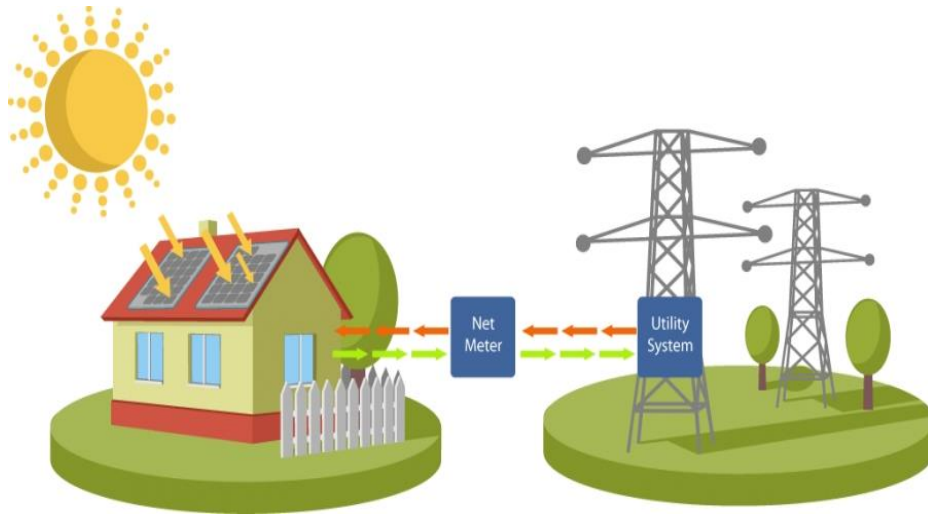




ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ | ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.
ΤΜΗΜΑ :ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ (NET-METERING) ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΣΙΔΗΡΟΥ



Αμπέλ Α. Σιμέ

Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Α. Κατσίγιαννης

Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΤΕΙ Κρήτης
MSc, BSc, PhD Μηχανικού Παραγωγής & Διοίκησης Πολ. Κρήτης, BSc Μηχανικού Περιβάλλοντος Πολ. Κρήτης

Έτος Παρουσίασης

2020

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Συμβατικά καύσιμα.....	7
1.1.1 Πετρέλαιο	7
1.1.2 Φυσικό αέριο (ΦΑ)	8
1.1.3 Γαιάνθρακες.....	8
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	10
1.2.1 Αιολική ενέργεια.....	10
1.2.2 Γεωθερμική ενέργεια.....	11
1.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	12
1.2.4 Βιομάζα.....	13
1.2.5 Βιοαέριο.....	14
1.3 Ήλιος	14
1.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	15
1.3.2 Ηλιακή σταθερά.....	16
1.3.3 Σύσταση της Ατμόσφαιρας	16
1.3.4 Τρύπα του όζοντος	17
1.3.5 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας	18
1.3.6 Ηλιακή Ενέργεια	20
1.3.7 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	21
1.4 Κλιματική Αλλαγή (Υπερθέρμανση του πλανήτη)	23
1.4.1 Παγκόσμια πολιτική	23
1.4.2 Πολιτική της ΕΕ (Ευρωπαϊκή Ένωση)	23
1.5 Σκοπός της εργασίας.....	25
1.5.1 Σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων:.....	25
2 Φ/Β ενέργεια στην Ελλάδα	27
2.1 Νόμος 3468/2006	28
2.1.1 Στόχος της Ελλάδας	29
2.1.2 Νομοθετικό Πλαίσιο Net Metering	29
3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	32
3.1 Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα	32
3.2 Υβριδικά συστήματα	33
3.3 Συνδεδεμένα στο δίκτυο ΦΒ συστήματα (NET METERING)	33
3.4 Μονοφασικά -Τριφασικά συστήματα.....	34
3.4.1 Τριφασικά ΦΒ συστήματα.....	35

3.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Πάνελ)	36
3.5.1 ΦΒ στοιχεία κρυσταλλικού πυρίτιου	37
3.5.2 Τεχνολογία Λεπτού Υμενίου (Thin Film)	40
3.5.3 Νέες τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών	43
3.5.4 Ηλεκτρική συμπεριφορά ΦΒ	45
3.6 Αντιστροφές	52
3.6.1 Μικροί μετατροπείς	55
3.7 Μπαταρίες (υβριδικό σύστημα - εκτός δικτύου (Off-Grid))	56
3.7.1 Μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης	56
3.8 Καλωδιώσεις	58
3.9 Τρόποι στήριξης Φ/Β πάνελ	60
3.9.1 Σταθερές βάσεις	60
3.9.2 Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου (trackers)	61
4 Μελέτη Φωτοβολταϊκού σταθμού για ηλεκτροπαραγωγή	63
4.1 Τοποθεσία εγκατάστασης	63
4.2 Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας	64
4.3 Προσανατολισμός-Υπολογισμός ισχύος Εγκατάστασης	66
4.4 ΦΒ Πλαίσια (Πάνελ)	70
4.5 Inverter (Αντιστροφέας)	72
4.6 Καλωδίωση	73
4.7 Βάση στήριξης	73
5 Μελέτη ΦΒ συστήματος με το λογισμικό PVsyst	75
5.1 PVsyst	75
5.2 Βήμα 1 - Τοποθεσία	77
5.3 Βήμα 2- Σύστημα	79
5.4 Βήμα 3 - Καλωδίωση και απώλειες	81
5.5 Βήμα 4 - Οικονομικά στοιχεία	84
5.6 Αποτελέσματα	85
5.7 Οικονομοτεχνικά	88
5.8 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) του έργου	90
5.9 Ενεργειακός συμψηφισμός (Net Metering)	91
6 Συμπεράσματα	91
7 Βιβλιογραφία	93
7.1 Άρθρα – Οδηγοί – Βιβλία	93
7.2 Ιστότοποι	94

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Κ. Ιωάννη Α. Κατσίγιαννη για την εμπιστοσύνη και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο των φωτοβολταϊκών, αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγηση κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κ. Αντώνη Τριαντάφυλλο ιδιοκτήτη του εργαστήριου που μελετήθηκε και μου παρείχε αρκετά σημαντικά δεδομένα για την ολοκλήρωση της πτυχιακής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ΔΕΔΗΕ Ρόδου για όλη την βοήθεια στο θέμα των ισχυόντων νόμων, εγκαταστάσεις, τιμολογήσεις κ.α..

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αναλύονται οι έννοιες της ενέργειας των συμβατικών καυσίμων, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και ιδιαίτερα αυτή της ηλιακής ενέργειας. Εξετάζεται το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής ως παγκόσμιο πρόβλημα και αναλύονται όλες οι δράσεις αποτροπής και επιβράδυνσης σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο και τον ρόλο που διαδραματίζουν οι ΑΠΕ στην αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου. Γίνονται αναφορές στους τύπους Φωτοβολταϊκών συστημάτων που εφαρμόζονται σε παγκόσμια κλίμακα και περιλαμβάνουν τα αυτόνομα, υβριδικά και διασυνδεδεμένα συστήματα. Αναγράφονται αναλυτικά όλα τα απαραίτητα βήματα για μελέτη και εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένο στο δίκτυο με ενεργειακό συμψηφισμό (Net Metering) για ένα εργαστήριο σιδήρου και αλουμίνιου στο νησί της Ρόδου και γίνεται οικονομική ανάλυση για την επίτευξη της μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος με παράλληλη μείωση του λογαριασμού του καταναλωτή προς την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ενεργειακός συμψηφισμός, ΑΠΕ, περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκή μελέτη, οικονομική ανάλυση

ABSTRACT

This thesis analyzes the concepts of energy regarding conventional fuels, renewable energy sources (RES) and especially solar energy. Climate change is examined as a global problem, as well as all the role of RES in dealing with this phenomenon combined with prevention actions at global and European level. Different types of photovoltaic (PV) systems that have been implemented worldwide are mentioned, including autonomous, hybrid and interconnected systems. The necessary steps for study and installation of an interconnected PV system with Net Metering are included for an iron and aluminum laboratory in Rhodes Island, combined with a financial analysis concerning the mitigation of environmental footprint and the reduction of consumer expenses to Power Public Corporation (PPC).

KEY WORDS

Settlement (Net Metering), RES (Renewable Energy Systems), environmental footprint, solar energy, photovoltaic study, economic analysis

1 Εισαγωγή

Ο άνθρωπος ανέκαθεν αναζητούσε ενέργεια για να καλύψει τις βασικές του ανάγκες, έτσι με την ανακάλυψη της φωτιάς κατάφερε να την εκμεταλλευτεί για την παρασκευή της τροφής, εξοπλισμού, θέρμανσης κ.α.. Με την πάροδο αρκετών αιώνων και την χρήση μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών πόρων από το υπέδαφος της γης κατάφερε να εκβιομηχανιστεί και να εξελιχτεί. Τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία αύξηση της τεχνολογίας και του παγκοσμίου πληθυσμού οδήγησε και στην αύξηση ζήτησης ενέργειας κυρίως από συμβατικούς μεθόδους παραγωγής. Το αποτέλεσμα ήταν η απελευθέρωση βλαβερών αέριων ρύπων στο περιβάλλον και συγκεκριμένα του (CO₂) διοξειδίου του άνθρακα που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και συνεπακόλουθα στην υπερθέρμανσή του πλανήτη. Σε αυτή την ενδεχομένη απειλή του περιβάλλοντος με πρωτοβουλίες του ΟΗΕ (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών) και των χωρών που την απαρτίζουν έχουν αρχίσει να συνδράμουν για την αποτροπή της κλιματικής αλλαγής. Μια από τις λύσεις στο μεγάλο πρόβλημα είναι η απομάκρυνση του ανθρώπου από τα συμβατικά καύσιμα και η μετάβαση του σε μεθόδους παραγωγής πράσινης ενέργειας που είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Έτσι τα τελευταία χρόνια οι κυβερνήσεις κυρίως των αναπτυσσόμενων χωρών με συμφέρουσες διατάξεις (νόμους) προωθούν άδειες για εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) σε ιδιώτες και επιχειρήσεις. Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής θέσης που κατέχει είναι κατά κύριο λόγο συνδεδεμένη με την ηλιοφάνεια, έχει μεγάλο πλεονέκτημα στην αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού και τη μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια ή την θέρμανση νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες). Πιο συγκεκριμένα, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από την ηλιακή ακτινοβολία και στην συνέχεια διοχετεύεται μέσω του δικτύου στην ελληνική αρχή ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΗ ή σε αυτόνομο σύστημα εκτός δικτύου (Off Grid) με την χρήση συσσωρευτών.

1.1 Συμβατικά καύσιμα

Είναι οι ουσίες οι οποίες κατά την ένωσή τους με το οξυγόνο του αέρα παράγουν θερμότητα, χωρίζονται σε στερεά, υγρά και αέρια ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση. Στα στερεά καύσιμα ανήκουν οι διάφορες κατηγορίες γαιανθράκων όπως είναι ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, ο ανθρακίτης, στα υγρά καύσιμα ανήκουν το φωτιστικό πετρέλαιο, το πετρέλαιο ντίζελ, το μαζούτ, τα λιπαντικά, οι παραφίνες, η βενζίνη, το οινόπνευμα κ.α. ενώ αέρια καύσιμα είναι το υγραέριο, το φωταέριο, το φυσικό αέριο κ.λπ. Οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ονομάζονται ορυκτά καύσιμα, καθώς εξορύσσονται από το θαλάσσιο έδαφος ή το υπέδαφος.

1.1.1 Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο σχηματίστηκε πριν από εκατομμύρια χρόνια από νεκρούς φυτικούς και ζωικούς μικροοργανισμούς. Με την ανακάλυψη του αντικατέστησε τους γαιάνθρακες και τις ατμομηχανές καθώς ήταν ευκολότερη η μεταφορά του και οι μηχανές ήταν πιο αποδοτικές. Ως καύσιμο χρησιμοποιήθηκε στη βιομηχανία των μεταφορικών μέσων (αυτοκίνητα, αεροπλάνα, πλοία, τραίνα), τη θέρμανση χώρων και τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι παχύρρευστο μαύρο ή βαθύ καφετί ή πρασινωπό υγρό πέτρωμα που αποτελεί και τη σπουδαιότερη σήμερα φυσική πηγή ενέργειας. Αντλείται από το υπέδαφος ως αργό πετρέλαιο με γεωτρήσεις και αποτελείται κυρίως από υγρούς υδρογονάνθρακες, μικρές ενώσεις του θείου, οξυγόνο και άζωτο. Επεξεργάζεται σε διυλιστήρια πετρελαίου και διαχωρίζεται σε διάφορα συστατικά είναι η πρώτη ύλη για να παραχθούν χιλιάδες αντικείμενα καθημερινής χρήσης και όχι μόνο όπως:

- Υγραέριο
- Βενζίνη
- Κηροζίνη
- Πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης
- Μαζούτ
- Ορυκτέλαιο
- Παραφίνη
- Άσφαλτο

Εκτός από τα παραπάνω παράγεται μεγάλος αριθμός οργανικών ουσιών, όπως:

- Διαλύτες
- Απορρυπαντικά
- Φάρμακα
- Τεχνητές υφάνσεις ύλες
- Πλαστικά

1.1.2 Φυσικό αέριο (ΦΑ)

Το φυσικό αέριο είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και ανήκει στην 2η οικογένεια των αέριων καυσίμων. Εξάγεται από φυσικές κοιλότητες, υπόγειες ή υποθαλάσσιες και μετά από πρωτογενή επεξεργασία μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι τις περιοχές κατανάλωσής με ειδικούς αγωγούς μεγάλης διαμέτρου σε υψηλή πίεση. Το φυσικό αέριο έχει θετική επίπτωση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς εκπέμπει κατά την καύση για παραγωγή ίσου ποσού ενέργειας 43% λιγότερο CO_2 από τον άνθρακα και 30% λιγότερο από το πετρέλαιο, συναντάτε στην φυσική του μορφή άχρωμο και άοσμο. Χρησιμοποιείτε κυρίως στις οικίες και παρέχει ευκολία, αυτονομία, ασφάλεια και οικονομία.

Βασικά οφέλη χρήσης ΦΑ:

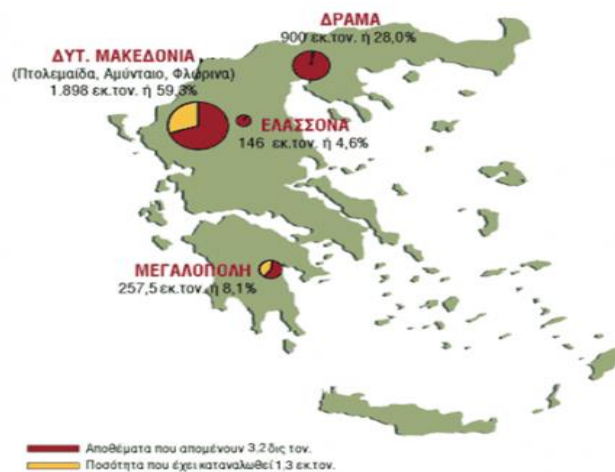
- **Οικονομία:** Συγκρινόμενο με τις τιμές του πετρελαίου και του ρεύματος. Υψηλότερη απόδοση καύσης και μικρότερο κόστος συντήρησης.
- **Καλύτερη διαχείριση:** Γνώση ανά πάσα στιγμή της ποσότητας φυσικού αερίου που έχει καταναλωθεί, και πληρωμή μόνο της ποσότητας αυτής.
- **Εύχρηστο:** Διαθέσιμο σε διάφορους χώρους χρήσης, χωρίς παραγγελία και δεξαμενή αποθήκευσης.
- **Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής:** Λόγω της καθαρής καύσης δεν παράγεται τέφρα και με τακτική συντήρηση εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των συσκευών χρήσης.
- **Ασφάλεια:** Με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές που εφαρμόζονται στον Τεχνικό Κανονισμό Εσωτερικών Εγκαταστάσεων, εγγυώνται τα υψηλότερα επίπεδα ασφαλείας.
- **Οικολογικό:** Με την καθαρή καύση που έχουμε δεν μένουν υπολείμματα, ούτε παράγονται ενώσεις θείου, όπου είναι μια από τις σημαντικότερες αιτίες ρύπανσης.
- **Πρακτικό:** Με πληθώρα νέων συσκευών (επιτυχή λέβητες) δίνεται η δυνατότητα για ιδιαίτερες λύσεις σε εγκατάστασης όπως ανακαινίσεις και αυτονομήσεις κατοικιών.

1.1.3 Γαιάνθρακες

Οι γαιάνθρακες ή ορυκτοί άνθρακες είναι ιζηματογενή κοιτάσματα ιογενούς προέλευσης τα οποία είναι πλούσια σε άνθρακα. Δημιουργήθηκαν από διάφορα φυτικά λείψανα που συγκεντρώθηκαν σε κάποια λεκάνη και στη συνέχεια ενταφιάστηκαν στο εσωτερικό της γης και στη συνέχεια, υπό την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης που επικρατούν στο εσωτερικό της γης η φυτική ύλη ενανθρακώθηκε με τη βοήθεια αναερόβιων βακτηριδίων. Η πορεία ενανθράκωσης οδήγησε σε διάφορους τύπους ανθράκων οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- **Τύρφη:** Έχει προκύψει από μικρή ενανθράκωση ποωδών φυτών, ελωδών περιοχών. Το χρώμα της ποικίλλει, ανάλογα με το pH του περιβάλλοντος ενανθράκωσης.
- **Λιγνίτης:** Περιέχει μέχρι και 30% άνθρακα (C). Είναι καστανόμαυρος, με ξυλώδη υφή και στερείται λάμψης. Καίγεται παράγοντας καπνό.
- **Βιτουμενιούχοι άνθρακες:** Περιέχουν μέχρι και 85% άνθρακα (C). Το χρώμα τους είναι μαύρο, με υαλώδη λάμψη και αποβάφουν στα δάκτυλα.
- **Ανθρακίτες:** Περιέχουν 92-95% άνθρακα (C) και 5-8% πτητικά συστατικά. Έχουν λάμψη, κογχοειδή θραύση και δεν αποβάφουν στα δάκτυλα.
- **Γραφίτης:** Είναι σχεδόν καθαρός άνθρακας (C) και προέρχεται από διαδικασίες μεταμόρφωσης. Έχει μικρή σκληρότητα (H=2, στην κλίμακα Mohs), λιπαρώδη υφή και γκριζόμαυρο χρώμα με τα πτητικά του συστατικά <5%.

Στην Ελλάδα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές της Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου, Φλώρινας, Μεγαλόπολης, Ελασσόνας, Αλιβέρι Εύβοιας και Δράμας. Οι σπουδαιότερες λιγνιτοφόρες λεκάνες είναι της Πτολεμαΐδας (Πτολεμαΐδα, Κομνηνά, Αγ. Χριστόφορος, Περδίκια), Πλειοκαινικής ηλικίας, της Μεγαλόπολης και Δράμας (Πλειστοκαινικής ηλικίας) και της Φλώρινας (Μειοκαινικής ηλικίας). Ο λιγνίτης διακρίνεται σε τυρφώδη λιγνίτη (το 25% των αποθεμάτων της χώρας), σε λιγνίτη (το 64%) και σε υποβιτουμενιούχο λιγνίτη (το 11%). Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια (*Εικόνα 1*). Παρόλο που η αξιοποίηση του προσφέρει πολλές θέσεις εργασίας στην τοπική αγορά και συντελεί σημαντικά στην αύξηση του Εθνικού προϊόντος, έχει αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο (από εκτοπισμό έως τα προβλήματα υγείας) και στο περιβάλλον λόγω των υψηλών εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και αέριων του θερμοκηπίου από τις ενεργειακές μονάδες και την υποβάθμιση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων.



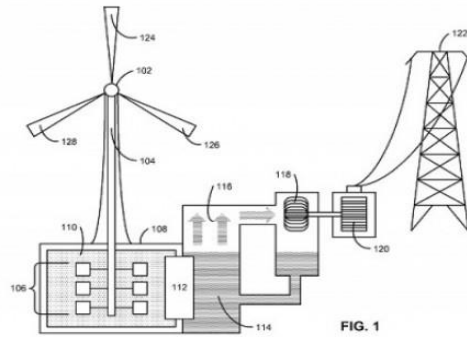
Εικόνα 1: Περιοχές με αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας ή νέες πηγές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική, υδροηλεκτρική, βιομάζα, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων το βιοαέριο κ.α.. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, απλά εκμεταλλεύεται η υπάρχουσα ροή ενέργειας στη φύση. Πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φίλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι θεωρούνται η αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

1.2.1 Αιολική ενέργεια

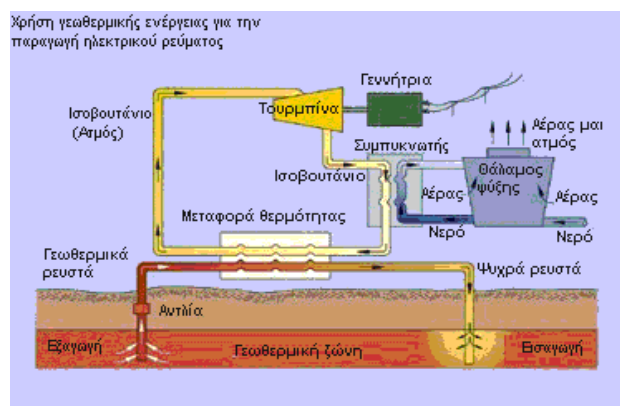
Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη. Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος. Η ανεμογεννήτρια είναι η μηχανή εκείνη που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ανεμογεννήτρια δουλεύει ως εξής, ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια τα οποία είναι συνδεδεμένα με έναν περιστρεφόμενο άξονα. Αυτός ο άξονας περνάει σε ένα κιβώτιο μετάδοσης κίνησης και το κιβώτιο συνδέεται με έναν άλλον άξονα μέσου του οποίου κινείται μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 2). Ωστόσο οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών, κυρίως αποδημητικών. Σε κάθε περίπτωση, πριν τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου ή και οποιασδήποτε εγκατάστασης ΑΠΕ πρέπει να έχει προηγηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Επιπλέον, για τη δημιουργία αιολικών πάρκων πρέπει να ληφθεί υπόψη η επιβάρυνση που θα προκληθεί στην τοποθεσία, διότι για να γίνει η εγκατάσταση θα πρέπει να κοπούν δέντρα η γενικώς να καταστραφεί μέρος της γης στην οποία θα γίνει το εγχείρημα. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τόπου εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) τα παραπάνω προβλήματα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί. Η Ελλάδα διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό, σε αρκετές περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου, της Ευβοίας και φυσικά στα νησιά του Αιγαίου. Σε αυτές τις περιοχές βρίσκονται και τα περισσότερα αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών σε βέλτιστη διάταξη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού.



Εικόνα 2: Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτρια και η διαδρομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο.

1.2.2 Γεωθερμική ενέργεια

Είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που πηγάει από το εσωτερικό της γης που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Μεταφέρεται στην επιφάνεια με θερμική επαγωγή και με την είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της. Προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25°C έως 360°C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150°C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 3). Η κυριότερη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στην θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων. Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της, (Εικόνα 4) (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη) θα μπορούσε να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου νερού, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές.



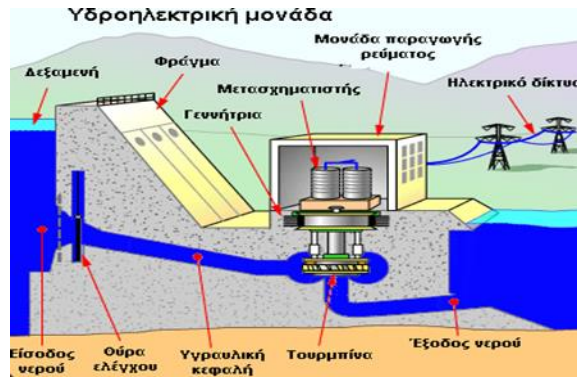
Εικόνα 3: Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από γεωθερμική ενεργεια αλλά μόνο στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν θερμοκρασία πάνω από 150°C.



Εικόνα 4: Περιοχές με γεωθερμικό δυναμικό στον Ελλαδικό χώρο.

1.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

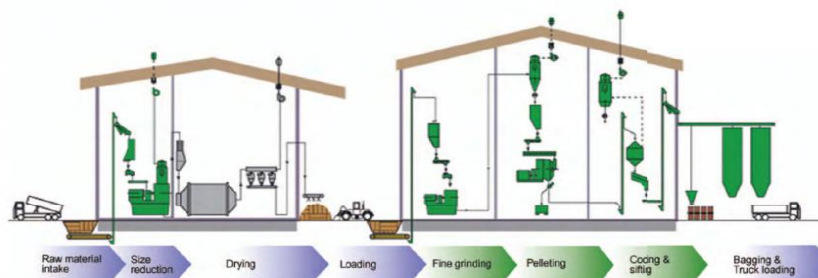
Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε) είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια, στο πρώτο στάδιο μέσω της περωτής του στροβίλου έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής και στο δεύτερο στάδιο μέσω της γεννήτριας επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική (Εικόνα 5). Η δέσμευση-αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Τα περιβαλλοντικά οφέλη ενός Υδροηλεκτρικού Σταθμού είναι ποικίλα εξίσου και τα μειονέκτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς είναι μεγάλης κλίμακας, αλλά με μια καλοσχεδιασμένη μελέτη μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα. Τα Μικρής κλίμακας Υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) είναι κυρίως "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, και συνεπώς ούτε κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων. Γι' αυτό το λόγο γίνεται συνήθως και ο διαχωρισμός μεταξύ μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών. Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, καθώς το σύνολο των επιμέρους παρεμβάσεων στην περιοχή εγκατάστασης του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους. Η Ελλάδα κατά το πλείστον ορεινή χώρα (πάνω από 80%), συγκεντρώνει τα περισσότερα βουνά στην βορειοδυτική πλευρά της, το οποίο προσφέρεται για υδροηλεκτρική ανάπτυξη. Το ετήσιο θεωρητικό υδροδυναμικό της ανέρχεται σε περίπου 80 TWh, το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό φτάνει τις 12 TWh ενώ μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί περίπου το 40%.



