αυτονομία σε περίπτωση διακοπής ρεύματος και μπορούν να πωλούν ενέργεια στο δίκτυο.

Με τα πλεονεκτήματα τους

1. Αυξημένη αυτονομία.
2. Ικανοποιητική απόδοση σε αστικές και αγροτικές περιοχές.
3. Δυνατότητα εξοικονόμησης και ευελιξίας.

Μειονεκτήματα

1. Υψηλότερο κόστος από τα συστήματα μόνο εντός δικτύου.
2. Απαιτούν πολύπλοκο σχεδιασμό και μεγαλύτερη συντήρηση.

3.3 Βασικά μέρη ενός φ/β συστήματος

3.3.1 Γενικά

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από διάφορα βασικά μέρη που συνεργάζονται για την παραγωγή, αποθήκευση και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, τα Μικροελεγκτή πάνελ συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε συνεχές ρεύμα (DC). Τα πάνελ συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα, ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Το παραγόμενο ρεύμα διοχετεύεται στον ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος προστατεύει τις μπαταρίες από υπερφόρτιση ή υπερβολική αποφόρτιση, ενώ βελτιστοποιεί την απόδοση της φόρτισης. Υπάρχουν δύο

τύποι ρυθμιστών, οι PWM (Pulse Width Modulation) και οι MPPT (Maximum Power Point Tracking), με τους δεύτερους να προσφέρουν καλύτερη απόδοση. Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται σε μπαταρίες, οι οποίες συνήθως είναι βαθιάς εκφόρτισης (des cycle) και μπορεί να είναι μόλυβδου-οξέος, AGM, Gel ή ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες διασφαλίζουν την παροχή ενέργειας κατά τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Στη συνέχεια, το συνεχές ρεύμα που αποθηκεύεται στις μπαταρίες μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) μέσω του μετατροπέα (Inverter), ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συμβατικές ηλεκτρικές συσκευές. Σε ορισμένες εφαρμογές, όπου χρησιμοποιούνται μόνο συσκευές συνεχούς ρεύματος, ο μετατροπέας ίσως να μην είναι απαραίτητος. Τα φορτία του συστήματος περιλαμβάνουν όλες τις συσκευές που τροφοδοτούνται, όπως φωτισμός, ψυγεία και αντλίες. Για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος, χρησιμοποιείται πίνακας ελέγχου και προστασίας, ο οποίος περιλαμβάνει ασφάλειες, διακόπτες και συστήματα προστασίας από υπερτάσεις ή βραχυκυκλώματα. Η δομή στήριξης των πάνελ είναι επίσης απαραίτητη και μπορεί να είναι σταθερή ή κινητή, ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης, ενώ η κινητή δομή επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω ιχνηλάτησης του ήλιου. [26]



Εικόνα 8: Βασικά εξαρτήματα φ/β συστήματος

3.3.2 Φωτοβολταϊκά Πανελ

Τα πάνελ εκμεταλλεύονται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (αναφέρθηκε παραπάνω), δηλαδή την ακτινοβολία του ήλιου, την οποία και μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ο ρυθμιστής φόρτισης με τη σειρά του χρησιμοποιείται για να φορτίζει τις μπαταρίες οι οποίες παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια στον χρήστη μέσω του αντιστροφέα. Ο τελευταίος έχει την ικανότητα να μετατρέπει την συνεχή τάση που υπάρχει στην έξοδο των συσσωρευτών, σε εναλλασσόμενη για να ικανοποιήσει όλες τις συσκευές που τροφοδοτούνται από το σύστημα. Τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια (νύχτα, συννεφιά) οι ανάγκες του συστήματος και συνεπώς του χρήστη καλύπτονται μέσω των φορτισμένων μπαταριών. Τέλος, για να προφυλαχθούν οι μπαταρίες και η μακροζωία τους υπάρχει περιορισμός όσον αφορά την εκφόρτιση τους που συνήθως δεν ξεπερνάει το 30%

3.3.3 Ρυθμιστής ή ελεγκτής φόρτισης

Ο κύριος ρόλος του είναι να διαχειρίζεται τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας από τα Μικροελεγκτή πάνελ προς τις μπαταρίες και να εξασφαλίζει τη σωστή φόρτισή τους. Παράλληλα, προστατεύει τις μπαταρίες από προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, όπως υπερφόρτιση, υπερβολική αποφόρτιση ή αντιστροφή ρεύματος από τις μπαταρίες προς τα πάνελ κατά τη νύχτα. Επιπλέον, οι σύγχρονοι ρυθμιστές αναγνωρίζουν τον τύπο των μπαταριών (π.χ. μόλυβδου-οξέος, λιθίου) και προσαρμόζονται ανάλογα, ενώ ρυθμίζουν την ποσότητα ενέργειας που ρέει από τα πάνελ στις μπαταρίες, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες. Παρέχουν επίσης προστασία από βραχυκύκλωμα και αντιστροφή ρεύματος. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ρυθμιστών φόρτισης: οι PWM (Pulse Width Modulation) και MPPT (Maximum Power Point Tracking). Οι PWM είναι απλούστεροι και πιο οικονομικοί, παρέχοντας σταδιακή φόρτιση στις μπαταρίες και μειώνοντας την τάση καθώς πλησιάζουν την πλήρη φόρτιση. Είναι κατάλληλο για μικρότερα συστήματα όπου η απόδοση δεν είναι κύρια προτεραιότητα. Αντίθετα, οι MPPT είναι πιο αποτελεσματικοί και ιδανικοί για μεγαλύτερα συστήματα, καθώς εντοπίζουν το μέγιστο σημείο των πάνελ και προσαρμόζονται τη φόρτιση για βέλτιστη απόδοση, ενώ μπορούν να λειτουργήσουν με μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ πάνελ και μπαταριών, εξοικονομώντας περισσότερη ενέργεια. Η επιλογή του κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από διάφορα κριτήρια, όπως η τάση του συστήματος (12V, 24V, 48V), το μέγιστο ρεύμα που παράγει τα πάνελ, ο τύπος των μπαταριών που αναφέρονται, καθώς και οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις. Σε συστήματα υψηλών απαιτήσεων, προτιμάται η χρήση MPPT για μέγιστη απόδοση, ενώ σε μικρότερα συστήματα το PWM είναι πιο οικονομική επιλογή. Η σωστή επιλογή και χρήση του ρυθμιστή φόρτισης είναι καθοριστική για τη μακροχρόνια απόδοση και αξιοπιστία ενός αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος.

Χαρακτηριστικό	PWM	MPPT
Κόστος	Χαμηλότερο	Υψηλότερο
Απόδοση	Χαμηλότερη (75%-80%)	Υψηλότερη (95%-99%)
Μέγεθος συστημάτων	Κατάλληλο για μικρά και μεσαία συστήματα	Κατάλληλο για μεσαία και μεγάλα συστήματα
Λειτουργία με διαφορά τάσης (π.χ. πάνελ-μπαταρίες)	Απαιτεί ίδια τάση πάνελ και μπαταριών	Μπορεί να λειτουργεί με μεγαλύτερη διαφορά τάσης
Αξιοποίηση Ενέργειας	Χαμηλότερη, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες	Μέγιστη αξιοποίηση της ισχύος των πάνελ
Ευαισθησία στις θερμοκρασίες	Επηρεάζεται λιγότερο	Επωφελείται από χαμηλές θερμοκρασίες (βελτιωμένη απόδοση)
Ευελιξία στη διαστασιολόγηση	Περιορισμένη	Υψηλή (μπορεί να λειτουργεί με περισσότερα πάνελ σε σειρά)
Συμβατότητα	Απλό και συμβατό με συστήματα μικρής τάσης	Ιδανικό για μεγάλα Μικροελεγκτή συστήματα
Εφαρμογές	Κατάλληλο για απλές, οικονομικές εγκαταστάσεις	Ιδανικό για επαγγελματικές ή υψηλών απαιτήσεων εφαρμογές

Πίνακας 2: Συγκριτικός πίνακας PWM,MPPT [27]

Ο PWM αποτελεί ιδανική επιλογή για οικονομικές, απλές εγκαταστάσεις με σταθερή και περιορισμένη παραγωγή ενέργειας, ενώ ο MPPT προσφέρει ανώτερη απόδοση και μεγαλύτερη ευελιξία, καθιστώντας τον κατάλληλο για συστήματα με υψηλές απαιτήσεις ή με μεγαλύτερες διαφορές τάσης μεταξύ των πάνελ και των μπαταριών.

3.3.4 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες είναι ένα από τα βασικά στοιχεία ενός αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια από τα πάντα για να είναι διαθέσιμα όταν αυτά δεν παράγουν, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε συνεφιασμένες ημέρες. Η επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας εξαρτάται από παράγοντες όπως η χωρητικότητα, η διάρκεια ζωής, το κόστος, οι ενεργειακές απαιτήσεις και οι συνθήκες λειτουργίας. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι μπαταριών για Μικροελεγκτή συστήματα είναι οι μόλυβδου-οξέος και οι μπαταρίες λιθίου. Οι μπαταρίες μόλυβδου-οξέος, που περιλαμβάνουν τις ανοιχτού τύπου και τις κλειστού τύπου (AGM και Gel), είναι η οικονομική επιλογή και η κατηγορία ευρέως σε συστήματα μικρής ή μέσης κλίμακας. Διάρκεια ζωής 3-5 χρόνια, βάθος εκφόρτισης περίπου 50% και απαιτούνται είτε περιορισμένη είτε καθόλου συντήρηση, ανάλογα με τον τύπο. Είναι ανθεκτικές και αποδοτικές σε σταθερές εφαρμογές, αλλά το βάρος και η χαμηλότερη αποδοτικότητά τους αποτελούν περιορισμούς. Αντίθετα, οι μπαταρίες λιθίου, και συγκεκριμένα οι τύπου LiFePO₄, προσφέρουν ανώτερη απόδοση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (10-15 χρόνια). υψηλότερο βάθος εκφόρτισης (έως 90%) και είναι ελαφρύτερες, πιο συμπαγείς και δεν απαιτούν συντήρηση. Ωστόσο, το κόστος τους είναι πολύ υψηλότερο. Είναι κατάλληλες για συστήματα με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις ή όπου μέγιστη αξιοποίηση της ενέργειας. Υπάρχουν επίσης μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), που διακρίνονται για την ανθεκτικότητά τους σε ακραίες θερμοκρασίες και τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους, αλλά το υψηλό κόστος και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί λόγω τοξικότητας περιορίζουν τη χρήση τους σε ειδικές εφαρμογές. Σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή της μπαταρίας είναι η χωρητικότητα (Ah), η τάση λειτουργίας (12V, 24V, 48V), το βάθος εκφόρτισης (DoD), οι κύκλοι ζωής, η αντοχή σε θερμοκρασίες και η ανάγκη για συντήρηση. Οι μπαταρίες μόλυβδου-οξέος είναι ιδανικές για οικονομικές και απλές συσκευές, ενώ οι μπαταρίες λιθίου προσφέρουν την καλύτερη λύση για συστήματα υψηλών απαιτήσεων. Συνολικά, η επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας εξαρτάται από τον προϋπολογισμό, τις ενεργειακές ανάγκες και τη διάρκεια ζωής που απαιτείται. Η επιλογή εξασφαλίζει τη βέλτιστη λειτουργία του Φωτοβολταϊκού συστήματος και την αποδοτική χρήση της παραγόμενης σωστής ενέργειας. [28]

Χαρακτηριστικό	Μόλυβδου-Οξέος (AGM/Gel)	Λιθίου (LiFePO ₄)	Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd)
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό	Υψηλό
Διάρκεια Ζωής	3-5 χρόνια	10-15 χρόνια	15+ χρόνια
Βάθος Εκφόρτισης (DoD)	50-60%	80-90%	70-80%
Κύκλοι Ζωής	500-1.500	2.000-6.000	2.000-5.000
Συντήρηση	Χαμηλή (κλειστού τύπου)	Χωρίς συντήρηση	Χαμηλή
Αντοχή σε Θερμοκρασία	Καλή	Μέτρια	Πολύ Καλή
Βάρος	Βαρύτερες	Ελαφρύτερες	Βαρύτερες

Πίνακας 3 :Συγκριτικός Πίνακας Μπαταριών Φ/Β Συστημάτων

3.3.5 Μετατροπείς (Inverter)

Οι μετατροπείς (inverters) είναι ηλεκτρονικές συσκευές που μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Αυτή η μετατροπή είναι απαραίτητη σε πολλές εφαρμογές, καθώς πολλές ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ πολλές πηγές ενέργειας, όπως οι μπαταρίες και οι Μικροελεγκτή πάνελ, παράγουν συνεχές ρεύμα. [28]

Οι αυτόνομοι μετατροπείς (off-grid inverters) χρησιμοποιούνται σε συστήματα που δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Λειτουργούν με την ενέργεια που αποθηκεύεται στις μπαταρίες και είναι ιδανικοί για περιοχές όπου δεν υπάρχει πρόσβαση στο δίκτυο. Από την άλλη, οι διασυνδεδεμένοι μετατροπείς (grid-tied inverters) είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε συνδυασμό με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, επιτρέποντας την πώληση της πλεονάζουσας ενέργειας και τη χρήση του δικτύου ως εφεδρική πηγή. Ωστόσο, αυτοί οι μετατροπείς δεν λειτουργούν όταν το δίκτυο διακόπτεται. Οι υβριδικοί μετατροπείς (Hybrid inverters) συνδυάζουν τις δυνατότητες ενός αυτόνομου και ενός διασυνδεδεμένου μετατροπέα, προσφέροντας ευελιξία στη διαχείριση της ενέργειας από Μικροελεγκτή πάνελ, μπαταρίες και το δίκτυο, ενώ οι μικρομετατροπείς (microinverters) τοποθετούνται σε κάθε πάνελ ξεχωριστά, διασφαλίζοντας τη μέγιστη απόδοση του κάθε πάνελ, ακόμη και σε περιπτώσεις σκίασης.

Η επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συστήματος. Σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η ισχύς του μετατροπέα, η απόδοσή του, η τάση εισόδου και εξόδου, καθώς και η μορφή του κύματος που παράγει. Οι ποιοτικοί μετατροπείς παράγουν καθαρό ημίτονο (pure sine wave), εξασφαλίζοντας τη σταθερή λειτουργία ευαίσθητων συσκευών. Επιπλέον, οι σύγχρονοι μετατροπείς ενσωματώνουν μηχανισμούς προστασίας από υπέρταση, υπερφόρτιση, βραχυκύκλωμα και υπερθέρμανση, ενώ πολλοί από αυτούς διαθέτουν δυνατότητες παρακολούθησης και ελέγχου μέσω εφαρμογών ή συστημάτων διαχείρισης.

Οι αυτόνομοι μετατροπείς είναι κατάλληλοι για περιοχές όπου απαιτείται πλήρης ενεργειακή ανεξαρτησία, ενώ οι διασυνδεδεμένοι είναι ιδανικοί για συστήματα που λειτουργούν σε συνδυασμό με το δίκτυο. Οι υβριδικοί μετατροπείς προσφέρουν την καλύτερη λύση για συστήματα που συνδυάζουν αυτονομία και σύνδεση στο δίκτυο, και οι μικρομετατροπείς είναι ιδανικοί για εγκαταστάσεις με διαφορετικό προσανατολισμό πάνελ ή προβλήματα σκίασης. Η σωστή επιλογή του μετατροπέα είναι καθοριστική για την αποδοτικότητα και τη μακροχρόνια λειτουργία του Φωτοβολταϊκού συστήματος, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη χρήση της παραγόμενης ενέργειας.

Χαρακτηριστικό	Αυτόνομοι	Διασυνδεδεμένοι	Υβριδικοί	Μικρομετατροπείς
Τάση Εισόδου	Από μπαταρίες	Από πάνελ και δίκτυο	Από πάνελ, μπαταρίες και δίκτυο	Από μεμονωμένα πάνελ
Συμβατότητα με Δίκτυο	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι
Κόστος	Μέτριο	Χαμηλότερο	Υψηλότερο	Υψηλότερο ανά πάνελ
Απόδοση σε Σκίαση	Εξαρτάται από το σύστημα	Μέτρια	Μέτρια έως Υψηλή	Υψηλή
Εφαρμογή	Αυτόνομα συστήματα	Διασυνδεδεμένα συστήματα	Υβριδικά συστήματα	Μικρές ή σύνθετες εγκαταστάσεις

Πίνακας 4 :Συγκριτικός πίνακας μετατροπέων (inverters)

Οι μετατροπείς είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η επιλογή τους εξαρτάται από τον τύπο εγκατάστασης και τις ενεργειακές ανάγκες. Για αυτόνομα συστήματα, οι αυτόνομοι μετατροπείς είναι η καλύτερη επιλογή, ενώ για διασυνδεδεμένα συστήματα προτιμώνται οι διασυνδεδεμένοι μετατροπείς. Οι υβριδικοί μετατροπείς είναι ιδανικοί για συστήματα που συνδυάζουν αυτονομία και σύνδεση στο δίκτυο, ενώ οι μικρομετατροπείς προσφέρουν τη μέγιστη ευελιξία και απόδοση σε συστήματα με σκίαση ή ανομοιομορφία στην απόδοση των πάνελ .

3.3.6 Προστασία και έλεγχος συστήματος

Η ασφαλής λειτουργία του Φ/Β συστήματος απαιτεί τη χρήση διατάξεων προστασίας και ελέγχου. Η έλεγχος προστασία προστατεύει από υπερτάσεις λόγω κεραυνών, ενώ οι διακόπτες συνεχούς (DC) και εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) επιτρέπουν την απομόνωση των διαφόρων τμημάτων του συστήματος για λόγους συντήρησης. Οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες προλαμβάνουν υπερφορτώσεις και βραχυκυκλώματα, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα του εξοπλισμού. Επιπλέον, διάφοροι αισθητήρες, όπως αισθητήρες ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και ανεμόμετρα, παρέχουν κρίσιμα δεδομένα για την παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος. [29]

Χρήση Διοδίων και ο Ρόλος τους σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα :Τα διόδια παίζουν κρίσιμο ρόλο στη σωστή λειτουργία και προστασία των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων, αποτρέποντας προβλήματα όπως η αντίστροφη ροή ρεύματος, η υπερθέρμανση και οι απώλειες ισχύος. Οι κύριοι τύποι διοδών που χρησιμοποιούνται είναι οι δίοδοι παράκαμψης (bypass diodes) και οι δίοδοι αποκλεισμού (blocking diodes).