Εικόνα 5: Τα βασικά μέρη μιας Υδροηλεκτρικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

1.2.4 Βιομάζα

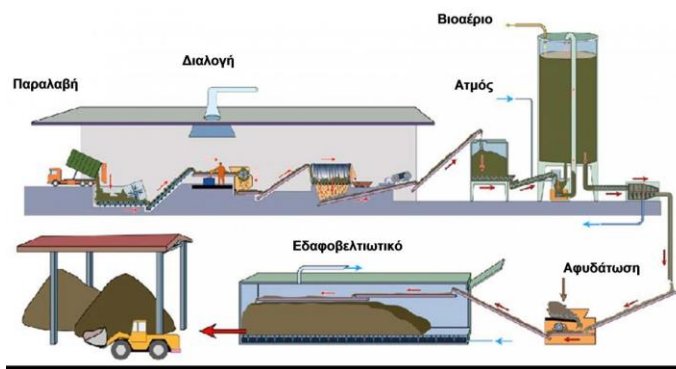
Με τον όρο βιομάζα ορίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τους συναφείς κλάδους συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων. Ουσιαστικά η βιομάζα αποτελεί την ύλη που έχει άμεση ή έμμεση βιολογική(οργανική) προέλευση. Σε περίπτωση που η βιομάζα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας μιλάμε για στερεά (πέλετες, μπριγκέτες, πυρηνόξυλα, ροκανίδια, καυσόξυλα),υγρά (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ) τα οποία έχουν συχνή εφαρμογή ως καύσιμα κίνησης. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της, αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή. Στην Ελλάδα υπάρχουν και λειτουργούν έξι μονάδες παραγωγής πέλετς(*MAKH A.E. Λάρισα 20.000 τον/έτος, Bioenergy Hellas Co Σικούριο Λάρισας 5.000 τον/έτος, Σακκάς Σ. Παλαμάς Καρδίτσας 20.000 τον/έτος , Alfa Wood, Νευροκόπι 65.000 τον/έτος, Angelousis S.A. Βελεστίνο Βόλος Ecoa, Κατερίνη*). Αυτές οι μονάδες (Εικόνα 6) χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τα υπολείμματα κατεργασίας κυρίως των πιστηρίων, αλλά και των μονάδων ξυλοκατασκευών (μονάδες παλετών, κουφωμάτων κ.α.), δηλαδή πριονίδι, ξακρίδια, αποκόμματα, πλανίδια.



Εικόνα 6: Μονάδα επεξεργασίας πέλετς και διαδικασία παράγωγής.

1.2.5 Βιοαέριο

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση απόβλητης και υπολειμματικής βιομάζας, όπως αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων (βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων), οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων άλλων αγροτοβιομηχανικών μονάδων, λυμάτων μονάδων βιολογικών καθαρισμών, διαφόρων κλασμάτων απορριμμάτων που μπορούν να βιοαποικοδομηθούν, καθώς και καλλιεργειών που μπορούν να αναπτυχθούν με σκοπό την παραγωγή ενέργειας μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης (ζύμωσης). Η πρώτη ύλη, που χρησιμοποιείται για τη διεργασία αυτή, δυνητικά περιέχει επιβαρυντικούς χημικούς και μολυσματικούς βιολογικούς παράγοντες. Η Αναερόβια Χώνευση είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα όπως τα ιζήματα θαλάσσιου ύδατος, το στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη τύρφης. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου (Εικόνα 7), το αποτέλεσμα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε ποσοστά 55-70% και 30-45% αντίστοιχα. Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή και αεριοστρόβιλους με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

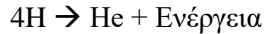


Εικόνα 7: Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων (βιολογικός καθαρισμός) και παραγωγή βιοαερίου μέσω διεργασίας αναερόβιας χώνευσης.

1.3 Ήλιος

Η σημασία του Ήλιου στην εξέλιξη και την διατήρηση της ζωής στη Γη είναι καίρια, καθώς δίνει όλη την ενέργεια στην Γη. Με τη θεμελιώδη διαδικασία της φωτοσύνθεσης προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των φυτών και από αυτά των ζωντανών οργανισμών και διατηρεί την επιφανειακή θερμοκρασία της Γης σε ανεκτά για τη ζωή επίπεδα αλλά και με την ενέργειά του προκαλεί τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Είναι ένα τυπικό αστέρι, με μάζα 2×10^{30} kg ακτίνα 700.000 km ηλικία 5×10^9 χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι περίπου 5800 K ενώ η εσωτερική περίπου 15.000.000 K. Η υψηλή θερμοκρασία του ηλίου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Δύο είναι τα βασικά είδη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στις μάζες των άστρων. Η μία ονομάζεται αλυσίδα πρωτονίου - πρωτονίου και η άλλη κύκλος του άνθρακα. Και στα δύο αυτά είδη αντιδράσεων 4 πυρήνες υδρογόνου (H-1) συγχωνεύονται σε ένα πυρήνα ηλίου (He-4) εκπέμποντας συγχρόνως συνολική ενέργεια 26,2 εκατομμυρίων ηλεκτρονιοβόλτ (MeV). Στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής όταν 1000 γραμμάρια

υδρογόνου συγχωνεύονται δημιουργούν 993 γραμμάρια ηλίου (He), γεγονός που σημαίνει ότι χάνονται συνολικά μόλις 7 γραμμάρια ύλης.



Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε He εκλύεται ενέργεια ίση με 1.67×10^{18} kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο συμπάν κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή.

1.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Με τον όρο ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια εννοούμε την ακτινοβολία – ενέργεια που δέχεται ο πλανήτης μας από τον ήλιο. Η τροχιά της γης, κατά την κίνηση της γύρω απ' τον ήλιο είναι ελλειπτική με τον ήλιο στη μια των εστιών της με μήκος μεγάλου ημιάξονα, $a=149,6 \times 10^6$ km και εκκεντρότητα $e=0,01673$. Η απόσταση γης -ήλιου μεταβάλλεται περιοδικά κατά την διάρκεια του έτους μεταξύ της μέγιστης τιμής της (4 Ιουλίου) που ονομάζεται αφήλιο ($152,1 \times 10^6$ km) και της ελάχιστης (3 Ιανουάριου) που ονομάζεται περιήλιο ($147,1 \times 10^6$ km) το μήκος του ημιάξονα a προσεγγιστικά $150.000.000$ km λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα και συμβολίζεται ως 1AU (Astronomic Unit). Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως με την ταχύτητα των 300.000 km/s απαιτούνται 8.5 min. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον αστέρα προς το διάστημα και άρα η πυκνότητα ισχύος E (Σχέση1) της ακτινοβολίας του μεταβάλλεται αντιστρόφως αναλόγως με το τετράγωνο της απόστασης:

$$E = P / 4\pi d^2 \text{ (Σχέση1)}$$

όπου P η ολική σ' όλα τα μήκη κύματος εκπεμπόμενη από απ' όλη την επιφάνεια του ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής και d η απόσταση από τον ήλιο στην οποία μετράτε η ένταση.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης εξαρτάται:

- A) Από την εκάστοτε απόσταση ηλίου-γης
- B) Από το ύψος του ηλίου πάνω από τον ορίζοντα του τόπου
- Γ) Από την εκάστοτε διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα.

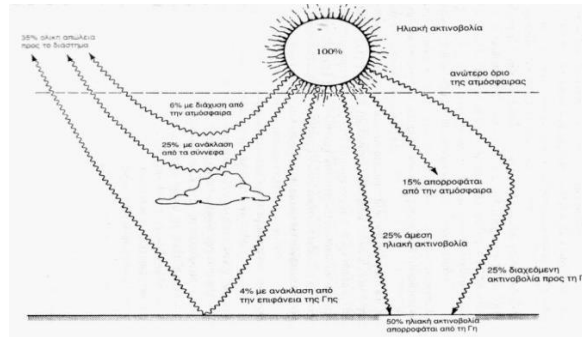
Για την εκάστοτε ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας I , χωρίς την επίδραση της ατμόσφαιρας, ισχύει η (Σχέση2):

$$I = I_0 (R_0/R)^2 \cos z \text{ (Σχέση 2)}$$

Όπου I_0 η ηλιακή σταθερά, R_0 η μέση απόσταση ηλίου-γης, R η εκάστοτε απόσταση της γης από τον ήλιο και z η εκάστοτε ζενιθία απόσταση του ηλίου. Με βάση τη (Σχέση 2) μπορεί να εκλεχθεί ότι η αναλλοίωτη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης εξαρτάται μόνο από την εκάστοτε απόσταση ηλίου - γης και από τη ζενιθία απόσταση του ηλίου. Αποδεικνύεται ότι ο παράγοντας (συν z) επηρεάζει περισσότερο τις τιμές του I σε σχέση με τον παράγοντα R . Σχετικά με τη φύση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αποδεκτό ότι: το 99% αυτής είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσεως μεταξύ $0.15 - 4.0$ μm . Η κατανομή στο όλο φάσμα της είναι 9% υπεριώδης, 45% ορατή και 46% υπέρυθρη.

Το σημαντικότερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια της γης (Εικόνα 8) ως δέσμη των ακτινών που προέρχονται απευθείας από τον ήλιο και ονομάζεται "άμεση ηλιακή ακτινοβολία". Ταυτόχρονα ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φθάνει στην επιφάνεια

του εδάφους ως «διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία». Ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος ανακλάται και ονομάζεται τότε « ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία». Ένα μέρος της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης απορροφάτε από αυτή ενώ και η γη ως θερμαινόμενο σώμα εκπέμπει με τη σειρά της προς την ατμόσφαιρα ακτινοβολία που ονομάζεται «γήινη ακτινοβολία».



Εικόνα 8: Τα σημαντικότερα μέρη της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνουν στην επιφάνεια της γης

1.3.2 Ηλιακή σταθερά

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που πέφτει κάθετα στη μονάδα της επιφάνειας που τοποθετείται στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας ανά μονάδα χρόνου και όταν η γη βρίσκεται στη μέση απόσταση από τον ήλιο, λέγεται «ηλιακή σταθερά». Στην περίπτωση του ηλιακού μας συστήματος η ηλιακή σταθερά για την γη, ορίζεται σε απόσταση 1AU (αστρονομική μονάδα και προσεγγιστικά είναι 150.000.000 km λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις). Παρόλο που η ηλιακή σταθερά είχε κάποιες διακυμάνσεις ως το 1970, μετρήσεις από δορυφόρους όρισαν την τιμή της κοντά στην περιοχή (1363-1375 W/m²) τώρα πλέον χρησιμοποιείται διεθνώς η μέση τιμή (1367 W/m²). Η μετρούμενη τιμή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός από την απόσταση μεταξύ της γης και του ήλιου εξαρτάται και από την περιοδική εμφάνιση των ηλιακών κηλίδων (είναι παροδικά φαινόμενα που εμφανίζονται στην επιφάνεια του Ηλίου, είναι ορατές ως σκοτεινές μικρές ή μεγαλύτερες κυκλικές επιφάνειες - κηλίδες, σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές της φωτόσφαιρας) και από την περιστροφή του ήλιου γύρω από τον άξονα του η οποία προκαλεί περιοδική απόκρυψη των κηλίδων. Τέλος η ηλιακή σταθερά αυξάνεται καθώς αυξάνει η ηλικία του ηλιακού συστήματος από σχετικές παρατηρήσεις έχει επιβεβαιωθεί ότι η ελάττωση της ακτίνας του ήλιου με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του.

1.3.3 Σύσταση της Ατμόσφαιρας

Με τον όρο ατμόσφαιρα της Γης εννοούμε το αέριο σώμα που περιβάλλει τη Γη και συγκρατείται λόγω της βαρύτητάς της φτάνοντας πρακτικά σε ύψος 3.500km. Το όριο ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και το διάστημα δεν είναι αυστηρά καθορισμένο, καθώς μεγαλώνει η απόσταση της από τη Γη η ατμόσφαιρα σταδιακά εξασθενεί και εξαφανίζεται σιγά σιγά στο διάστημα. Η ατμόσφαιρα προστατεύει τη ζωή στη Γη με το να απορροφά την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, να θερμαίνει την επιφάνεια της με την παρακράτηση της θερμότητας (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και να μειώνει τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας ανάμεσα στη μέρα και τη νύχτα. Η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα εξαρτάται κυρίως από το ύψος και έτσι η πυκνότητα του ελαττώνεται κατά τη διάρκεια της επανεισόδου στην ατμόσφαιρα. Η κύρια μάζα του αέρα είναι κατά 99% του συνολικού όγκου της ατμοσφαιρας και βρίσκεται στα πρώτα 37 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η Ατμόσφαιρα χωρίζεται σε πέντε διαφορετικά στρωματά (Εικόνα 9):

- Τροπόσφαιρα
- Στρατόσφαιρα
- Μεσόσφαιρα
- Θερμόσφαιρα - Ιονόσφαιρα
- Εξώσφαιρα

Τα κύρια συστατικά των κατώτατων στρωμάτων της γήινης ατμοσφαιράς είναι (Πίνακας 1) το Άζωτο N και το Οξυγόνο O₂. Σημαντικά αέρια που καθορίζουν τις κλιματικές συνθήκες στην επιφάνεια της είναι Υδρατμοί H₂O, διοξείδιο του άνθρακα CO₂, μεθάνιο CH₄, υποξείδιο του αζώτου N₂O και το Όζον O₃ κ.α..

Πίνακας 1: Τα συστατικά των κατώτατων στρωμάτων της γήινης ατμοσφαιράς.

Αέρια	Σύμβολα	Περιεκτικότητα		Πυκνότητα σε g/m ³	Μοριακό βάρος	Κρίσιμη θερμοκρ.
		Κατ' όγκο	Κατά βάρος			
Άζωτο	N	78.08	75.51	1250	28.016	-147.2
Οξυγόνο	O	20.95	23.14	1429	32.000	-118.9
Αργό	Ar	0.93	1.3	1786	39.944	-122.0
Διοξ. άνθρακος	CO ₂	0.03	~0.5	1977	44.010	31.0
Νέο	Ne	(18.18)×10 ⁻⁴	120×10 ⁻⁵	900	20.183	-228.0
Ήλιο	He	(5.24)×10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁵	178	4.003	-258.0
Μεθάνιο	CH ₄	~2.2×10 ⁻⁴	—	717	16.04	—
Κρυπτό	Kr	(1.14)×10 ⁻⁴	29.10 ⁻⁵	3736	83.7	-63.0
Οξειδ. Αζώτου	N ₂ O	(0.5±0.1)×10 ⁻⁴	—	1978	44.016	—
Υδρογόνο	H ₂	~0.5×10 ⁻⁴	0.35×10 ⁻⁵	90	2.016	-239.0
Ξένο	Xe	(0.087)×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁵	5891	131.3	16.6
Όζο	O ₃	(0-0.07)×10 ⁻⁴ έως (1-3)×10 ⁻⁴	~0.17×10 ⁻⁵	2140	48.0	5.0

1.3.4 Τρύπα του όζοντος

Τρύπα του όζοντος ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το στρώμα του όζοντος που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης (στρατόσφαιρα) μειώνεται σε πάχος πάνω από την Ανταρκτική. Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1985. Επειδή το λεπτότερο σημείο του είναι πάνω από το Νότιο Πόλο, η μείωση του πάχους του στρώματος έχει ως αποτέλεσμα την ονομαζόμενη «τρύπα» στο στρώμα του όζοντος. Το στρώμα του όζοντος είναι μια περιοχή της στρατόσφαιρας της Γης που απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας του Ήλιου. Περιέχει υψηλή συγκέντρωση όζοντος (O₃), μεγαλύτερη σε σχέση με άλλα μέρη της ατμόσφαιρας, αν και είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τη συγκέντρωση άλλων αερίων της στρατόσφαιρας. Το φαινόμενο αυτό θεωρείται πως δημιουργήθηκε από υπερβολική χρήση χλωροφθορανθράκων (CFC) που χρησιμοποιούνταν ευρέως ως προωθητικά αέρια και σε ψυκτικές συσκευές όπως τα κλιματιστικά και αποτελούν ενώσεις εξαιρετικά μεγάλης σταθερότητας πράγμα που επιτείνει την καταστροφική τους δράση κατά του όζοντος και συντελούν στην δημιουργία της τρύπας του όζοντος. Στην επέκτασή του επίσης συμβάλλουν τόσο τα καυσαέρια (από την κυκλοφορία των οχημάτων) όσο και τα αέρια απόβλητα των εργοστασίων. Οι υδροφθοράνθρακες περιλαμβάνονται στο Πρωτόκολλο του Κιότο, επειδή έχουν πολύ υψηλό δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης και αντιμετωπίζουν εκλύσεις για περιορισμούς ανάλογους με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, εξαιτίας της αναγνώρισης της συνεισφοράς των αλκανθράκων στην κλιματική αλλαγή. Στις 21 Σεπτεμβρίου 2007 περίπου 200 χώρες

συμφώνησαν να επιταχύνουν την πλήρη εξάλειψη των υδροφθοροχλωρανθράκων μέχρι το 2020. Στις αναπτυσσόμενες χώρες δόθηκε ένα μεγαλύτερο χρονικό περιθώριο, για εξάλειψη των υδροφθοροχλωρανθράκων μέχρι το 2030. Πολλές χώρες, όπως οι ΗΠΑ και η Κίνα, που είχαν αντισταθεί προηγουμένως σε τέτοιες προσπάθειες, συμφώνησαν με την επιτάχυνση του προγράμματος σταδιακής κατάργησης



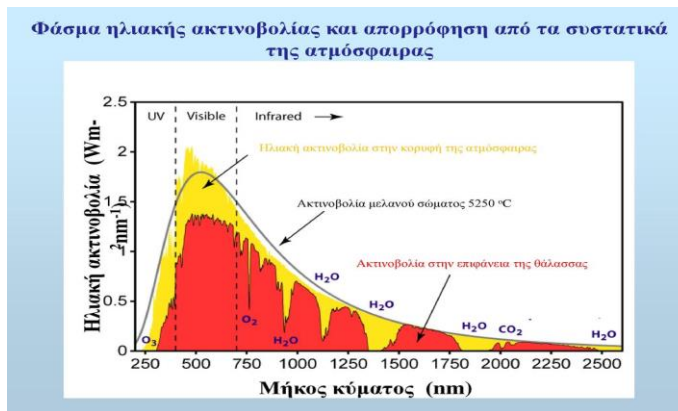
Εικόνα 9: Τα πέντε διαφορετικά στρωματά της γήινης ατμόσφαιρας

1.3.5 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας

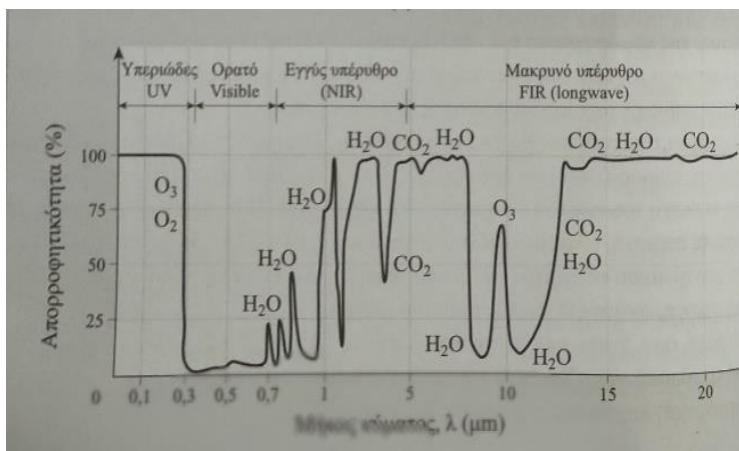
Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το γράφημα που απεικονίζει την κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας στα διαφορά μήκη κύματος (συχνότητες ή ενέργειες) (Εικόνα 10). Το τμήμα που αφορά την ανάπτυξη της ζωής και τις πρακτικές εφαρμογές στη γη, περιορίζεται στο διάστημα (Εικόνα 11) από 0,3-5 μm μικρό μέρος του οποίου αποτελεί η περιοχή του ορατού φάσματος (0,4-0,75 μm). Η απορρόφηση σε αυτήν την φασματική περιοχή είναι μειωμένη επιτρέποντας τη διόδο προς την γη στο μέρος εκείνο του ηλιακού φάσματος γύρω από το μέγιστο που είναι πολύ σημαντικό για την ζωή στον πλανήτη μας. Μεταξύ των 5 μm και 8 μm και μετρά τα 14 μm η ατμόσφαιρα απορροφά ισχυρά το ηλιακό φως ενώ μεταξύ 8 μm και 14 μm η απορρόφηση παρουσιάζεται αρκετά μειωμένη. Κατά την διέλευση της ηλιακών ακτινών από την γήινη ατμόσφαιρα η ένταση τους ελαττώνεται καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμοσφαίρας και στα πολύ μικρής διαμέτρου σωματίδια $d \leq \lambda$ -σκέδαση Rayleigh αφετέρου στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της όπως οι υδρατμοί την σκόνη και τον καπνό (Σκέδαση Mie ή Tyndall. Τα μόρια του όζοντος O_3 απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία περιορίζοντας την καρκινογόνο δράση της ενώ οι υδρατμοί H_2O , διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , μεθάνιο CH_4 , οξείδιο του αζώτου κ.α. απορροφούν σε άλλες περιοχές του φάσματος. Με αποτέλεσμα στην επιφάνεια της γης να φτάνουν δυο συνιστώσες του ηλιακού φωτός η απευθείας ή άμεση και η σκεδασμένη στα μόρια του αέρα που ονομάζεται διάχυτη. Συνεπώς προσπίπτουσα ακτινοβολία σ ένα συλλέκτη ή σε ένα αισθητήρα αποτελείτε από την απευθείας, την διάχυτη και τη διάχυτα (ανακλώμενη) από το έδαφος.

Η διάχυτη (ανακλώμενη) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφολογία του εδάφους, το χρώμα, επικάλυψη εδάφους (Εικόνα 12) και την πυκνότητα των νεφών ενώ η ολική, απευθείας και διάχυτη εξαρτώνται από τρεις παράγοντες:

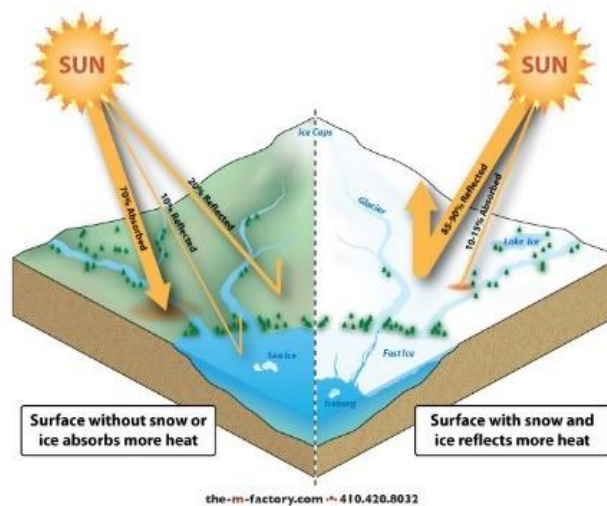
1. Τη σύσταση και γενικά την κατάσταση της ατμοσφαίρας την δεδομένη στιγμή
2. Την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους
3. Τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια του συλλέκτη καθώς μεταβάλλεται και αλλάζει το ύψος του ηλίου κατά τη διάρκεια της ημέρας



Εικόνα 10: Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος ($\lambda > 300\text{nm}$) διεισδύουν μέχρι την επιφάνεια της Γης.



Εικόνα 11: Η απορρόφηση από 0,3-5 μm σε αυτήν την φασματική περιοχή είναι μειωμένη επιτρέποντας τη δίοδο προς την γη.



Εικόνα 12: Αριστερά απορροφάει περισσότερη θερμότητα από το έδαφος ενώ δεξιά με επικάλυψη χιονιού αντανακλάτε περισσότερο.

1.3.6 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών (Εικόνα 13). Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 - 1891) ανακάλυψε το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι Adams (1836 - 1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα. Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Charin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τέσσερα χρόνια μετά, το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα αυτόνομο Φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I. Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα. Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς. Το 1962 η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την Sharp, σε έναν φάρο και η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος 242Wp. Η έρευνα προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκα ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα 500\$/Watt το 1956, το 1970 αγγίζει τα 100\$/Watt. Το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα 50\$/Watt. Η πρώτη εγκατάσταση PV που φτάνει στα επίπεδα του 1MW (μεγαβάτ) γίνεται στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual-axis trackers). Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή ΦΒ φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος στα 250.000.000\$ (205.925.088 €).

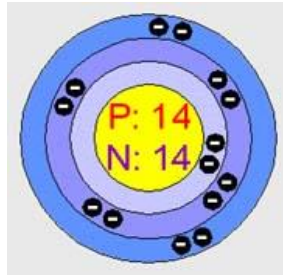


Εικόνα 13: Οι τρεις κατηγορίες εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας.

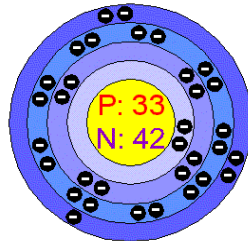
1.3.7 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκετε στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Το πυρίτιο (Si) (Εικόνα 14) έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους. Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά. Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του. Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά επιτυγχάνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n). Για την κατασκευή ενός ημιαγωγού τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένου κρύσταλλου πυριτίου πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσενικό (As) (Εικόνα 15). Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το Βόριο (B) (Εικόνα 16) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα. Τέλος όταν έρθουν σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου **τύπου n** και **τύπου p** το ένα απέναντι από το άλλο (Εικόνα 17) δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής **n** έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της Φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη ΦΒ κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου **p** αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον υπάρχει περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορεί να εκμεταλλευτεί. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα όταν

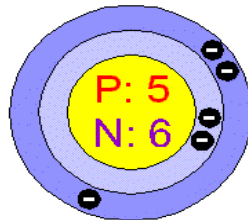
τοποθετηθεί μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα. Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό.



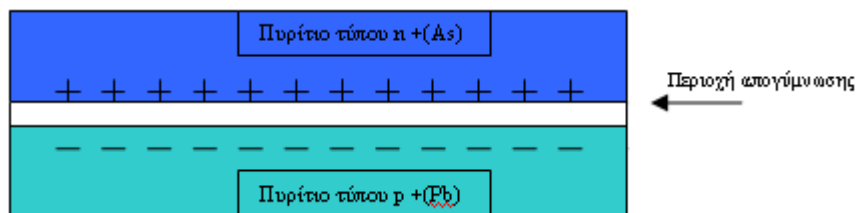
Εικόνα 14: Πυρίτιο (Si)



Εικόνα 15: Αρσένιο (As)



Εικόνα 16 : Βόριο (B)



Εικόνα 17: Δύο κομμάτια πυριτίου σε επαφή τύπου n και τύπου p, όπου δημιουργείται μια διάοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

1.4 Κλιματική Αλλαγή (Υπερθέρμανση του πλανήτη)

Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκοσμίου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Στοιχεία από τις δεκαετίες του 1960 και 1970 έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξάνονταν σημαντικά, γεγονός που οδήγησε τους κλιματολόγους αρχικά και στη συνέχεια και άλλους επιστήμονες για δράση. Το 1988, δημιουργήθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) μία Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος. Οι οποία παρουσίασε μια πρώτη έκθεση αξιολόγησης το 1990, η οποία απεικόνιζε τις απόψεις 400 επιστημόνων. Σύμφωνα με την αναφορά αυτή, το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας ήταν υπαρκτό και όφειλε να αντιμετωπιστεί άμεσα. Τα συμπεράσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής ώθησαν τις κυβερνήσεις να δημιουργήσουν τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC).

1.4.1 Παγκόσμια πολιτική

Το Πρωτόκολλο του 2015 ήταν νομικά δεσμευτικό και φιλόδοξο από την αρχή όταν εγκρίθηκε στο Παρίσι, και αποσκοπούσε στη σταδιακή κατάργηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050. Ανάλογα με το επίπεδο υπέρβασης των οριακών τιμών, η ικανότητα τέτοιων λύσεων να διατηρήσουν την κλιματική αλλαγή κάτω από τους 2 C εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την ευρεία χρήση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας με τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (BECCS), από την αποψίλωση χωρίς εύλογες διαθέσιμες εκτάσεις γης, καθώς και από τη χρήση άλλων άγνωστων τεχνολογιών δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CDR), που δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμη.