1. Δίοδοι Παράκαμψης (Bypass Diodes)

Οι δίοδοι παράκαμψης τοποθετούνται παράλληλα με τμήματα των φωτοβολταϊκών πλαισίων για την προστασία τους από το φαινόμενο της μερικής σκίασης ή την αστοχία κάποιου κυψελίδας. Όταν ένα ή περισσότερα ηλιακά κύτταρα σκιάζονται ή παρουσιάζουν δυσλειτουργία, δημιουργείται αυξημένη αντίσταση και μειώνεται η τάση του δίοδοι. Σε αυτή την περίπτωση, η δίοδος παράκαμψης ενεργοποιείται και επιτρέπει στο ρεύμα να προσπεράσει τα σκιασμένα ή ελαττωματικά κύτταρα, αποτρέποντας την υπερθέρμανση (hot-spot effect) και την απώλεια ισχύος.

Οφέλη των διοδών παράκαμψης:

- Προστασία των ηλιακών κυψελών από υπερθέρμανση και ζημιές.
- Αποτροπή σημαντικών απωλειών ισχύος λόγω σκίασης ή βλάβης.
- Βελτίωση της συνολικής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου.

2. Δίοδοι Αποκλεισμού (Blocking Diodes)

Οι δίοδοι αποκλεισμού χρησιμοποιούνται για την αποτροπή της αντίστροφης ροής ρεύματος σε συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων και σε συστήματα με μπαταρίες. Χωρίς αυτές, τη νύχτα ή όταν το Φ/Β σύστημα δεν παράγει ενέργεια, το ρεύμα από τις μπαταρίες ή τις άλλες συστοιχίες θα μπορούσε να επιστρέψει προς τα πάνελ, προκαλώντας απώλειες και ενδεχομένως βλάβες. Οι δίοδοι αποκλεισμού εξασφαλίζουν ότι το ρεύμα ρέει μόνο προς τη σωστή κατεύθυνση, αποτρέποντας την ανεπιθύμητη εκφόρτιση.

Οφέλη των διόδων αποκλεισμού:

- Εμποδίζουν την αντίστροφη ροή ρεύματος από τις μπαταρίες προς τα πάνελ τη νύχτα.
- Προστατεύουν τις φωτοβολταϊκές στοιχειοσειρές από απώλειες ενέργειας μεταξύ των συνδεδεμένων συστοιχιών.
- Αυξάνουν την αποδοτικότητα και τη μακροζωία του συστήματος.

Οι δίοδοι στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας του συστήματος. Οι δίοδοι παράκαμψης αποτρέπουν τις επιπτώσεις της σκίασης και της υπερθέρμανσης, ενώ οι δίοδοι αποκλεισμού εμποδίζουν την αντίστροφη ροή ρεύματος, διατηρώντας τη σωστή λειτουργία του συστήματος και αποτρέποντας ενεργειακές απώλειες. Η σωστή επιλογή και τοποθέτησή τους είναι ζωτικής σημασίας για τη βέλτιστη απόδοση των Φ/Β συστημάτων.

Σύστημα Παρακολούθησης και Ελέγχου (Monitoring System)

Το σύστημα παρακολούθησης συλλέγει δεδομένα από διάφορα μέρη της εγκατάστασης και τα αποστέλλει σε **λογισμικό ελέγχου**, μέσω τοπικού δικτύου ή cloud. Ο στόχος είναι:

- **Η συνεχής καταγραφή και ανάλυση της παραγωγής ενέργειας** από τα Μικροελεγκτή πάνελ.
- **Ο εντοπισμός πιθανών προβλημάτων**, όπως μειωμένη απόδοση, βλάβες ή αστοχίες σε πάνελ, μετατροπείς (inverters) ή καλωδιώσεις.
- **Η απομακρυσμένη διαχείριση και η πρόληψη βλαβών**, επιτρέποντας την έγκαιρη συντήρηση.
- **Η βελτιστοποίηση της απόδοσης** του συστήματος με βάση τις καιρικές συνθήκες και τα πρότυπα παραγωγής.

2. Βασικά Στοιχεία του Συστήματος Παρακολούθησης

Το σύστημα παρακολούθησης περιλαμβάνει διάφορα εξαρτήματα και αισθητήρες που καταγράφουν κρίσιμες πληροφορίες:

(α) Μετρητές και Αισθητήρες

Μετρητής Ενέργειας (Energy Meter): Καταγράφει την παραγόμενη, καταναλισκόμενη και αποθηκευμένη ενέργεια.

Αισθητήρας Ηλιακής Ακτινοβολίας (Pyranometer): Μετρά την ένταση του ηλιακού φωτός και επιτρέπει τη σύγκριση πραγματικής και θεωρητικής απόδοσης.

Αισθητήρες Θερμοκρασίας: Καταγράφουν τη θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του περιβάλλοντος.

Ανεμόμετρο: Μετρά την ταχύτητα του ανέμου, προειδοποιώντας για πιθανές ζημιές.

Αισθητήρες Τάσης και Ρεύματος: Παρακολουθούν τη σωστή λειτουργία των στοιχειοσειρών (strings) και των μετατροπέων.

(β) Μονάδα Επικοινωνίας (Data Logger)

Ο **data logger** είναι η συσκευή που συλλέγει, επεξεργάζεται και αποστέλλει τις μετρήσεις των αισθητήρων στο σύστημα παρακολούθησης. Η επικοινωνία γίνεται μέσω:

- **Wi-Fi / Ethernet**, για διασύνδεση με υπολογιστές ή κινητές συσκευές.
- **Cloud Platforms**, για αποθήκευση δεδομένων και πρόσβαση από απόσταση.
- **LoRa / GSM**, για απομακρυσμένα συστήματα όπου δεν υπάρχει σταθερή σύνδεση στο διαδίκτυο.

(γ) Λογισμικό Παρακολούθησης και Διαχείρισης

Το λογισμικό παρακολούθησης παρουσιάζει τα δεδομένα μέσω:

- **Εφαρμογών κινητού / υπολογιστή**, όπου οι χρήστες μπορούν να βλέπουν real-time στατιστικά παραγωγής.
- **Cloud-based dashboards**, που επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων και την αποστολή ειδοποιήσεων.
- **Αυτόματων ειδοποιήσεων (alarms) μέσω email ή SMS**, όταν ανιχνεύεται κάποιο σφάλμα.

3. Πλεονεκτήματα του Συστήματος Παρακολούθησης

- ✓ **Αυξημένη Απόδοση** – Επιτρέπει τη γρήγορη ανίχνευση και διόρθωση προβλημάτων.
- ✓ **Μείωση Κόστους Συντήρησης** – Προλαμβάνει βλάβες, μειώνοντας το κόστος επισκευών.
- ✓ **Βελτιωμένη Διαχείριση Ενέργειας** – Επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας.
- ✓ **Απομακρυσμένος Έλεγχος** – Δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης του συστήματος από οπουδήποτε.

Το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος, επιτρέποντας την **παρακολούθηση της απόδοσης, τον εντοπισμό προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας**. Με τη χρήση αισθητήρων, data loggers και λογισμικού ανάλυσης, οι χρήστες και οι τεχνικοί μπορούν να λαμβάνουν έγκαιρες ειδοποιήσεις και να επεμβαίνουν όπου χρειάζεται, διασφαλίζοντας τη μακροχρόνια αξιοπιστία της εγκατάστασης.

3.3.7 Χρήση πυκνωτή στην έξοδο του Φ/Β

Ο πυκνωτής είναι ένα κρίσιμο ηλεκτρονικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές ηλεκτρικών κυκλωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων. Η τοποθέτηση πυκνωτή στην έξοδο ενός Φ/Β συστήματος σχετίζεται κυρίως με τη σταθεροποίηση της τάσης, τη μείωση των κυματώσεων και τη βελτίωση της απόδοσης του μετατροπέα (Inverter). [30]

1. Ρόλος του Πυκνωτή στην Έξοδο του Φ/Β Συστήματος

Η κύρια λειτουργία ενός πυκνωτή στο κύκλωμα εξόδου ενός Φωτοβολταϊκού είναι η εξομάλυνση και σταθεροποίηση της ηλεκτρικής τάσης. Οι βασικές χρήσεις περιλαμβάνουν:

(α) Εξομάλυνση Κυματώσεων Τάσης (Ripple Filtering)

- Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχές ρεύμα (DC), το οποίο περιέχει κυματώσεις λόγω της μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας και των φορτίων.
- Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές (Electrolytic Capacitors) βοηθούν στην απορρόφηση αυτών των διακυμάνσεων, προσφέροντας σταθερότερη παροχή ενέργειας στον μετατροπέα.
- Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε συστήματα με μετατροπείς DC-DC (MPPT) και DC-AC (inverters), όπου οι κυματώσεις μπορούν να προκαλέσουν απώλειες και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI).

(β) Παροχή Ενέργειας σε Ξαφνικές Μεταβολές Φορτίου

- Σε περιπτώσεις που το φορτίο αλλάζει απότομα (π.χ. ενεργοποίηση/απενεργοποίηση μιας συσκευής), ο πυκνωτής παρέχει προσωρινά ενέργεια ώστε να αποτρέψει πτώσεις τάσης.
- Οι κεραμικοί πυκνωτές (Ceramic Capacitors) είναι χρήσιμοι για την ταχεία απόκριση σε υψηλές συχνότητες.

(γ) Βελτίωση Απόδοσης του Μετατροπέα (Inverter Support)

- Οι μετατροπείς (inverters) βασίζονται σε πυκνωτές στην είσοδο και την έξοδό τους για να διασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος.
- Σε μονοφασικά και τριφασικά συστήματα, οι πυκνωτές βοηθούν στην αποθήκευση και απελευθέρωση ενέργειας σε συγχρονισμό με τον μετατροπέα, μειώνοντας τις μεταβολές της τάσης.

2. Είδη Πυκνωτών που Χρησιμοποιούνται σε Φ/Β Συστήματα

(α) Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές (Electrolytic Capacitors)

- Χρησιμοποιούνται για φιλτράρισμα χαμηλών συχνοτήτων και αποθήκευση ενέργειας.
- Ιδανικοί για εφαρμογές όπου απαιτείται εξομάλυνση τάσης.
- Συνήθως τοποθετούνται στην είσοδο και έξοδο του μετατροπέα.

(β) Κεραμικοί Πυκνωτές (Ceramic Capacitors)

- Ιδιαίτερα χρήσιμοι για φιλτράρισμα υψηλών συχνοτήτων και απόσβεση παρεμβολών (EMI).
- Αντιμετωπίζουν ταχεία μεταβολή τάσης, αποτρέποντας την αστάθεια.
- Συχνά χρησιμοποιούνται παράλληλα με ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές για ευρύτερη απόκριση συχνότητας.

(γ) Πυκνωτές Φιλτραρίσματος Τάσης (Film Capacitors)

- Χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα υψηλής τάσης (π.χ. στο DC-Link του Inverter).
- Βοηθούν στη σταθεροποίηση της τάσης και στη μείωση των υπερτάσεων.

3. Οφέλη από τη Χρήση Πυκνωτών στην Έξοδο Φ/Β Συστημάτων

- ✓ Σταθεροποίηση της τάσης εξόδου, μειώνοντας τις διακυμάνσεις λόγω μεταβολών της ακτινοβολίας.
- ✓ Απορρόφηση παλμών ρεύματος, μειώνοντας τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI).
- ✓ Βελτίωση της απόδοσης του Inverter, μειώνοντας την καταπόνηση του κυκλώματος ισχύος.
- ✓ Εξασφάλιση συνεχούς παροχής ενέργειας σε περιπτώσεις ξαφνικών μεταβολών φορτίου.
- ✓ Αποφυγή υπερτάσεων και απότομων αλλαγών ρεύματος που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιές στο σύστημα.

Η προσθήκη πυκνωτών στην έξοδο ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος είναι απαραίτητη για τη σταθεροποίηση της τάσης, την εξομάλυνση των κυματώσεων και την προστασία του μετατροπέα. Οι διαφορετικοί τύποι πυκνωτών (ηλεκτρολυτικοί, κεραμικοί και film) συνεργάζονται για να διατηρήσουν την αποδοτικότητα του συστήματος, ελαχιστοποιώντας τις ηλεκτρικές διακυμάνσεις και εξασφαλίζοντας την αξιόπιστη λειτουργία της εγκατάστασης.

3.3.8 Νησιδοποίηση σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

Η νησιδοποίηση (islanding) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα συνεχίζει να τροφοδοτεί το τοπικό δίκτυο με ηλεκτρική ενέργεια, ακόμα και όταν υπάρχει διακοπή ρεύματος από το κεντρικό δίκτυο. Αυτό δημιουργεί ένα "ηλεκτρικό νησί" (island), στο οποίο οι καταναλωτές τροφοδοτούνται αποκλειστικά από το Φ/Β σύστημα χωρίς σύνδεση με το ευρύτερο δίκτυο. [31]

2. Κίνδυνοι από τη Νησιδοποίηση

Η ανεξέλεγκτη λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος σε κατάσταση νησιδοποίησης μπορεί να προκαλέσει:

- ⚠ Κίνδυνος για τους τεχνικούς του δικτύου – Οι εργαζόμενοι στις επισκευές μπορεί να εκτεθούν σε τάση, θεωρώντας ότι το δίκτυο είναι ανενεργό.
- ⚠ Αστάθεια και κακή ποιότητα ισχύος – Το Φ/Β σύστημα μπορεί να μην είναι σε θέση να διατηρήσει σταθερή τάση και συχνότητα.
- ⚠ Ζημιά σε ηλεκτρικές συσκευές – Αν η παραγόμενη τάση δεν είναι σταθερή, μπορεί να προκληθούν υπερτάσεις.
- ⚠ Διαφωνία με κανονισμούς – Οι περισσότερες χώρες απαιτούν την άμεση απενεργοποίηση του Φ/Β συστήματος σε περίπτωση απώλειας της τάσης δικτύου.

3. Μέθοδοι Ανίχνευσης και Προστασίας από τη Νησιδοποίηση

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες τεχνικών για τον εντοπισμό της νησιδοποίησης:

(Α) Παθητικές Μέθοδοι (Passive Methods)

Οι παθητικές μέθοδοι παρακολουθούν ηλεκτρικές παραμέτρους (τάση, συχνότητα, αρμονικές), ώστε να εντοπίσουν τη διακοπή του δικτύου.

✓ Παρακολούθηση Τάσης και Συχνότητας (UVP/OVP, UFP/OFP)

- Ελέγχει αν η τάση και η συχνότητα ξεφεύγουν από επιτρεπτά όρια.
- Παρακολούθηση της Απότομης Μεταβολής της Συχνότητας (ROCOF – Rate of Change of Frequency)
- Αν το δίκτυο χαθεί, η συχνότητα μπορεί να αλλάξει γρήγορα.
- Έλεγχος Παραμόρφωσης Τάσης (Harmonics Analysis)
- Ανιχνεύει μεταβολές στις αρμονικές που προκαλεί η διακοπή δικτύου.

Πλεονεκτήματα: Δεν επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος κατά τη διάρκεια κανονικής σύνδεσης.

Μειονεκτήματα: Δεν ανιχνεύει πάντα τη νησιδοποίηση αν η παραγωγή των Φ/Β είναι σχεδόν ίση με την κατανάλωση.

(Β) Ενεργητικές Μέθοδοι (Active Methods)

Οι ενεργητικές μέθοδοι επεμβαίνουν στη λειτουργία του συστήματος για να ελέγξουν αν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο.

✓ Έγχυση Αντίστασης (Impedance Measurement)

- Το Φ/Β σύστημα προκαλεί μικρές αλλαγές στην τάση και παρακολουθεί την απόκριση. Αν δεν υπάρχει δίκτυο, η αντίσταση θα είναι διαφορετική
- Μετατόπιση Συχνότητας (Slip Mode Frequency Shift – SMS)
- Inverter μεταβάλλει ελαφρώς τη συχνότητα. Αν δεν υπάρχει δίκτυο, η αλλαγή συνεχίζεται ανεξέλεγκτα.
- (Reactive Power Variation)
- Inverter αλλάζει την άεργο ισχύ και ελέγχει αν το δίκτυο σταθεροποιεί την τάση. Αν όχι, έχει χαθεί η σύνδεση.

Πλεονεκτήματα: Πολύ αποτελεσματικές ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το φορτίο είναι ίσο με την παραγωγή.
Μειονεκτήματα: Ελαφρώς πιο περίπλοκες και απαιτούν εξειδικευμένο Inverter.

4. Κανονισμοί και Πρότυπα για την Προστασία από τη Νησιδοποίηση

Για την αποφυγή της νησιδοποίησης, υπάρχουν διεθνή πρότυπα που καθορίζουν τις απαιτήσεις για την αυτόματη αποσύνδεση των Φ/Β συστημάτων:

- ✓ IEEE 1547 (ΗΠΑ) – Επιβάλλει την ανίχνευση νησιδοποίησης και την αυτόματη αποσύνδεση του Inverter μέσα σε 2 δευτερόλεπτα.
- ✓ UL 1741 (ΗΠΑ) – Καθορίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των inverters με λειτουργία anti-islanding.
- ✓ IEC 62116 (Διεθνές πρότυπο) – Ορίζει τις διαδικασίες δοκιμών των inverters για την ανίχνευση της νησιδοποίησης.
- ✓ VDE 0126-1-1 (Γερμανία, Ευρώπη) – Υποχρεώνει την απενεργοποίηση των Φ/Β inverters όταν ανιχνευτεί απώλεια του δικτύου.

5. Ρόλος του Inverter στην Ανίχνευση και Προστασία από Νησιδοποίηση

Οι σύγχρονοι grid-tied inverters περιλαμβάνουν λειτουργία anti-islanding, που σημαίνει ότι είναι προγραμματισμένοι να ανιχνεύουν απώλεια του δικτύου και να διακόπτουν την παραγωγή ρεύματος μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Όταν ο Inverter ανιχνεύσει νησιδοποίηση: Απενεργοποιείται αυτόματα για την προστασία του δικτύου. Παραμένει κλειστός μέχρι να αποκατασταθεί η παροχή ρεύματος από το δίκτυο. Σε αυτόνομα συστήματα (off-grid), ειδικοί inverters επιτρέπουν τη νησιδοποίηση αλλά σε ελεγχόμενες συνθήκες (με μπαταρίες και σταθεροποιητές τάσης). Η νησιδοποίηση είναι ένα επικίνδυνο φαινόμενο όπου ένα Φ/Β σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί ανεξάρτητα από το δίκτυο. Η προστασία από νησιδοποίηση είναι απαραίτητη για λόγους ασφάλειας, σταθερότητας του δικτύου και προστασίας του εξοπλισμού. Υπάρχουν παθητικές και ενεργητικές μέθοδοι ανίχνευσης, καθεμία με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα διεθνή πρότυπα (IEEE 1547, IEC 62116, UL 1741, VDE 0126-1-1) απαιτούν την εγκατάσταση anti-islanding μηχανισμών σε όλους τους grid-tied inverters. Οι σύγχρονοι μετατροπείς (inverters) έχουν ενσωματωμένη προστασία anti-islanding και απενεργοποιούνται αυτόματα όταν ανιχνευθεί απώλεια του δικτύου.

4. Βασικά εξαρτήματα μονάδας

4.1 Μικροϋπολογιστές

Οι μικροϋπολογιστές είναι αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης τεχνολογίας και βρίσκουν εφαρμογή παντού, από τους προσωπικούς υπολογιστές μέχρι τα ενσωματωμένα συστήματα στις έξυπνες συσκευές. Ένας μικροϋπολογιστής είναι ένας υπολογιστής που βασίζεται σε έναν μικροεπεξεργαστή (microprocessor), ο οποίος αποτελεί την καρδιά της επεξεργασίας. Σε σύγκριση με άλλους υπολογιστές, είναι μικρότερος, πιο οικονομικός και κατάλληλος για προσωπική ή επαγγελματική χρήση. Κάθε μικροϋπολογιστής περιλαμβάνει έναν μικροεπεξεργαστή (CPU), ο οποίος διαχειρίζεται τις εντολές και τα δεδομένα. Η μνήμη RAM χρησιμοποιείται για προσωρινή αποθήκευση, ενώ η μνήμη ROM περιέχει προ εγκατεστημένο λογισμικό, όπως το BIOS. [32] Οι μονάδες εισόδου και εξόδου, όπως το πληκτρολόγιο, το ποντίκι και η οθόνη, επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Επιπλέον, οι δίαυλοι (Buses) διασφαλίζουν τη σύνδεση των εξαρτημάτων, ενώ οι μονάδες αποθήκευσης, όπως οι HDD και SSD, αποθηκεύουν τα δεδομένα. Οι μικροϋπολογιστές έκαναν την εμφάνισή τους τη δεκαετία του 1970, όταν η Intel ανέπτυξε τον πρώτο εμπορικά διαθέσιμο μικροεπεξεργαστή, τον Intel 4004. Αυτός ο επεξεργαστής είχε τη δυνατότητα να εκτελεί απλές υπολογιστικές λειτουργίες και αποτέλεσε τη βάση για μελλοντικές εξελίξεις. Στη συνέχεια, η δεκαετία του 1980 σηματοδοτήθηκε από την ανάπτυξη μικροϋπολογιστών που έγιναν ευρέως διαθέσιμοι για το κοινό, όπως ο Apple II, ο IBM PC και ο Commodore 64. Αυτά τα συστήματα συνέβαλαν στην ευρεία διάδοση των υπολογιστών, τόσο στην επαγγελματική όσο και στην οικιακή χρήση. Η συνεχής εξέλιξη του υλικού και του λογισμικού κατά τις επόμενες δεκαετίες οδήγησε σε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση, την αποδοτικότητα και τη φορητότητα των μικροϋπολογιστών. Οι σύγχρονοι μικροϋπολογιστές είναι εκατομμύρια φορές πιο ισχυροί από τους πρώτους επεξεργαστές, ενώ η ανάπτυξη του Διαδικτύου και των έξυπνων συσκευών έχει επεκτείνει ακόμα περισσότερο τις δυνατότητές τους. Οι μικροϋπολογιστές χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς. Στην καθημερινότητα, είναι παρόντες στους προσωπικούς υπολογιστές, διευκολύνοντας την εργασία, την ψυχαγωγία και την εκπαίδευση. Σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, ενσωματώνονται σε κινητά τηλέφωνα, αυτοκίνητα και ιατρικές συσκευές. Επιπλέον, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην έρευνα και τη βιομηχανία, υποστηρίζοντας πολύπλοκες υπολογιστικές διεργασίες και αυτοματοποιημένα συστήματα. Η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο που αλληλοεπιδρούμε με την τεχνολογία. Από τους προσωπικούς υπολογιστές έως τα ενσωματωμένα συστήματα, η παρουσία τους είναι παντού και συνεχίζει να διαμορφώνει το μέλλον της πληροφορικής. Οι μικροϋπολογιστές χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς. Στην καθημερινότητα, είναι παρόντες στους προσωπικούς υπολογιστές, διευκολύνοντας την εργασία, την ψυχαγωγία και την εκπαίδευση. Σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, ενσωματώνονται σε κινητά τηλέφωνα, αυτοκίνητα και ιατρικές συσκευές. Επιπλέον, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην έρευνα και τη βιομηχανία, υποστηρίζοντας πολύπλοκες υπολογιστικές διεργασίες και αυτοματοποιημένα συστήματα. Η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο που αλληλοεπιδρούμε με την τεχνολογία. Από τους προσωπικούς υπολογιστές έως τα ενσωματωμένα συστήματα, η παρουσία τους είναι παντού και συνεχίζει να διαμορφώνει το μέλλον της πληροφορικής.

4.1.2 Esp(Esspressif Systems Platform) 32

Το ESP32 είναι ένας ισχυρός και ευέλικτος μικροελεγκτής που ενσωματώνει Wi-Fi και Bluetooth δυνατότητες, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές Internet of Things (IoT). Διαθέτει διύρρηνο επεξεργαστή Tensilica Xtensa LX6, υποστήριξη για διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, και είναι σχεδιασμένο για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για φορητές και ασύρματες εφαρμογές. Ο ESP32 παρέχει μεγάλη γκάμα εισόδων και εξόδων (GPIO), υποστηρίζει αναλογικές και ψηφιακές συνδέσεις και προσφέρει δυνατότητες όπως SPI, I2C, UART, PWM και ADC. Είναι ιδανικός για αισθητήρες περιβάλλοντος, έξυπνους αυτοματισμούς, ελεγκτές φωτισμού, απομακρυσμένη παρακολούθηση και διαχείριση ενεργειακών συστημάτων. Μία από τις βασικές εφαρμογές του ESP32 είναι η ανάπτυξη έξυπνων οικιακών συσκευών και αυτοματοποιημένων συστημάτων, επιτρέποντας στους χρήστες να ελέγχουν ηλεκτρικές συσκευές μέσω διαδικτυακών εφαρμογών και κινητών τηλεφώνων. Επίσης, χρησιμοποιείται σε έργα τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης δεδομένων, διευκολύνοντας την ανάπτυξη προηγμένων λύσεων IoT. Ο μικροελεγκτής ESP32 είναι ιδιαίτερα δημοφιλής λόγω της ευκολίας προγραμματισμού του, με υποστήριξη από το Arduino IDE, MicroPython και ESP-IDF. Η εκτεταμένη κοινότητα προγραμματιστών και οι συνεχείς αναβαθμίσεις λογισμικού προσφέρουν ένα δυναμικό περιβάλλον για την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών. Η εξέλιξη των

μικροϋπολογιστών έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο που αλληλοεπιδρούμε με την τεχνολογία. Από τους προσωπικούς υπολογιστές έως τα ενσωματωμένα συστήματα, η παρουσία τους είναι παντού και συνεχίζει να διαμορφώνει το μέλλον της πληροφορικής.

4.1.3 Βηματικοί κινητήρες

Οι βηματικοί κινητήρες (stepper motors) είναι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων που περιστρέφονται με ακρίβεια σε διακριτά βήματα. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος της θέσης και της ταχύτητας, όπως 3D εκτυπωτές, CNC μηχανές, και ρομποτικά συστήματα. Ένας από τους πιο δημοφιλείς βηματικούς κινητήρες είναι ο NEMA 17, ο οποίος προσφέρει υψηλή ακρίβεια και αξιόπιστη απόδοση. Οι βηματικοί κινητήρες λειτουργούν μέσω παλμών ρεύματος που παρέχονται από οδηγούς κινητήρων, όπως οι A4988 και DRV8825, που ελέγχουν την κατεύθυνση και τη ροπή του κινητήρα. [33]

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι βηματικών κινητήρων:

- Βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PM), που χρησιμοποιούν μόνιμους μαγνήτες στο ρότορα και προσφέρουν υψηλή ροπή.
- Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής αντίστασης (VR), που λειτουργούν με μεταβλητή μαγνητική αντίσταση και είναι κατάλληλοι για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας.

Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σε αυτοματοποιημένα μηχανικά συστήματα, φωτογραφικές μηχανές, ρομποτικά βραχίονες και άλλες εφαρμογές που απαιτούν ακριβή και επαναλαμβανόμενη κίνηση.

Ο A4988 είναι ένας δημοφιλής οδηγός βηματικών κινητήρων που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια και έλεγχος κίνησης. Διαθέτει μικροβελτιστοποίηση βημάτων, επιτρέποντας έως και 1/16 της κανονικής κίνησης ενός βήματος, γεγονός που προσφέρει ομαλότερη και ακριβέστερη λειτουργία. Ο A4988 επιτρέπει τη ρύθμιση της ροπής μέσω μεταβλητής τάσης αναφοράς και μπορεί να προστατεύσει το κύκλωμα από υπερθέρμανση και υπερφόρτωση. Συνήθως χρησιμοποιείται σε 3D εκτυπωτές, CNC μηχανές και ρομποτικές εφαρμογές, προσφέροντας αξιόπιστο έλεγχο της κίνησης.

4.1.4 :Αισθητήρας Μέτρησης Ρεύματος και Τάσης

Ο INA219 είναι ένας υψηλής ακρίβειας αισθητήρας μέτρησης ρεύματος και τάσης, που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές ηλεκτρονικών και ενσωματωμένων συστημάτων. Είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα της Texas Instruments που επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση της κατανάλωσης ισχύος σε κυκλώματα συνεχούς ρεύματος.

Χαρακτηριστικά του INA219

Ο INA219 προσφέρει δυνατότητα μέτρησης ρεύματος έως 3.2A και τάσης έως 26V με ανάλυση 12-bit. Επιτρέπει τη μέτρηση κατανάλωσης ισχύος και υποστηρίζει επικοινωνία μέσω I2C, γεγονός που διευκολύνει τη διασύνδεσή του με μικροελεγκτές όπως το Arduino και το ESP32. Διαθέτει πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τον ιδανικό για φορητές εφαρμογές. Ο Τρόπος Λειτουργίας του INA219 χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα αντίστασης (shunt resistor) για τη μέτρηση του ρεύματος, ενώ παράλληλα μπορεί να μετρήσει την τάση στο φορτίο. Η διαφορά δυναμικού πάνω στην αντίσταση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ροής του ρεύματος και μέσω του I2C διαύλου μεταδίδεται η τιμή σε έναν μικροελεγκτή για περαιτέρω ανάλυση. Η σύνδεση του INA219 με έναν ESP32 έχει το VCC του αισθητήρα μπορεί να συνδεθεί είτε στα 3.3V είτε στα 5V του ESP32, ενώ το GND συνδέεται στη γείωση του ESP32. Η επικοινωνία I2C πραγματοποιείται μέσω των ακροδεκτών SCL και SDA του ESP32, οι οποίοι βρίσκονται στις θέσεις GPIO 22 και GPIO

21 αντίστοιχα. Το φορτίο και ο αισθητήρας ρεύματος συνδέονται στο κύκλωμα για τη μέτρηση του ρεύματος και της τάσης. Οι Τυπικές Εφαρμογές που χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση κατανάλωσης ενέργειας σε συστήματα μπαταριών, στην ανάλυση απόδοσης ηλιακών συστημάτων, στη μέτρηση ισχύος σε βιομηχανικές εφαρμογές και σε IoT εφαρμογές όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος ισχύος.

4.1.5 AP63203WU-7 - Σταθεροποιητής Τάσης

Ο AP63203WU-7 είναι ένας συγχρονισμένος step-down (buck) μετατροπέας DC-DC, σχεδιασμένος για υψηλή απόδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Υποστηρίζει εύρος εισόδου τάσης από 3.8V έως 32V και παρέχει σταθερή έξοδο έως 2A. Είναι κατάλληλος για εφαρμογές τροφοδοσίας μικροελεγκτών, αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, διατηρώντας την τάση εξόδου σταθερή ακόμα και σε μεταβαλλόμενες συνθήκες φορτίου. Ο AP63203WU-7 ενσωματώνει προστασία από υπερβολικό ρεύμα, υπερβολική θερμοκρασία και βραχυκύκλωμα, γεγονός που τον καθιστά ιδανικό για απαιτητικές βιομηχανικές και φορητές εφαρμογές. Επιτρέπει επίσης υψηλή απόδοση μετατροπής ενέργειας, μειώνοντας την απώλεια θερμότητας και βελτιώνοντας τη διάρκεια ζωής των συσκευών που τροφοδοτεί.

4.1.6 Ο YPE-C-31-M-12 είναι ένα USB Type-C, σχεδιασμένος για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας δεδομένων και παροχής ενέργειας. Υποστηρίζει τα πρότυπα USB 3.1, παρέχοντας υψηλή απόδοση στη μεταφορά δεδομένων, ενώ είναι κατάλληλος για συστήματα που απαιτούν αξιόπιστη τροφοδοσία μέσω USB PD (Power Delivery). Χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές, συστήματα φόρτισης συσκευών και ενσωματωμένα κυκλώματα που απαιτούν συνδέσεις USB-C υψηλής ποιότητας.

4.1.6 Μετατροπέας USB σε σειριακή επικοινωνία .

Ο CH340C είναι ένας μετατροπέας USB σε σειριακή επικοινωνία (USB-to-Serial), που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ενός υπολογιστή με μικροελεγκτές μέσω του σειριακού πρωτοκόλλου UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Αυτός ο τύπος μετατροπέα επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία δεδομένων μεταξύ των δύο συσκευών, χρησιμοποιώντας τις σειριακές θύρες (ή πιο συγκεκριμένα, τη σειριακή επικοινωνία).

Χαρακτηριστικά του CH340C:

- **Υποστήριξη USB 2.0 και UART:** Ο CH340C υποστηρίζει το πρότυπο USB 2.0, το οποίο παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων υψηλής ποιότητας και αξιοπιστία, ενώ ταυτόχρονα είναι συμβατός με το πρωτόκολλο UART για τη σειριακή επικοινωνία.
- **Χωρίς εξωτερικούς drivers ή προγράμματα:** Ο CH340C επιτρέπει τη σύνδεση υπολογιστών με συσκευές μικροελεγκτών χωρίς να απαιτεί την εγκατάσταση εξωτερικών προγραμμάτων ή οδηγών (drivers). Αυτό καθιστά την εγκατάσταση και χρήση του πιο εύκολη και γρήγορη.
- **Εφαρμογές σε μικροελεγκτές:** Ένας από τους πιο κοινούς τομείς χρήσης του CH340C είναι η σύνδεση μικροελεγκτών, όπως το Arduino, με έναν υπολογιστή. Η δυνατότητα για εύκολη σύνδεση και επικοινωνία μέσω σειριακών θυρών τον καθιστά ιδανικό για πολλές εφαρμογές, όπως η ανάπτυξη λογισμικού για μικροελεγκτές και η αποστολή δεδομένων μεταξύ υπολογιστών και εξωτερικών συσκευών.
- **Αξιοπιστία και Σταθερότητα:** Χρησιμοποιώντας τον CH340C, οι επικοινωνίες μεταξύ συσκευών γίνονται με σταθερότητα και χωρίς διακοπές, παρέχοντας αξιόπιστη σύνδεση για εφαρμογές που απαιτούν συνεχές ή γρήγορο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων.

Χρήσεις του CH340C:

- **Εφαρμογές με Arduino:** Το Arduino είναι μια από τις πιο γνωστές πλατφόρμες που χρησιμοποιούν τον CH340C
- για την επικοινωνία με τον υπολογιστή και τη μεταφορά δεδομένων για διάφορες εφαρμογές όπως αισθητήρες, φωτισμό, και ρομποτικά συστήματα.
- **Διασύνδεση υπολογιστών με άλλες συσκευές:** Ο CH340C χρησιμοποιείται επίσης για να συνδέει υπολογιστές με άλλες συσκευές που χρειάζονται σειριακή επικοινωνία, όπως διάφορα ενσωματωμένα συστήματα, αισθητήρες, συστήματα αυτοματισμού, και άλλες συσκευές που απαιτούν σειριακή επικοινωνία.
- **Απλοποίηση διαδικασιών επικοινωνίας:** Όταν χρησιμοποιείται ο CH340C, η επικοινωνία μεταξύ συσκευών γίνεται απλούστερη, χωρίς να απαιτούνται περίπλοκες διαμορφώσεις ή πρόσθετα εξαρτήματα, κάνοντάς τον ιδανικό για προσωπικά έργα και επαγγελματικές εφαρμογές.