Στόχοι

- Έως το 2030, διασφάλιση της καθολικής πρόσβασης σε προσιτές, αξιόπιστες και σύγχρονες υπηρεσίες ενέργειας.
- Έως το 2030, σημαντική αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα.
- Έως το 2030, διπλασιασμός του παγκόσμιου ποσοστού βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας.
- Έως το 2030, ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας ώστε να διευκολυνθεί η πρόσβαση στην έρευνα και τη τεχνολογία καθαρής ενέργειας –συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, της ενεργειακής αποδοτικότητας και των προηγμένων και καθαρών τεχνολογιών ορυκτών καυσίμων – και να προωθηθούν οι επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές και τεχνολογίες καθαρής ενέργειας.
- Έως το 2030, επέκταση των υποδομών και αναβάθμιση της τεχνολογίας για την παροχή σύγχρονων και βιώσιμων υπηρεσιών ενέργειας για όλους στις αναπτυσσόμενες χώρες, και ιδίως στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, στα μικρά αναπτυσσόμενα νησιωτικά καθώς και στα περίκλειστα αναπτυσσόμενα κράτη, σύμφωνα με τα αντίστοιχα προγράμματα στήριξής τους.

1.4.2 Πολιτική της ΕΕ (Ευρωπαϊκή Ένωση)

Δεδομένης της αυξανόμενης εξάρτησης της Ευρώπης από ορυκτά καύσιμα, το Κοινοβούλιο της ΕΕ ανέδειξε την ανάγκη για την καταβολή από κοινού προσπαθειών στον τομέα των νέων ενεργειακών τεχνολογιών, τόσο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσο και για τις βιώσιμες τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων,

καθώς και επιπρόσθετης δημόσιας και ιδιωτικής χρηματοδότησης προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχής υλοποίηση του σχεδίου. Η ΕΕ έχει θεσπίσει νομοθεσία για τη μείωση των εκπομπών του αέριων του θερμοκηπίου.

1.4.2.1 Μείωση των αέριων ρύπων του θερμοκηπίου 30% έως το 2020

Για την διατήρηση της κλιματικής αλλαγής κάτω από 2 οC, οι αναπτυγμένες χώρες έπρεπε να μειώσουν της εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050 σε σύγκριση με το 1990. Η ΕΕ από την πλευρά της δεσμεύτηκε στην μείωση των ρύπων κατά 30% εντός των συνόρων της αλλά και την περεταίρω αύξηση κατά 20% απολαβής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η επίτευξη αυτού του στόχου θα δημιουργούσε περισσότερες θέσεις εργασίας στην πράσινη ανάπτυξη και θα μείωνε σημαντικά τους λογαριασμούς στις εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου για όλες τις χώρες της ένωσης με τελικό στόχο να έχει το θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα του αέρα της εκάστοτε χώρας. Αρκετά χρόνια μετά από αυτή την φιλόδοξη δέσμευση βρίσκεται σε καλό δρόμο καθώς οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μειώθηκαν κατά 23% μεταξύ 1990 - 2018 στο σύνολό της και αναμένεται να υπερβεί τον στόχο τον 30 % λόγω και της εξάπλωσης της πανδημίας που έχει επιβραδύνει την εκροή αέριων ρύπων από ανθρώπινες δραστηριότητες. Ωστόσο κάποιες χώρες όπως η Μάλτα, Γερμανία, Ιρλανδία και Αυστρία ενδέχεται να καταλήξουν σε επίπεδα εκπομπών υψηλότερα από τα όριά τους κατά την περίοδο 2013-2020, σύμφωνα με τις εθνικές τους προβλέψεις. Σε αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν μηχανισμούς ευελιξίας, για παράδειγμα, μεταφορές εκχωρήσεων εκπομπών από άλλα κράτη μέλη για να συμμορφωθούν με τις νομικές τους υποχρεώσεις.

1.4.2.2 Μείωση των αέριων ρύπων του θερμοκηπίου 40% έως το 2030

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε δεσμευτικό στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εντός της ΕΕ έως το 2030 κατά 40% σε σύγκριση με τις εκπομπές του 1990. Οι πολιτικές και τα μέτρα που εφαρμόζουν και προβλέπουν τα κράτη μέλη σε σχέση με τις τρέχουσες υποχρεώσεις τους μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου θα εξακολουθήσουν να ισχύουν και μετά το 2020. Αν τα μέτρα αυτά υλοποιηθούν πλήρως και είναι αποτελεσματικά, θα αποφέρουν μείωση 32% σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του 1990. Ο στόχος σε επίπεδο ΕΕ πρέπει για το 2030 έχει κατανεμηθεί μεταξύ του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της ΕΕ και του στόχου που θα πρέπει να υλοποιήσουν συλλογικά τα κράτη μέλη στους τομείς εκτός του εν λόγω συστήματος. Ο τομέας Σώμα Επιθεωρητών Δημοσίων Έργων (ΣΕΔΕ, έχει ως αποστολή την επιθεώρηση τακτική και έκτακτη των έργων, που εκτελούνται από τους φορείς του Δημοσίου σύμφωνα με τη νομοθεσία των Δημοσίων Έργων, σε όλη την επικράτεια.) θα πρέπει να επιτύχει μείωση 43% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου το 2030 και ο τομέας εκτός ΣΕΔΕ μείωση 30%, αμφότεροι σε σύγκριση με το 2005. Η συλλογική προσπάθεια για τον τομέα εκτός ΣΕΔΕ πρέπει επίσης να κατανεμηθεί μεταξύ των κρατών μελών, με τον κατάλληλο τρόπο και έγκαιρα. Επί του παρόντος, η κατανομή γίνεται ανάλογα με σχετικό πλούτο, βάσει του κατά κεφαλήν ΑΕΠ, που έχει αποτέλεσμα μεγάλες διαφορές υποχρεώσεων ανά χώρα. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο θεωρεί ότι για την υλοποίηση του πλαισίου για το 2030, κατά τον καθορισμό του στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κάθε κράτους μέλους θα πρέπει να συνεχιστεί η συνεκτίμηση αυτών των συντελεστών κατανομής και να εξασφαλίζεται, ταυτόχρονα, η ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς, για παράδειγμα, σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση και τα προϊόντα που καταναλώνουν ενέργεια. Δεδομένης της σημασίας των μελλοντικών επενδύσεων, θα απαιτηθούν επίσης λύσεις που συμβάλλουν σε βελτίωση της χρηματοδότησης. Οι εθνικοί στόχοι του 2030 για τα κράτη μέλη της ΕΕ θα διακυμανθούν από 0% - 40% σε σχέση

με το 2005, ενώ άφησαν ανοιχτό το ενδεχόμενο αναθεώρησης των νέων δεσμεύσεων για το κλίμα προς πιο φιλόδοξους στόχους. Η αναθεώρηση ενδεχομένως να γίνει αναλόγως των εξελίξεων σχετικά με τη συμφωνία του 2015 στο Παρίσι στα πλαίσια των εργασιών της Διάσκεψης των Συμβαλλόμενων Μερών της Σύμβασης Πλαίσιο Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή. Η χρήση ευέλικτων μέτρων θα βοηθήσει τα κράτη μέλη να εκπληρώσουν τους στόχους τους έναντι χαμηλότερων κοστών. Αντίθετα με τον υφιστάμενο στόχο του 2020, ο στόχος του 2030 δεν επιτρέπει τη χρήση διεθνών πιστώσεων από μειώσεις στις αναπτυσσόμενες χώρες. Για να αντισταθμιστεί η απουσία διεθνών ευελικτικών μέτρων, οι χώρες της ΕΕ συμφώνησαν στην ενίσχυση του ενδοευρωπαϊκού εμπορίου με το να επιτραπούν οι μεταφορές δικαιωμάτων μεταξύ των κρατών - μελών, ούτως ώστε να διασφαλιστεί το γεγονός ότι λαμβάνονται πρώτα τα οικονομικότερα και αποδοτικότερα μέτρα μείωσης εκπομπών. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε επίσης στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές εντός της ΕΕ έως το 2030 κατά 27%. Η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές εξακολουθεί να διαδραματίζει καίριο ρόλο στη μετάβαση προς πιο ανταγωνιστικό, ασφαλές και αειφόρο ενεργειακό σύστημα. Η μετάβαση αυτή δεν θα είναι δυνατή χωρίς υψηλότερα μερίδια ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στον βαθμό που η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές παράγεται εντός της ΕΕ, είναι επίσης δυνατόν να μειώσει το εμπορικό έλλειμμα της ΕΕ σε ενεργειακά βασικά προϊόντα, την έκθεσή της σε διακοπή του εφοδιασμού και την αστάθεια των τιμών ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, θα τονώσει την ανάπτυξη σε καινοτόμες τεχνολογίες, και να δημιουργήσει θέσεις εργασίας σε αναδυόμενους τομείς, τέλος να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση.

1.5 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με ενεργειακό συμφητισμό και η κατανόηση των βημάτων που απαιτούνται. Δηλαδή η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων κλιματικών, γεωγραφικών κ.α. μιας περιοχής και μετά από επεξεργασία αυτών, την εγκατάσταση ΦΒ συστήματος για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας με γνώμονα την τήρηση των νόμων ως προς το περιβάλλον αλλά και από τεχνικής πλευράς με απώτερο στόχο την μείωση των αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα και την μείωση του λογαριασμού ρεύματος του καταναλωτή.

1.5.1 Σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων:

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ΦΒ ενέργεια και η ευνοϊκή γεωγραφική θέση της Ελλάδας, καθώς και ο νόμος του ελληνικού κράτους για την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τέλος αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο του Net Metering.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διάφορα Φωτοβολταϊκα συστήματα και γίνεται εκτενής περιγραφή των βασικών υλικών για την λειτουργία της εγκατάστασης και η συμπεριφορά τους στους διάφορους παράγοντες που τους επηρεάζουν στην παραγωγή, απώλεια κ.α..

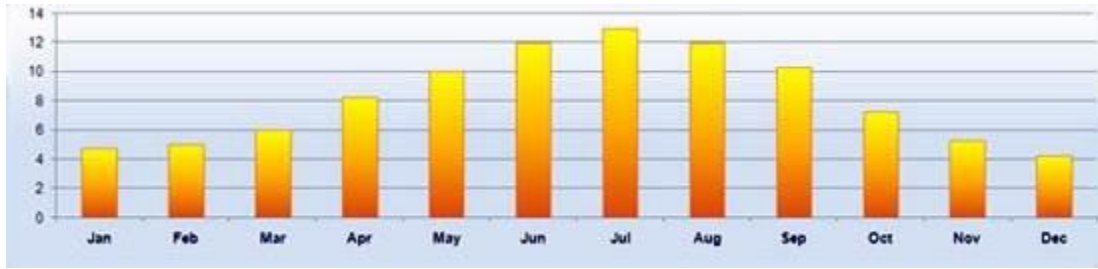
Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η τοποθεσία, προσανατολισμός, κλίση και όλα τα υλικά (πάνελ, αντιστροφεία, κ.α.) της εγκατάστασης και τέλος απαιτούμενη ισχύς εγκατάστασης για την κάλυψη των αναγκών

Στο πέμπτο κεφάλαιο με την χρήση του λογισμικού PVSyst αναλύονται τα απαραίτητα δεδομένα για την μοντελοποίηση της εγκατάστασης που μελετήθηκε καθώς και τα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστήρια.

Στο έκτο κεφάλαιο εξάγονται τα συμπεράσματα της μελέτης και όλα οφέλη που μπορεί να προσκομίσουμε κατά την εφαρμογή της.

2 Φ/Β ενέργεια στην Ελλάδα

Λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής θέσης στη Μεσόγειο και του πλούσιου ανάγλυφου της, χαρακτηρίζεται από διάφορες κλιματικές ζώνες. Η Ελλάδα, συνολικής επιφάνειας 131.957 km², και μήκους χερσαίων συνόρων 1.180,71 km ανήκει στην εύκρατη ηπειρωτική κλιματική ζώνη του βορείου ημισφαιρίου. Βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής Χερσονήσου, μεταξύ των πλατών 34 έως 42 Β και μηκών 19° - 30° Α, με ακτογραμμές (συνολικό μήκος ακτογραμμής 15.021 km) στο Αιγαίο Πέλαγος (ανατολικά), το Ιόνιο Πέλαγος (δυτικά) και το Λιβυκό Πέλαγος (νότια). Οι κύριες γεωγραφικές περιοχές της είναι η ηπειρωτική χώρα, τα νησιά και η λεκάνη του Αιγαίου. Η ηπειρωτική χώρα καταλαμβάνει περίπου το 80% της συνολικής έκτασης της χώρας. Το 20% κατανέμεται μεταξύ 6.000 περίπου νήσων και νησίδων. Η διαμόρφωση του εδάφους είναι κυρίως ορεινή και λοφώδης. Το έδαφος είναι ξηρό και βραχώδες· μόνο το 20,45% είναι καλλιεργήσιμο. Το υψόμετρο φθάνει τα 2.904 m από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Το κλίμα είναι το τυπικό μεσογειακό ήπιο και βροχεροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και εκτεταμένες περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη περίοδο του έτους. Έχει μικρή νέφωση, και μειώνεται συνεχώς από τις ορεινές περιοχές του εσωτερικού της χώρας προς τις χερσονήσους και τις ακτές. Μικρότερη νέφωση παρουσιάζουν οι Δυτικές Κυκλάδες, η Αττική, η Δυτική Κρήτη, η Λακωνία στη Νότια Πελοπόννησο, η Αργολίδα στην Ανατολική Πελοπόννησο, οι δυτικές ακτές της Πελοποννήσου, που βρέχονται από το Ιόνιο Πέλαγος, καθώς και τα νησιά του Ιονίου. Η μικρότερη νέφωση (*Εικόνα 18*) σημειώνεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Αυτούς τους δύο μήνες στις Κυκλάδες και γενικότερα στη Νοτιοανατολική Ελλάδα η νέφωση είναι ελάχιστη έως ανύπαρκτη. Γενικά η ηλιοφάνεια είναι μεγάλη, στο υψηλότερο σημείο της και φτάνει περίπου 3.000 ώρες το χρόνο στο Νότιο και Δυτικό Αιγαίο και τα νησιά του, στις ακτές της Δυτικής Κρήτης, στα Κύθηρα, στις νότιες ακτές της Πελοποννήσου, στις ακτές της Αργολίδας και στο Νότιο Ιόνιο. Επίσης, στα νησιά που βρίσκονται κοντά στις ακτές της Μικράς Ασίας και στο Βόρειο Αιγαίο. Γι' αυτόν τον λόγο στην Ελλάδα παρατηρείται μεγάλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας από τους πολίτες και επιχείρησης για θέρμανση νερού με την βοήθεια των ηλιακών θερμοσιφώνων. Οι εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων μέχρι και λίγα χρόνια αξιοποιούταν κυρίως από την ΔΕΗ σε απομακρυσμένες από το δίκτυο περιοχές, μετά το 2006 και στις αρχές της οικονομικής κρίσης το κράτος και η πολιτεία στραφήκαν στην πράσινη ενέργεια με στόχο την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος αλλά και στην εξοικονόμηση πόρων εκμεταλλευομένη το εξαιρετικό ηλιακό δυναμικό της χώρας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιδοτούνταν από το Ελληνικό κράτος μέσω του επενδυτικού νόμου Ν. 3522/06 και του αναπτυξιακού νόμου Ν. 3299/04 για επενδυτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας (επιδότηση αγοράς εξοπλισμού έως και 40% ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης και τα επιχειρηματικά κριτήρια που ικανοποιούνται). Στη συνέχεια, με βάση το νόμο Ν. 3468/06 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ο επενδυτής συνάπτει δεκαετές συμβόλαιο με μονομερή δυνατότητα ανανέωσης της σύμβασης από την πλευρά του επενδυτή για ακόμη δέκα χρόνια για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει στην ΔΕΗ.



Εικόνα 18: Ηλιοφάνεια κατά την διάρκεια του χρόνου στον Ελλαδικό χώρο, η μικρότερη νέφωση σημειώνεται τον Ιούνιο, Ιούλιο και τον Αύγουστο κυρίως στις Κυκλάδες και στη Νοτιοανατολική Ελλάδα.

2.1 Νόμος 3468/2006

Ο νόμος του ελληνικού κράτους 3468/2006 για την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις (ΦΕΚ Α' 129/27.06.2006) είναι ο νόμος που διέπει τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Βασικές ρυθμίσεις του νόμου είναι ότι επιτρέπεται σε ιδιώτες η δημιουργία μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά απαιτεί κατά κανόνα άδεια από το Υπουργείο Ανάπτυξης και ότι ο διαχειριστής του δικτύου διανομής ηλεκτρικού ρεύματος είναι υποχρεωμένος να αγοράζει την ενέργεια που παράγουν νόμιμα αδειοδοτημένες μονάδες. Ο νόμος μεταγράφει μεταξύ άλλων και την Οδηγία 2001/77/EK της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Ο 3468 προδιαγράφει τις άδειες (παραγωγής, εγκατάστασης, λειτουργίας, δόμησης) και τις εγκρίσεις (περιβαλλοντικών όρων, εργασιών μικρής κλίμακας από την αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία) που απαιτούνται (ή δεν απαιτούνται) ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας (κατηγορία) και την περιοχή στην οποία δημιουργείται. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι ανεξαρτήτως της κατηγορίας ενός έργου, απαιτείται έγκριση περιβαλλοντικών όρων αν το έργο βρίσκεται σε περιοχή Ramsar, Natura 2000, εθνικούς δρυμούς και αισθητικά δάση.

Ο ίδιος νόμος καθορίζει τις συμβάσεις (αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ) και τις τιμές πώλησης (σε Ευρώ/μεγαβατώρα) της ενέργειας που παράγεται στον ΔΕΣΜΗΕ ή στη ΔΕΗ αντίστοιχα. Σημειώνεται εδώ ότι η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για 10 επιπλέον έτη, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού, εφόσον αυτή υποβάλλεται τρεις τουλάχιστον μήνες πριν από τη λήξη της αρχικής σύμβασης.

Τέλος, οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που καθορίζονται στον 3468, ισχύουν και για τον ιδιώτη-καταναλωτή της ΔΕΗ εφόσον εγκαταστήσει στην κατοικία του διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ σύστημα παραγωγής από ΑΠΕ (π.χ. ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα ή μια ανεμογεννήτρια), μπορεί να πουλήσει τυχόν πλεόνασμα ενέργειας και να επωφεληθεί και αυτός. Η τιμή (0,55€/kWh) και το κέρδος ήταν σταθερή μέχρι το 2012. Από το 2013 και έπειτα η τιμή αυτή θα μειωνόταν κατά 5% ανά έτος. Η τιμή θα είναι σταθερή και μάλιστα θα προσαυξάνεται σύμφωνα με τον Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (ακολουθεί τον πληθωρισμό). Αν η σύνδεση πραγματοποιούνταν το 2012 η τιμή κυμαίνονταν στα 0,55 και μετά από 5 ή 10 χρόνια ενώ αν όμως γίνονταν το 2013 ή τιμή αγοράς ήταν $0,55 \times 0,95 = 0,5225$ ευρώ ανά κιλοβατώρα κ.ο.κ..

Την περίοδο 2010-2013 εγκαταστάθηκαν περίπου 42.000 οικιακά και μικρά εμπορικά φωτοβολταϊκά σε στέγες κτιρίων. Τα συστήματα αυτά πωλούσαν το παραγόμενο ρεύμα στον πάροχο με τον οποίο έχουν σύμβαση (συνήθως τη ΔΕΗ) και το 2013 αποζημιώθηκαν με 255 εκατ. ευρώ. Το 2014 υπήρξαν περικοπές στις ταρίφες πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με τον Ν. 4254/2014. Οι περικοπές αφορούσαν, όχι το σύνολο των μικρών συστημάτων, αλλά όσα εγκαταστάθηκαν από τα μέσα του 2011 και μετά.

Ανάλογα με τον χρόνο εγκατάστασης, κάθε σύστημα αποζημιώνεται και με διαφορετική τιμή (δεδομένου ότι εν τω μεταξύ υπήρξε σημαντική μείωση του κόστους εγκατάστασης) και γι' αυτό υπέστη και διαφορετική περικοπή. Η μεσοσταθμική μείωση ήταν της τάξης του 21%. Έτσι, σήμερα ο ίδιος αριθμός συστημάτων αποζημιώνεται με περίπου 210 εκατ. ευρώ.

2.1.1 Στόχος της Ελλάδας

Το νέο σχέδιο έχει ως στόχο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να προμηθεύουν το 35% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας έως το 2030, από 31% στο προηγούμενο σχέδιο. Από αυτά, τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναμένεται να αντιπροσωπεύσουν το 61% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα παρέχουν επίσης το 43% της θέρμανσης και ψύξης και το 19% των μεταφορικών αναγκών της έως το τέλος της επόμενης δεκαετίας. Το νέο εθνικό σχέδιο ενέργειας επιβάλλει 7,7 GW αθροιστικής ηλιακής Φωτοβολταϊκής χωρητικότητας έως το 2030, από περίπου 2,7 GW εγκατεστημένης ισχύος αυτή τη στιγμή. Συγκεκριμένα, το σχέδιο αποζητά την αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης Φωτοβολταϊκής χωρητικότητας από 3 GW το 2020 σε 3,9 GW το 2022, 5,3 GW το 2025 και 6,3 GW το 2027. Για τους άλλους τομείς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο στόχος είναι 7 GW αθροιστικής ισχύος αιολικής ενέργειας έως το 2030, εκτός από 3,7 GW υδροηλεκτρικής ενέργειας, 300 MW βιομάζας και βιοαερίου και 100 MW γεωθερμικής ισχύος. Τα τελευταία στατιστικά στοιχεία της Ελλάδας, που δημοσιεύθηκαν τον Νοέμβριο 2019, δείχνουν ότι έχει ήδη εγκατασταθεί 2,7 GW Φ/Β, 3,4 GW υδροηλεκτρικού, 3,2 GW αιολικού και 85 MW χωρητικότητας βιομάζας και βιοαερίου.

2.1.2 Νομοθετικό Πλαίσιο Net Metering

Με το Ν.4203/2013 (ΦΕΚ 235Α/1-11-2013) θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα των καταναλωτών για χρήση του Net Metering. Οι ρυθμίσεις αυτές τροποποιήθηκαν με το Ν.4254/2014 (ΦΕΚ 85Α/7-4-2014) ενώ στις 30/12/2014 υπογράφηκε η τελική υπουργική απόφαση σύμφωνα με την οποία καταρτίζεται το Ειδικό Πρόγραμμα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων από αυτοπαραγωγούς για την κάλυψη ιδίων αναγκών τους, με εφαρμογή ενεργειακού συμφητισμού. Το Πρόγραμμα αφορά σταθερά φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία εγκαθίστανται στον ίδιο ή όμορο χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης τις οποίες τροφοδοτούν και οι οποίες συνδέονται στο Δίκτυο. Σύμφωνα με τον νομό η ισχύς των σταθμών παραγωγής που εγκαθίστανται σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών θα προσμετράτε στο εκάστοτε ισχύον περιθώριο ισχύος ανά τεχνολογία σταθμών παραγωγής του συστήματος αυτού, σύμφωνα με τις σχετικές αποφάσεις της ΡΑΕ. Η ισχύς ενός σταθμού παραγωγής που θα εγκατασταθεί στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά δεν μπορεί να υπερβαίνει τ παρακάτω (Πίνακας 2) ανώτατα όρια ανά αυτόνομο νησιωτικό σύστημα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εγκαθίστανται επί κτιρίων ή επί εδάφους, ή άλλων κατασκευών, περιλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα (αγροτικές αποθήκες κτηνοτροφικές μονάδες, κ.λπ.) σύμφωνα με την κείμενη πολεοδομική νομοθεσία. Γενικά, οι επιτρεπόμενες εγκαταστάσεις αφορούν σε σταθερά συστήματα εδράσεις που εγκαθίστανται επ' εδάφους, επί κτιρίων ή επί άλλων κατασκευών (περιλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα), ενώ στην περίπτωση φωτοβολταϊκών σταθμών που εγκαθίστανται επί εδάφους επιτρέπεται και η χρήση συστημάτων ηλιακής ιχνηλατήσις (trackers). Στην συνέχεια η υπουργική απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΠΕΕΚ/15084/382, ΦΕΚ 759Β/5.3.2019 (Πίνακας 3) έφερε τροποποιήσεις σε σχέση με τα όρια ισχύος ανά εγκατάσταση στα μεγάλα νησιά.

Πίνακας 2: Όρια ισχύος σταθμού παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. (πηγή: HELAPCO)

Ανώτατα όρια ισχύος (kW) σταθμών παραγωγής που εγκαθίστανται στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά ανά αυτόνομο νησιωτικό σύστημα			
Αυτόνομο Νησιωτικό Σύστημα	Σταθμοί που εγκαθίστανται από Ενεργειακές Κοινότητες	Σταθμοί που εγκαθίστανται από νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημοσίου ενδιαφέροντος σκοπούς γενικής ή τοπικής εμβέλειας	Λοιποί σταθμοί
Κρήτη	500	300 ⁽¹⁾	100
Ρόδος	500	300	100
Κως (Σύμπλεγμα)	300	100	50
Λέσβος (Σύμπλεγμα)	300	100	50
Θήρα (Σύμπλεγμα)	200	100	50
Χίος (Σύμπλεγμα)	200	100	50
Σάμος (Σύμπλεγμα)	200	100	50
Λοιπά Συστήματα	100	100	20

Πίνακας 3 Νέα όρια ισχύος σταθμού παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. (πηγή: HELAPCO)

Περιγραφή	Τι ισχύει	Τι ισχύει από 5.3.2019
Γενικό όριο ισχύος	500 kW	1.000 kW
Ειδικά όρια ισχύος	50% της συμφωνημένης ισχύος 100% για ΝΠΔΔ	Το 100% της συμφωνημένης ισχύος και για καταναλωτές Μέσης Τάσης και Ενεργειακές Κοινότητες
Ειδικά όρια ισχύος στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά		Αυξημένα όρια ισχύος ανά εγκατάσταση στα μεγάλα νησιά (Κρήτη, Ρόδος, Κως, Λέσβος, Χίος, Σάμος)
Τεχνολογίες	Φωτοβολταϊκά	Όλες (φωτοβολταϊκά, μικρές ανεμογεννήτριες, βιομάζα/βιοαέριο/βιορευστά, μικρά υδροηλεκτρικά, γεωθερμία, ΣΗΘΥΑ)
Αποθήκευση	Όχι	Ναι μέχρι 30 kVA
Συμψηφισμός ΧΤ/ΜΤ	Όχι	Ναι
Μικτές Τεχνολογίες	Όχι	Ναι

Οι βασικοί όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό, έχουν ως ακολούθως:

- Η ύπαρξη ενεργού μόνιμης παροχής ρεύματος στο όνομα του αυτοπαραγωγού μέσω της οποίας τροφοδοτείται η εγκατάσταση κατανάλωσής του.
- Το Φωτοβολταϊκό σύστημα αντιστοιχίζεται αποκλειστικά με έναν μετρητή κατανάλωσης, δηλαδή με τον μετρητή της εγκατάστασης κατανάλωσης την οποία τροφοδοτεί.
- Το Φωτοβολταϊκό σύστημα εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης προς την οποία αντιστοιχίζεται (δεν είναι επιτρεπτός ο συμψηφισμός με καταναλώσεις του ίδιου φυσικού ή νομικού προσώπου σε άλλες θέσεις εγκατάστασης, με εξαίρεση τις κατηγορίες αυτοπαραγωγών για τους οποίους ισχύει ο εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός).
- Ο ενδιαφερόμενος έχει τη νόμιμη χρήση του χώρου εγκατάστασης του συστήματος.
- Ο ενδιαφερόμενος έχει εξοφλήσει πλήρως τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας του οικείου Προμηθευτή (ή έχει ενταχθεί σε καθεστώς ρύθμισης οφειλών).
- Η παροχή του αυτοπαραγωγού δεν έχει ενταχθεί στο Περιβαλλοντικό Οικιακό Τιμολόγιο (ΥΑ υπ' αριθμό. ΥΠΕΝ/ΥΠΠΓ/26359/4101 - ΦΕΚ Β' 1936/30.5.2018). Σε περίπτωση που ο ενδιαφερόμενος είναι δικαιούχος του τιμολογίου αυτού, απεντάσσεται αυτοδικαίως από

αυτό, με την ενεργοποίηση του σταθμού παραγωγής.