4.1.7 TTL Logic - Λογική Τύπου TTL (Transistor-Transistor Logic)

Η λογική τύπου TTL (**Transistor-Transistor Logic**) είναι μια κατηγορία ψηφιακής λογικής που χρησιμοποιεί τρανζίστορ για την υλοποίηση λογικών πυλών και κυκλωμάτων. Το TTL είναι ένα από τα πιο παραδοσιακά και ευρέως χρησιμοποιούμενα είδη λογικών κυκλωμάτων στην ηλεκτρονική και τη βιομηχανία υπολογιστών.

Χαρακτηριστικά της Λογικής TTL:

1. **Αναπαράσταση Σημάτων:** Στη λογική TTL, τα ψηφιακά σήματα αναπαρίστανται με δύο επίπεδα τάσης:
 - **Λογικό 1 (High):** Τάση που κυμαίνεται μεταξύ 2V και 5V (ανάλογα με τον τύπο του TTL).
 - **Λογικό 0 (Low):** Τάση κοντά στο 0V (συνήθως 0V).
2. **Διαχείριση Σήματος:** Τα TTL κυκλώματα χρησιμοποιούν τρανζίστορ ως κύρια στοιχεία για την αναπαραγωγή λογικών καταστάσεων. Συνήθως, χρησιμοποιούνται δύο τρανζίστορ για κάθε λογική πύλη (όπως οι AND, OR, NAND κλπ.), και αυτά επιτρέπουν την ταχεία εναλλαγή των σημάτων χωρίς σημαντική απώλεια ενέργειας.
3. **Χαμηλή Ικανότητα Κατανάλωσης Ρεύματος:** Παρόλο που τα TTL κυκλώματα είναι πιο ενεργοβόρα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, όπως η CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), παρέχουν ισχυρό σήμα και σταθερότητα.
4. **Υψηλή Ταχύτητα:** Τα TTL κυκλώματα είναι γρήγορα και κατάλληλα για υψηλές ταχύτητες λειτουργίας, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν ταχεία επεξεργασία και χειρισμό σημάτων.
5. **Ενσωματωμένα Στοιχεία:** Τα TTL κυκλώματα είναι διαθέσιμα σε ποικιλία τύπων ενσωματωμένων κυκλωμάτων (ICs), τα οποία περιλαμβάνουν λογικές πύλες, μνήμη, επεξεργαστές και άλλες ψηφιακές συσκευές.

Πλεονεκτήματα της Λογικής TTL:

- **Αξιοπιστία:** Η TTL τεχνολογία είναι πολύ αξιόπιστη και έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητά της σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.
- **Υποστήριξη από τη Βιομηχανία:** Εξαιτίας της σταθερότητας και της δημοτικότητάς της, τα TTL κυκλώματα είναι ευρέως υποστηριζόμενα και εύκολα διαθέσιμα.
- **Απλότητα:** Η απλότητα της κατασκευής του TTL καθιστά την ενσωμάτωσή του σε συστήματα πιο εύκολη και αποτελεσματική.

Αδυναμίες της Λογικής TTL:

- **Υψηλή Κατανάλωση Ενέργειας:** Σε σύγκριση με την τεχνολογία CMOS, τα TTL κυκλώματα καταναλώνουν περισσότερο ρεύμα.
- **Σύνθετες Ρυθμίσεις:** Ενώ τα TTL κυκλώματα είναι πολύ αξιόπιστα, η σύνθεσή τους σε πολυάριθμα δίκτυα μπορεί να απαιτεί σημαντική διαχείριση για την αποφυγή σφαλμάτων.

Εφαρμογές της Λογικής TTL:

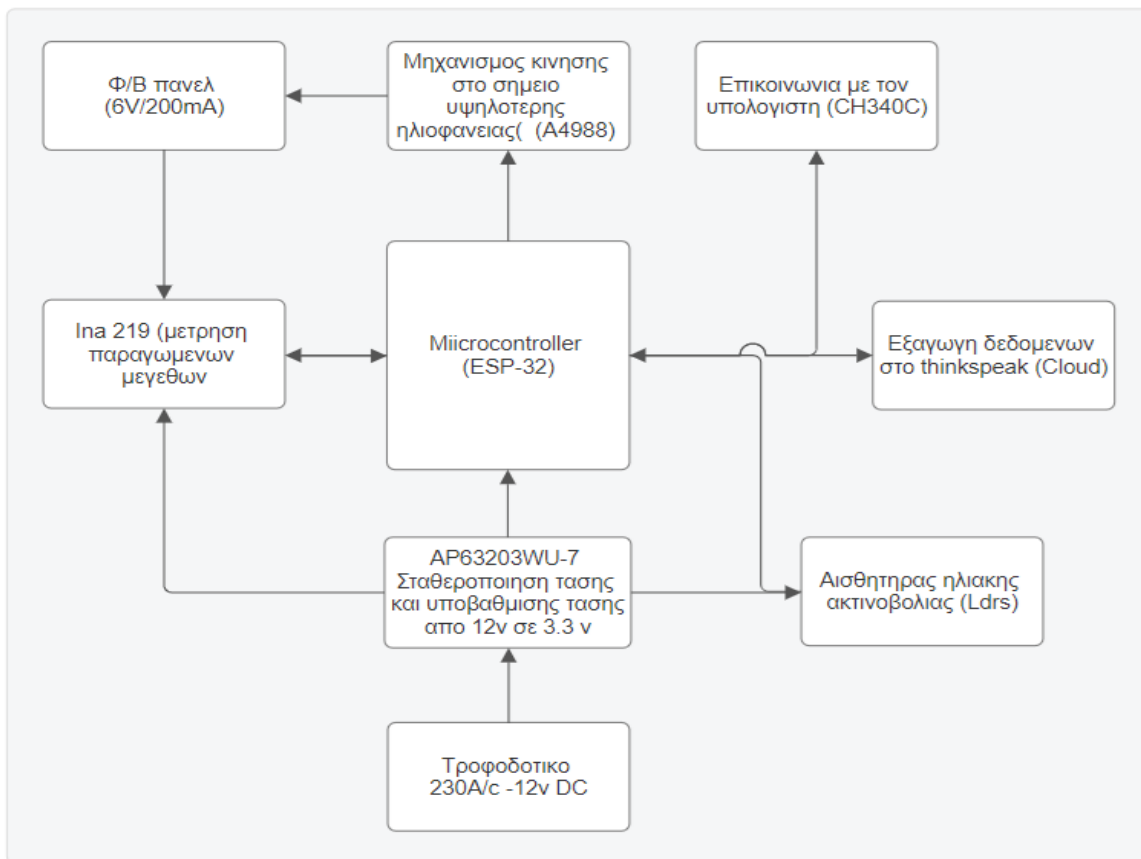
Η λογική TTL χρησιμοποιείται σε πολλές περιοχές της ηλεκτρονικής:

- **Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων:** Όπως τα λογικά κυκλώματα, επεξεργαστές, μνήμες και άλλες συσκευές.
- **Διακόπτες και Έλεγχοι:** Συστήματα ελέγχου και προστασίας που απαιτούν γρήγορη λογική απόκριση.
- **Υπολογιστικά Συστήματα:** Μικροεπεξεργαστές και άλλες ψηφιακές συσκευές βασίζονται στη λογική TTL για ταχύτητα και αξιοπιστία.

4.2 Ανάλυση εξοπλισμού

Το σύστημα συνδυάζει την παρακολούθηση του ήλιου και τη ρύθμιση της κίνησης, διασφαλίζοντας τη μέγιστη αποδοτικότητα στην παραγωγή και διαχείριση ενέργειας. Παρακάτω περιγράφεται η λειτουργία κάθε εξαρτήματος και ο τρόπος που συνεργάζονται. Το σύστημα ηλιακής παρακολούθησης επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό πάνελ να κινείται προς την καλύτερη γωνία φωτισμού, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα παραγωγής ενέργειας. Ο ESP32 λειτουργεί ως ο εγκέφαλος του συστήματος, διαβάζει δεδομένα από τους αισθητήρες LDR και INA219 και στέλνει εντολές στους κινητήρες για να ρυθμίζουν τη θέση του πάνελ. Οι αισθητήρες φωτός LDR ανιχνεύουν τη διαφορά έντασης φωτός μεταξύ δύο πλευρών και αν η μία πλευρά λαμβάνει περισσότερο φως, ο μικροελεγκτής ενεργοποιεί τους κινητήρες ώστε να στραφεί το πάνελ προς τον ήλιο. Ο οδηγός βηματικών κινητήρων A4988 λαμβάνει εντολές από το ESP32 και ελέγχει την κίνηση των κινητήρων, ρυθμίζοντας την ταχύτητα και την ακρίβεια των βημάτων. Οι βηματικοί κινητήρες μετακινούν το πάνελ στην κατάλληλη θέση με βάση την ανίχνευση φωτός. Ο αισθητήρας INA219 μετράει την τάση και το ρεύμα που παράγει το ηλιακό πάνελ και στέλνει δεδομένα στο ESP32 ώστε να ελέγχεται η αποδοτικότητα της παραγωγής. Ο ρυθμιστής τάσης AP63203WU-7 μετατρέπει την τάση από 12V σε 3.3V ώστε να τροφοδοτήσει με την σειρά του σταθερά 3.3V ή 5V την τροφοδοσία στο ESP32 και άλλα εξαρτήματα. Ο γενικός ρυθμιστής τάσης διατηρεί σταθερή τάση εξόδου σε όλα τα εξαρτήματα και μετατρέπει την υψηλή τάση της μπαταρίας σε ασφαλή επίπεδα για τις ευαίσθητες συσκευές. Μέσω WiFi μεταφέρονται τα δεδομένα στην πλατφόρμα ThinkSpeak η οποία προβάλλει τα δεδομένα από το ESP32 σχετικά με την απόδοση του συστήματος. Η επικοινωνία και η ροή δεδομένων μεταξύ των εξαρτημάτων διασφαλίζεται από τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος. Η υποδοχή USB-TYPE-C-31-M-12 επιτρέπει προγραμματισμό και debugging μέσω υπολογιστή, ενώ παρέχει εξωτερική τροφοδοσία αν χρειαστεί. Ο μετατροπέας CH340C επιτρέπει τη μετατροπή

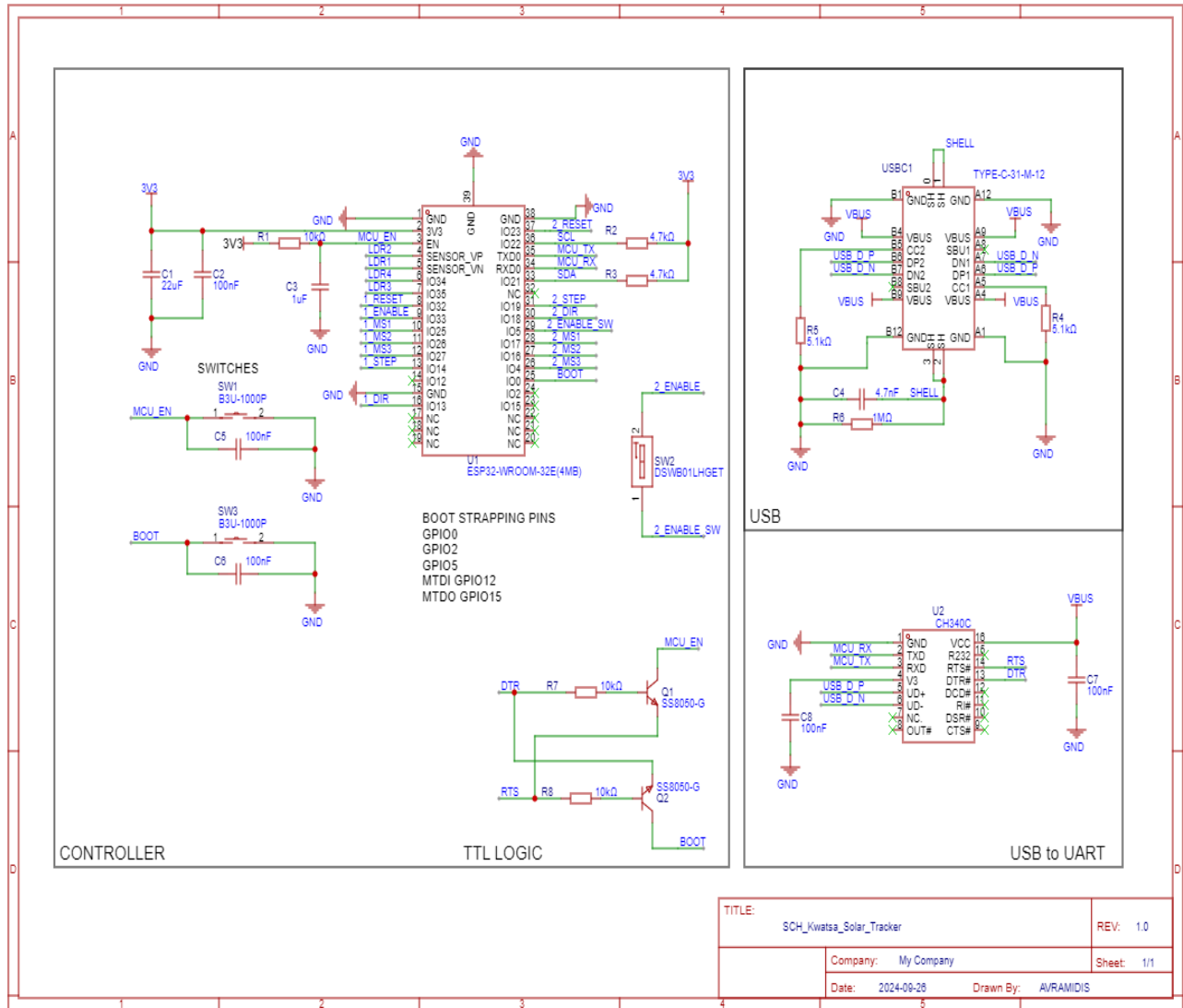
των USB δεδομένων σε σειριακή επικοινωνία UART και επιτρέπει τη σύνδεση του ESP32 σε έναν υπολογιστή. Το σύστημα λειτουργεί σε μια διαδοχική ροή. Οι αισθητήρες LDR ανιχνεύουν το φως, το ESP32 υπολογίζει την κίνηση, ο A4988 κινεί τα μοτέρ προς την ιδανική θέση. Ο αισθητήρας INA219 μετράει τάση και ρεύμα, το ESP32 παρακολουθεί την απόδοση του ηλιακού πάνελ. Ο AP63203WU-7 μετατρέπει την τάση σε κατάλληλα επίπεδα. Το ESP32 αποθηκεύει και προβάλλει δεδομένα μέσω του Think speak και μέσω του CH340C (USB), μπορούμε να κάνουμε debugging ή να στείλουμε εντολές στο σύστημα.



Εικόνα 9: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος

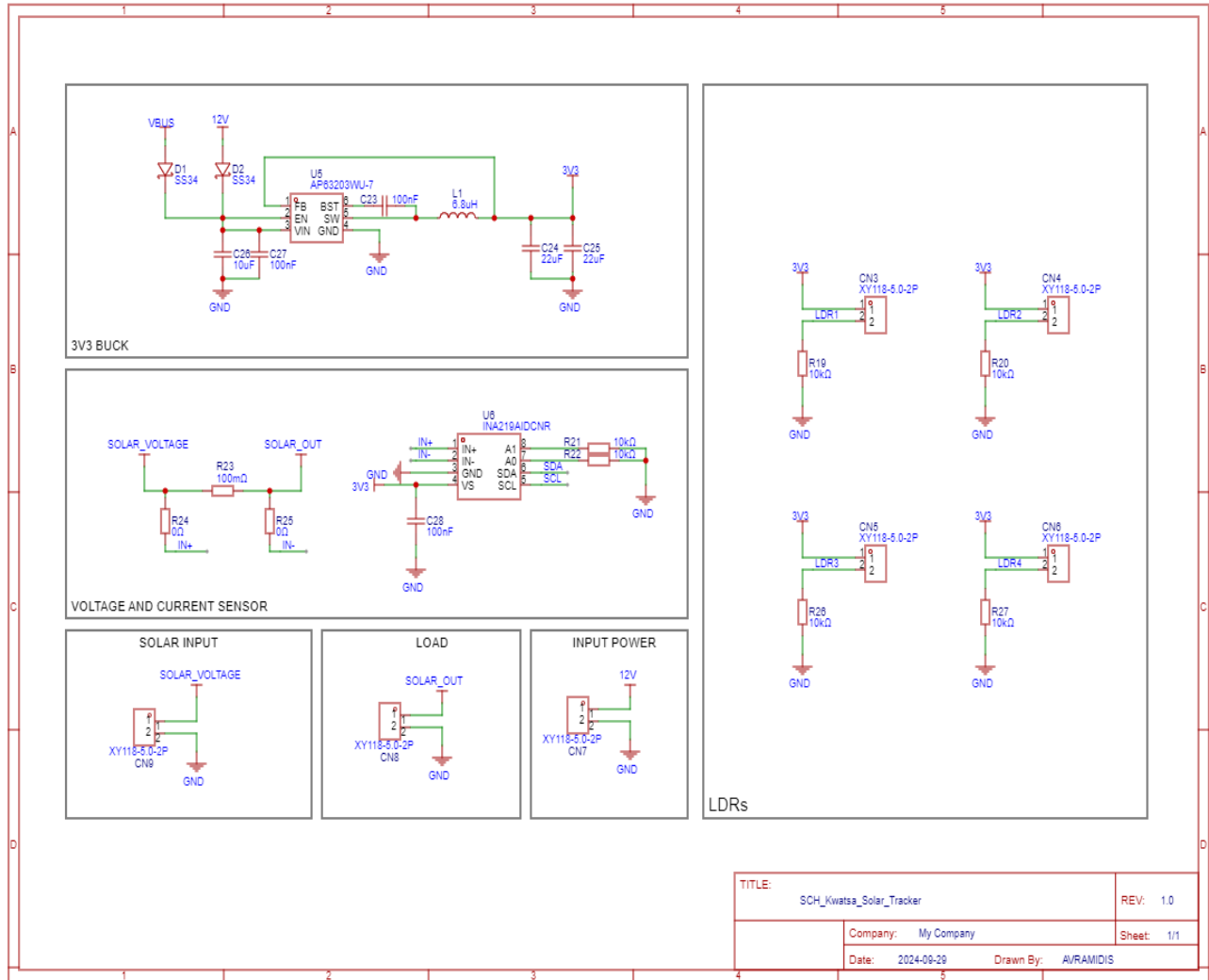
4.3 Σχεδιασμός στο Easy EDA

Το EasyEDA είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο για τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και τυπωμένων κυκλωμάτων (PCBs). Είναι ένα λογισμικό EDA (Electronic Design Automation) που επιτρέπει σε μηχανικούς και χομπίστες να σχεδιάζουν, να προσομοιώνουν και να μοιράζονται ηλεκτρονικά κυκλώματα εύκολα. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα σχεδιάστηκε πλακέτα ώστε να έχουμε εύκολη και ασφαλή χρήση των παραπάνω ασφαλή παρακάτω φωτογραφία απεικονίζεται το 3D σχηματικό της . Για την σχεδίαση της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε το software Easy EDA. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει τρία στάδια , των controller , των οδηγό του motor και τέλος τις τροφοδοσίες.

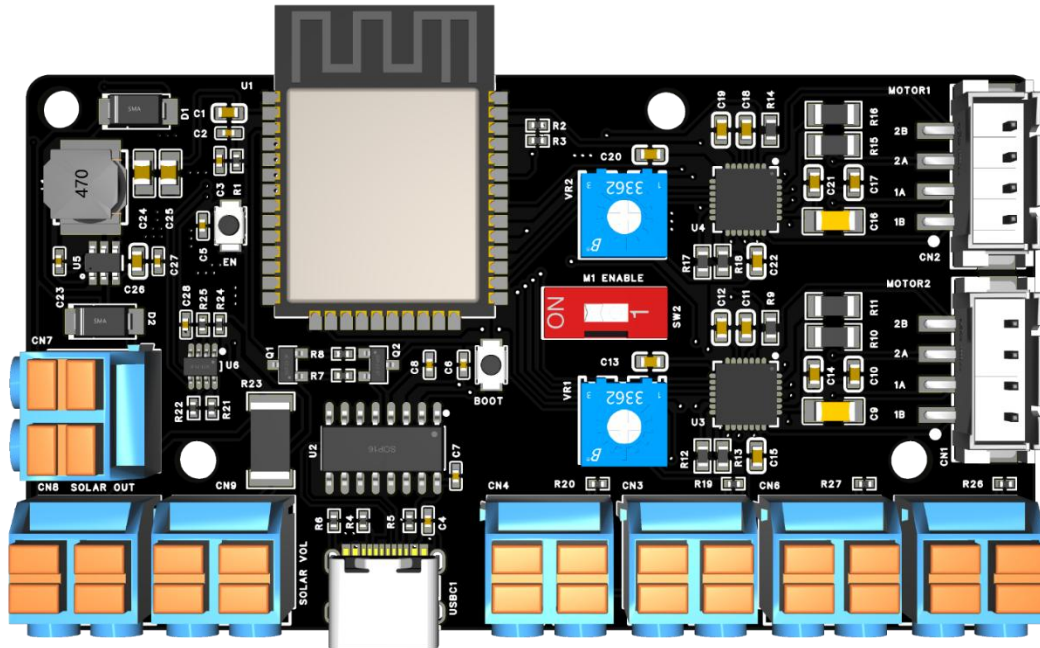


Controller_Sheet

Εικόνα 10: Ηλ.σχεδιο διαχειριστή Esp32 συστήματος



Εικόνα 13: Ηλ.σχεδιο τροφοδοσίας συστήματος



Εικόνα 14: 3D απεικόνιση πλακέτας ολοκληρωμένου συστήματος

4.4 Ανάλυση λογισμικού

Arduino ide

Το Arduino IDE (Integrated Development Environment) είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη σύνταξη, μεταγλώττιση (compiling) και μεταφόρτωση (uploading) κώδικα σε πλακέτες Arduino. Υποστηρίζει C και C++ με ειδικές βιβλιοθήκες που απλοποιούν την αλληλεπίδραση με το υλικό.

- **Συντάκτης Κώδικα (Code Editor):** Ο συντάκτης κώδικα του Arduino IDE επιτρέπει τη σύνταξη προγραμμάτων (sketches) σε γλώσσα C/C++.
- **Μεταγλωττιστής (Compiler):** Ο μεταγλωττιστής του Arduino IDE είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή του κώδικα C/C++ σε εκτελέσιμες εντολές (binary code) που μπορούν να εκτελεστούν από την πλακέτα.
- **Διαχείριση Πλακετών (Board Manager):** Το Board Manager επιτρέπει στον χρήστη να εγκαταστήσει και να επιλέξει διαφορετικά μοντέλα Arduino και συμβατών πλακετών.
- **Διαχείριση Βιβλιοθηκών (Library Manager) :** Το Library Manager δίνει πρόσβαση σε χιλιάδες βιβλιοθήκες που απλοποιούν την ανάπτυξη προγραμμάτων.
- **Σειριακή Οθόνη (Serial Monitor) :** Η Σειριακή Οθόνη (Serial Monitor) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή και του Arduino μέσω της σειριακής θύρας (Serial Communication).
- **Συμβατότητα με Όλα τα Λειτουργικά Συστήματα :** Το Arduino IDE είναι cross-platform, που σημαίνει ότι λειτουργεί σε Windows, macOS και Linux.
- **Υποστήριξη Για IoT & Cloud :** Οι πιο πρόσφατες εκδόσεις του Arduino IDE προσφέρουν δυνατότητες ανάπτυξης IoT (Internet of Things) εφαρμογών, επιτρέποντας τη σύνδεση με το Arduino Cloud, αλλά και πλατφόρμες όπως:
 - Blynk – Δημιουργία εφαρμογών κινητού για Arduino.
 - Firebase – Αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων στο cloud.

○ **MQTT – Επικοινωνία μεταξύ συσκευών IoT.**

- **Επέκταση με Arduino CLI & Web IDE :** Το Arduino IDE μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μέσω γραμμής εντολών (CLI), επιτρέποντας την αυτοματοποίηση εργασιών προγραμματισμού.

Γλώσσα προγραμματισμού C

Η γλώσσα προγραμματισμού C είναι μια από τις πιο δημοφιλείς και ισχυρές γλώσσες, που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη λειτουργικών συστημάτων, ενσωματωμένων συστημάτων, εφαρμογών λογισμικού και προγραμματισμού υλικού, όπως το Arduino.

Η **γλώσσα C** δημιουργήθηκε το **1972** από τον **Dennis Ritchie** στα εργαστήρια της **Bell Labs** για την ανάπτυξη του λειτουργικού συστήματος **UNIX**.

Τα **Βασικά χαρακτηριστικά της C:**

- Δομημένη γλώσσα – Χρησιμοποιεί συναρτήσεις για καλύτερη οργάνωση του κώδικα.
- Υψηλού και χαμηλού επιπέδου – Μπορεί να γράψει κώδικα κοντά στο υλικό (hardware).
- Γρήγορη και αποτελεσματική – Καταναλώνει λίγους πόρους σε σύγκριση με άλλες γλώσσες.
- Φορητότητα (Portability) – Ο κώδικας μπορεί να τρέξει σε πολλές πλατφόρμες με ελάχιστες αλλαγές.
- Χρησιμοποιείται σε λειτουργικά συστήματα, προγραμματισμό ενσωματωμένων συστημάτων, παιχνίδια, επιστημονικές εφαρμογές και πολλές άλλες εφαρμογές.

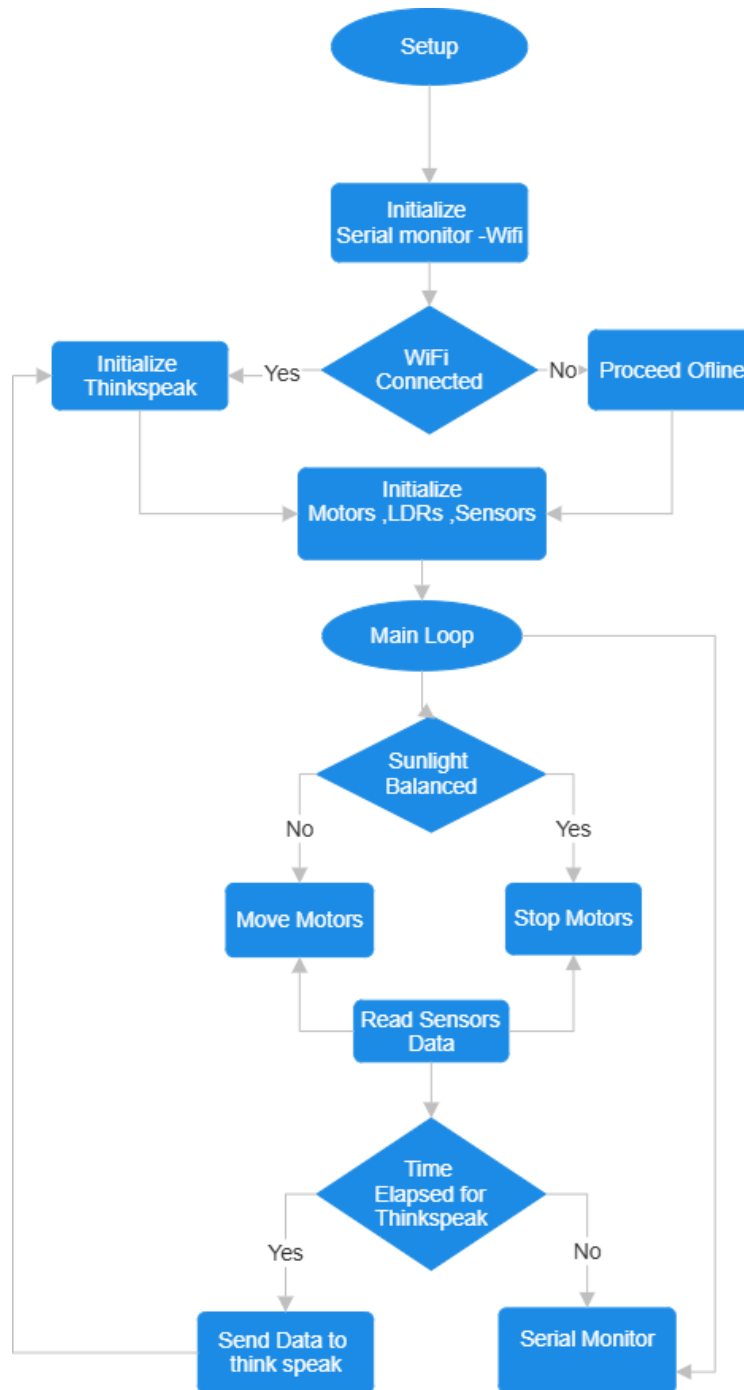
ThinkSpeak

Το ThinkSpeak είναι μια πλατφόρμα ανάλυσης δεδομένων για το Internet of Things (IoT), που επιτρέπει τη συλλογή, ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων από συνδεδεμένες συσκευές. Χρησιμοποιείται συχνά για παρακολούθηση αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, ανάλυση δεδομένων και αυτοματοποίηση συστημάτων

1. Κύρια χαρακτηριστικά του ThinkSpeak
 - Συλλογή δεδομένων – Υποστηρίζει MQTT, HTTP, REST API και άλλες τεχνολογίες για τη λήψη δεδομένων από αισθητήρες, Arduino, Raspberry Pi και άλλες IoT συσκευές.
 - Οπτικοποίηση – Παρέχει γραφικά και πίνακες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. επεξεργασία δεδομένων – Χρησιμοποιεί MATLAB για ανάλυση, φιλτράρισμα και πρόβλεψη δεδομένων.
 - Ειδοποιήσεις & αυτοματισμοί – Μπορεί να στέλνει ειδοποιήσεις ή να εκτελεί ενέργειες βάσει συνθηκών που ορίζει ο χρήστης.
 - Αποθήκευση δεδομένων στο cloud – Διατηρεί ιστορικά δεδομένα για μεταγενέστερη ανάλυση.
 - Ενσωμάτωση με άλλες εφαρμογές – Υποστηρίζει REST API, επιτρέποντας τη σύνδεση με εξωτερικές εφαρμογές και υπηρεσίες.
2. Πού χρησιμοποιείται το ThinkSpeak:
 - ✓ Απομακρυσμένη παρακολούθηση περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα)
 - ✓ Έξυπνα σπίτια & αυτοματισμοί (αισθητήρες φωτός, κίνησης, θερμοστάτες)
 - ✓ Γεωργία ακριβείας (έλεγχος υγρασίας εδάφους, καιρικές συνθήκες)
 - ✓ Βιομηχανικό IoT (παρακολούθηση μηχανημάτων, κατανάλωσης ενέργειας)
 - ✓ Προγνωστική συντήρηση (έλεγχος φθοράς εξοπλισμού)



Εικόνα 15: Παραγωγή δεδομένων στο ThingSpeak



Εικόνα 16: Το διάγραμμα ροής του λογισμικού του συστήματος

Ανάλυση Βημάτων Λειτουργίας:

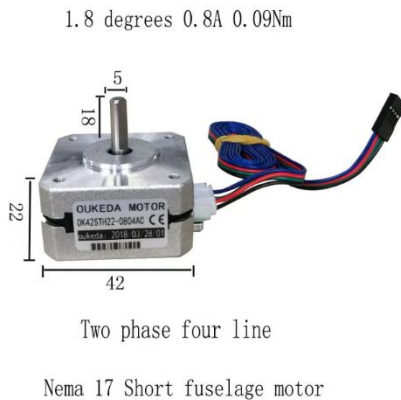
1. Εκκίνηση (Setup):
 - Το σύστημα ξεκινά και πραγματοποιεί αρχικοποίηση.
2. Αρχικοποίηση Σειριακού Μόνιτορ & WiFi:
 - Εγκαθιστά σύνδεση με το σειριακό μόνιτορ και προσπαθεί να συνδεθεί στο WiFi.
3. Έλεγχος Σύνδεσης WiFi:
 - Αν υπάρχει σύνδεση στο WiFi → Αρχικοποιεί το ThinkSpeak (μια IoT πλατφόρμα για καταγραφή δεδομένων).
 - Αν δεν υπάρχει σύνδεση → Το σύστημα συνεχίζει εκτός σύνδεσης (offline).
4. Αρχικοποίηση Στοιχείων Συστήματος:
 - Αρχικοποιεί κινητήρες, LDRs (φωτοαντιστάσεις) και αισθητήρες.
5. Κύρια Λούπα (Επαναλαμβανόμενη Λειτουργία):
 - Το σύστημα παρακολουθεί συνεχώς το φως του ήλιου μέσω των LDR αισθητήρων.
6. Έλεγχος Ισορροπίας Ηλιακού Φωτός:
 - Αν δεν είναι ισορροπημένο → Οι κινητήρες κινούνται για να προσαρμόσουν την ηλιακή επιφάνεια.
 - Αν είναι ισορροπημένο → Οι κινητήρες σταματούν.
7. Ανάγνωση Δεδομένων Αισθητήρων:
 - Το σύστημα καταγράφει δεδομένα από διάφορους αισθητήρες.
8. Απόφαση Αποστολής Δεδομένων στο ThinkSpeak:
 - Αν έχει περάσει ο καθορισμένος χρόνος αποστολής → Στέλνει τα δεδομένα στο ThinkSpeak (για αποθήκευση στο cloud).
 - Διαφορετικά → Εμφανίζει τα δεδομένα στο σειριακό μόνιτορ.

Λειτουργία συστήματος

Το σύστημα παρακολουθεί το ηλιακό φως μέσω αισθητήρων LDR, προσαρμόζει τη θέση των ηλιακών πάνελ με κινητήρες, καταγράφει και αποθηκεύει δεδομένα είτε στο cloud μέσω ThinkSpeak είτε τοπικά στο Serial Monitor, εξασφαλίζοντας παράλληλα πραγματικό χρόνο παρακολούθησης και έξυπνη λειτουργία.

4.5 Μηχανολογική ανάλυση

1. Κινητήρες



Οι κινητήρες NEMA 17 είναι βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο κίνησης, όπως 3D εκτυπωτές, CNC μηχανές, ρομποτικά συστήματα και αυτοματισμούς. Το "NEMA 17" αναφέρεται στο πρότυπο μεγέθους του κινητήρα, με διάσταση πρόσοψης 42x42 mm, χωρίς να καθορίζει τις ηλεκτρικές του προδιαγραφές. Οι περισσότεροι από αυτούς τους κινητήρες έχουν γωνία βήματος 1,8° ανά βήμα, που σημαίνει 200 βήματα για μία πλήρη περιστροφή. Υπάρχουν και μοντέλα με γωνία βήματος 0,9° για μεγαλύτερη ακρίβεια. Η ροπή τους κυμαίνεται από 0,3 Nm έως 0,7 Nm, ανάλογα με το μοντέλο, και συνήθως λειτουργούν σε τάσεις από 2V έως 4V με ρεύμα 1-2A. Μπορούν να είναι διφασικοί ή τετραφασικοί, με 4, 6 ή 8 καλώδια, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης. Οι NEMA 17 κινητήρες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή και σταθερή κίνηση, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της θέσης και της ταχύτητας.

Για τη σωστή λειτουργία τους απαιτούν έναν οδηγό βηματικού κινητήρα, όπως οι A4988, DRV8825 ή TMC2208/TMC2209, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής για ισχύ και αθόρυβη λειτουργία.

Οι κινητήρες NEMA 17 αποτελούν μία από τις πιο κοινές επιλογές για εφαρμογές ακριβούς ελέγχου κίνησης, κυρίως λόγω του μικρού μεγέθους τους, της υψηλής απόδοσης και του σχετικά χαμηλού κόστους. Παρακάτω παρατίθεται περισσότερη πληροφορία σχετικά με τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές τους.