Το Net Metering είναι πιο συμφέρον όταν υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τα πάγια όπως σε μόνιμες κατοικίες και επιχειρήσεις, ενώ το πρόγραμμα πώλησης είναι πιο αποδοτικό όταν υπάρχει μικρή κατανάλωση ρεύματος και υψηλά πάγια π.χ. εξοχικά και σπίτια που δεν κατοικούνται μόνιμα. Η τιμή είναι σταθερή για 25 έτη και εξαρτάται από την ημερομηνία κατασκευής και σύνδεσης του φωτοβολταϊκού στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού (ΔΕΔΔΗΕ). Το κόστος των φωτοβολταϊκών μειώνεται κάθε χρόνο 4-5%, κάθε 6 μήνες πέφτει και η τιμή πώλησης του ρεύματος για τα νέα φωτοβολταϊκά. Η τιμή πώλησης του ρεύματος από φωτοβολταϊκά, ανάλογα με την ημερομηνία σύνδεσης του ΦΒ με τη ΔΕΔΔΗΕ είναι :

- από 1η Αυγούστου 2017 μέχρι και 31 Ιανουαρίου 2018 0,100 Ευρώ για κάθε κιλοβατώρα (kWh) που παράγει το Φωτοβολταϊκό
- από 1η Φεβρουαρίου 2018 μέχρι και 31 Ιουλίου 2018 0,095 Ευρώ /(kWh)
- από 1η Αυγούστου 2018 μέχρι και 31 Ιανουαρίου 2019 0,090 €/kWh)
- από 1η Φεβρουαρίου 2019 μέχρι και 31 Ιουλίου 2019 0,085 €/kWh)
- από 1η Αυγούστου 2019 και έπειτα 0,080 Ευρώ για κάθε kWh που παράγει το Φωτοβολταϊκό και εγγέται στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΔΔΗΕ

Στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού, οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις υπολογίζονται βάσει των μετρητικών δεδομένων κατά την αντίστοιχη περίοδο καταμέτρησης. Οι χρεώσεις για τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας ΥΚΩ) υπολογίζονται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό κατανάλωσης επί της κατανάλωσης της εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού για την αντίστοιχη περίοδο καταμέτρησης, ήτοι, επί του αθροίσματος της απορριφθείσα από το Δίκτυο και της παραχθείσα από το Φωτοβολταϊκό σταθμό ενέργειας, από το οποίο αφαιρείται η προσφερόμενη περίσσια στο Δίκτυο ενέργεια. Όλες Οι υπόλοιπες, πλην ΥΚΩ, ρυθμιζόμενες χρεώσεις (ΕΤΜΕΑΡ, Χρέωση Χρήσης Συστήματος, Χρέωση Χρήσης Δικτύου, και λοιπές ρυθμιζόμενες χρεώσεις) υπολογίζονται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό κατανάλωσης επί της απορριφθείσας από το Δίκτυο ενέργειας. Στον (Πίνακα 4) φαίνεται ένα υπόδειγμα λογαριασμού ενεργειακού συμψηφισμού για ένα εμπορικό καταναλωτή με βάση τα ισχύοντα τιμολόγια της ΔΕΗ (Φεβρουάριος 2020).

Πίνακας 4: Υπόδειγμα (εκκαθαριστικό) ετήσιου λογαριασμού ενεργειακού συμψηφισμού για ένα εμπορικό καταναλωτή. (πηγή: HELAPCO)

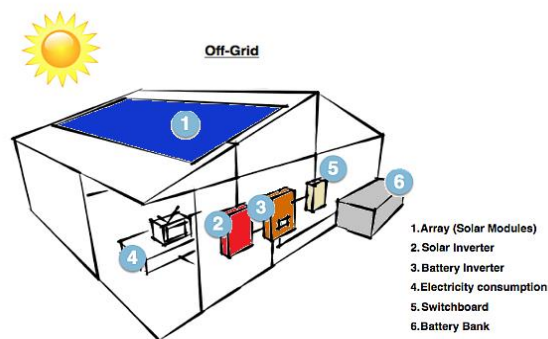
Επαγγελματικό τιμολόγιο Γ21	Χωρίς φωτοβολταϊκό	Με φωτοβολταϊκό	Συντελεστής ταυτοχρονισμού	79,9%
Αριθμός ημερών λογαριασμού	365	365		
Κατανάλωση (απορροφώμενη) από δίκτυο (kWh) - Α	20.000	5.458	Συμφωνημένη ισχύς (kVA)	25
Παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκό (kWh) - Π	0	18.200	συνφ	1
Εγγεόμενη ενέργεια στο δίκτυο (kWh) - Ε	0	3.658		
Ιδιοκατανάλωση ηλιακής ενέργειας (kWh)	0	14.542	Έκπτωση στη χρέωση προμήθειας χωρίς PV	5%
Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh)	20.000	20.000	Έκπτωση στη χρέωση προμήθειας με PV	0%
Πάγιο	6,94	7,30	Μέση τιμή CO ₂ (€/tn)	24,50
Χρέωση προμήθειας (ανταγωνιστικές χρεώσεις, €)	2.331,11	220,84	Ρήτρα CO ₂ (€/MWh)	0,00
Ρήτρα CO ₂ (€)	0,00	0,00		
Χρέωση Συστήματος Μεταφοράς (€)	108,65	39,29		
Χρέωση Δικτύου Διανομής (€)	416,75	140,46		
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€)	364,80	364,80		
ΕΦΚ (€)	100,00	27,29		
ΕΤΜΕΑΡ (€)	340,00	92,79		
Λοιπές επιβαρύνσεις (€)	1,40	0,38		
Ειδικό Τέλος 5%	16,65	4,00		
ΣΥΝΟΛΟ (€)	3.686,29	897,15	Τιμή συμψηφισμού (λεπτά/kWh)	16,24
ΦΠΑ	220,18	53,59		
ΣΥΝΟΛΟ (€)	3.906,47	950,74	Όφελος (€)	2.955,74
Τιμή κιλοβατώρας (λεπτά)	19,53	4,75		

3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

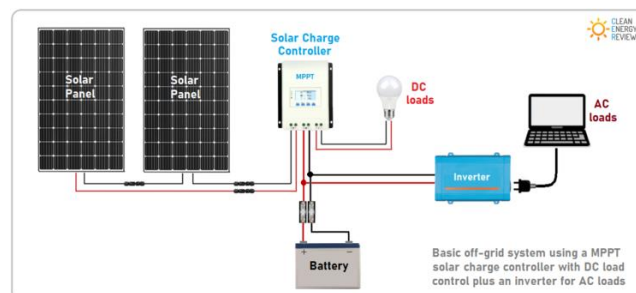
Σε ένα κοινό ηλιακό σύστημα σύνδεσης δικτύου, η ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος από τον ηλιακό μετατροπέα αποστέλλεται στον πίνακα διανομής όπου καταναλώνεται από τα κυκλώματα και τις συσκευές στο σπίτι. Αυτό είναι γνωστό ως Net Metering, όπου τυχόν υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από το ηλιακό σύστημα αποστέλλεται το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός μετρητή ενέργειας ή αποθηκεύεται σε ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας εάν είναι υβριδικό σύστημα. Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να εξάγουν υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια και να αποθηκεύουν υπερβολική ενέργεια σε μια μπαταρία. Ορισμένοι υβριδικοί μετατροπείς ενδέχεται επίσης να είναι συνδεδεμένοι σε έναν ειδικό πίνακα εφεδρικού πίνακα που επιτρέπει την τροφοδοσία ορισμένων «βασικών κυκλωμάτων» ή κρίσιμων φορτίων κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος.

3.1 Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ένα σύστημα εκτός δικτύου δεν είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 19) και επομένως απαιτεί αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας σε μπαταρίας (Εικόνα 20). Τα ηλιακά συστήματα εκτός δικτύου σχεδιάζονται κατάλληλα έτσι ώστε να παράγουν αρκετή ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και να έχουν αρκετή χωρητικότητα μπαταρίας για να καλύψουν τις απαιτήσεις του σπιτιού, ακόμη και τον χειμώνα, όταν υπάρχει γενικά πολύ λιγότερο ηλιακό φως. Το υψηλό κόστος των μπαταριών και των μετατροπέων εκτός δικτύου σημαίνει ότι τα συστήματα εκτός δικτύου είναι πολύ πιο ακριβά από τα συστήματα δικτύου και έτσι συνήθως προτιμώνται για απομακρυσμένες περιοχές που απέχουν πολύ από το ηλεκτρικό δίκτυο.



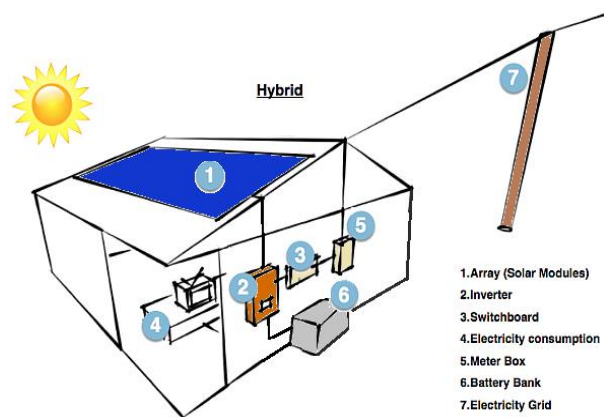
Εικόνα 19: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό σύστημα και τα μέρη που αποτελείται (1. ΦΒ πλαίσια, 2. Αντιστροφείς, 3. Μπαταρία μετατροπέα (ρυθμιστές), 4. Κατανάλωση, 5. Πίνακας εγκατάστασης, 6. Συνσωρευτές) .



Εικόνα 20: Συνδεσμολογία αυτόνομου ΦΒ συστήματος από την παραγωγή ηλ. Ρεύματος μέχρι την κατανάλωση

3.2 Υβριδικά συστήματα

Τα σύγχρονα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν την ηλιακή και την αποθήκευση μπαταριών σε ένα και είναι διαθέσιμα σε πολλές διαφορετικές μορφές και (Εικόνα 21). Λόγω του μειωμένου κόστους αποθήκευσης της μπαταρίας, συστήματα που είναι ήδη συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλεύονται την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες (Εικόνα 22). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αποθηκευτεί ηλιακή ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και να χρησιμοποιηθεί τη νύχτα. Όταν η αποθηκευμένη ενέργεια εξαντλείται, το δίκτυο υπάρχει ως εφεδρικό αντίγραφο, επιτρέποντας στους καταναλωτές να έχουν το καλύτερο και των δύο. Τα υβριδικά συστήματα μπορούν επίσης να φορτίζουν τις μπαταρίες χρησιμοποιώντας φθηνή ηλεκτρική ενέργεια εκτός αιχμής (συνήθως μετά τα μεσάνυχτα έως τις 6πμ).



Εικόνα 21: Υβριδικό Φωτοβολταϊκό σύστημα και τα μέρη που αποτελείται διαμορφώσεις (1.ΦΒ πλαίσια, 2.Αντιστροφείς, 3.Πινάκας εγκατάστασης, 4.Κατανάλωση, 5.Μετρητής, 6.Συσσωρευτές, 7.Συνδεση στο δίκτυο)



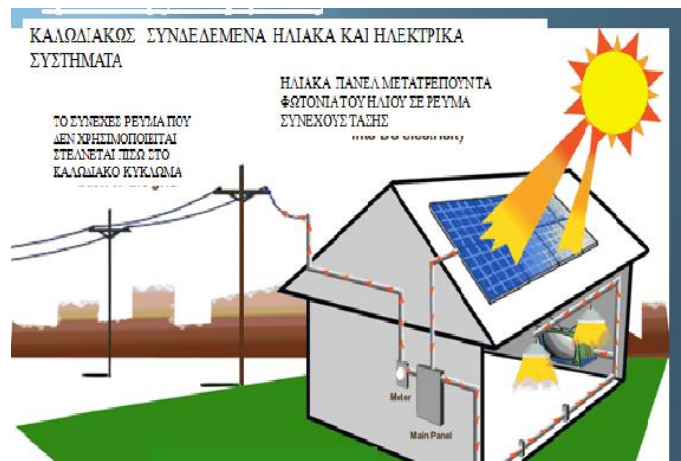
Εικόνα 22: Συνδεσμολογία υβριδικού ΦΒ συστήματος από την παραγωγή ηλ. Ρεύματος μέχρι την κατανάλωση και το δίκτυο

3.3 Συνδεδεμένα στο δίκτυο ΦΒ συστήματα (NET METERING)

Είναι ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας και εφαρμόζεται κυρίως για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συνδεδεμένα στο δίκτυο. Το Net Metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που καταναλώνει ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας στο δίκτυο, που παράγει το Φωτοβολταϊκό σύστημα (Εικόνα 23). Ο όρος “net” προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μία ορισμένη χρονική

περίοδο. Η περίοδος αυτή είναι συνήθως ο κάθε κύκλος καταμέτρησης και τιμολόγησης της καταναλισκόμενης ενέργειας. Αν υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή συνήθως δεν χάνεται για τον καταναλωτή αλλά συμψηφίζεται για μια ορισμένη χρονική περίοδο οπότε και γίνεται η τελική εκκαθάριση. Η περίοδος αυτή σύμφωνα με την τελευταία υπουργική απόφαση ορίζεται στους 12 μήνες.

Τα ηλιακά συστήματα στο δίκτυο δεν είναι σε θέση να λειτουργούν ή να παράγουν ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος για λόγους ασφαλείας. Δεδομένου ότι οι διακοπές ρεύματος συμβαίνουν συνήθως όταν το ηλεκτρικό δίκτυο είναι κατεστραμμένο. Εάν ο ηλιακός αντιστροφείας εξακολουθούσε να τροφοδοτεί ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα κατεστραμμένο δίκτυο, θα διακινδυνεύσει την ασφάλεια των ανθρώπων που επισκευάζουν τα σφάλματα στο δίκτυο. Τα περισσότερα υβριδικά ηλιακά συστήματα με αποθήκευση μπαταρίας απομονώνονται αυτόματα από το δίκτυο και συνεχίζουν να παρέχουν ενέργεια κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος.




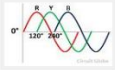
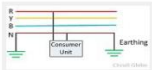
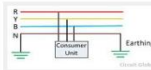
Εικόνα 23: Συνδεσμολογία Συνδεδεμένο στο δίκτυο ΦΒ σύστημα (Net Metering) και τα μέρη που αποτελείται (1.Πάνελ, 2.Αντιστροφείας, 3.Πίνακας, 4.Κατανάλωση, 5.Μετρητής, 6. Σύνδεση στο δίκτυο).

3.4 Μονοφασικά -Τριφασικά συστήματα

Το σύστημα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ταξινομείται κυρίως σε δύο τύπους, το μονοφασικό και τριφασικό σύστημα. Η ενιαία φάση χρησιμοποιείται σε ένα χώρο όπου απαιτείται λιγότερη ενέργεια και για τη λειτουργία των μικρών φορτίων. Οι τρεις φάσεις χρησιμοποιούνται σε μεγάλες βιομηχανίες, εργοστάσια και στην παραγωγική μονάδα όπου απαιτείται μεγάλη ισχύς. Οι διαφορές μεταξύ τους είναι: (Εικόνα 24).

1. Στην τροφοδοσία μονής φάσης, η ισχύς ρέει μέσω ενός αγωγού ενώ η τροφοδοσία τριών φάσεων αποτελείται από τρεις αγωγούς για παροχή ρεύματος.
2. Η τροφοδοσία μιας φάσης απαιτεί δύο καλώδια (μία φάση και μία ουδέτερη) για την ολοκλήρωση του κυκλώματος. Η τριφασική απαιτεί τρία καλώδια φάσης και ένα ουδέτερο για την ολοκλήρωση του κυκλώματος.
3. Η μονή φάση τροφοδοτεί την τάση έως 230V ενώ η τροφοδοσία τροφοδοτεί την τάση μέχρι 400V.
4. Η μέγιστη ισχύς μεταφέρεται μέσω τριών φάσεων σε σύγκριση με την παροχή μονοφασικής παροχής.

5. Η μονοφασική φάση έχει δύο καλώδια που καθιστούν το δίκτυο απλό, ενώ το δίκτυο τριών φάσεων είναι πολύπλοκο καθώς αποτελείται από τέσσερα καλώδια.
6. Το μονοφασικό σύστημα έχει μόνο ένα καλώδιο φάσης, και αν το σφάλμα εμφανιστεί στο δίκτυο, τότε η τροφοδοσία ρεύματος αποτυγχάνει τελείως. Αλλά σε σύστημα τριών φάσεων το δίκτυο έχει τρεις φάσεις, και αν το σφάλμα συμβαίνει σε οποιαδήποτε από τις φάσεις, οι άλλες δύο θα τροφοδοτούν συνεχώς την ισχύ.
7. Η αποτελεσματικότητα της τροφοδοσίας μιας φάσης είναι μικρότερη σε σύγκριση με τροφοδοσία τριών φάσεων. Επειδή η τροφοδοσία τριών φάσεων απαιτεί λιγότερους αγωγούς σε σύγκριση με την τροφοδοσία μονής φάσης για το ισοδύναμο κύκλωμα.
8. Η τροφοδοσία μιας φάσης απαιτεί περισσότερη συντήρηση και καθίσταται δαπανηρή σε σύγκριση με τροφοδοσία τριών φάσεων.
9. Η τροφοδοσία μιας φάσης χρησιμοποιείται κυρίως στο σπίτι και για τη λειτουργία των μικρών φορτίων. Η τροφοδοσία τριών φάσεων χρησιμοποιείται σε μεγάλες βιομηχανίες και για τη λειτουργία των βαρέων φορτίων.
10. Η σύνδεση με το άστρο των τριών φάσεων επιτρέπει την χρήση δύο διαφορετικών τάσεων (δηλ. των 230 βολτ και των 400 βολτ). Το 230V τροφοδοτείται χρησιμοποιώντας το μονοφασικό και ένα ουδέτερο σύρμα και η τρία φάση τροφοδοτείται μεταξύ οποιωνδήποτε δύο φάσεων.

Βάση για σύγκριση	Μονή φάση	Τρεις φάσεις
Ορισμός	Η τροφοδοσία μέσω ενός αγωγού.	Η τροφοδοσία μέσω τριών αγωγών.
Σχήμα κυματισμού		
Αριθμός καλωδίων.	Απαιτήστε δύο σύρματα για την ολοκλήρωση του κυκλώματος.	Απαιτεί τέσσερα σύρματα για την ολοκλήρωση του κυκλώματος.
Τάση	Μεταφορά 230V	Μεταφορά 415V
Όνομα Φάσης	Διάρθρωση φάσης	Δεν υπάρχει άλλο όνομα
Δυνατότητα μεταφοράς ισχύος	Ελάχιστο	Το μέγιστο
Δίκτυο	Απλό	Περίπλοκο
Διακοπή ρεύματος	Λαμβάνει χώρα	Μην συμβεί
Απώλεια	Το μέγιστο	Ελάχιστο
Σύνδεση τροφοδοτικού		
Αποδοτικότητα	Πιο λίγο	Υψηλός
Οικονομικός	Πιο λίγο	Περισσότερο
Χρησιμοποιεί	Για οικιακές συσκευές.	Σε μεγάλες βιομηχανίες και για τη λειτουργία βαρέων φορτίων.

Εικόνα 24: Διαφορές μεταξύ μονοφασικού -τριφασικού

3.4.1 Τριφασικά ΦΒ συστήματα

Όπου απαιτείται μεγάλη ισχύς χρησιμοποιούνται τρεις φάσεις π.χ. μεγάλες βιομηχανίες, εργοστάσια και γενικά όπου υπάρχουν μεγάλα μηχανήματα και μεγάλη κατανάλωση. Σε αυτή την περίπτωση το φωτοβολταϊκό σύστημα που εγκατασταθεί πρέπει να είναι τριφασικό, διότι η ενέργεια στο χώρο που εξετάζεται θα πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμη για κατανάλωση από τα φορεία του εκατοστού καταναλωτή αλλά και την τροφοδοσία προς την υπηρεσία παραγωγής ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Σε τριφασική παροχή είναι υποχρεωτική η τριφασική διαμόρφωση της σύνδεσης του σταθμού, δηλαδή σύνδεση με τριφασικό αντιστροφέα και με τριφασική μετρητική διάταξη παραγωγής, ακόμα και στην περίπτωση εγκατάστασης σταθμού ισχύος ≤ 5 kW. Η ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 5

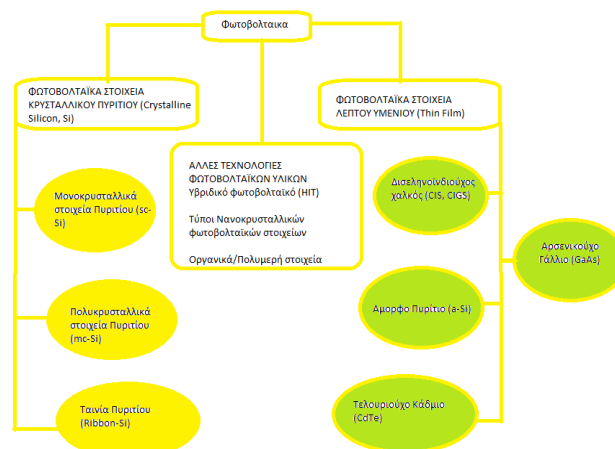
kWp σε υφιστάμενες μονοφασικές παροχές ΧΤ. Για μεγαλύτερη ισχύ φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτείται προηγούμενη επαύξηση της παροχής με μετατροπή της σε τριφασική. Ο (Πίνακας 5) δείχνει το ι-σχύν κόστος σύνδεσης ανά περίπτωση. Στο κόστος περιλαμβάνεται και το κόστος ελέγχου του με-τρητή παραγωγής ,καθώς και των μετασηματιστών έντασης, όπου απαιτούνται. Το κόστος αυτό ι-σχύει υπό την προϋπόθεση ότι δεν απαιτούνται έργα δικτύου για τη σύνδεση.

Πίνακας 5: Ισχύον κόστος σύνδεσης και οι απαιτούμενες προδιαγραφές της παροχής για εγκατάσταση μονο-φασικού η τριφασικού συστήματος.

Επίπεδο τάσης σύνδεσης των εγκαταστάσεων των χρηστών	Είδος παροχής	Ισχύς φωτοβολταϊκού (kWp)	Κόστος σύνδεσης (€)	
			Χωρίς αντικατάσταση του υφιστάμενου μετρητή κατανάλωσης	Με αντικατάσταση του υφιστάμενου μετρητή κατανάλωσης
ΧΤ	Μονοφασική (03,05)	≤5	300	370
	Τριφασική	≤55	300	390
	Τριφασική	55-100	520	
ΜΤ	Τριφασική	≤100	520	
		>100 και ≤1000	800	

3.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Πάνελ)

Με τον γενικό όρο Φωτοβολταϊκά ονομάζεται η βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε μία σειρά. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (Εικόνα 25)(συνήθως από Πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια Ηλεκτρική τάση. Έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επι-φάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα Φωτο-βολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέο-νται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).



Εικόνα 25: Οι δυο βασικές κατηγορίες Φωτοβολταϊκών στοιχείων.

3.5.1 ΦΒ στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι το μοναδικό υλικό που παράγεται με μαζικό τρόπο. Οι μεγάλες (συγκριτικά) αποδόσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου στο εμπόριο δίνουν και ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο υλικό. Το πυρίτιο αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Καθώς βρίσκεται πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον ενώ μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

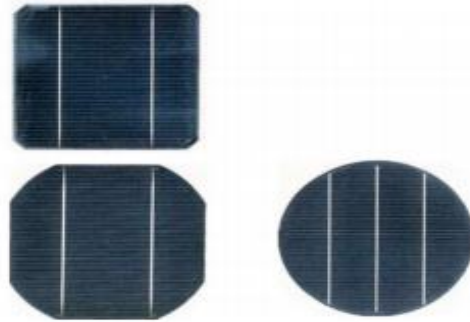
Μέθοδος Czochralski

Η μέθοδος Czochralski ή τεχνική Czochralski, είναι μια μέθοδος ανάπτυξης κρυστάλλων χρησιμοποιούνται για την απόκτηση μονών κρυστάλλων του ημιαγωγούς (π.χ. πυρίτιο, γερμάνιο και το αρσενίδιο του γαλλίου) η μέθοδος πήρε το όνομά της από τον Πολωνό επιστήμονα Jan Czochralski. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (μονο-Si) που καλλιεργείται με τη μέθοδο Czochralski αναφέρεται συχνά ως μονοκρυσταλλικό πυρίτιο Czochralski (Cz-Si). Είναι το βασικό υλικό για την παραγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται σε υπολογιστές, τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα και όλους τους τύπους ηλεκτρονικού εξοπλισμού και συσκευών ημιαγωγών, το πυρίτιο χρησιμοποιείται επίσης σε μεγάλες ποσότητες από τη βιομηχανία φωτοβολταϊκών για την παραγωγή συμβατικών ηλιακών κυττάρων μονο-Si. Η σχεδόν τέλεια κρυσταλλική δομή αποδίδει την υψηλότερη απόδοση μετατροπής φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα.

3.5.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, s c-Si)

Η τεχνική έχει καθιερωθεί στην παραγωγή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, κατά την οποία τα άτομα του πυριτίου σχηματίζουν τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς με τα γειτονικά τους άτομα διαμορφώνοντας μία τέλεια κρυσταλλική δομή. Σε αυτή τη διαδικασία, το αρχικά πολυκρυσταλλικό υλικό (πολυπυριτίου) τήκεται σε χοάνη χαλαζία στους 1420°C και παράγεται ράβδος καθαρού μονοκρυσταλλικού πυριτίου, η οποία τεμαχίζεται μηχανικά ή με χρήση laser σε δισκία (wafers) πάχους περίπου $0,3\text{mm}$. Έπειτα ακολουθεί η διαδικασία καθαρισμού των wafers, όπου βυθίζονται σε χημικά υγρά για να απομακρυνθούν τα υπολείμματα υλικού. Η υψηλή τους ομοιομορφία έχει ως αποτέλεσμα τα μονοκρυσταλλικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία να χαρακτηρίζονται από πολύ καλή σχέση απόδοσης-επιφάνειας (ενεργειακής πυκνότητας), αλλά παράλληλα και από υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Η απόδοση τους είναι 15%-18%, το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγαλύτερη ευαισθησία των μονοκρυσταλλικών κυττάρων στην υπέρυθη ακτινοβολία της οποίας το ενεργειακό περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό. Εργαστηριακά έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Η μορφή διαφέρει ανάλογα τον τρόπο κοπής της μονοκρυσταλλικής ράβδου δηλαδή στρόγγυλα, ημιστρόγγυλα και τετράγωνα ηλιακά στοιχεία (Εικόνα 26). Τα στρόγγυλα είναι πιο φθηνά από τα ημιστρόγγυλα και τα τετράγωνα, εξαιτίας της μικρότερης ποσότητας υλικού που χάνεται κατά την κατασκευή τους. Παρά το γεγονός αυτό, σπάνια χρησιμοποιούνται σε τυποποιημένα Φωτοβολταϊκά πλαίσια διότι όταν τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο σε ένα πλαίσιο, εμφανίζονται κενά λόγω του σχήματός τους, χωρίς να αξιοποιείται ολόκληρη η επιφάνεια του πλαισίου. Ωστόσο, σε ειδικές περιπτώσεις, όπως σε κτίρια όπου είναι επιθυμητή μερική διαφάνεια των πλαισίων ή

σε οικιακά ηλιακά συστήματα, τα στρογγυλά στοιχεία είναι μια απολύτως βιώσιμη εναλλακτική λύση. Κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη 10cm x 10cm, 12.5cm x 12.5cm, 15cm x 15cm με πάχος που κυμαίνεται από 0,2mm έως 0,3 mm και χρώμα σκούρο μπλε με μαύρο (με αντιανακλαστικό στρώμα), γκρι (χωρίς αντιανακλαστικό στρώμα) με ομοιογενής εμφάνιση καθώς δεν περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών.



Εικόνα 26: Διάφορα Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου ανάλογα με το σχήμα τους

3.5.1.2 Φ/Β Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (Multicrystalline Silicon, mc-Si):

Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα στο πλέγμα τους περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Αιτία αυτής της διαφοροποίησης είναι η μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη ψύξη του πυριτίου, κάτι που μειώνει αισθητά το κόστος παραγωγής. Επιπρόσθετα, η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο το σχηματισμό μεγάλου αριθμού ομοιογενών κρυστάλλων, με μεγέθη από λίγα χιλιοστά έως αρκετά εκατοστά, όπου τα άκρα τους συνιστούν ατέλειες της δομής και δρουν ως κέντρα επανασύνδεσης των φωτοδιεγερμένων φορέων, έχοντας έτσι δυσμενή επίδραση στην αποδοτικότητα του πολυκρυσταλλικού ηλιακού κυττάρου. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά τη ψύξη το πολυκρυσταλλικό πλέγμα κόβεται σε λεπτά Φ/Β στοιχεία. Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με αποτέλεσμα ο συνολικός βαθμός απόδοσης να είναι μειωμένος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά Φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 16%. Κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη αλλά αυτά που συναντάμε συνήθως έχουν τετραγωνική μορφή (Εικόνα 27). με 10cm x 10cm, 12.5cm x 12.5cm, και πάχος που κυμαίνεται από 0,24mm έως 0,3 mm και χρώμα μπλε (με αντιανακλαστικό στρώμα), ασημί γκρι (χωρίς αντιανακλαστικό στρώμα) και έντονη ανομοιογένεια με ευδιάκριτους μεμονωμένους κρυστάλλους.



Εικόνα 27: ΦΒ πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε τετραγωνική μορφή.

3.5.1.3 Φ/Β Ταινιών Πυριτίου

Το ελάχιστο πάχος που προβλέπεται για κρυσταλλικά στοιχεία είναι 0.3mm. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι κατασκευής οι οποίες προσφέρουν έως και 50% μείωση στην χρήση του ακατέργαστου πυριτίου, ώστε να μειωθούν οι μεγάλες απώλειες και χρήση υλικού κατά την κατασκευή. Σύμφωνα με αυτές, λωρίδες εξέρχονται απευθείας από το λιωμένο πυρίτιο, έχοντας ήδη το κατάλληλο πάχος των μελλοντικών κυττάρων και το μόνο που απομένει να γίνει είναι να κοπούν με τη χρήση laser σε κομμάτια. Αυτή η τεχνολογική ανάπτυξη δημιούργησε προσδοκίες πως μελλοντικά θα είναι δυνατή η μείωση του πάχους των ταινιών πυριτίου κάτω από 0.1mm. Σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής, η μέθοδος των ταινιών πυριτίου είναι πιο οικονομική από άποψη ενέργειας και υλικού, επιτυγχάνοντας έτσι μια σημαντική μείωση του κόστους. Υπάρχουν τρεις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο στην παραγωγή εμπορικών ηλιακών κυττάρων.

3.5.1.3.1 Φ/Β Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου EFG (Edge-Defined Film-Fed Growth)

Η διαδικασία EFG έχει χρησιμοποιηθεί στη μαζική παραγωγή για χρόνια, κατά την οποία ένα οκταγωνικό καλούπι κατασκευασμένο από γραφίτη βυθίζεται σε τήγμα πυριτίου. Έτσι δημιουργούνται οκταγωνικοί σωλήνες έως 6,5m σε μήκος, με πλευρές πλάτους 10cm ή 12,5cm και μέσο πάχος τοιχώματος 0,3mm. Τα τελικά κύτταρα κόβονται από τις οκτώ πλευρές τους με απώλειες υλικού λιγότερο από 10%. Τα EFG στοιχεία πυριτίου είναι πολυκρυσταλλικά αλλά με αρκετά μικρότερη πυκνότητα ατελειών στους κρυστάλλους. Η εμφάνιση και οι ηλεκτρικές ιδιότητες των κύτταρων μοιάζουν περισσότερο με αυτές των μονοκρυσταλλικών με απόδοση 14%, ενώ εργαστηριακά έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

3.5.1.3.2 Φ/Β Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου String Ribbon

Κατά την παραγωγή στοιχείων string Ribbon, δύο υπερθερμασμένες ίνες άνθρακα ή χαλαζία (strings) εισέρχονται κάθετα μέσα από μια επίπεδη χοάνη τήγματος πυριτίου. Το υγρό πυρίτιο σχηματίζει μια λωρίδα υλικού ανάμεσα στις ίνες και κρυσταλλώνεται σε μια λωρίδα πυριτίου πλάτους 8cm (Ribbon), η οποία έπειτα κόβεται σε ορθογώνια κομμάτια και η απόδοση φτάνει 12% έως 13%.

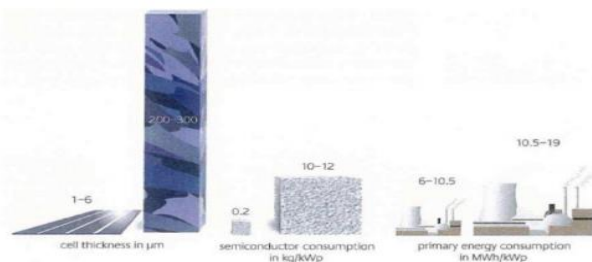
3.5.1.3.3 Φ/Β Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου APex

Τα APex κύτταρα αποτελούν την πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας thin-film με κρυσταλλικό πυρίτιο κατά το στάδιο της παραγωγής. Ένα ηλεκτρικά αγώγιμο κεραμικό υπόστρωμα που περιέχει πυρίτιο αντικαθιστά το παχύ δισκίο πυριτίου (wafer) και προσδίδεται σε αυτό ένα κάλυμμα λεπτού πολυκρυσταλλικού πυριτίου

πάχους 0,03mm έως 0,1mm, το οποίο λειτουργεί ως Φωτοβολταϊκό στρώμα (Layer). Με τον τρόπο αυτό μεγάλου μεγέθους ηλιακά κύτταρα παράγονται, τα οποία έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα συμβατικά πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Υψηλές θερμοκρασίες απαιτούνται ακόμα κατά τη διαδικασία παραγωγής, 900°C έως 1000°C, αλλά η μικρή ποσότητα υψηλής ποιότητας ημιαγωγίμου υλικού και η ταχύτερη παραγωγή κυττάρων οδηγούν σε χαμηλότερο κόστος παραγωγής με απόδοση 9.5%.

3.5.2 Τεχνολογία Λεπτού Υμενίου (Thin Film)

Τα thin-film πλαίσια διαφέρουν σημαντικά από τα κρυσταλλικά, από την αρχική φάση κατασκευής τους. Αντί τα ημιαγωγίμα υλικά να χυτευθούν και στη συνέχεια να κατά τμηθούν σε στοιχεία, στην thin-film εναποτίθενται σαν μια λεπτή ημιαγωγίμη μεμβράνη πάνω σε ένα χαμηλού κόστους υπόστρωμα, συνήθως γυαλί. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι: εναπόθεση ατμών (vapour deposition), διαδικασίες ψεκασμού (sputter processes) και ηλεκτρολυτικά λουτρά (electrolytic baths). Τα ημιαγωγίμα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι άμορφο πυρίτιο (a-Si), δισεληνιούχος χαλκός με ίνδιο (CIS) και τελουριούχο κάδμιο (CdTe). Λόγω της υψηλής απορροφητικότητας της ακτινοβολίας αυτών των υλικών, στρώματα με πάχη μικρότερα από 0,001mm είναι θεωρητικώς ικανοποιητικά για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός. Κατά την παραγωγή των thin film στοιχείων οι θερμοκρασίες που απαιτούνται είναι 2000°C-6000°C μόνο, έναντι των θερμοκρασιών των κρυσταλλικών που κυμαίνονται περί τους 1500 °C (1420°C). Η χαμηλότερη κατανάλωση υλικού και ενέργειας, καθώς και η ικανότητα για μια ιδιαίτερα αυτοματοποιημένη παραγωγή καθιστούν την τεχνολογία thin film πιο συμφέρουσα από άποψη κόστους σε σύγκριση με τη συμβατική τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου (Εικόνα 28). Τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία thin film δεν έχουν καθορισμένο σχήμα όπως τα κρυσταλλικά που κατασκευάζονται σε τυποποιημένα μεγέθη (wafers). Θεωρητικά, το υπόστρωμα τους μπορεί να κοπεί σε οποιοδήποτε μέγεθος. Εντούτοις, επειδή μόνο στοιχεία του ίδιου σχήματος μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, χρησιμοποιούνται μόνο ορθογώνια σχήματα για πρακτικούς λόγους. Σε σειρά συνδεδεμένα Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που τα διαφοροποιεί από τα κρυσταλλικά είναι ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους. Ενώ τα κρυσταλλικά συνδέονται κύτταρο με κύτταρο με εξωτερικούς ακροδέκτες, η ηλεκτρική σύνδεση των στοιχείων thin film είναι αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής τους, και γίνεται μονολιθικά κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης τους στο υπόστρωμα. Τα κύτταρα κόβονται σε λωρίδες πλάτους 0,5cm έως 2cm και μεγάλου μήκους, που μπορεί να ξεπερνά το 1 m, με ταυτόχρονο ηλεκτρικό διαχωρισμό από τις λεπτές αυλακώσεις που δημιουργούνται μεταξύ των κυττάρων. Το πλάτος των αυλακώσεων καθορίζει την απόδοση και συνάμα το βαθμό διαφάνειας του πλαισίου, και προσδιορίζεται ανάλογα την εφαρμογή.



Εικόνα 28: Σύγκριση μεταξύ κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων (δεξιά) με στοιχεία thin film (αριστερά)

3.5.2.1 Ηλεκτρική επαφή

Η ηλεκτρική επαφή του στοιχείου επιτυγχάνεται στο πίσω μέρος με ένα αδιαφανές επίστρωμα μετάλλων. Στην πρόσθια πλευρά όπου προσπίπτει η ακτινοβολία τοποθετείται ένα ιδιαίτερα διαφανές αγωγίμο

στρώμα οξειδίων (transparent conductive oxide, TCO). Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο αγώγιμο στρώμα οξειδίων είναι το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), οξείδιο του κασσιτέρου (SnO₂) και το οξείδιο του κασσιτέρου-ινδίου (ITO). Το τελικό προϊόν προστατεύεται από ατμοσφαιρικούς παράγοντες (σκόνη, ρύποι, νερό) με ενθυλάκωση των στοιχείων με χρήση πολυμερούς EVA (ethylene vinyl acetate) πάνω στο οποίο τοποθετείται τμήμα γυαλιού. Στην τεχνολογία thin film ο όρος στοιχείο και πλαίσιο πρέπει να συμπληρωθεί από τον όρο, στοιχειοσειρά (cellstring). Τα thin film στοιχεία συνίστανται ουσιαστικά σε στενόμακρες λωρίδες ημιαγώγιμου υλικού πάνω στο γυαλί υποστρώματος. Με το όρο στοιχειοσειρά περιγράφουμε τα εντελώς επικαλυμμένα στρώματα γυαλιού, με πολλαπλές λωρίδες στοιχείων που συνδέονται σε σειρά. Εντούτοις, η συνηθισμένη διάκριση μεταξύ της απόδοσης στοιχείου και πλαισίου δεν ισχύει στην παρούσα τεχνολογία, διότι τα thin film στοιχεία δεν παράγονται και δεν μετριοούνται χωριστά. Παρά τη σχετικά χαμηλή απόδοση, η ενεργειακή παραγωγή τους μπορεί υπό ορισμένες συνθήκες να είναι αρκετά σημαντική. Η αξιοποίηση της διάχυτης και χαμηλής ακτινοβολίας είναι καλύτερη με τα στοιχεία thin-film και έχουν και πιο ευνοϊκό συντελεστή θερμοκρασίας, η μείωση δηλαδή της απόδοσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας είναι μικρότερη σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Επιπλέον, λόγω της μορφής των κυττάρων τους, οι μακριές στενές λωρίδες είναι λιγότερο ευαίσθητες στη σκίαση. Υπάρχουν τέσσερις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο.

3.5.2.2 Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (Εικόνα 29) έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Πλεονεκτούν σε σχέση με τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, καθώς δεν εμφανίζουν μείωση στην απόδοσή τους λόγω της ακτινοβολίας (light degradation), και προσφέρουν επίσης μεγάλη οικονομία στα ημιαγώγιμα υλικά. Μειονέκτημα της τεχνολογίας είναι οι περιορισμένες ποσότητες ινδίου που είναι διαθέσιμες στη φύση, καθώς επίσης και τα αυξημένα μέτρα ασφαλείας που λαμβάνονται κατά την κατασκευή, εξαιτίας και της παραγωγής σεληνιούχου υδρογόνου, ενός εξαιρετικά τοξικού αερίου. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS.



Εικόνα 29 : ΦΒ πλαίσιο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός

3.5.2.3 Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si) άμορφο πυρίτιο

Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγώγιμου υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο Φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φω-

τοβολταικα thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το Φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Ενώ τα μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταικα στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

3.5.2.4 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

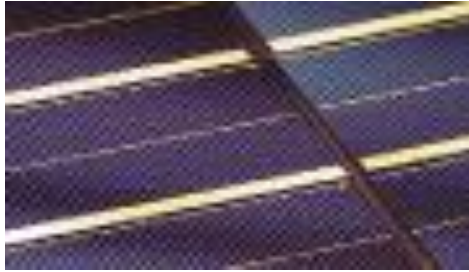
Το τελουριούχο κάδμιο (*Εικόνα 30*) έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως, προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του.



Εικόνα 30: ΦΒ πλαίσιο Τελουριούχο Καδμίου

3.5.2.5 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο (*Εικόνα 31*) έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταικα στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταικα στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



Εικόνα 31: ΦΒ πλαίσιο Αρσενικούχου Γάλλιου

3.5.3 Νέες τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών

3.5.3.1 Φωτοβολταϊκά κύτταρα Perovskite

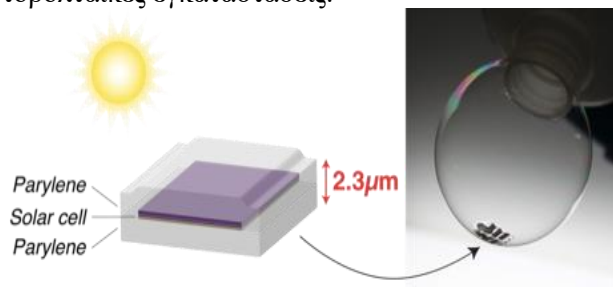
Οι περοβσκίτες (Εικόνα 32) είναι μια κατηγορία υλικών, η οποία εμφανίζει διάφορες ιδιότητες όπως η υπεραγωγιμότητα, η μαγνητοαντίσταση κ.α., αυτά τα συνθετικά υλικά θεωρούνται το μέλλον των ηλιακών κυψελών, καθώς η ξεχωριστή τους δομή τις καθιστά τέλειες για την εξασφάλιση αποδοτικών φωτοβολταϊκών χαμηλού κόστους. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα Perovskite αποσκοπούν στην αύξηση της αποδοτικότητας και στη μείωση του κόστους της ηλιακής ενέργειας. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στην συμβατική ηλιακή τεχνολογία είναι ότι αντιδρούν σε διαφορετικά μήκη κύματος φωτός, γεγονός που τους επιτρέπει να μετατρέπουν περισσότερο ηλιακό φως που προσπίπτει σε αυτά σε ηλεκτρισμό. Ένα πρόβλημα είναι το συνολικό κόστος τους για διάφορους λόγους, κυρίως δεδομένου ότι σήμερα το πιο συνηθισμένο υλικό ηλεκτροδίων σε ηλιακά κύτταρα perovskite είναι χρυσός, και ένα άλλο είναι ότι φθηνότερα ηλιακά κύτταρα perovskite έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Σημαντικό ζήτημα είναι η τοξικότητα, μια ουσία που ονομάζεται (ίνες πολυβενζιμιδαζόλης) PbI είναι ένα από τα προϊόντα διάσπασης του Perovskite, αυτό είναι γνωστό ως τοξικό και υπάρχει ανησυχία ότι μπορεί να είναι καρκινογόνο. Επίσης, πολλά κύτταρα Perovskite χρησιμοποιούν μόλυβδο, έναν τεράστιο ρύπο. Για αυτό τον λόγο συνεχώς αναζητούνται υποκαταστάσεις και έχουν ήδη δημιουργηθεί κύτταρα που λειτουργούν χρησιμοποιώντας κασσίτερο με απόδοση μόλις 6%. Ενώ υπάρχουν πράγματι μείζονες προκλήσεις, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα του perovskite εξακολουθούν να προσφέρονται ως η φωτοβολταϊκή τεχνολογία του μέλλοντος και πολλά έργα ανάπτυξης και έρευνας έχουν τεθεί σε πραγματικότητα. Οι επιστήμονες και οι εταιρείες εργάζονται για την αύξηση της αποδοτικότητας και της σταθερότητας, την παράταση της διάρκειας ζωής και την αντικατάσταση των τοξικών υλικών με ασφαλέστερα. Επίσης εξετάζεται τα οφέλη του συνδυασμού των Perovskite με άλλες τεχνολογίες, όπως το πυρίτιο, για να δημιουργήσουν αυτά που αποκαλούνται συσσωρευμένα κύτταρα.



Εικόνα 32: Περοβσκίτης, ορυκτό οξείδιο του ασβεστίου και του τιτανίου.

3.5.3.2 Λεπτά - ευέλικτα ηλιακά κύτταρα

Σχεδόν όλοι οι σύγχρονοι ηλιακοί συλλέκτες έχουν ένα κοινό πράγμα: γυαλί. Ένα γυάλινο φύλλο πάχους 3 χιλιοστών προστατεύει και στηρίζει τα ηλιακά κύτταρα κάτω από αυτό, αλλά συμβάλλει μέχρι και στο 90% του συνολικού βάρους του πίνακα. Αυτό το κόστος προσθέτει στο κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία αποτελούν σήμερα ένα μεγάλο μέρος του κόστους της ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα άκαμπτα και τα βαριά κύτταρα περιορίζουν επίσης τη δυνατότητα των ηλιακών κυττάρων να τροφοδοτούν ελαφριές κινητές συσκευές και άλλες εφαρμογές. Οι εύκαμπτες πλαστικές μεμβράνες έχουν μελετηθεί ως εναλλακτικές λύσεις στα γυάλινα υποστρώματα για τα ηλιακά κύτταρα εδώ και αρκετά χρόνια. Χρησιμοποιώντας φιλμ υπέρυθρης ακτινοβολίας ενός διαφανούς πολυμερούς γνωστού ως παριλένιο ως εναλλακτικά υποστρώματα για ελαφριά, εύκαμπτα ηλιακά κύτταρα. Το Parylene είναι μια εμπορικά διαθέσιμη πλαστική επιστρώση που χρησιμοποιείται ευρέως για την προστασία εμφυτευμένων βιοϊατρικών συσκευών και πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων από περιβαλλοντικές βλάβες. Διαφανή, καθαρά (απαλλαγμένα από επιβλαβείς ουσίες) ταινίες παλενίου μπορούν να σχηματιστούν με χημική εναπόθεση ατμών (CVD) "από κάτω προς τα πάνω" σε σχεδόν οποιαδήποτε στερεή επιφάνεια με ακριβή έλεγχο πάχους. Δεν απαιτούνται επιπλέον βήματα καθαρισμού. Τοποθετώντας ένα λεπτό (~ 1 μm) στρώμα παριλίνιου σε γυαλί, κατασκευάζουν ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης στο παριλένιο (Εικόνα 33), στη συνέχεια ξεφλουδίζοντας ολόκληρη τη δομή από το γυαλί-παλλάνο και όλα. Οι συσκευές που προκύπτουν είναι οι λεπτότερες πλήρεις ηλιακές κυψέλες που αποδεικνύονται - λιγότερο από το 0,05% του πάχους των ισοδύναμων συσκευών σε γυάλινα υποστρώματα - αλλά μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια τόσο αποτελεσματικά όσο τα άκαμπτα αντίστοιχά τους, με συγκεκριμένη ισχύ (λόγος ισχύος προς βάρος) από 6 W / g ή υψηλότερη - μεταξύ των υψηλότερων που επιτυγχάνεται με οποιαδήποτε τεχνολογία φωτοβολταϊκών. Με την περαιτέρω ανάπτυξη, το παραλληλενικό και άλλα εύκαμπτα πολυμερή υποστρώματα θα μπορούσαν να ανοίξουν την πόρτα σε νέους παράγοντες μορφής και νέες εφαρμογές για ηλιακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 33: Ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης

3.5.3.3 Ηλιακά πάνελ BIPV

Ενσωματωμένες φωτοβολταϊκές κατασκευές, συνδυάζονται άμογα με την αρχιτεκτονική του κτιρίου με τη μορφή στέγης, τέντες, τοίχους κουρτινών, προσόψεις και φεγγίτες. Τα ηλιακά πάνελ BIPV επιτρέπουν την εξοικονόμηση οικοδομικών υλικών και κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Με την αντικατάσταση των τυπικών δομικών υλικών από το BIPV, μειώνεται το πρόσθετο κόστος των συστημάτων τοποθέτησης σε ηλιακούς συλλέκτες. Όταν χρησιμοποιείται στις προσόψεις του κτιρίου, στο αίθριο, στο πάτωμα της βεράντας και στις τέντες, παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Αυξημένη ενεργειακή απόδοση
- Υψηλή θερμική και ηχομόνωση

- Καθαρή και ελεύθερη ισχύ εξόδου από τον ήλιο
- Μειωμένα έξοδα
- Μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα
- Τα Φωτοβολταϊκά γυαλιά που είναι εγκατεστημένα ως δομικά υλικά λειτουργούν ως συσκευή παραγωγής ενέργειας, επιτρέποντας το φυσικό φως μέσα σε σπίτια και γραφεία, όπως τα συμβατικά αρχιτεκτονικά γυαλιά.
-

3.5.3.4 Ηλιακά δέρματα

Τα ηλιακά δέρματα είναι μια νέα φωτοβολταϊκή τεχνολογία για την ενσωμάτωση προσαρμοσμένων σχεδίων σε συστήματα ηλιακών συλλεκτών (Εικόνα 34). Η τεχνολογία ηλιακού δέρματος είναι παρόμοια με τις διαφημίσεις που εμφανίζονται στα παράθυρα των λεωφορείων. Οι ηλιακές λεπτές μεμβράνες διατηρούν υψηλή απόδοση λόγω της επιλεκτικής εξέλιξης του φιλτραρίσματος φωτός. Το φως του ήλιου καθώς πέφτει στα ηλιακά δέρματα φιλτράρεται για να φτάσει τα ηλιακά κύτταρα κάτω από αυτό. Ως αποτέλεσμα, εμφανίζει ταυτόχρονα την προσαρμοσμένη εικόνα και παρέχει ηλιακή ενέργεια. Αυτές οι αποτυπωμένες προσαρμοσμένες εικόνες, ενσωματωμένες σε ηλιακούς συλλέκτες, ταιριάζουν με τους χλοοτάπητες ή τις στέγες των σπιτιών. Τα πάνελ ηλιακού δέρματος, είναι επωφελείς για επιχειρήσεις ή κυβερνητικά γραφεία. Μπορούν να προσαρμοστούν για την εμφάνιση επιχειρηματικών λογοτύπων, διαφημίσεων επιχειρήσεων, σημαίας χώρας και ούτω καθεξής. Επιπλέον, οι ηλιακοί δίσκοι χρησιμοποιούν συστήματα ραφιών χωρίς σιδηροτροχιές, κάθονται κάτω, έχουν ένα κομψό φινίρισμα και κρύβουν μεταλλικά στοιχεία. Ωστόσο, το μειονέκτημα των ηλιακών δερμάτινων πάνελ είναι το κόστος τους, το οποίο είναι περίπου 10% μεγαλύτερο από την τιμή των παραδοσιακών πάνελ.