Χαρακτηριστικά Κινητήρα NEMA 17:

1. Μέγεθος και Διάσταση:

- Η αναφορά στο "NEMA 17" υποδεικνύει το πρότυπο μέγεθος του κινητήρα, που έχει διάσταση πρόσοψης 42x42 mm (ή 1,7 x 1,7 ίντσες).
- Αυτό το μέγεθος είναι τυπικό για κινητήρες που απαιτούν ακριβή έλεγχο, αλλά χωρίς να καταλαμβάνουν πολύ χώρο, κάτι που τους καθιστά ιδανικούς για μηχανήματα όπως 3D εκτυπωτές και μικρές CNC μηχανές.

2. Γωνία Βήματος:

- Η πιο συνηθισμένη γωνία βήματος για τον NEMA 17 είναι 1,8°, που σημαίνει 200 βήματα για πλήρη περιστροφή (360°).
- Εναλλακτικά, υπάρχουν εκδόσεις με 0,9° γωνία βήματος, που σημαίνει 400 βήματα για μία πλήρη περιστροφή, προσφέροντας καλύτερη ακρίβεια, η οποία μπορεί να είναι χρήσιμη σε εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετική ακριβή τοποθέτηση.

3. Ροπή:

- Η ροπή των κινητήρων NEMA 17 κυμαίνεται γενικά από 0,3 Nm έως 0,7 Nm, αν και υπάρχουν και πιο ισχυρές εκδόσεις με υψηλότερη ροπή.
- Η ροπή είναι κρίσιμη για την ισχύ και την ικανότητα του κινητήρα να κινεί φορτία. Η ροπή επηρεάζεται από την τάση, το ρεύμα και τη συχνότητα των βημάτων.

4. Ρεύμα και Τάση:

- Οι περισσότεροι NEMA 17 κινητήρες λειτουργούν σε τάσεις 2V έως 4V και απαιτούν ρεύμα μεταξύ 1A και 2A.
- Επειδή οι βηματικοί κινητήρες χρειάζονται συνεχές ρεύμα για να διατηρήσουν τη ροπή τους σε διάφορες θέσεις, τα χαρακτηριστικά του οδηγού είναι σημαντικά για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα χωρίς υπερθέρμανση.

5. Δομή και Καλώδια:

- Οι βηματικοί κινητήρες NEMA 17 μπορεί να είναι διφασικοί (4 καλώδια), τετραφασικοί (6 καλώδια) ή ακόμα και με 8 καλώδια.
- Οι διατάξεις με περισσότερα καλώδια προσφέρουν διαφορετικές επιλογές για τον τρόπο σύνδεσης των φάσεων, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία και αποτελεσματικότητα στον έλεγχο του κινητήρα.

Εφαρμογές:

Οι κινητήρες NEMA 17 χρησιμοποιούνται σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές:

1. 3D Εκτυπωτές:

- Είναι η πιο κοινή εφαρμογή για τους NEMA 17 κινητήρες. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση των αξόνων του εκτυπωτή (X, Y, Z) και την κίνηση του extruder για τη μεταφορά του υλικού.
- Η ακρίβεια και ο έλεγχος θέσης είναι απαραίτητοι για την εξασφάλιση ακριβών και καλής ποιότητας 3D εκτυπώσεων.

2. CNC Μηχανές:

- Οι κινητήρες NEMA 17 είναι επίσης δημοφιλείς στις CNC μηχανές, για τη ρύθμιση της θέσης των εργαλείων κοπής και των αξόνων.
- Η ακριβής κίνηση είναι κρίσιμη για την παραγωγή κομματιών με ακριβείς διαστάσεις.

3. Ρομποτικά Συστήματα:

- Οι κινητήρες NEMA 17 χρησιμοποιούνται σε ρομποτικές εφαρμογές για ακριβή κίνηση των ρομποτικών βραχιόνων, όπως σε γραμμές παραγωγής ή ρομποτικές χειρουργικές διαδικασίες.

- Η ακριβής κίνηση τους επιτρέπει στους ρομποτικούς βραχίονες να εκτελούν επαναλαμβανόμενες κινήσεις με υψηλή ακρίβεια.

4. Αυτοματισμοί:

- Χρησιμοποιούνται επίσης σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς, για να ελέγχουν τη θέση, την ταχύτητα και τη ροπή σε διάφορους μηχανισμούς, όπως σύστημα μεταφοράς ή αποθήκευσης.

Οδηγοί Βηματικών Κινητήρων:

Για τη λειτουργία του NEMA 17, απαιτείται ένας οδηγός βηματικού κινητήρα, που ελέγχει τη ροή του ρεύματος στους πηνιακούς του κινητήρα και καθορίζει την ακρίβεια και την απόδοση του κινητήρα. Ορισμένοι δημοφιλείς οδηγοί περιλαμβάνουν:

1. A4988:

- Χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές χαμηλής και μεσαίας ισχύος. Είναι εύκολος στην εγκατάσταση και προσφέρει χαρακτηριστικά όπως ρυθμιζόμενη ένταση ρεύματος και προστασία από υπερθέρμανση.

2. DRV8825:

- Παρόμοιος με τον A4988, αλλά με μεγαλύτερη ισχύ (έως 2,5A ανά φάση) και βελτιωμένη απόδοση. Είναι ιδανικός για εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη ροπή.

3. TMC2208/TMC2209:

- Αυτοί οι οδηγοί προσφέρουν εξαιρετικά αθόρυβη λειτουργία και εξοικονόμηση ενέργειας, κάνοντάς τους ιδανικούς για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλά επίπεδα θορύβου, όπως 3D εκτυπωτές και ρομποτικά συστήματα.

2.Φ/β πανελ

Ένα ηλιακό πάνελ με διαστάσεις 110x60mm, ισχύ 1W και τάση 6V είναι ένα σχετικά μικρό και αποδοτικό ηλιακό πάνελ, που χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές όπου απαιτείται μικρή ποσότητα ενέργειας, όπως σε αυτόνομες συσκευές, μικρούς φορτιστές ή αισθητήρες. Ας αναλύσουμε μερικά από τα χαρακτηριστικά του και τις εφαρμογές του:



Χαρακτηριστικά:

1. Ικανότητα Ισχύος (1W):

- Η ισχύς του πάνελ είναι 1W, που σημαίνει ότι το πάνελ μπορεί να παραγάγει 1 Watt ενέργειας υπό ιδανικές συνθήκες φωτισμού (π.χ. έντονος ήλιος).
- Η ισχύς αυτή είναι επαρκής για τη φόρτιση μικρών μπαταριών ή την τροφοδοσία απλών ηλεκτρονικών συσκευών που καταναλώνουν μικρή ενέργεια.

2. Τάση (6V):

- Το πάνελ παράγει 6V, το οποίο είναι συνήθως το απαιτούμενο επίπεδο τάσης για τη φόρτιση μικρών μπαταριών ή για τη λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης συσκευών.
- Είναι κατάλληλο για χρήση με συστήματα που απαιτούν τάση 6V για τη φόρτιση ή τη λειτουργία τους, όπως μικρές συσκευές ρομποτικής ή αισθητήρες.

3. Διαστάσεις (110x60mm):

- Οι διαστάσεις του πάνελ το καθιστούν μικρό και εύκολο να ενσωματωθεί σε συμπαγείς εφαρμογές, όπως φορητοί φορτιστές, φωτιστικά LED ή συσκευές αυτοματισμού.
- Η μικρή του επιφάνεια το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπου ο χώρος είναι περιορισμένος.

Υπολογισμός του Ρεύματος:

Για να υπολογίσουμε το ρεύμα που παράγεται από το ηλιακό πάνελ, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο για την ισχύ:

$$P = V \times I \Rightarrow I = \frac{P}{V}$$

Όπου:

- P είναι η ισχύς (1W),
- V είναι η τάση (6V),

- III είναι το ρεύμα που παράγεται.

Αντικαθιστώντας τις τιμές:

$$1W=6V \times I \Rightarrow I = \frac{1W}{6V} = 0,1667 \text{ A} \approx 166,7 \text{ mA}$$

Άρα, το ηλιακό πάνελ παράγει περίπου 166,7 mA (0,167 A) ρεύμα υπό ιδανικές συνθήκες φωτισμού.

Εφαρμογές:

1. Φόρτιση Μικρών Μπαταριών:

- Χρησιμοποιείται συχνά για τη φόρτιση μπαταριών μικρού μεγέθους (όπως μπαταρίες Li-ion ή NiMH), σε εφαρμογές όπως φορητοί φορτιστές ή συσκευές που απαιτούν ανανεώσιμη ενέργεια.

2. Φωτιστικά LED και Αυτόνομοι Φωτισμοί:

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία μικρών φωτιστικών LED σε εξωτερικούς χώρους ή σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Αισθητήρες και Αυτόματι Σταθμοί Μέτρησης:

- Σε συστήματα αυτοματισμού, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας ή άλλες εφαρμογές IoT (Internet of Things), όπου απαιτείται μικρή ποσότητα ενέργειας για να λειτουργούν ανεξάρτητα.

4. Ρομποτικά Συστήματα:

- Ιδανικό για τροφοδοσία μικρών ρομποτικών εφαρμογών ή εξαρτημάτων ρομπότ που χρησιμοποιούν μικρές συσκευές, κάνοντάς το χρήσιμο σε πειραματικές ή εκπαιδευτικές εφαρμογές..

2. Συναρμολόγηση της μονάδας με χρήση 3d εκτυπώσεις



Για τη βάση και τη συναρμολόγηση του έργου χρησιμοποιήθηκαν **3D εκτυπώσεις** και διάφορα εξαρτήματα, τα οποία λειτουργούν ως στήριγμα για τους κινητήρες και το ηλιακό πάνελ. Η επιλογή της **3D εκτύπωσης** για την κατασκευή της βάσης και των υποστηρικτικών εξαρτημάτων προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα, καθιστώντας την ιδανική λύση.

Αναλυτικά, οι λόγοι είναι οι εξής:

1. Εξατομίκευση και Ευελιξία Σχεδιασμού

- Με την 3D εκτύπωση είναι δυνατός ο σχεδιασμός εξαρτημάτων με ακριβείς διαστάσεις και προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά, ώστε να ταιριάζουν απόλυτα με τους κινητήρες και το ηλιακό πάνελ.
- Δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν πολύπλοκα γεωμετρικά σχήματα που θα ήταν δύσκολο ή ακριβό να κατασκευαστούν με παραδοσιακές μεθόδους.

2. Μείωση Κόστους και Χρόνου Κατασκευής

- Η εκτύπωση των εξαρτημάτων σε 3D μειώνει σημαντικά το κόστος παραγωγής συγκριτικά με τη χρήση έτοιμων εξαρτημάτων ή κατασκευών από μέταλλο και άλλα υλικά.
- Επιπλέον, η διαδικασία είναι γρήγορη και επιτρέπει την άμεση παραγωγή των εξαρτημάτων χωρίς να απαιτείται παραγγελία ή αναμονή από προμηθευτές.

3. Ελαφρύ και Ανθεκτικό Υλικό

- Τα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην 3D εκτύπωση, όπως το PLA ή το PETG, είναι ελαφριά και ανθεκτικά, καθιστώντας τη βάση κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν μείωση βάρους, όπως η στήριξη ενός ηλιακού πάνελ.
- Η ελαφρότητα του υλικού συμβάλλει επίσης στη μείωση της καταπόνησης στους κινητήρες, βελτιώνοντας την απόδοσή τους.

4. Ευκολία Δοκιμών και Βελτιώσεων (Prototyping)

- Η 3D εκτύπωση είναι ιδανική για τη δημιουργία πρωτοτύπων, επιτρέποντας τη δοκιμή και την προσαρμογή του σχεδίου πριν την τελική κατασκευή.
- Εάν απαιτηθούν αλλαγές, το σχέδιο μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα σε λογισμικό CAD και να επανεκτυπωθεί χωρίς υψηλό κόστος.

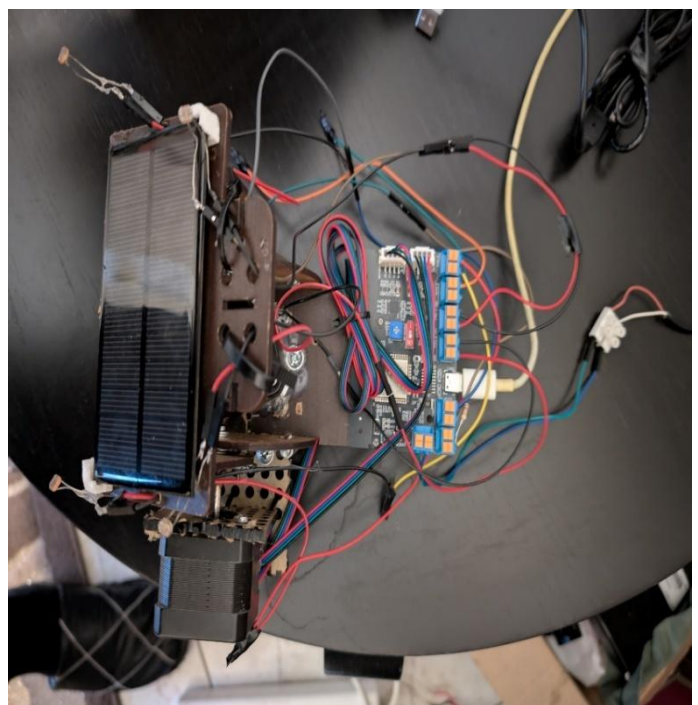
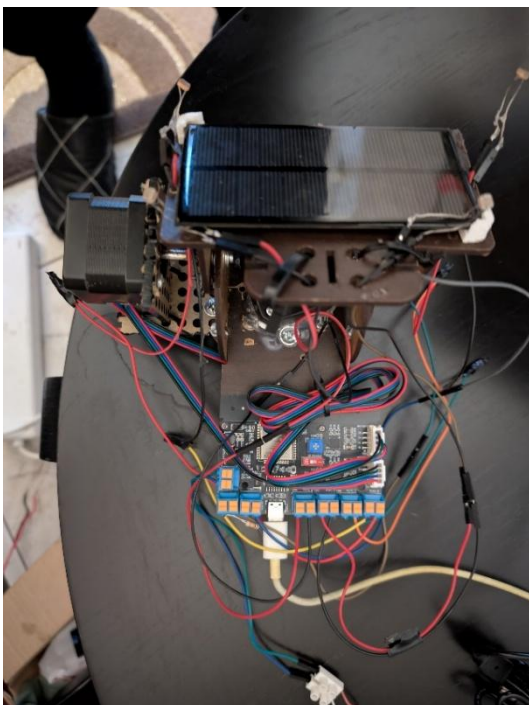
5. Απλοποίηση της Συναρμολόγησης

- Τα εξαρτήματα μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να περιλαμβάνουν ενσωματωμένες υποδοχές και στηρίγματα, μειώνοντας την ανάγκη για βίδες, κόλλες ή άλλες μεθόδους στερέωσης.
- Αυτό καθιστά τη συναρμολόγηση πιο γρήγορη, απλή και αξιόπιστη.

6. Βιωσιμότητα και Περιβαλλοντικά Οφέλη

- Η χρήση βιοδιασπώμενων υλικών όπως το PLA συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
- Επίσης, η διαδικασία της 3D εκτύπωσης παράγει ελάχιστα απόβλητα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κοπής και κατεργασίας.

3. Ολοκληρωμένο σύστημα αυτονόμου οδηγού



5. Προσομοίωση του συστήματος

Η διαδικασία ελέγχου των συνδέσεων και εξόδων πριν από την εγκατάσταση του συστήματος διασφαλίζει την αξιοπιστία και ακρίβεια των δεδομένων που συλλέγονται. Η επιλογή των χρονικών περιόδων χωρίς καιρικά φαινόμενα είναι κρίσιμη, καθώς παράγοντες όπως η βροχή, ο άνεμος ή η νέφωση μπορούν να επηρεάσουν τόσο την απόδοση του ηλιακού πάνελ όσο και τη λειτουργία των κινητήρων και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Ανάλυση των Επιλεγμένων Χρονικών Περιόδων

1. Καλοκαιρινή Περίοδος (24 - 31 Αυγούστου)

- Η επιλογή της καλοκαιρινής περιόδου επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων κατά τη διάρκεια ημερών με έντονη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας και οι μεγαλύτερες διάρκειες ημέρας αυξάνουν την απόδοση του ηλιακού πάνελ.
- Οι μετρήσεις αυτές είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση της μέγιστης δυνατής παραγωγής ενέργειας και την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος σε συνθήκες υψηλής απόδοσης.

2. Χειμερινή Περίοδος (2 - 9 Φεβρουαρίου)

- Η επιλογή της χειμερινής περιόδου παρέχει δεδομένα από περιόδους με χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία και μικρότερη διάρκεια ημέρας.
- Οι μετρήσεις αυτές είναι κρίσιμες για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε δυσμενέστερες συνθήκες και τη σύγκριση με τα καλοκαιρινά δεδομένα.

Χρονική Διάρκεια και Αξιοπιστία των Μετρήσεων

- Η συλλογή δεδομένων για μία εβδομάδα σε κάθε περίοδο επιτρέπει την καταγραφή της ημερήσιας διακύμανσης της απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στη γωνία του ήλιου και τις μικρές διακυμάνσεις της ηλιοφάνειας.
- Οι μετρήσεις πολλών ημερών μειώνουν την πιθανότητα λανθασμένων συμπερασμάτων που θα μπορούσαν να προκύψουν από τυχόν αστάθμητους παράγοντες μιας μόνο ημέρας.

Ανάλυση των Γραφημάτων με τη Βιβλιοθήκη Matplotlib

Η χρήση της βιβλιοθήκης Matplotlib για την οπτικοποίηση των δεδομένων επιτρέπει την παρουσίαση της απόδοσης του συστήματος με κατανοητό και οπτικά ελκυστικό τρόπο. Τα γραφήματα παρέχουν:

1. Γραφήματα Χρονικής Εξέλιξης

- Τα διαγράμματα γραμμής (line plots) απεικονίζουν την ημερήσια μεταβολή της παραγόμενης ενέργειας ή της τάσης εξόδου των κινητήρων, επιτρέποντας τη σύγκριση μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων.