Εικόνα 34: Φωτοβολταϊκή τεχνολογία ηλιακών δερμάτων εγκατεστημένα σε ταράτσα ενός σπιτιού

3.5.4 Ηλεκτρική συμπεριφορά ΦΒ

Η υψηλή φωτοαγωγιμότητα ενός ημιαγωγού παρ' ότι αποτελεί βασικότερη προϋπόθεση για να δημιουργηθεί αξιόλογο Φωτοβολταϊκό φαινόμενο δεν αρκεί. Οι ευκίνητοι ηλεκτρικοί φορείς που παράγονται στο εσωτερικό του πρέπει να τεθούν σε κίνηση μέσω μηχανισμού που δεν απαιτεί ενέργεια από εξωτερική ηλεκτρική πηγή καθώς προσφέρεται από την ίδια την φύση. Είναι το ηλεκτρικό που δημιουργείτε στις επαφές δυο διαφορετικών υλικών. Το πεδίο μπορεί να κινήσει τους φωτοδημιουργούμενους ηλεκτρικούς φορείς. Το εύρος της περιοχής του καθορίζει ως ένα βαθμό το αποδοτικό ποσοστό του απορροφούμενου φωτός και κατά συνέπεια το ποσοστό των φωτοδημιουργούμενων φορέων που θα δώσουν το Φωτοβολταϊκό ηλεκτρικό ρεύμα. Δηλαδή για να προκύψει το ΦΒ φαινόμενο απαιτείται η δημιουργία διάταξης δυο φωτοαγώγιμων ημιαγωγικών υλικών σε επαφή και η έκθεση της στο φως. Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι

ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου) που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο έτσι δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δυο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται Φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η ενέργεια ενός φωτονίου E (Σχέση 3):

$$E = h * \nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ (Σχέση 3)}$$

όπου h : η σταθερά του Planck ($h=6.3 * 10^{-34}$ J) και c : η ταχύτητα του φωτός ($c=3*10^8$ m/s).

Η περιοχή τύπου n έχει ως φορείς πλειονότητας τα ελεύθερα ηλεκτρόνια ενώ η περιοχή τύπου p τις οπές. Οι προσθετοί φορείς φορτίζουν τους χώρους στους οποίους φτάνουν με πλεονάζοντα φορεία. Το δυναμικό στο χώρο p λόγω των επιπλέον οπών γίνεται θετικότερο ως προς το αντίστοιχο του χώρου n όπου έχουν καταλήξει τα ηλεκτρόνια που δημιουργήθηκαν στην επαφή. Η συνεχής κίνηση των φωτοδημιουργούμενων φορέων με την επίδραση του ισχυρού πεδίου αποτελεί ρεύμα με φορά αυτή του ενδογενούς πεδίου δηλαδή από τον ημιαγωγό τύπου n στον ημιαγωγό τύπου p. Το φωτοδημιουργούμενο ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται φωτορεύμα I_L το οποίο είναι ευθέως ανάλογο της πυκνότητας ισχύος E (W/m²) της ΗΜ ακτινοβολίας που προσπίπτει στην ημιαγωγική διάταξη καθώς και του εμβαδού της επαφής των δυο ημιαγωγών. Οι αυξανόμενες πυκνότητες φορέων πλειονότητας στις αντίστοιχες περιοχές λόγω του φωτορεύματος έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος διάχυσης I_D των φορέων αυτών προς τις αντίθετες περιοχές όπου οι φορείς αυτοί αποτελούν μειονότητα. Αυτό το ρεύμα δεν διαφέρει από εκείνο που δημιουργείτε μέσα στη μη φωτιζόμενη δίοδο, η εφαρμογή ορθής τάσης V_F . Η ορθή τάση υποβιβάζει το φραγμό της περιοχής απογύμνωσης και επιτρέπει την δημιουργία ισχυρού ρεύματος διάχυσης I_D .

3.5.4.1 Χαρακτηριστικά ενός ΦΒ στοιχείου

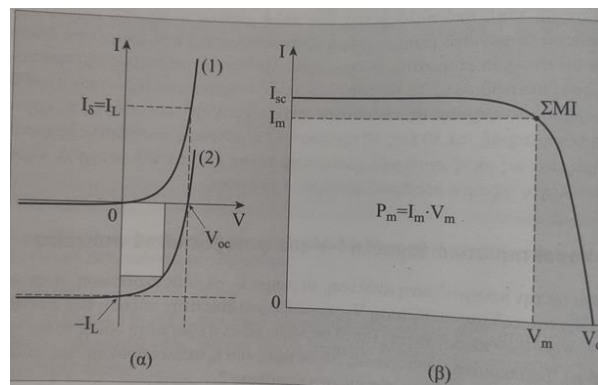
Το Φωτοβολταϊκό στοιχείο σε ανοικτό κύκλωμα και στην κατάσταση σταθερού φωτισμού, τα δυο ρεύματα που κυκλοφορούν μέσα στην επαφή είναι αντιθέτου φοράς με ίσες απολύτως τιμές $I_D=I_L$. Αυτή η ισότητα ρευμάτων τα οποία επιβάλλονται αφενός από τη διάχυση λόγω αύξησης των πυκνοτήτων των φορέων πλειονότητας αφετέρου από την ηλεκτρική τάση του ενδογενούς ηλεκτρικού φραγμού έχει ως αποτέλεσμα η ηλεκτρική τάση στα άκρα της επαφής p-n να προσεγγίζει το ύψος της V_{bi} του φραγμού της επαφής και ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} και έχει αντίθετη φορά από το V_{bi} . Σε αντίθεση σε Φωτοβολταϊκό στοιχείο με κλειστό κύκλωμα, δηλαδή αν τα άκρα της επαφής p-n συνδεθούν μεταξύ τους με ένα χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής (βραχυκύκλωμα) που φωτίζεται με σταθερή ροή ενέργειας, θα περάσει μέσα απ' το σύρμα που παρουσιάζει πρακτικά μηδενική αντίσταση ρεύμα ίσο με το I_L . Τέλος αν συνδεθεί στα άκρα της φωτιζόμενης επαφής μια αντίσταση R αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα I_R που αποτελεί μέρος του φωτορεύματος I_L . Το ρεύμα I_R εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης που συνδέουμε στα άκρα της διόδου καθώς το ρεύμα διάχυσης I_D ($I_R=I_L-I_D$).

3.5.4.2 Χαρακτηριστικά καμπύλης I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το Φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μια ηλεκτρική πηγή η οποία στην ιδανική της συμπεριφορά έχει την ιδιότητα να διατηρεί σταθερή τιμή ρεύματος σε μια αντίσταση ανεξάρτητα από την τιμή της. Σε κάθε περίπτωση η πηγή αυτή προσαρμόζει την τάση της στα άκρα της αντίστασης ώστε το ρεύμα να μένει σταθερό. Το ρεύμα διάχυσης I_D σε κάθε περίπτωση προέρχεται από μια ορθή τάση V_F και οφείλεται στην αύξηση των πυκνοτήτων των φορέων πλειονότητας, συνεπώς οι τιμές του I_D ακολουθούν την καμπύλη I-V της διόδου. Έτσι για την κατασκευή της καμπύλης I-V της φωτιζόμενης διόδου προσθέτει δυο καμπύλες την I-V της μη φωτιζόμενης διόδου και την ευθεία $I=-I_L$ του φωτορεύματος που αποτελεί την I-V της πηγής σταθερού ρεύματος. Το ρεύμα I_R έχει αντίθετη φορά από το επιβαλλόμενο στην δίοδο από μια εξωτερική πηγή με ορθή πόλωση. Συνεπώς στο διάγραμμα I-V της μη φωτιζόμενης επαφής θα τοποθετήσουμε τις τιμές I_R στον αρνητικό ημιάξονα (Σχέση 4).

$$I = IS \left\{ \exp\left(\frac{eV}{\eta_i dkBT}\right) - 1 \right\} - IL \quad (\text{Σχέση 4})$$

Σε κάθε τιμή του I_D προστίθεται το $-I_L$ και υπολογίζεται το $I_R=I$ όπου το I_D ο παράγον ιδανικότητας της διόδου και $kB=1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K. Η σημαντική περιοχή (Εικόνα 35) για την καμπύλη I-V είναι εκεί που το ΦΒ στοιχείο συμπεριφέρεται ως πηγή ενέργειας αρά παρέχει ενέργεια σε ένα καταναλωτή ($P=V \cdot I < 0$) και βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο από όλη τη καμπύλη I-V και μάλιστα ανεστραμμένο ως προς τις τιμές του ρεύματος.



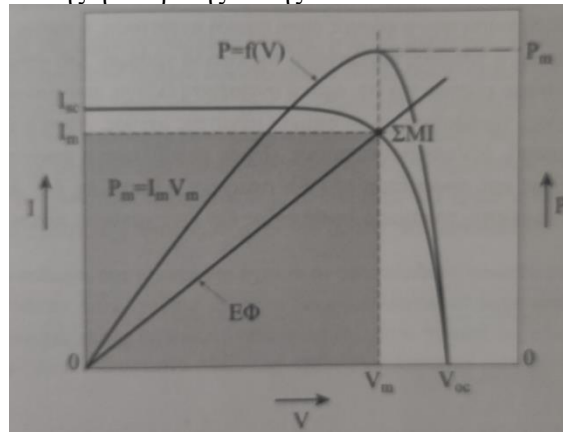
Εικόνα 35: Αριστερά η χαρακτηριστική καμπύλη I-V (1) στο σκοτάδι (2) στο φως και δεξιά σε μεγέθυνση το τμήμα της καμπύλης στο τέταρτο τεταρτημόριο όπου η επαφή p-n συμπεριφέρεται ως Φωτοβολταϊκό στοιχείο.

3.5.4.3 Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος ΦΒ

Με υπολογισμό της ισχύς που παρέχει το ΦΒ στοιχείο στην αντίσταση R σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του ΦΒ στοιχείου κατασκευάζεται το γράφημα της σε συνάρτηση με την τάση V . Στις ακραίες τιμές τάσης 0 και V_{oc} η παρεχόμενη ισχύς είναι 0. Συνεπώς είναι αναμενόμενο η καμπύλη $P=f(V)$ να εμφανίζει μέγιστο. Παρατηρείται κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση του ρεύματος και εντοπίζεται στο γόνατο της καμπύλης I-V. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να προσφέρει το ΦΒ στοιχείο υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας E ισούται (Σχέση 5).

$$P_m = I_m \cdot V_m \quad (\text{Σχέση 5}).$$

Για αποδοτικότερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του ΦΒ στοιχείου πρέπει να επιλεγεί αντίσταση στα άκρα του ΦΒ στοιχείου ώστε η τάση και το ρεύμα σ' αυτόν να αντιστοιχεί στο σημείο Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point) MPP. Επίσης μια χρήσιμη γραφική παράσταση (Εικόνα 36) η οποία ενσωματώνεται και συνδυάζεται μετρά διαγράμματα I-V της ηλεκτρικής πηγής που τροφοδοτεί μια διάταξη αξιοποίησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και ονομάζεται καμπύλη φόρτου ή Ευθεία φόρτου. Είναι η καμπύλη που προκύπτει ως γραφική παράσταση του ρεύματος I που διαρρέει τη διάταξη σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη στην είσοδο της ηλεκτρικής τάσης V.



Εικόνα 36: Ανεστραμμένη I-V ΦΒ στοιχείου στο τεταρτημόριο που παρέχει την ενέργεια.

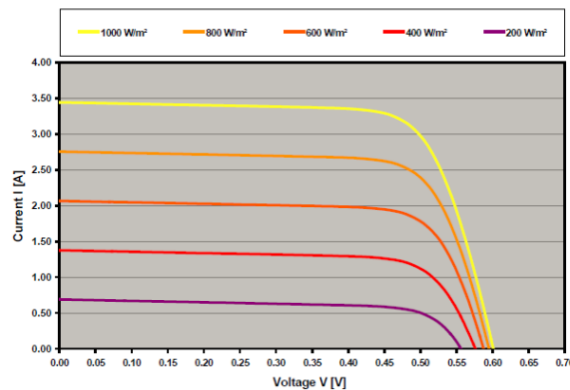
3.5.4.4 Η επίδραση των του ΦΒ στοιχείου από την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας - θερμοκρασία.

Οι εκτιμήσεις ισχύος των φωτοβολταϊκών συσκευών δεν δίνουν συνήθως μια ακριβή ένδειξη της υπαίθριας απόδοσής τους. Έρευνες, έδειξαν ότι, οι μετεωρολογικές συνθήκες προκαλούν μείωση μέχρι και 18% της πιθανής ισχύος των υποομάδων. Η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συσκευών. Άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ο αέρας, η βροχή, η κάλυψη σύννεφων και η διανομή του ηλιακού φάσματος, επηρεάζουν τη θερμοκρασία κάτω από την οποία οι συσκευές λειτουργούν καθώς και την επικείμενη ηλιακή ακτινοβολία των συσκευών. Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC} καθορίζεται αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n όπως το βασικό υλικό της, η συγκέντρωση των προσμίξεων, τη θερμοκρασία και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρήθηκε ότι (Εικόνα 37):

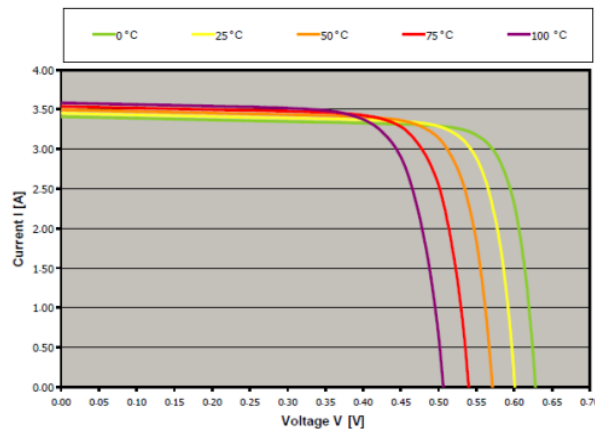
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ISC του ΦΒ στοιχείου είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος E της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα.
- Η τάση V_{OC} αρχικά αυξάνει σχετικά απότομα ως συνάρτηση της πυκνότητας E ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα παραμένοντας στη συνέχεια σχεδόν ανεξάρτητη της E. Δηλαδή με το πρώτο φως της ημέρας η τάση V_{OC} παίρνει τιμή που μεταβάλλεται αργά μέσα στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα μιας αίθριας ημέρας μέχρι τη δύση του ηλίου.

Η θερμοκρασία επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της V_{OC} , η θερμοκρασία της κυψελίδας αυξάνει κατά το φωτισμό της εξαιτίας της μετατροπής μέσα σ' αυτή μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια (αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του υλικού). Σε συνθήκες χρήσης του ΦΒ στοιχείου

στην υπαίθρου ενσωματωμένο σε ΦΒ πλαίσιο η διαφορά θερμοκρασιών θ_c (Θερμοκρασία λειτουργίας κυψελίδας) - θ_a (θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα) αυξάνει γραμμικά ως συνάρτηση της πυκνότητας της ολικής ακτινοβολίας E με τυπικό ρυθμό. Συνακόλουθα μεταβάλλονται το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} (Εικόνα 38) και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Παρατηρείται ότι το I_{SC} αυξάνεται ελαφρά και η αιτία είναι η αύξηση του μήκους διάχυσης των αυτοδημιουργούμενων φορέων μειονότητας με τη θερμοκρασία, άρα αυξάνεται το πλήθος των φορέων που κατορθώνουν να φτάσουν στους απέναντι χώρους διάταξης όπου οι φορείς αυτοί αποτελούν την πλειονότητα. Γενικά παρατηρείται μια σχεδόν σταθερή ποσοστιαία αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης στο διάστημα από -10 C έως -60 C της θερμοκρασίας ΦΒ κυψελίδας.



Εικόνα 37: Γραφική παράσταση $I-V$ και η επίδραση της ακτινοβολίας σε διάφορα W/m^2 . Όταν αλλάζει η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα ΦΒ στοιχείο που τροφοδοτεί μια ηλεκτρική αντίσταση το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται.

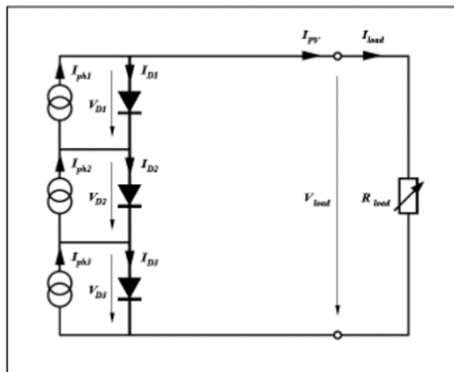


Εικόνα 38: Μεταβολή καμπύλης $I-V$ με την αύξηση της θερμοκρασίας.

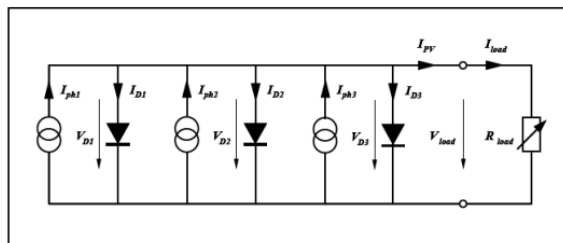
3.5.4.5 Τρόποι σύνδεσης ΦΒ στοιχείων

Τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τους επιδιωκόμενους στόχους. Ο συνδυασμός πολλών ΦΒ πλαισίων, συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά (Εικόνα 39) ή παράλληλα (Εικόνα 40), σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, αποτελεί την ΦΒ συστοιχία (array). Η έννοια της ισχύος αιχμής ΦΒ πλαισίου εφαρμόζεται αναλογικά και στην περίπτωση των ΦΒ συστημάτων. Κάθε κλάδος αποτελείται, από σε σειρά συνδεδεμένα ΦΒ πλαίσια. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σε σειρά σύνδεση αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη σύνδεση το ολικό ρεύμα. Συνήθως, τα ΦΒ πλαίσια, στη συστοιχία, συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να

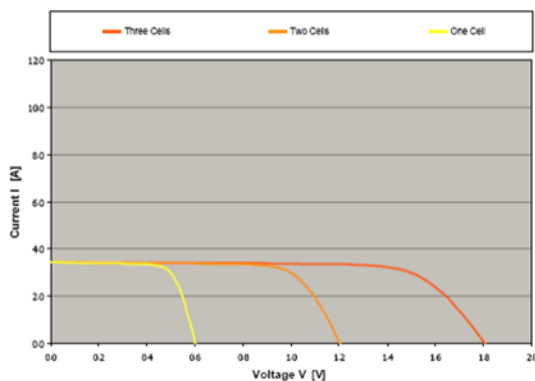
γίνεται με τις μικρότερες απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση. Συνεπώς η σύνδεση σε σειρά N όμοιων ΦΒ στοιχείων οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{iOC}=NV_{OC}$) και το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ΦΒ ($I_{iSC}=I_{SC}$) (Εικόνα 41) ενώ η παράλληλη σύνδεση με N όμοιων ΦΒ στοιχείων μας δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{iOC}=V_{OC}$) (Εικόνα 4) ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται ($I_{iSC}=NI_{SC}$). Αν τα συνδεδεμένα ΦΒ στοιχεία δεν είναι όμοια τότε η συνολική διάταξη των στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση.



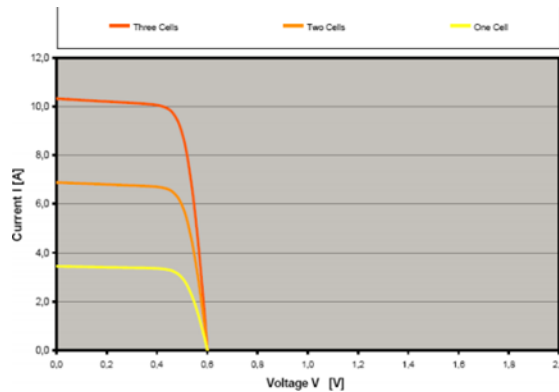
Εικόνα 39: Σύνδεση σε σειρά N όμοιων ΦΒ στοιχείων



Εικόνα 40: Παράλληλη σύνδεση N όμοιων ΦΒ στοιχείων.



Εικόνα 41: Γραφική παράσταση σύνδεση σε σειρά N όμοιων ΦΒ στοιχείων.



Εικόνα 42: Γραφική παράσταση παράλληλης σύνδεσης N όμοιων ΦΒ στοιχείων .

3.5.4.6 Η επίδραση της σκίασης

Η επίδραση της σκίασης ή έλλειψης ηλιακού φωτός ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (πχ δέντρα, κτίρια, στύλοι κτλ.) ή παροδικά από σύννεφα. Μπορεί να επηρεάζει την απόδοση των ΦΒ πλαισίων και να την μειώσει έως και 80% ακόμα και μια μικρή σκίαση, γι' τον λόγο αυτό απαιτείται προσοχή στην επιλογή του χώρου εγκατάστασης των ΦΒ πλαισίων και στον τρόπο τοποθέτησης τους. Για την αποφυγή της σκίασης, λαμβάνεται μέριμνα ώστε η εγκατάσταση να βρίσκεται σε χώρο στον οποίο απουσιάζουν εμπόδια. Επιπλέον, (Εικόνα 43) για αποφυγή σκιάσεων των φωτοβολταϊκών η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης.



Εικόνα 43: Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ΦΒ πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 x Ύψος της εγκατάστασης.

3.5.4.7 Standard Test Conditions (STC)

Το κυριότερο τυπικό ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός ΦΒ πλαισίου με βάση το οποίο θα αναζητηθεί στο εμπόριο ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης ΦΒ εγκατάστασης καθώς και η εμπορική του τιμή καθορίζονται με βάση την έννοια της ισχύος αιχμής P_p (Peak power) ενός ΦΒ πλαισίου και είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου Standard Test Conditions (STC) είναι το βιομηχανικό πρότυπο για τις συνθήκες υπό τις οποίες δοκιμάζεται ένα ηλιακό πάνελ. Χρησιμοποιώντας ένα σταθερό σύνολο συνθηκών, όλα τα ηλιακά πάνελ συγκρίνονται με ακρίβεια και βαθμολογούνται μεταξύ τους. Υπάρχουν τρεις τυπικές συνθήκες δοκιμής που είναι:

1. Θερμοκρασία της κυψέλης - 25 ° C. Η θερμοκρασία του ίδιου του ηλιακού στοιχείου, όχι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

2. Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας - 1000 W/m^2 . Αυτός ο αριθμός αναφέρεται στην ποσότητα φωτεινής ενέργειας που πέφτει σε μια δεδομένη περιοχή σε μια δεδομένη στιγμή.

3. Μάζα του αέρα - 1.5. Αυτός ο αριθμός είναι κάπως παραπλανητικός καθώς αναφέρεται στην ποσότητα του φωτός που πρέπει να περάσει από την ατμόσφαιρα της Γης πριν μπορέσει να χτυπήσει την επιφάνεια της Γης και έχει να κάνει κυρίως με τη γωνία του ήλιου σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς στη γη. Αυτός ο αριθμός ελαχιστοποιείται όταν ο ήλιος είναι ακριβώς πάνω καθώς το φως πρέπει να διανύσει μια ελάχιστη απόσταση κατ' ευθείαν προς τα κάτω και αυξάνεται καθώς ο ήλιος πηγαίνει πιο μακριά από το σημείο αναφοράς και πρέπει να πάει υπό γωνία για να χτυπήσει το ίδιο σημείο.

3.5.4.8 (Nominal Operating Cell Temperature) NOCT

Κατά τη λειτουργία του ΦΒ πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες η θερμοκρασία της ΦΒ κυψελίδας και φυσικά του ΦΒ πλαισίου είναι διαφορετική των $25 \text{ }^\circ\text{C}$ και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται τυπικά μεταξύ $0 - 1200 \text{ W/m}^2$ (ηλιακή σταθερά 1367 W/m^2). Η μέγιστη παραγομένη ηλεκτρική ισχύς κάθε στιγμή είναι διαφορετική και μάλιστα κατά κανόνα μικρότερη της ισχύος αιχμής της. Ωστόσο, σε κάθε ΦΒ πλαίσιο εκτός των στοιχείων που αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (P_p , I_{sc} , V_{oc}) αναγράφεται η θερμοκρασία την οποία αποκτά το ΦΒ πλαίσιο ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος που προσεγγίζουν μια μέση πραγματική κατάσταση και χαρακτηρίζεται ως ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ Κυψελίδας (Nominal Operating Cell Temperature) NOCT και προσδιορίζεται από τις παρακάτω συνθήκες.

1. Η ακτινοβολία είναι 800 W/m^2 , το οποίο λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι οι φωτοβολταϊκές μονάδες δεν αντιμετωπίζουν πάντα τον ήλιο. Λαμβάνει επίσης υπόψη τις ατμοσφαιρικές ή γεωγραφικές συνθήκες τι μπορεί να μειώσει τον ήλιο.
2. Οι ηλιακοί συλλέκτες θερμαίνονται σημαντικά κατά τη λειτουργία, οπότε η εξεταζόμενη θερμοκρασία είναι $45 (+/- 3) \text{ }^\circ\text{C}$.
3. Το φάσμα φωτός είναι το ίδιο με το STC.
4. Θεωρείται ταχύτητα ανέμου 1 m/s , με αέρα στους $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Αυτό σημαίνει ότι τα ηλιακά πάνελ θα έχουν πάντα υψηλότερες βαθμολογίες στο STC σε σύγκριση με το NOCT. Χαμηλή ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας αποτελεί ένδειξη ταχύτερης αποβολής προς το περιβάλλον του μέρους εκείνου της ηλιακής ακτινοβολίας που συμβάλει ουσιαστικά στην αύξηση της θερμοκρασίας του. Συνεπώς όσο μικρότερη η τιμή της για ένα πλαίσιο τόσο μικρότερη η μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος σε σχέση με άλλο ίδιας ισχύος αιχμής του οποίου όμως η θερμοκρασία NOCT είναι μεγαλύτερη.

3.6 Αντιστροφές

Ένας ηλιακός αντιστροφέας είναι ένα εξάρτημα συστήματος εξισορρόπησης (BOS) ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και χρησιμοποιείται τόσο για συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο όσο και για συστήματα εκτός δικτύου. Οι μετατροπείς της ηλιακής ενέργειας έχουν ειδικές λειτουργίες προσαρμοσμένες για χρήση με φωτοβολταϊκές συστοιχίες, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης μέγιστων σημείων ισχύος και

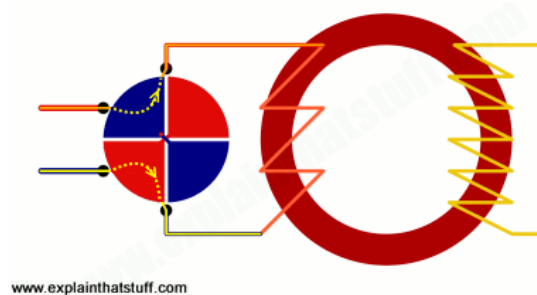
προστασίας κατά απώλεια της σύνδεσης δικτύου (νησιώσεως) Για ένα συνδεδεμένο με το δίκτυο Φωτοβολταϊκό σύστημα, η μετατροπή ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες πραγματοποιείται συνήθως σε δύο στάδια. Πρώτον, ένας μετατροπέας DC / DC, (Εικόνα 44) χρησιμοποιείται τόσο για τη μετατροπή της τάσης από το ΦΒ πλαίσιο ή τη συστοιχία σε κάτι κοντά στην τάση δικτύου, όσο και για τη μεγιστοποίηση της ενέργειας που εξάγεται από τα πάνελ. Στη συνέχεια, ένας αντιστροφέας χρησιμοποιείται για να μετατραπεί από DC σε AC και να συγχρονιστεί με το δίκτυο. Ένας μετατροπέας ισχύος ή ένας αντιστροφέας είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ή κύκλωμα ισχύος που αλλάζει συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η τάση εισόδου, η τάση εξόδου και η συχνότητα και ο συνολικός χειρισμός ισχύος εξαρτώνται από το σχεδιασμό της συγκεκριμένης συσκευής ή κυκλώματος. Ο αντιστροφέας δεν παράγει ενέργεια. η ισχύς παρέχεται από την πηγή DC. Ένας αντιστροφέας ισχύος μπορεί να είναι εξ ολοκλήρου ηλεκτρονικός ή μπορεί να είναι ένας συνδυασμός μηχανικών επιδράσεων (όπως μια περιστροφική συσκευή) και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Οι στατικοί μετατροπείς δεν χρησιμοποιούν κινητά μέρη στη διαδικασία μετατροπής. Οι μετατροπείς ισχύος χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχουν υψηλά ρεύματα και τάσεις. τα κυκλώματα που εκτελούν την ίδια λειτουργία για τα ηλεκτρονικά σήματα, τα οποία συνήθως έχουν πολύ χαμηλά ρεύματα και τάσεις, ονομάζονται ταλαντωτές .