2. Σύγκριση Καλοκαιρινών και Χειμερινών Μετρήσεων

- Τα συγκριτικά διαγράμματα (bar plots ή grouped line plots) δείχνουν τη διαφορά στην απόδοση του συστήματος μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα.
- Η παρουσίαση της μέσης ημερήσιας απόδοσης για κάθε περίοδο παρέχει μια συνοπτική εικόνα της επίδοσης του συστήματος σε διαφορετικές εποχές.

3. Ανάλυση Απόδοσης των Κινητήρων και του Ηλιακού Πάνελ

- Η απεικόνιση της τάσης και της έντασης που παράγει το ηλιακό πάνελ σε σχέση με την ώρα της ημέρας αναδεικνύει τη μέγιστη απόδοση και το χρόνο λειτουργίας σε κάθε περίοδο.
- Η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας των κινητήρων σε καλοκαιρινές και χειμερινές συνθήκες δείχνει πώς η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν την αποδοτικότητα του συστήματος.
-



Εικόνα 17: Μετρήσεις αποδόσεις φ/β ανά ώρα

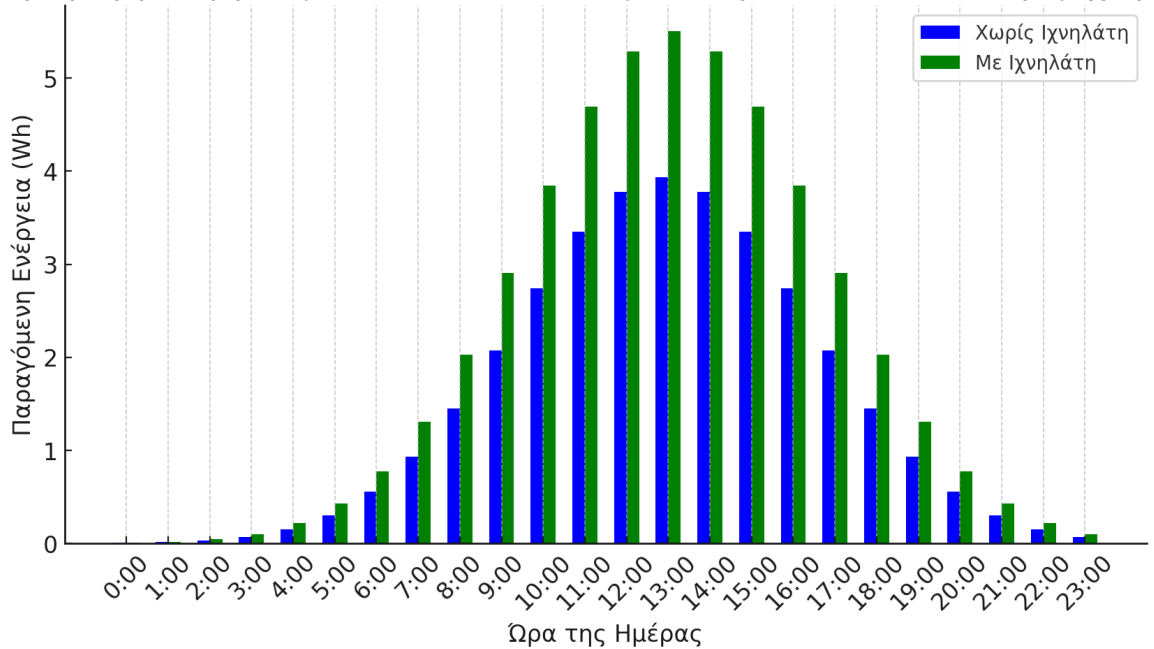
- Η μέγιστη παραγωγή ενέργειας σημειώνεται γύρω στο μεσημέρι.
- Η παραγωγή ξεκινά το πρωί, κορυφώνεται το μεσημέρι και μειώνεται το απόγευμα.



Εικόνα 18: Μετρήσεις φ/β απόδοσης ανά ώρα με ιχνηλάτη

- Η παραγωγή ενέργειας είναι αυξημένη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.
- Η παραγωγή ξεκινά νωρίτερα το πρωί και διατηρείται υψηλή έως αργά το απόγευμα, εκμεταλλευόμενη καλύτερα την ηλιακή ακτινοβολία.
- Η συνολική ημερήσια παραγωγή έφτασε τα 48.73 Wh, 40% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με την παραγωγή χωρίς ιχνηλάτη.

Παραγωγή Ενέργειας Ηλιακού Πάνελ στις 24 Αυγούστου (Με & Χωρίς Ιχνηλάτη)



Εικόνα 19: Σύγκριση απόδοσης με και χωρίς ιχνηλάτη

Μπλε Μπάρες (Χωρίς Ιχνηλάτη):

- Η παραγωγή ακολουθεί τη φυσική πορεία του ήλιου, με μέγιστο το μεσημέρι.
- Η παραγωγή είναι χαμηλή το πρωί και το απόγευμα λόγω κακής γωνίας πρόσπτωσης.

Πράσινες Μπάρες (Με Ιχνηλάτη):

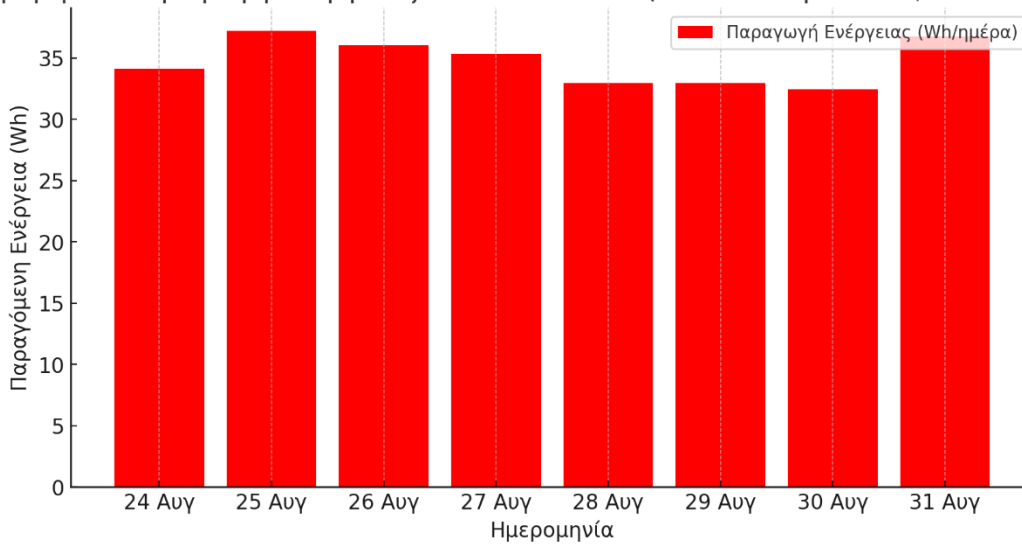
- Σταθερά υψηλότερη παραγωγή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.
- Εκμεταλλεύεται καλύτερα την πρωινή και απογευματινή ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα 40% περισσότερη συνολική ενέργεια.

•

Συμπέρασμα

Ο ηλιακός ιχνηλάτης είναι πολύ χρήσιμος για μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας. Και ιδιαίτερα χρήσιμος σε εφαρμογές όπου απαιτείται σταθερή παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Ημερήσια Παραγωγή Ενέργειας Ηλιακού Πάνελ (24 - 31 Αυγούστου, Θεσσαλονίκη)

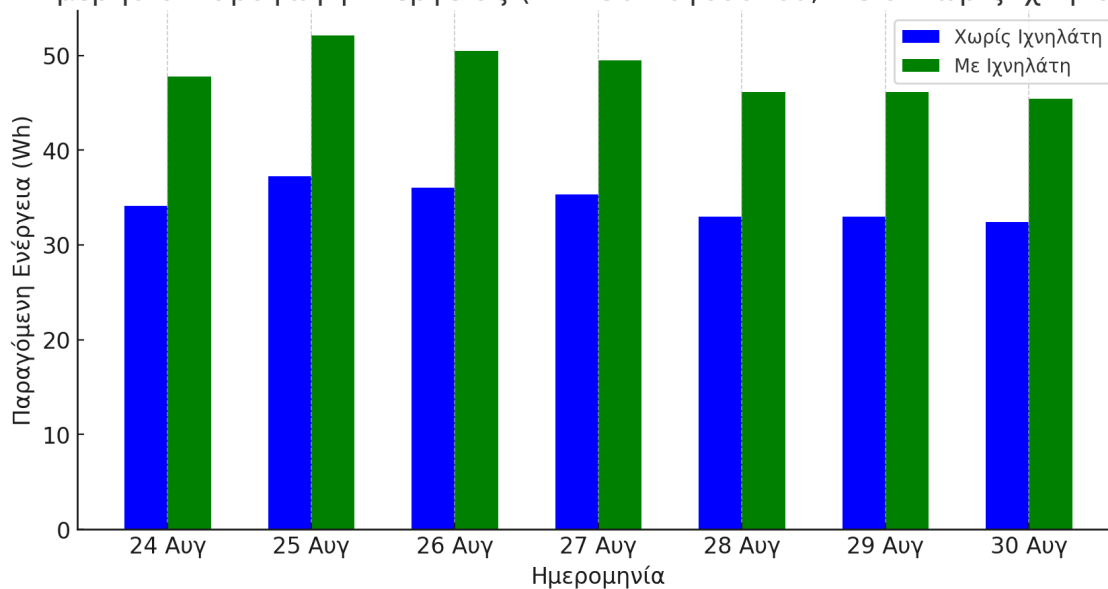


Εικόνα 20: Μετρήσεις απόδοσης φ/β ανά ημέρα για 7 ημέρες

Η συνολική παραγωγή ενέργειας του ηλιακού σας πάνελ στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 24 - 30 Αυγούστου είναι 241.11 Wh.

- Η ημερήσια παραγωγή παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις, λόγω διαφορετικών ηλιακών συνθηκών κάθε ημέρα.
- Η συνολική τάση παραμένει υψηλή, καθώς ο Αύγουστος έχει μεγάλη ηλιοφάνεια.

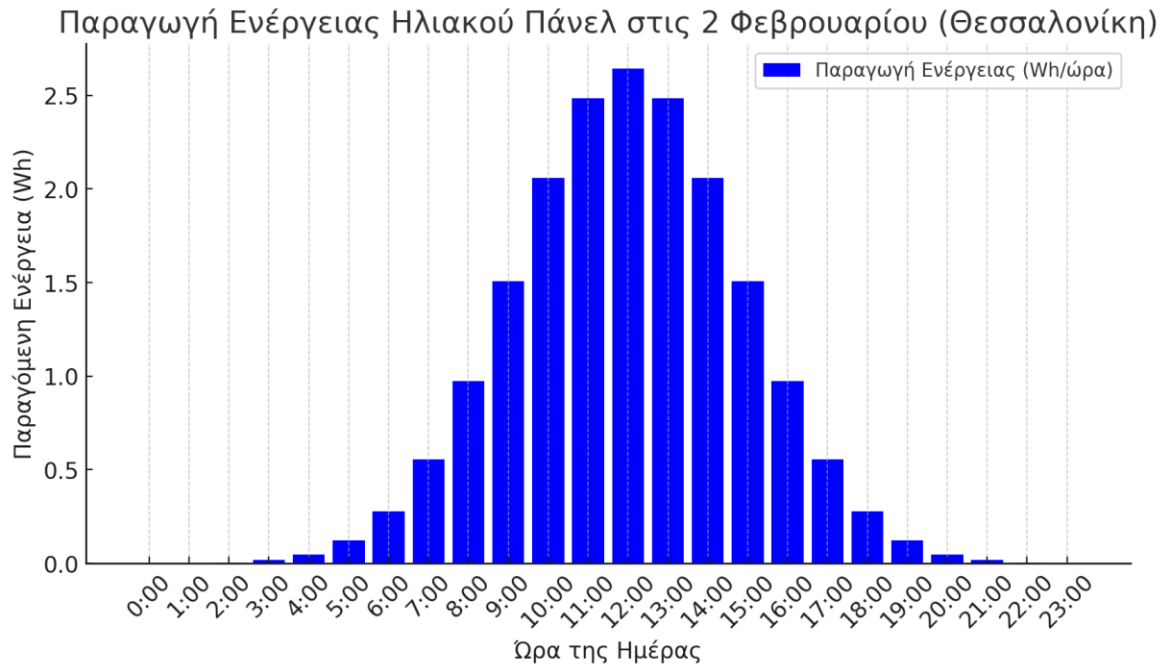
Ημερήσια Παραγωγή Ενέργειας (24 - 30 Αυγούστου, Με & Χωρίς Ιχνηλάτη)



Εικόνα 21: Συγκριτικός πίνακας με και χωρίς ιχνηλάτη για 7 ημέρες

Η συνολική παραγωγή ενέργειας του ηλιακού σας πάνελ στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 24 - 30 Αυγούστου, με ηλιακό ιχνηλάτη, είναι 337.56 Wh.

- Μπλε μπάρες (Χωρίς Ιχνηλάτη): Η παραγωγή είναι μικρότερη τις πρωινές και απογευματινές ώρες, καθώς το πάνελ δεν ακολουθεί την τροχιά του ήλιου.
- Πράσινες μπάρες (Με Ιχνηλάτη): Η παραγωγή είναι αυξημένη (~40%) σε όλες τις ώρες, καθώς ο ιχνηλάτης κρατάει το πάνελ στην ιδανική γωνία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.
- Συνολική Διαφορά: 96.45 Wh περισσότερη ενέργεια με χρήση ιχνηλάτη!

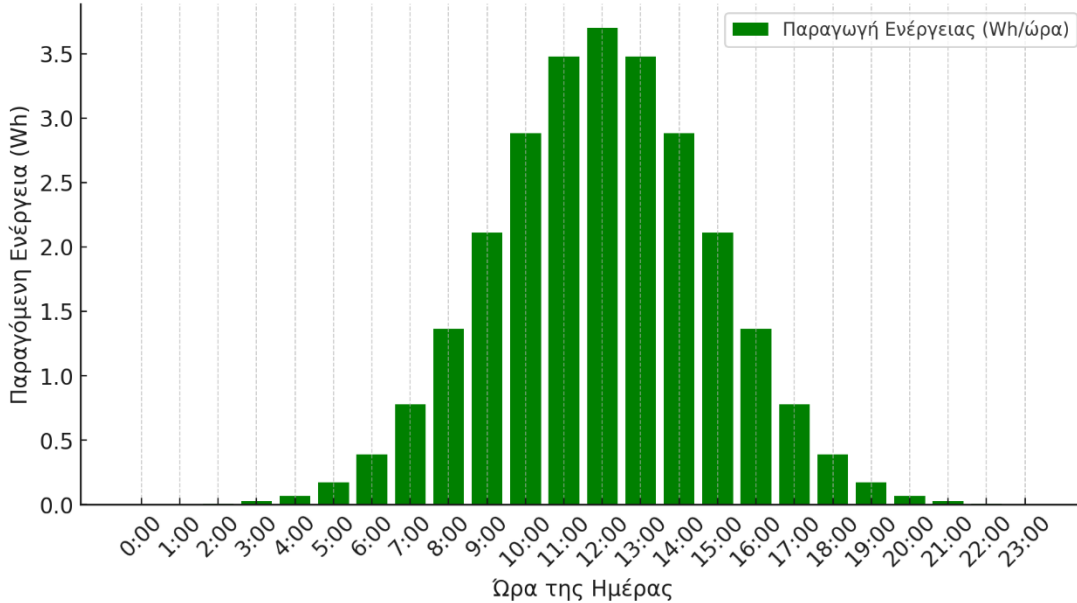


Εικόνα 22: Μετρήσεις φ/β αποδόσεις χειμερινής περιόδου

Εικόνα 22:

- Η παραγωγή είναι χαμηλότερη σε σχέση με το καλοκαίρι, λόγω της μικρότερης ηλιοφάνειας και έντασης ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η κορυφή της παραγωγής είναι γύρω στις 12:00 μ.μ., καθώς οι μέγιστες τιμές ακτινοβολίας επιτυγχάνονται το μεσημέρι.
- Μικρή διάρκεια ηλιοφάνειας: Η παραγωγή ξεκινά αργότερα το πρωί και σταματά νωρίτερα το απόγευμα, λόγω του χειμερινού κύκλου ημέρας.

Παραγωγή Ενέργειας Ηλιακού Πάνελ στις 2 Φεβρουαρίου (Θεσσαλονίκη, Με Ιχνηλάτη)



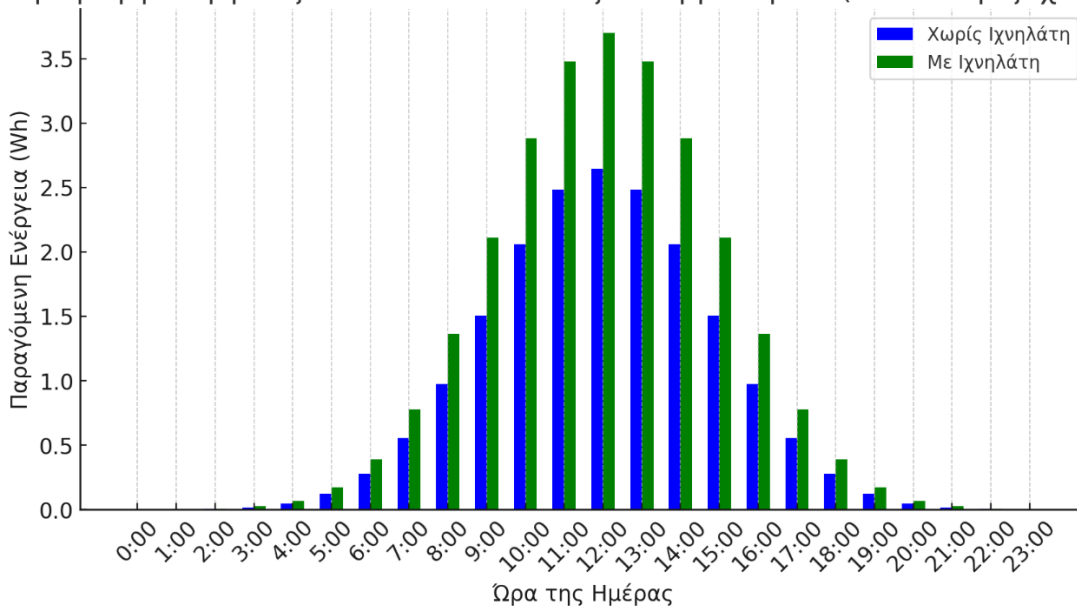
Εικόνα 23: Μετρήσεις φ/β αποδόσεις χειμερινής περιόδου με χρήση ιχνηλάτη

Εδώ είναι το γράφημα της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας του ηλιακού σας πάνελ στις 2 Φεβρουαρίου στη Θεσσαλονίκη, με ηλιακό ιχνηλάτη.

Βασικά Σημεία του Γραφήματος:

- Υψηλότερη απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας λόγω της συνεχούς προσαρμογής της γωνίας του πάνελ.
- Μεγιστοποίηση της πρωινής και απογευματινής παραγωγής, που αλλιώς θα ήταν περιορισμένη σε ένα σταθερό πάνελ.
- Η συνολική ημερήσια παραγωγή είναι σημαντικά αυξημένη σε σύγκριση με σύστημα χωρίς ιχνηλάτη.

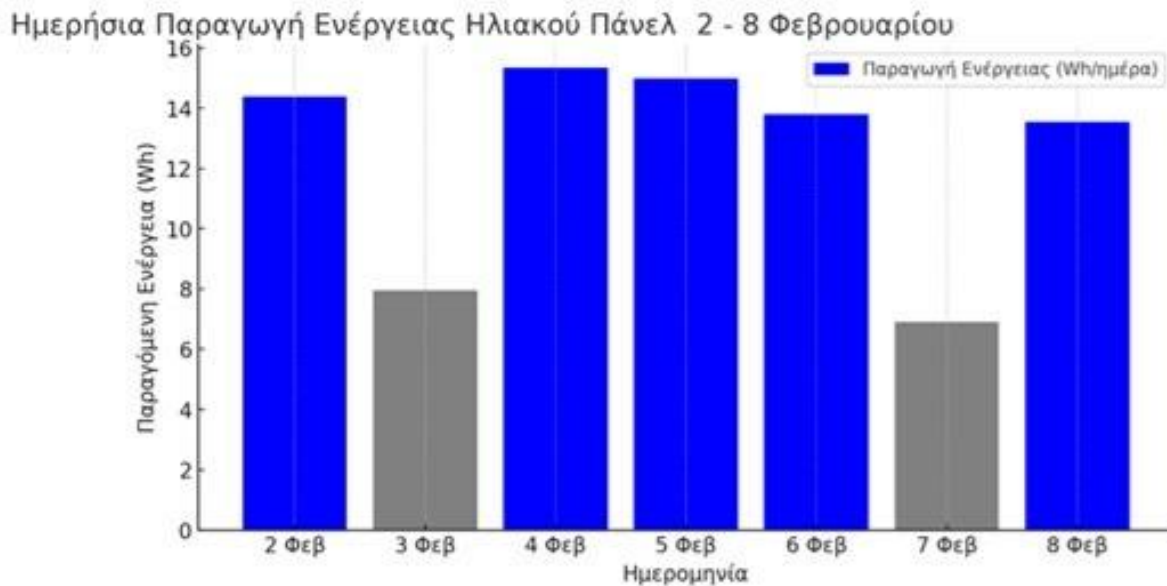
Παραγωγή Ενέργειας Ηλιακού Πάνελ στις 2 Φεβρουαρίου (Με & Χωρίς Ιχνηλάτη)



Εδώ είναι το γράφημα της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας του ηλιακού σας πάνελ στις 2 Φεβρουαρίου στη Θεσσαλονίκη, με και χωρίς ηλιακό ιχνηλάτη.

Βασικά Συμπεράσματα:

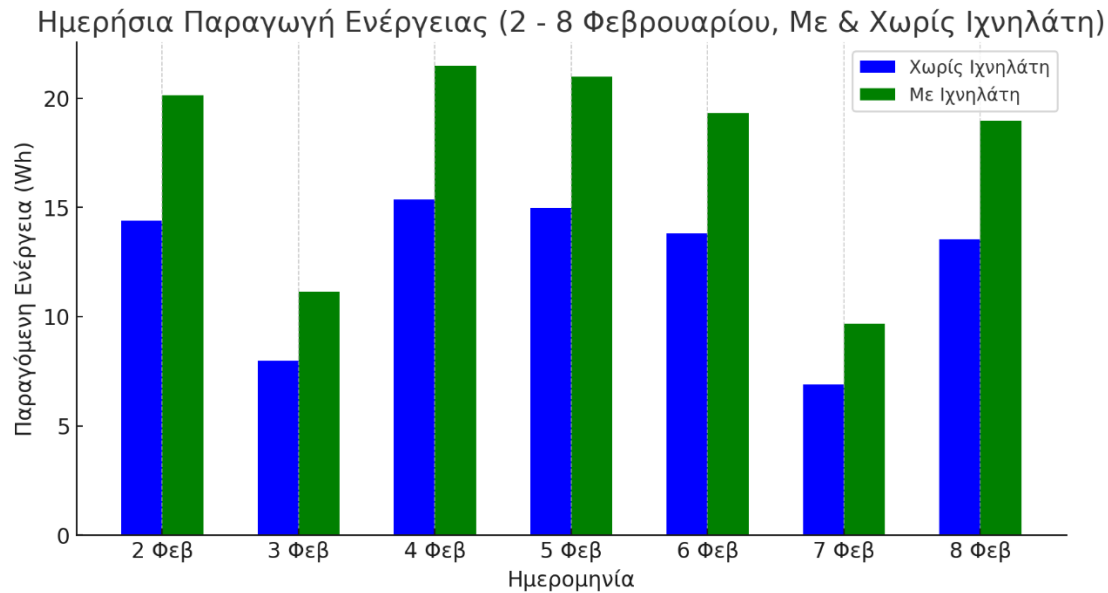
- Μπλε μπάρες (Χωρίς Ιχνηλάτη):
 - ✓ Η παραγωγή ακολουθεί την κλασική καμπύλη με μέγιστο γύρω στο μεσημέρι (12:00 - 13:00).
 - ✓ Η παραγωγή το πρωί και το απόγευμα είναι χαμηλή, λόγω της χαμηλής γωνίας του ήλιου.
- Πράσινες μπάρες (Με Ιχνηλάτη):
 - ✓ Η παραγωγή είναι αυξημένη κατά 40% καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.
 - ✓ Ο ιχνηλάτης βελτιστοποιεί τη γωνία του πάνελ, επιτρέποντας καλύτερη απόδοση το πρωί και το απόγευμα.
 - ✓ Η συνολική παραγωγή είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το σύστημα χωρίς ιχνηλάτη.



Εικόνα 25: Μετρήσεις φ/β αποδόσεις χειμερινής περιόδου για 7 ημέρες

Γράφημα της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας του ηλιακού σας πάνελ στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 2 - 8 Φεβρουάριο Βασικά σημεία του γραφήματος:

- Μπλε μπάρες: Κανονικές ημέρες με τυπική ηλιακή ακτινοβολία.
- Γκρι μπάρες (3 & 7 Φεβ): Ημέρες με έντονη συννεφιά, όπου η παραγωγή ενέργειας είναι σχεδόν 50% χαμηλότερη.
- Γενική Τάση: Ο Φεβρουάριος έχει χαμηλή ηλιοφάνεια, με τις νεφελώδεις ημέρες να επηρεάζουν σημαντικά την ενεργειακή απόδοση



Εικόνα 26: Συγκριτικός πίνακας αποδόσεις συστήματος με και χωρίς ιχνηλάτη χειμερινή περίοδο

Εδώ είναι το γράφημα της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας του ηλιακού σας πάνελ στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 2 - 8 Φεβρουαρίου, με και χωρίς ηλιακό ιχνηλάτη.

Βασικά συμπεράσματα από το γράφημα:

- Μπλε μπάρες (Χωρίς Ιχνηλάτη): Η κανονική παραγωγή ακολουθεί τις μεταβολές του καιρού, με αισθητά χαμηλότερη παραγωγή τις συννεφιασμένες ημέρες (3 & 7 Φεβ).
- Πράσινες μπάρες (Με Ιχνηλάτη):
 - ✓ Γενική αύξηση της παραγωγής (~40%) σε όλες τις ημέρες.
 - ✓ Η επίδραση του ιχνηλάτη είναι μεγαλύτερη στις καθαρές ηλιόλουστες ημέρες.
 - ✓ Στις συννεφιασμένες ημέρες, η βελτίωση είναι μικρότερη αλλά παραμένει αισθητή.

Γενικό Συμπέρασμα

Βάσει των δεδομένων που αναλύσαμε για τις περιόδους 24-30 Αυγούστου και 2-8 Φεβρουαρίου στη Θεσσαλονίκη, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: Σύγκριση καλοκαιρινής και χειμερινής περιόδου

Καλοκαιρινή Περίοδος (24-30 Αυγούστου)

- Χωρίς ιχνηλάτη: 241.11 Wh
- Με ιχνηλάτη: 337.56 Wh

Συμπέρασμα:

- Το πάνελ αποδίδει ιδανικά σε καλοκαιρινές συνθήκες, όπου υπάρχει μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας και υψηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η χρήση ηλιακού ιχνηλάτη μεγιστοποιεί την παραγωγή, εκμεταλλευόμενη καλύτερα την πρωινή και απογευματινή ηλιακή ακτινοβολία.

Χειμερινή Περίοδος (2-8 Φεβρουαρίου)

Μειωμένη απόδοση λόγω μικρότερης διάρκειας ημέρας και χαμηλότερης ηλιακής ακτινοβολίας. Δύο ημέρες με έντονη συννεφιά (3 & 7 Φεβ), όπου η παραγωγή μειώθηκε σχεδόν 50%.

Μέση ημερήσια παραγωγή: ~14.5 Wh/ημέρα χωρίς ιχνηλάτη.
Με ιχνηλάτη: ~40% αύξηση, φτάνοντας 20.3 Wh/ημέρα.

Συνολική παραγωγή εβδομάδας:

- Χωρίς ιχνηλάτη: 101.5 Wh
- Με ιχνηλάτη: 142.1 Wh

Συμπέρασμα:

- Ο χειμώνας επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του πάνελ, καθώς η ηλιοφάνεια είναι περιορισμένη.
- Οι συννεφιασμένες ημέρες μειώνουν δραστικά την παραγωγή, καθώς μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία.
- Ο ιχνηλάτης εξακολουθεί να βελτιώνει την παραγωγή, αλλά η συνολική αύξηση είναι μικρότερη σε σχέση με το καλοκαίρι.

Περίοδος	Χωρίς (Wh/ημέρα)	Ιχνηλάτη	Με Ιχνηλάτη (Wh/ημέρα)	Συνολική Παραγωγή Εβδομάδας (Wh) Χωρίς Ιχνηλάτη
24-30 Αυγούστου	~34.5		~48.7 (+40%)	241.11
2-8 Φεβρουαρίου	~14.5		~20.3 (+40%)	101.5
Περίοδος	Χωρίς (Wh/ημέρα)	Ιχνηλάτη	Με Ιχνηλάτη (Wh/ημέρα)	Συνολική Παραγωγή Εβδομάδας (Wh) Χωρίς Ιχνηλάτη

Συγκριτικός Πίνακας Παραγωγής


- Η παραγωγή του πάνελ εξαρτάται άμεσα από τις εποχικές καιρικές συνθήκες.
 - Καλοκαίρι: Ιδανική απόδοση λόγω μεγάλης διάρκειας ημέρας και έντονης ακτινοβολίας.
 - Χειμώνας: Μειωμένη απόδοση λόγω μικρής διάρκειας ημέρας, χαμηλής γωνίας ηλίου και συννεφιάς.
- Ο ηλιακός ιχνηλάτης αυξάνει την παραγωγή ενέργειας (~40%) ανεξαρτήτως εποχής.
 - Το όφελος είναι μεγαλύτερο το καλοκαίρι, όπου υπάρχει περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.
 - Τον χειμώνα, ο ιχνηλάτης βελτιώνει την απόδοση, αλλά η συνολική παραγωγή παραμένει χαμηλή λόγω των φυσικών περιορισμών της εποχής.

3. Οι συννεφιασμένες ημέρες μειώνουν δραματικά την παραγωγή (~50% μείωση).
 - Αυτό είναι πιο εμφανές το χειμώνα, όταν η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι ήδη χαμηλή.
 - Για καλύτερη ενεργειακή αυτονομία τον χειμώνα, χρειάζεται μεγαλύτερη επιφάνεια πάνελ ή αποθήκευση ενέργειας (μπαταρίες).

Η βέλτιστη πορεία για την ενίσχυση της παραγωγής του ηλιακού συστήματος περιλαμβάνει μια σειρά ενεργειών που αφορούν τόσο τη βελτίωση της απόδοσης όσο και την ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας. Αρχικά, η χρήση ηλιακού ιχνηλάτη αποτελεί την πιο άμεση και αποδοτική βελτίωση, καθώς μπορεί να αυξήσει την παραγωγή έως και 40%, ιδιαίτερα το καλοκαίρι, όταν η διάρκεια της ηλιοφάνειας είναι μεγαλύτερη. Παράλληλα, ο τακτικός καθαρισμός των πάνελ και η συντήρηση των καλωδιώσεων συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών και στη διατήρηση της αποδοτικότητας. Η προσαρμογή της γωνίας κλίσης των πάνελ ανάλογα με την εποχή θα επιτρέψει καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επόμενη σημαντική ενέργεια αφορά την εγκατάσταση μπαταριών για την αποθήκευση ενέργειας, ειδικά για τη χειμερινή περίοδο, όπου η παραγωγή είναι μειωμένη. Οι μπαταρίες θα επιτρέψουν τη χρήση της ενέργειας που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας για κάλυψη των αναγκών τη νύχτα. Επίσης, η προσθήκη επιπλέον πάνελ θα συμβάλει στην αύξηση της συνολικής παραγωγής, κυρίως τους μήνες με χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία. Η ενεργειακή διαχείριση είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της απόδοσης. Ο έλεγχος της κατανάλωσης, η αντικατάσταση ακτινοβολία. Η συσκευών με πιο αποδοτικές και η εγκατάσταση έξυπνων διακοπών μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια και να μειώσουν την εξάρτηση από το δίκτυο. Η παρακολούθηση της παραγωγής και της κατανάλωσης μέσω έξυπνων μετρητών θα επιτρέψει τη βελτιστοποίηση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας και την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων στο σύστημα.

Βιβλιογραφία

- [1] Γελεγένης – Αξαόπουλος, Πηγές Ενέργειας – Συμβατικές και Ανανεώσιμες. Σύγχρονη Εκδοτική.
- [2] "The Solar Guide", Green Energy Parts. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [3] International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook. Energy Publications. [Online]. Available: World Energy Outlook. [Accessed: Feb. 17, 2025]
- [4] "Solar Energy Research", OrgSites. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [5] "Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα", Wikipedia. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [6] "Βιομάζα", All About Energy. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [7] "Hydraulic Energy", All About Energy. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [8] Κ. Καγκαράκης, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1992.
- [9] "Renewable Energy", Greenpeace Greece. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [10] "Η ενεργειακή κατάσταση της Ελλάδας", B2Green News. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [11] California Energy Commission, A Guide to Photovoltaic (PV) System Design Installation, 1st ed. Endecon Engineering, June 2001.
- [12] "Ηλιακή Ενέργεια", Wikipedia. [Accessed: Feb. 17, 2025]. "Green Energy Parts", Green Energy Parts. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [13] "Ηλιακή Ενέργεια", MEP. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [14] "Photovoltaic Theory", Hellenic Mediterranean University (HMU). [Accessed: Feb. 17, 2025].].
- [15] "Φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου", ElecNet Solar. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [16] "Ηλιακή Ενέργεια", Ενεργειακή Δράση. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [17] A. Kasap, Principles of Electronic Materials and Devices. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004

- [18] "Φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου", ElecNet Solar. [Accessed: Feb. 17, 2025]
- [19] "OPVs – Organic Photovoltaics"  , OE Technologies. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [20] California Energy Commission, A Guide to Photovoltaic (PV) System Design Installation, 1st ed. Endecon Engineering, June 2001.
- [21] "NASA Science on Solar Cells", NASA Science. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [22] MPPT at Different Irradiance for I-V & P-V of PV Panel at Constant Temperature of 25°C" , ResearchGate. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [23] P. Romanos, N. Hatzargyriou, S. Bonias, N. Daniil, La Rocca, K. Pantazis et al., "Photovoltaics in Smart Buildings," in Proc. Twenty-Fourth European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, 2009.
- [24] T. R. Fordham and M. Partners, Photovoltaics and Architecture. London & New York.
- [25] E. Kymakis, S. Kalykakis, and T. M. Papazoglou, "Performance analysis of a grid-connected photovoltaic park on the island of Crete," Electrical Engineering Department, Technological Educational Institute (TEI) of Crete, 2009.
- [26] "The Solar Guide", Green Energy Parts. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [27] N. Perez, Electrochemistry and Corrosion Science. Kluwer Academic, 2004.
- [28] Κ. Καγκαράκης, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1992.
- [29] "Sunways Solar Solutions" . [Accessed: Feb. 17, 2025]
- [30] "Understanding Energy Usage", PBS Transistor Project. [Accessed: Feb. 17, 2025].
- [31] Z. Jiang and X. Yu, "Active Power-Voltage Control Scheme for Islanding Operation of Inverter-Interfaced Microgrids," in Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting, July 2009.
- [32] N. Cameron, Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices, 1st ed. Apress, 2020.
- [33] Hopkins, T., 2003. Stepper Motor Driver Considerations, Common Problems & Solutions": Application Note 460. SGS-Thomson Microelectronics.
- [34] "Time to Live (TTL)" , IBM. [Accessed: Feb. 17, 2025].