Εικόνα 44: Μετατροπέας DC-DC (Converter)

Τα κυκλώματα που εκτελούν την αντίθετη λειτουργία, μετατρέποντας το AC σε DC, ονομάζονται ανορθωτές. Ένας τριφασικός ηλιακός αντιστροφέας παίρνει ρεύμα DC από ηλιακούς συλλέκτες, τον τεμαχίζει και στέλνει την ηλεκτρική ενέργεια AC σε μια τριφασική παροχή. Κοστίζουν περισσότερο από τον αντίστοιχο μονοφασικό ηλιακό μετατροπέα. Μια τριφασική κατοικία διαθέτει 3 φάσεις (καλώδια) που εισέρχονται από το πλέγμα. Αυτό σημαίνει ότι τα τριφασικά τροφοδοτούνται με περισσότερη ισχύ από το δίκτυο. Ιδανικά για ιδιαίτερα μεγάλα φορτία που απαιτούν μεγάλη ενεργεία για την λειτουργία τους. Έτσι μια τριφασική παροχή μπορεί να παράγει πολύ περισσότερη ηλιακή ενέργεια και να την τροφοδοτήσει πίσω στο δίκτυο σε σύγκριση με το μονοφασικό. Οι μετατροπείς επίσης να χρησιμοποιούνται με μετασχηματιστές για να αλλάξουν μια ορισμένη τάση εισόδου DC σε μια τελείως διαφορετική τάση εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος (υψηλότερη ή χαμηλότερη) αλλά η ισχύς εξόδου πρέπει πάντα να είναι μικρότερη από την ισχύ εισόδου, από τη διατήρηση της ενέργειας προκύπτει ότι ένας αντιστροφέας και ο μετασχηματιστής δεν μπορεί να δώσει περισσότερη ισχύ από ότι λαμβάνει και κάποια ενέργεια αναγκάζεται να χαθεί ως θερμότητα όπως η ροή ηλεκτρικής ενέργειας διαμέσου των διαφόρων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Στην πράξη, η αποτελεσματικότητα ενός μετατροπέα συχνότητας είναι συχνά πάνω από 90%.

Η λειτουργία του Μ/Σ (Εικόνα 45), το DC τροφοδοτεί το πρωτεύον τύλιγμα (ροζ ζιγκ-ζαγκ σύρματα στην αριστερή πλευρά) ενός δακτυλοειδούς μετασχηματιστή (καφέ ντόνατς), μέσω μιας περιστρεφόμενης πλάκας (κόκκινη και μπλε) με διασταυρούμενες συνδέσεις. Καθώς η πλάκα περιστρέφεται, επαναλαμβάνει επανειλημμένα τις συνδέσεις στην πρωτεύουσα περιέλιξη, οπότε ο μετασχηματιστής λαμβάνει AC ως είσοδο αντί για DC. Αυτός είναι ένας μετασχηματιστής βαθμιαίας αύξησης με περισσότερες περιελίξεις στο δευτερεύον (κίτρινο ζιγκ-ζαγκ, δεξιά πλευρά) από τον πρωτεύοντα, έτσι ενισχύει μια μικρή τάση εισόδου AC σε μια μεγαλύτερη έξοδο AC. Η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο δίσκος ρυθμίζει τη συχνότητα της εξόδου AC. Οι περισσότεροι μετατροπείς δεν δουλεύουν κάτι τέτοιο, αυτό απλά απεικονίζει την έννοια. Ένας αντιστροφέας που έχει ρυθμιστεί με αυτό τον τρόπο θα παράγει μια πολύ τραχιά τετραγωνική έξοδο κύματος.



Εικόνα 45 :Η βασική ιδέα λειτουργίας ενός ηλεκτρομηχανικού μετατροπέα.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή και τοποθέτηση του αντιστροφέα είναι ο βαθμός προστασίας του (IP class), (Εικόνα 46). Αν και αντιστροφείς με υψηλό δείκτη προστασίας (π.χ. IP 65) μπορούν να τοποθετηθούν στον εξωτερικό χώρο, γενικά συνιστάται να αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους στον ήλιο και να τοποθετούνται στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων. Αντιστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας IP (π.χ. IP44) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύματος προστασίας από καιρικές συνθήκες. Αντίθετα αντιστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ. IP 21-23) θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τον επαρκή αερισμό του χώρου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του αντιστροφέα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε ορισμένες περιπτώσεις αν θεωρείται σκόπιμο θα πρέπει να προβλεφθεί και η τοποθέτηση κλιματιστικού μηχανήματος.

SOLIDS		WATER	
IP 1	Protected against a solid object greater than 50mm, such as a hand	1	Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.
IP 2	Protected against a solid object greater than 12.5mm, such as a finger	2	Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted 15° from vertical. Limited ingress permitted.
IP 3	Protected against a solid object greater than 2.5mm, such as a screwdriver	3	Protected against sprays to 60° from the vertical. Limited ingress permitted.
IP 4	Protected against a solid object greater than 1.0mm, such as a wire	4	Protected against water splashed from all directions. Limited ingress permitted.
IP 5	Dust protected. Limited ingress of dust permitted.	5	Protected against jets of water. Limited ingress permitted.
IP 6	Dust tight. Zero ingress of dust permitted.	6	Protected against strong jets of water. Limited ingress permitted.
IP 67		7	Protected against the effects of immersion between 15min and 1m for up to 1h.
		8	Protected against long periods of immersion under pressure.

Εικόνα 46: Οι αξιολογήσεις IP (ή «Προστασία εισόδου») ορίζονται στα διεθνή πρότυπα. Χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των επιπέδων στεγανότητας των ηλεκτρικών περιβλημάτων κατά της εισβολής από ξένα σώματα (εργαλεία, βρωμιά κ.λπ.) και υγρασία."

3.6.1 Μικροί μετατροπείς

Ένας μικρό-αντιστροφέας είναι ένας μικροσκοπικός αντιστροφέας, μεγέθους που ταιριάζει σε μεμονωμένους ηλιακούς συλλέκτες και όχι σε μια σειρά ηλιακών (*Εικόνα 47*). Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1990, αλλά ήταν νωρίς και η τεχνολογία υπέφερε από ζητήματα αξιοπιστίας και υψηλές τιμές. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο έχουν πολλά πλεονεκτήματα για τα ηλιακά πάνελ εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιούνται μικρο μετατροπείς. Όταν τα ηλιακά πάνελ συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, η σκίαση ενός μόνο από αυτά μπορεί να επηρεάσει δραματικά ολόκληρη τη συστοιχία (*Εικόνα 48*). Όμως, έχοντας έναν μικρό-μετατροπέα σε κάθε ηλιακό πλαίσιο, οι έξοδοι είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Έτσι, θα επηρεάσει μόνο τα λερωμένα πάνελ (*Εικόνα 49*). Παρόλα αυτά τα πλεονεκτήματα, οι μικρο-μετατροπείς δεν έχουν φτάσει ακόμη στα ίδια επίπεδα απόδοσης των μετατροπέων σειράς. Ένα σύστημα μικρο-μετατροπέα θα προσθέσει περίπου 20-30% περισσότερο στο κόστος ενός συστήματος ηλιακής ενέργειας σε σύγκριση με ένα που χρησιμοποιεί ένα συμβατικό σύστημα μετατροπέα συμβολοσειράς. Ο πιο συνηθισμένος λόγος για τον οποίο επιλέγονται είναι επειδή έχουν καλύτερη απόδοση στην σκίαση ή στην χρήση διαφορετικών προσανατολισμούς για να παράγουν την ισχύ που χρειάζεται.



Εικόνα 47: Αριστερά ένα παράδειγμα ενός Μετατροπέα – Δεξιά ενός μικρό-μετατροπέας



Εικόνα 48: Ηλιακά πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά και η σκίαση ενός επηρεάζει δραματικά ολόκληρη τη συστοιχία.



Εικόνα 49: Σύνδεση ενός μικρό-μετατροπέα σε κάθε ηλιακό πλαίσιο η σκίαση ενός δεν επηρεάζει ολόκληρη τη συστοιχία θα επηρεάσει μόνο τα λερωμένα πάνελ.

3.7 Μπαταρίες (υβριδικό σύστημα - εκτός δικτύου (Off-Grid))

Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε μπαταρίες για χρήση όταν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας πέφτει ή αν δεν βρίσκεται στο δίκτυο. Τα υβριδικά συστήματα παρέχουν ισχύ για να αντισταθμίσουν την ισχύ του δικτύου όποτε ο ήλιος φωτίζει και ακόμη θα στείλει υπερβολική ισχύ στο δίκτυο για πίστωση για μεταγενέστερη χρήση με τα υβριδικά συστήματα. Δεν είναι οικονομικά αποδοτικές ούτε είναι εύκολη να εγκατάσταση τους από τους ιδιοκτήτες σπιτιού, μπορεί ακόμα να στοιχίσει 2-3 φορές το κόστος ενός συνδεδεμένου με το δίκτυο συστήματος για ένα παρόμοιο σύστημα εκτός δικτύου. Δεν μπορεί να αναμένεται η παροχή ενέργειας για όλα τα φορτία μιας εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι το κόστος και ο όγκος των μπαταριών θα ήταν που μεγάλος. Οι μπαταρίες είναι ακριβές, απαιτούν συνεχή συντήρηση και περιοδική αντικατάσταση.

Ο συσσωρευτής στην ηλεκτρολογία είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια (αφού τη μετατρέψει σε χημική) και όταν χρειαστεί, να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεσή τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή). Ο εκφορτισμένος ηλεκτρικός συσσωρευτής φορτίζεται όταν περάσει από αυτόν συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή ενώ ταυτόχρονα στον ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται αντίστροφες χημικές διεργασίες, με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από τη χωρητικότητα δηλαδή την ποσότητα του ηλεκτρισμού σε αμπερώρια (Ah), τη μέση τάση σε Volt, τον λόγο της ποσότητας των αμπερωρίων που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ποσότητα των αμπερωρίων που απορροφάται κατά τη φόρτιση και το λόγο της ενέργειας που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που απορροφάται κατά τη φόρτιση. Υπάρχουν ηλεκτρικοί συσσωρευτές σε μόνιμη εγκατάσταση (για τις ανάγκες των ηλεκτρικών σταθμών, των τηλεφωνικών και τηλεγραφικών σταθμών, των ραδιοσταθμών κ.ά.) και φορητοί (για τροφοδότηση κινητών ραδιοσυσκευών και συσκευών ενσύρματης επικοινωνίας, αυτοκινήτων, αεροπλάνων κ.ά.).

3.7.1 Μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης

Έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν σε επανειλημμένους κύκλους εκφόρτισης /φόρτισης. Κατασκευάζονται από πλάκες αυξημένου πάχους και σχάρες εξηλασμένου μετάλλου με κράμα μόλυβδου/ασβεστίου (Pb/Ca), που διασφαλίζει εξαιρετική αντίσταση ενάντια στη διάβρωση. Οι διαχωριστήρες σε σχήμα φακέλου, σε συνδυασμό με τον υαλοβάμβακα παρέχουν χαμηλή αντίσταση και αποτρέπουν τη διαρροή της ενεργής ύλης. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης ή μπαταρίες φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας για καθημερινή χρήση. Η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης οφείλεται στις χοντρές πλάκες

μόλυβδου οι οποίες αντέχουν στην διάβρωση. Είναι πιο βαριές και μεγαλύτερες από τις μπαταρίες εκκίνησης και προτείνονται για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Για την σωστή χρήση μπαταριών δεν πρέπει να αποφορτίζονται πάνω από το 50% με 60% της συνολικής χωρητικότητας. Οι καλής ποιότητας ινβέρτερ (αντιστροφείς τάσης) αυτόνομων συστημάτων, διακόπτουν την λειτουργία τους όταν οι μπαταρίες αδειάζουν σε μεγαλύτερο ποσοστό. Για την σωστή φόρτιση των μπαταριών από φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται ρυθμιστές φόρτισης. Όταν φορτίζονται οι μπαταρίες από γεννήτρια ή άλλη πηγή εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος χρησιμοποιούμε φορτιστές-μετατροπείς AC σε DC. Σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος και φυσικά καταστροφής των μπαταριών. Βάση τον τρόπο κατασκευής τους διακρίνονται σε δυο τύπους:

1. Ανοιχτού τύπου μπαταρίες με υγρά (*Εικόνα 50*) και ανοιγόμενες τάπες. Κάθε το κελί αποτελείται από 2 πλάκες μόλυβδου (Pb) αντίθετα φορτισμένες. Ανάμεσα στις πλάκες υπάρχει υγρό διάλυμα θεικού οξέος. Η χημική αντίδραση μεταξύ των πλακών και του υγρού διαλύματος έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια την δημιουργία διαφοράς δυναμικού (V), δηλαδή την παραγωγή ρεύματος. Κατά την φόρτιση η χημική αντίδραση αντιστρέφεται.
 - **Με εύκολη παρακολούθηση** : ξεβιδώνοντας τα πώματα ελέγχεται η περιεκτικότητα σε ηλεκτρολύτη και μπορεί να μετρηθεί η πυκνότητα του με πυκνόμετρο.
 - **Μηνιαία αναζωογόνηση** : ο ρυθμιστής φόρτισης αναζωογονεί (equalization) την μπαταρία μία φορά τον μήνα παρέχοντας μεγάλη ποσότητα ρεύματος για μερικές ώρες. Με το equalization μειώνονται οι πιθανότητες δημιουργίας κρυστάλλων στην επιφάνεια της πλάκας μόλυβδου και της θείωσης, παράγοντες που μειώνουν την διάρκεια ζωής των μπαταριών.
 - **Έκλυση αερίων** : κατά την φόρτιση και αποφόρτιση εκλύουν αέρια, γι' αυτό προτείνεται να τοποθετούνται σε χώρο που αερίζεται. Επίσης οι μπαταρίες μπορούν να συνδεθούν με σωληνάκι, και να εκλύονται τα αέρια σε εξωτερικό χώρο
 - **Συντήρηση** : προτείνεται να γίνεται ένας τουλάχιστον έλεγχος κάθε εξάμηνο. Τα υγρά των μπαταριών πρέπει να καλύπτουν τα στοιχεία (πλάκες) μόλυβδου.
2. Κλειστού τύπου VRLA (Valve Regulated Lead Acid) (*Εικόνα 51*) με μίας κατεύθυνσης βαλβίδες ασφαλείας. Κλειστού τύπου με gel. Στις μπαταρίες gel το θεικό οξύ είναι αναμεμιγμένο με καπνισμένο πυρίτιο (πυρογενές διοξείδιο του πυριτίου). Το αποτέλεσμα είναι ένα παχύρευστο υγρό που μοιάζει με ζελέ. Η χημική σύσταση είναι ίδια με τις μπαταρίες υγρών οξέων ανοιχτού τύπου, με την μόνη διαφορά πως στις πλάκες μόλυβδου των μπαταριών gel αντί για το στοιχείο αντιμόνιο χρησιμοποιείται ασβέστιο. Το ασβέστιο απορροφά τα αέρια που εκλύονται κατά την χημική αντίδραση και τα ανακυκλώνει μέσα στην μπαταρία και AGM (Absorbed glass mat) (*Εικόνα 52*). Στις μπαταρίες AGM ανάμεσα στις πλάκες μόλυβδου, υπάρχει ένα πορώδες υλικό από ίνες γυαλιού εμποτισμένο με το διάλυμα θεικού οξέος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παράγονται ελάχιστα αέρια κατά την χημική αντίδραση. Οι πλάκες περιέχουν ασβέστιο, το οποίο απορροφά τα αέρια του ηλεκτρολύτη.
 - **Με μηδενική συντήρηση** : είναι ιδανικές για όσους δεν έχουν τον χρόνο ή ξεχνάνε να παρακολουθούν τις μπαταρίες τους

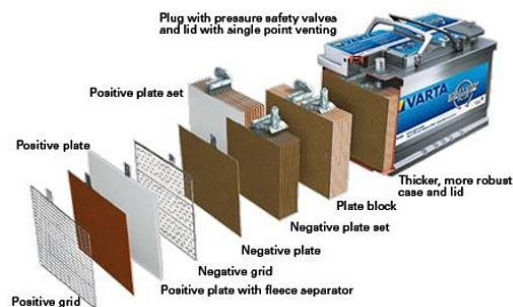
- **Χωρίς μηνιαία αναζωογόνηση** : δεν είναι δυνατό το equalization, γιατί οι μπαταρίες είναι κλειστού τύπου και υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος
- **Δεν εκλύονται αέρια** : όσα αέρια δημιουργούνται ανακυκλώνονται μέσα στην μπαταρία. Ιδανική για κλειστούς χώρους ή για απομακρυσμένες εγκαταστάσεις που δεν είναι δυνατή η τακτική παρακολούθηση.



Εικόνα 50: Μπαταρία ανοιχτού τύπου με γυρά



Εικόνα 51: Μπαταρία κλειστού τύπου VRLA (Valve Regulated Lead Acid)



Εικόνα 52: Μπαταρία κλειστού τύπου AGM (Absorbed glass mat)

3.8 Καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. Τα DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου (Εικόνα 53), χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφών σε τριφασικό σύστημα και την τελική

σύνδεση με τη ΔΕΗ. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση σε σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4 mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του 1,5 mm²) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους. Το καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60°C και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος.



Εικόνα 53 : Καλώδιο εύκαμπτο H07RN-F με μόνωση και μανδύα από ελαστικό υψηλής αντοχής. Κατάλληλο για χρήση σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους, στο ύπαιθρο

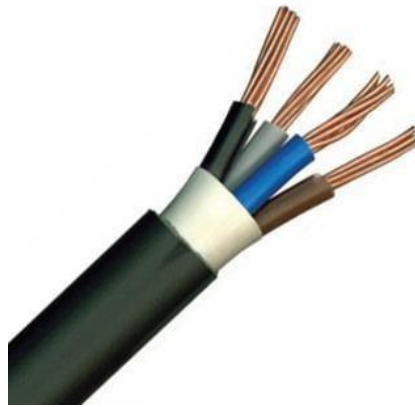
Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν ειδικά καλώδια για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφείς κυμαίνονται συνήθως από 4-16 mm². Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο υπολογισμός απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Επίσης χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων, κατά τη φάση κατασκευής ενός έργου, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειτνίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά. Και τέλος ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ.) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” DC (Εικόνα 54) με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των 5mΩ και μικρότερη). Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYY, NYM, NYCWY) (Εικόνα 55) με ενισχυμένη εξωτερική μόνωση PVC

κατάλληλα για εξωτερικούς χώρους, εφαρμόζοντας τις συνήθειες πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.



Εικόνα 54: Σύνδεσμοι DC φωτοβολταϊκών καλωδίων “plug and play”



Εικόνα 55: Τυπικό καλώδιο ισχύος NYV (J1VV-U) με ενισχυμένη εξωτερική μόνωση PVC.

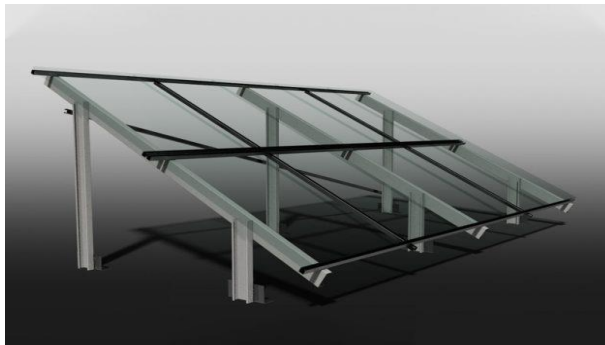
3.9 Τρόποι στήριξης Φ/Β πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ συνήθως εδράζονται επί εδάφους με δύο τρόπους σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις» και σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλατήσεως της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή trackers.

3.9.1 Σταθερές βάσεις

Οι σταθερές βάσεις (Εικόνα 56) αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο καθώς η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή, οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζο-

νται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού. Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με τσιμέντο είτε απευθείας στο έδαφος. Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμψη. Ωστόσο, συστήνεται η γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμψη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων. Επιπλέον απαιτείται προσοχή στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πάνελ για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων των πάνελ. Τα πάνελ τοποθετούνται είτε κατά τη μικρή διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape), αυτό εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού.



Εικόνα 56: Σταθερή βάση με δυνατότητα ρύθμισης κλίσης των ΦΒ πλαισίων.

3.9.2 Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου (trackers).

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Συστήματα μονού άξονα (Single axis): (Εικόνα 57) πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται συνήθως με ηλεκτρομηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά. Ωστόσο, είναι

σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα Φ/Β πάνελ λόγω της διαφοράς τιμής. Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους, ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.



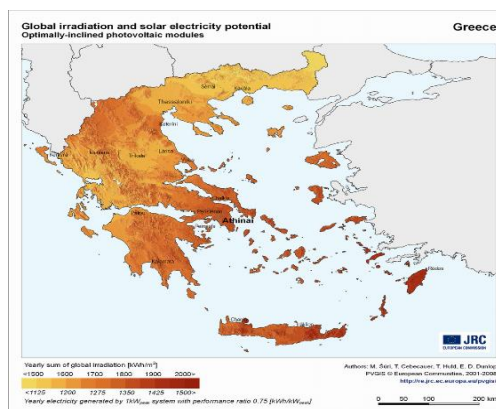
Εικόνα 57 : Μονοαξονική Ιχνηλάτηση.

4 Μελέτη Φωτοβολταϊκού σταθμού για ηλεκτροπαραγωγή

4.1 Τοποθεσία εγκατάστασης

Η συγκεκριμένη μελέτη έχει ως στόχο εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering) σε εργαστήριο κατασκευών αλουμινίου – σιδήρου, είναι διασυνδεδεμένο με το Δημόσιο Δίκτυο Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Με το Net Metering η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ αφαιρείται από την καταναλισκόμενη από το δημόσιο δίκτυο μειώνοντας έτσι το κόστος ενέργειας για τον χρήστη. Συνοπτικά με ένα δεύτερο μετρητή καταμετράται η ενέργεια που παράγει το Φωτοβολταϊκό η οποία αφαιρείται από την ενέργεια που καταμέτρησε ο ήδη υπάρχοντας μετρητής κατανάλωσης. Σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά με ταρίφα (feed-in tariff), στα συστήματα net Metering ο συμψηφισμός παραγόμενου και καταναλισκόμενου ρεύματος είναι ενεργειακός (σε kWh) και όχι "λογιστικός" (σε €).

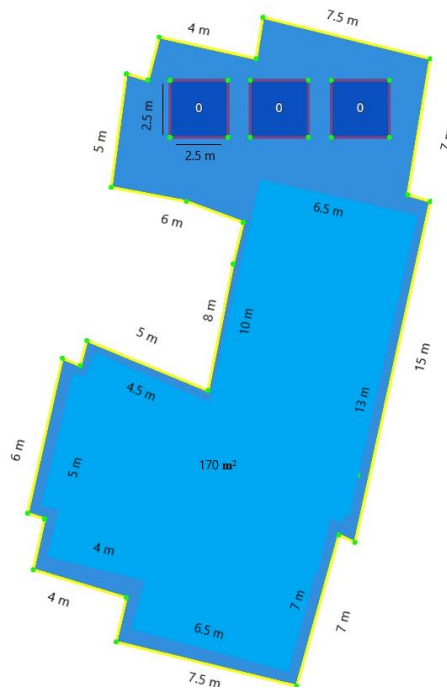
Η περιοχή που βασίστηκε η μελέτη βρίσκεται στο νομό Δωδεκανήσου και συγκεκριμένα στο νησί της Ρόδου και πραγματοποιείται στην νοτιοανατολική πλευρά της χώρας της Ελλάδας, όπου παρατηρείται μεγάλη ηλιοφάνεια σύμφωνα με τα γεωγραφικά, μετεωρολογικά και ηλιακής ακτινοβολίας δεδομένα της πανευρωπαϊκής Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), όπου στην (Εικόνα 58) νοτιοανατολική περιοχή της Ελλάδας υπάρχει μεγαλύτερη ηλιοφάνεια. Το εργαστήριο βρίσκεται στην Βορειοανατολική πλευρά του νησιού, και στεγάζεται στο υπόγειο μίας πολυκατοικίας (Εικόνα 59). Η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε στην ταράτσα της πολυκατοικίας και όπου η συνολική έκταση είναι περίπου 330 m², αλλά ο διαθέσιμος χώρος για την τοποθέτηση του συστήματος είναι 230 m², σε αυτόν τον χώρο υπάρχουν τέσσερις ηλιακοί συλλέκτες 6,25 m² έκαστος των ενοίκων της πολυκατοικίας όπου οι τρεις είναι σε λειτουργία και έγινε, μεταφορά τους (Εικόνα 60) ώστε να δημιουργηθεί η απαιτούμενη έκταση για την τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων



Εικόνα 58: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα από τα δεδομένα της πανευρωπαϊκής βάσης (PVGIS)



Εικόνα 59: Η πολυκατοικία που έγινε η ΦΒ εγκατάσταση



Εικόνα 60: Η θέση των ηλιακών συλλεκτών (Μπλε κουτάκια) μετά την μεταφορά τους και ο διαθέσιμος χώρος που δημιουργήθηκε για την εγκατάσταση .

4.2 Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας

Απασχολεί τέσσερις υπάλληλους και έχει μεγάλη ετήσια κατανάλωση ενέργειας καθώς υπάρχουν μηχανήματα με μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Ο υπεύθυνος του εργαστήριου θέλησε να συμβάλει στην μείωση του αποτυπώματος άνθρακα στο περιβάλλον αλλά και την οικονομική επιβάρυνση που έχει στον μηνιαίο λογαριασμό στην ΔΕΗ, εκμεταλλευόμενος την μεγάλη ηλιοφάνεια και το ηλιακό δυναμικό του νησιού. Αρχικά υπολογίστηκε η ετήσια κατανάλωση του εργαστήριου, αλλά επειδή ήταν αδύνατον να υπολογιστεί

από τους λογαριασμούς της (ΔΕΗ) υπολογίστηκε (προσεγγίσιμα) με δεδομένα που καταγράφηκαν από τον υπεύθυνο και το προσωπικό του εργαστηρίου. Το εργαστήριο λειτουργεί έξι μέρες την εβδομάδα το ωράριο λειτουργίας είναι από 8π.μ. έως 4 μ.μ.. Τα μηχανήματα είναι σε λειτουργία από τις 8 έως τις 3μ., καθώς είναι σε κατοικήσιμη περιοχή και κάνουν πολύ θόρυβο κατά την λειτουργία τους. Έτσι ακολουθεί τους νομούς μεσημβρινής ησυχίας (θερινή περίοδο από 15:00 έως 17:30 - χειμερινή περίοδο από 15:30 έως 17:30). Στον (Πίνακας 6) καταγράφηκαν όλα τα μηχανήματα της επιχείρησης, οι διάφορες ώρες λειτουργίας τους κατά την διάρκεια της ημέρας και τέλος η συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh) μέσα στην ημέρα, οι συνολικές μέρες λειτουργίας της επιχείρησης στην διάρκεια του έτους ως 300 μέρες από τις (365) του έτους, περίπου 65 μέρες του έτους δεν υπάρχει κατανάλωση ενεργείας, σε αυτά συμπεριλαμβάνονται εθνικές αργίες, εθιμικές αργίες, εξωτερικές κατασκευές κ.α..

Πίνακας 6: Όλα τα μηχανήματα της επιχείρησης, ώρες λειτουργίας τους και το συνολικό κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Μηχανήματα-Φορτία	Ισχύς kW	Λειτουργία h/day	Κατανάλωση kWh/Day	Ετήσια Κατανάλωση kWh/300day	Τιμή ρεύματος 0,21€/ kWh	Ετήσιο Κόστος €
Κομπρεσέρ αέρος (Εικόνα 61)	4	4	16	4800	3,36 €	1008,00 €
Δισκοπρίοιο μετάλλων(Εικόνα 62)	1,8	3	5,4	1620	1,13 €	340,20 €
Δισκοπρίοιο αλουμίνιου(Εικόνα 63)	1,8	3	5,4	1620	1,13 €	340,20 €
Μηχανή γεώτρησης πάγκου(Εικόνα 64)	0,37	3	1,11	333	0,23 €	69,93 €
Φώτα φθορισμού (14)	0,504	8	4,032	1209,6	0,85 €	254,01 €
Υπολογιστή, Ηλεκτροκολλητή κ.α.	2	6	12	3600	2,52 €	756,00 €
ΣΥΝΟΛΟ	10,474	27	43,94	13.182,6	9,23 €	2.768,34 €

Η ημερήσια κατανάλωση είναι περίπου **43.94 kWh** ενώ η ετήσια κατανάλωση **13.182.60 kWh** στις 300 μέρες λειτουργίας. Η τιμή της κιλοβατώρας στην επιχείρηση μαζί με το ΦΠΑ και τα τέλη που χρεώνει η ΔΕΗ είναι περίπου στα **0,21€/kWh**. Έτσι υπολογίστηκε το ημερήσιο κόστος του εργαστηρίου περίπου στα **9,23 €** ενώ από τις συνολικές μέρες του χρόνου που λειτουργεί το εργαστήριο (300) ο ετήσιος λογαριασμός της επιχείρησής προς την Δημοσιά Επιχείρηση Ηλεκτροδότησης ανέρχεται στα **2.768,34 €**



Εικόνα 61: Κομπρεσέρ Αέρος ισχύος 4 kW



Εικόνα 62: Δισκοπρίνο Μετάλλων ισχύος 1.8 kW



Εικόνα 63: Δισκοπρίνο Αλουμίνιου ισχύος 1.8kW



Εικόνα 64: Μηχανή γεώτρησης Πάγκου ισχύος 370W

4.3 Προσανατολισμός-Υπολογισμός ισχύος Εγκατάστασης

Η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε στην ταράτσα του κτηρίου όπου η συνολική έκταση είναι 330 m^2 , στο χώρο αυτό είναι τοποθετημένα ηλιακά θερμοσίφωνα των ενοίκων της πολυκατοικίας, για τον λόγο ήταν περιορισμένος ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης 230 m^2 . Η απαιτούμενη έκταση εξαρτάται άμεσα από την ισχύ (μέγεθος) του φωτοβολταϊκού πλαισίου που χρησιμοποιείται (μικρή ισχύ μεγάλο αριθμό πάνελ - μεγάλη ισχύ μικρότερο αριθμό πάνελ). Για την τοποθέτηση των συλλεκτών επιλέχθηκε η κατάλληλη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός τους. Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) προτείνει σε κτηριακές εγκαταστάσεις στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου, για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους πρέπει να είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η

αζιμούθια γωνία 0° (κατεύθυνση προς νότο). Συνεπώς η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται με Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30°. (Εικόνα 65).

Για την επιλογή της γωνίας κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο στο νησί της Ρόδου, για την μέγιστη παραγωγή ενέργειας επιλέχθηκε μετά από εξέταση διαφορετικών κλίσεων με την βοήθεια του Pngis από την επίσημη ιστοσελίδα της European Commission (The European Commission's science and knowledge service) που παρέχεται δωρεάν και έχει ανοιχτή πρόσβαση σε Φωτοβολταϊκό δυναμικό, ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία ως μηνιαίοι μέσοι όροι ή καθημερινά προφίλ κ.α., όπου εξετάστηκαν οι παρακάτω κλίσεις (0°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°) για την τοποθεσία ενδιαφέροντος. Στο πρόγραμμα Pngis κατά την συμπλήρωση για τον υπολογισμό δεν επιλέχθηκε κάποια τεχνολογία ΦΒ (PV) ενώ ορίστηκε ως τιμή ισχύος αναφοράς 1kWp με μηδενική απώλεια συστήματος και Νότιο προσανατολισμό (Αζιμούθιο 0°) (Εικόνα 66).

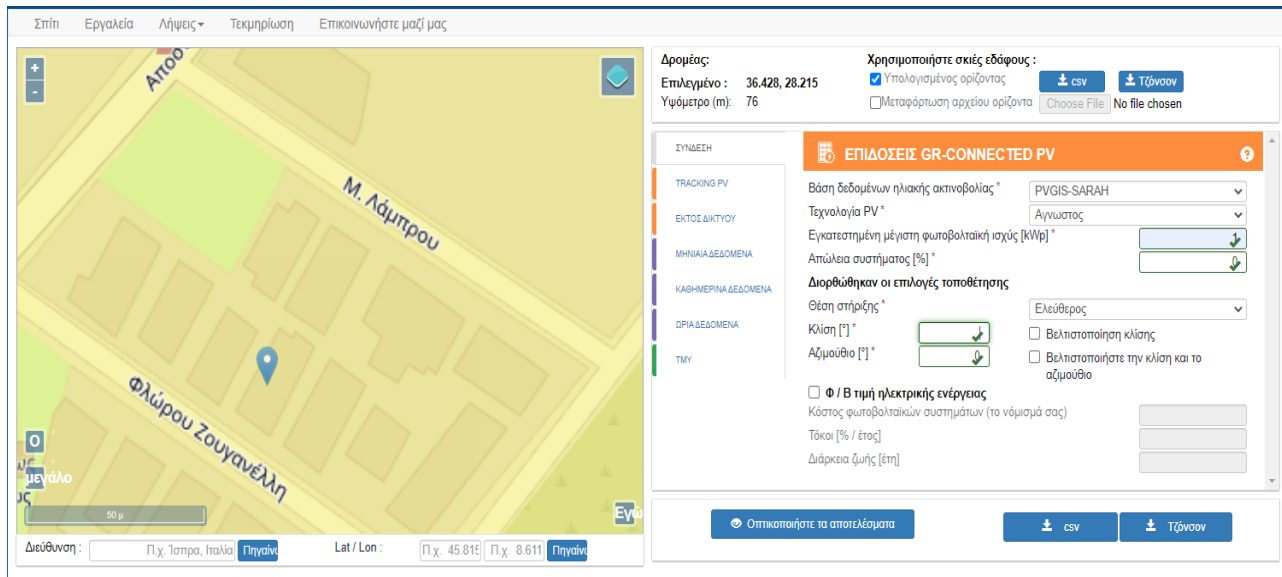
Από τα αποτελέσματα (Πίνακα 7) της μελέτης η παραγωγή ενέργειας του συστήματος στην περιοχή των 25°-30°-35° μοιρών είναι αρκετά υψηλή 1.884,54 kWh (Εικόνα 67) – 1.892,46 kWh (Εικόνα 68) – 1.889,31kWh (Εικόνα 69) αντίστοιχα σε αντίθεση με τις άλλες κλίσεις 0° = 1.674,91 kWh (Εικόνα 70), 15° = 1.834,23 kWh (Εικόνα 71), 20° = 1.865,09 kWh (Εικόνα 72) και 40° = 1.874,86 kWh (Εικόνα 73). Η βέλτιστη κλίση ορίστηκε στις 30° μοίρες (Εικόνα 74), στην τελική επιλογή εκτός από την μεγάλη ετήσια παραγωγή ενέργειας σε σύγκριση με τις άλλες κλίσεις παρατηρήθηκε μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας το καλοκαίρι και αυτό θα ωφελήσει τον παράγωγο αλλά και το νησί, καθώς κατά την τουριστική περίοδο υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας. Όπως έγινε γνωστό για με εγκατάσταση 1kWp στην επιλεγμένη τοποθεσία με κλίση 30° μοιρών παράγεται ετησίως 1.892,46 kWh για την εκμνησίωση της κατανάλωσης 13.182 kWh της επιχείρησης θα χρειαστεί εγκατάσταση περίπου:

$$\text{kWp} = \frac{13.182,6}{1.892,46} = 6.966 \text{ Wp} \text{ ή } 7 \text{ kWp}$$

Περίπου 7 kWp για να καλύψουν τις ετήσιες ανάγκες της επιχείρησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην συγκριμένη εκτίμηση υπολογίστηκαν ως απώλειες μόνο η γωνία επίπτωσης, θερμοκρασία και χαμηλή ακτινοβολία και όχι οι απώλειες του συστήματος, είναι όλες οι απώλειες στο σύστημα, οι οποίες προκαλούν την πραγματική ισχύ που παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο να είναι χαμηλότερη από την ισχύ που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες και για να αντισταθμιστεί θα πρέπει να αυξηθεί η ισχύς kWp της εγκατάστασης και ταυτόχρονα την ελαχιστοποίηση των απωλειών του συστήματος με επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού.

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	30°	0°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	85% kWh _(max)	90% kWh _(max)	50% kWh _(max)
Νότιοανατολικός - Δυτικός	95% kWh _(max)	90% kWh _(max)	60% kWh _(max)
Νότιος	kWh _(max)	90% kWh _(max)	60% kWh _(max)
Βόρειοανατολικός - Δυτικός	95% kWh _(max)	90% kWh _(max)	30% kWh _(max)
Βόρειος	60% kWh _(max)	90% kWh _(max)	20% kWh _(max)

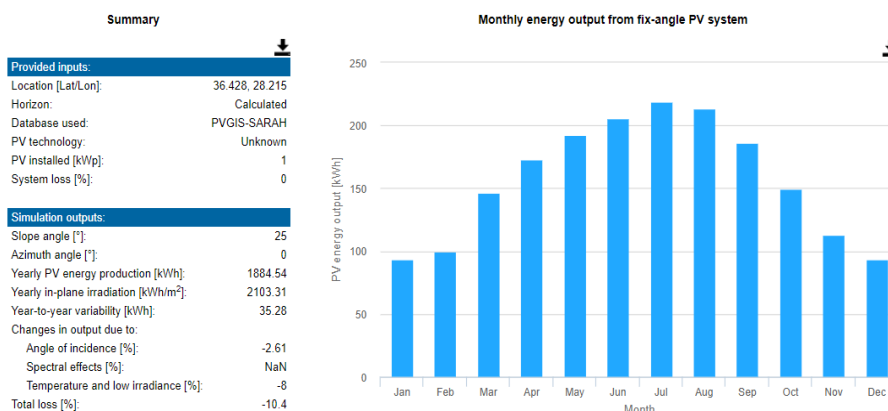
Εικόνα 65: Επίδραση της παραγόμενης ισχύος από την κλίση και τον προσανατολισμό ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος.



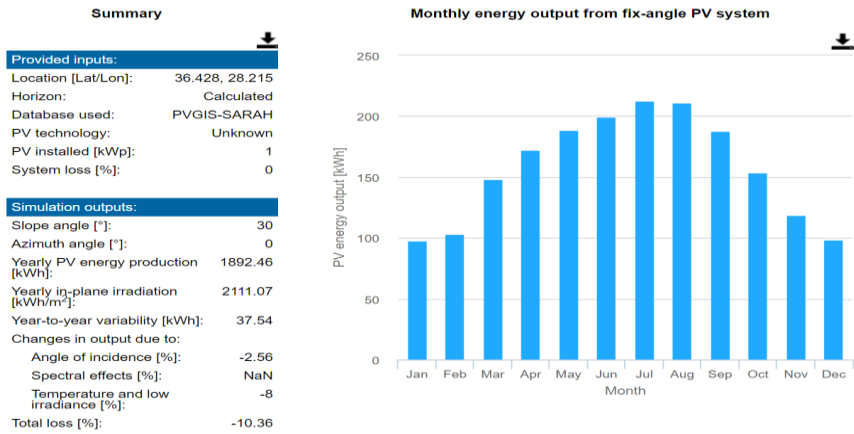
Εικόνα 66: Το μενού επιλογής παραμέτρων για εξέταση επίδοσης μιας ΦΒ εγκατάστασης με το λογισμικό Pvgis από την ιστοσελίδα της European Commission (The European Commission's science and knowledge service)

Πίνακας 7: Αποτελέσματα από την μελέτη όλων των κλίσεων που εξετάστηκαν

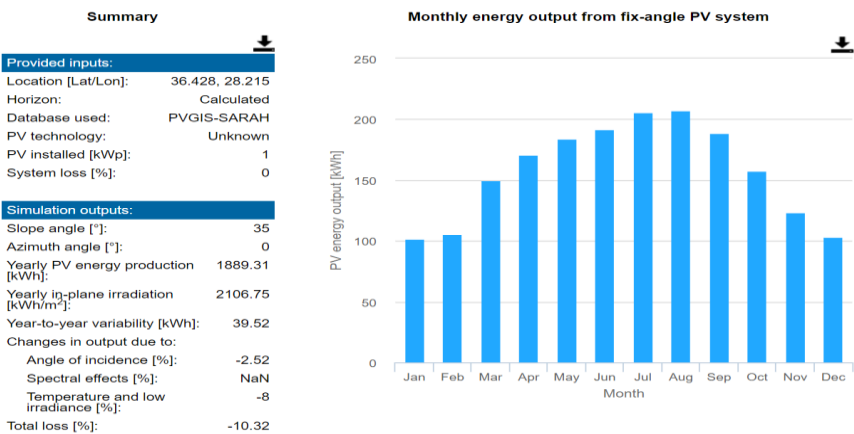
Κλίση	Ετήσια Ακτινοβολία εντός Επιπέδου kWh/m ²	Απώλειες %	Ετήσια Παραγωγή kWh
0°	1881,17	10,96	1674,91
15°	2049,96	10,52	1834,23
20°	2082,84	10,45	1865,09
25°	2103,31	10,40	1884,54
30°	2111,07	10,36	1892,46
35°	2106,75	10,32	1889,31
40°	2091,12	10,34	1874,86



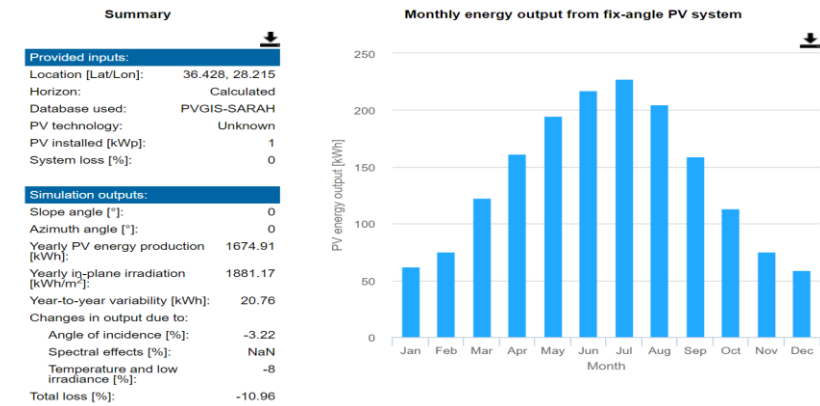
Εικόνα 67: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 25° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



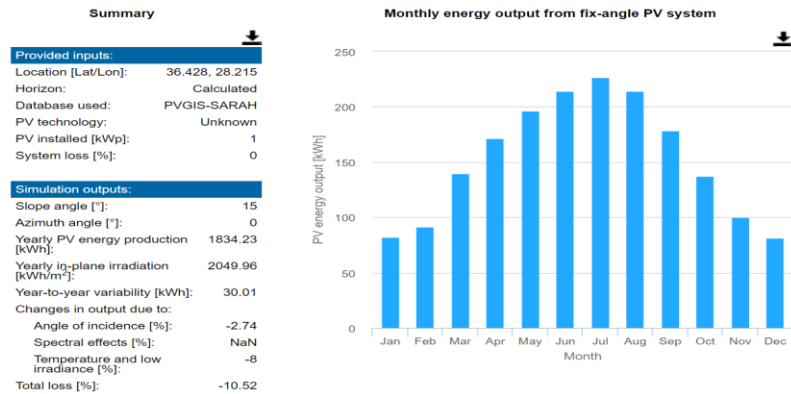
Εικόνα 68: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



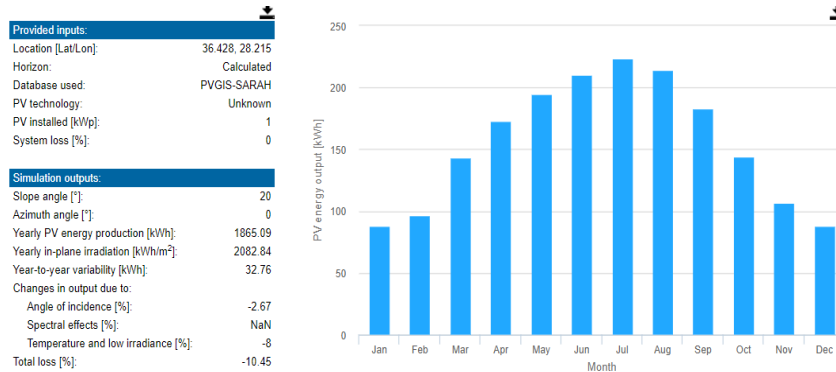
Εικόνα 69: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 35° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



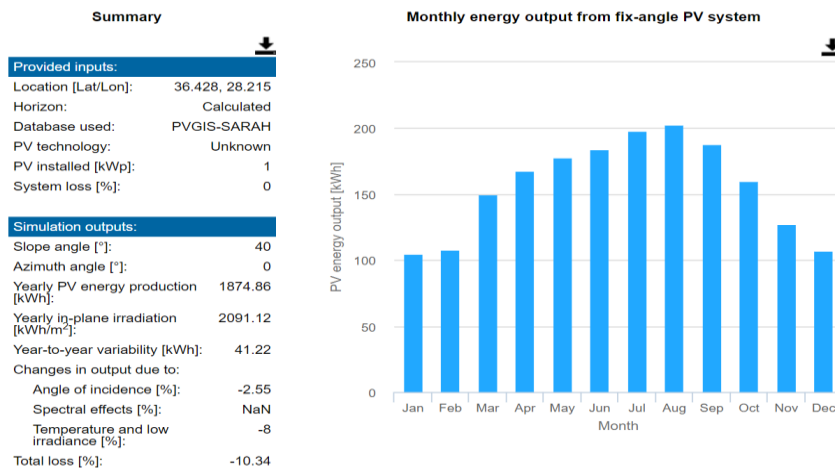
Εικόνα 70: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 0° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



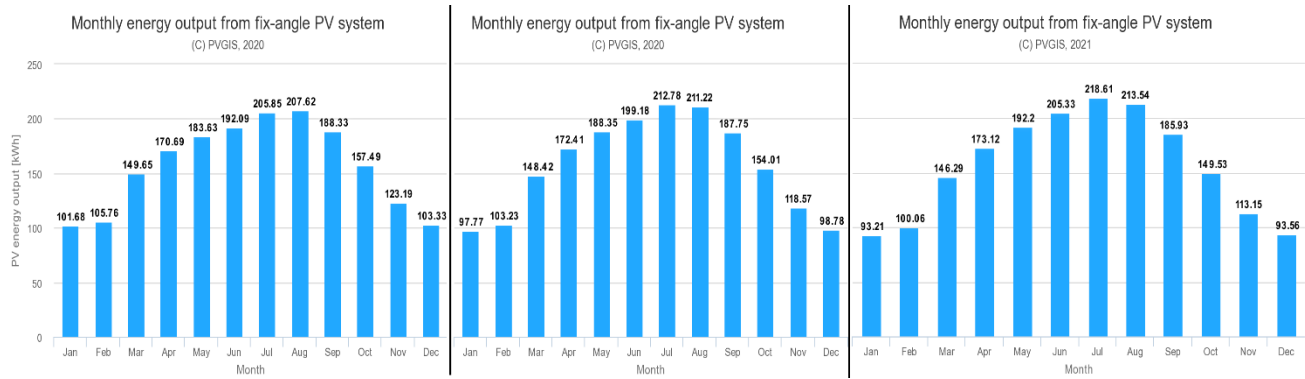
Εικόνα 71: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 15° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



Εικόνα 72: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 20° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



Εικόνα 73: Αποτελέσματα γωνία κλίσης 40° ως προς το οριζόντιο επίπεδο



Εικόνα 74: Αποτελέσματα μηνιαίας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) αριστερά κλίση 35° στο κέντρο 30° και δεξιά 25° ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

4.4 ΦΒ Πλαίσια (Πάνελ)

Όπως αναλύθηκε στην ενότητα (3.5.1) υπάρχουν διαφορά ΦΒ πλαίσια, ανάλογα με τις προσμείξεις και τις τεχνολογίες κατασκευής τους, τα κρυσταλλικά (Πυριτίου) ΦΒ πλαίσια είναι πολύ πιο διαδομένα, οι μεγάλες (συγκριτικά) αποδόσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου στο εμπόριο έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα λόγω του μεγάλου βαθμού απόδοσης και της χαμηλής τιμής. Συγκεκριμένα τα πολυκρυσταλλικά έχουν χαμηλότερο κόστος από τα μονοκρυσταλλικά και σχετικά μικρότερη απόδοση από αυτά. Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση επιλέχθηκε πολυκρυσταλλικό πλαίσιο της εταιρίας Sharp ND-AH330H (Εικόνα 75) με Pm 330 W με απόδοση 17% κατά STC με 10 χρόνια εγγύηση και 25 χρόνια εγγύηση λειτουργίας από τον κατασκευαστή. Παρακάτω τα ειδικά χαρακτηριστικά:

Electrical data (STC)			
Maximum power	P_{max}	330	W_p
Open-circuit voltage	V_{oc}	46.2	V
Short-circuit current	I_{sc}	9.33	A
Voltage at point of maximum power	V_{mp}	37.8	V
Current at point of maximum power	I_{mp}	8.73	A
Module efficiency	η_m	17.0	%

STC: Standard Test Conditions: Irradiance 1,000 W/m², AM 1.5, cell temperature 25 °C
 Rated electrical characteristics are within ±2% of the indicated values of I_{sc} , I_{mp} and 0 to ±1% of P_{max} (power measurement tolerance ±3%).
 Reduction of efficiency from an irradiance of 1,000 W/m² to 200 W/m² (structure < 20 °C) is less than 3%.

Electrical data (NOCT)			
Maximum power	P_{max}	245.0	W_p
Open-circuit voltage	V_{oc}	42.9	V
Short-circuit current	I_{sc}	7.53	A
Voltage at point of maximum power	V_{mp}	34.9	V
Current at point of maximum power	I_{mp}	7.02	A

NOCT: Nominal Operating Cell Temperature = 40 °C
 Irradiance = 800 W/m², air temperature = 25 °C, wind speed = 1 m/s.

Mechanical data		Dimensions (mm)	
Length	1,956 mm	Module length	992 mm
Width	992 mm	Module width	35 mm
Depth	35 mm	Mounting hole diameter	8.3 mm
Weight	22.2 kg	Mounting hole distance	92 mm

Temperature coefficient	
P_{max}	-0.39%/°C
V_{oc}	-0.30%/°C
I_{sc}	0.05%/°C

Limit values	
Maximum system voltage	1,500 VDC
Over-current protection	15 A
Temperature range	-40 to +85 °C
Max. mechanical load (snow/wind)	2,400 Pa
Tested snow load (IEC61215 test pass)	5,400 Pa

*Please refer to Sharp's installation manual for details.

Εικόνα 75: Τεχνικά χαρακτηριστικά του πολυκρυσταλλικού πλαισίου της εταιρίας Sharp ND-AH330H

Βαθμός απόδοσης του συλλέκτη: (Σχέση 6)

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot A_{\text{πλ}}} = \frac{330}{1000 \cdot 1.956 \cdot 0.992} = 0,17 \text{ ή } 17\% \text{ (Σχέση 6)}$$

Ο βαθμός απόδοσης των Φ/Β πλαισίων μεταβάλλεται με τη μεταβολή της ακτινοβολίας ή της ηλεκτρικής αντίστασης R και της εκάστοτε θερμοκρασίας του (Πίνακας 8). Η τιμή απόδοσης του κατασκευαστή αφορά μόνο τις πρότυπες συνθήκες STC (θερμοκρασία Φ/Β 25°C, πυκνότητα ακτινοβολίας $\pi=1000\text{W/m}^2$ (δηλαδή ακτινοβολία \approx ενός Ηλίου) και ηλιακό φάσμα κατηγορίας 1,5). Για τις εκάστοτε επικρατούσες τιμές τοπικής θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα, ο βαθμός απόδοσης μεταβάλλεται. (Σχέση 7)

$$\text{Πραγματική Απόδοση } \Phi B = \eta - (P_{\text{mrr}} * (25 - \theta \text{ πλαισίου}) * \eta) \text{ (Σχέση 7)}$$

Πίνακας 8 : Οι πραγματικές αποδόσεις του ΦΒ στοιχείου στις διάφορες θερμοκρασίες του έτους στην προς μελέτη τοποθεσία της εγκατάστασης.

Μήνες	Θερμοκρασία Τοποθεσίας °C	P_{mrr} Θερμοκρασιακός συντελεστής ΦΒ	Πραγματική θερμοκρασία ΦΒ πλαισίου του Φ/Β πλαισίου °C	Πραγματική απόδοση %
Ιανουάριος	10,58	-0,39%/°C	35,58	16,30%
Φεβρουάριος	10,19		35,19	16,32%
Μάρτιος	11,97	Βαθμός απόδοσης του Φ/Β	36,97	16,21%
Απρίλιος	15,37	17%	40,37	15,98%
Μάιος	19,99		44,99	15,67%
Ιούνιος	24,78	Θερμοκρασία του Φ/Β πλαισίου	49,78	15,36%
Ιούλιος	28,1	25 °C	53,1	15,14%
Αύγουστος	28,16		53,16	15,13%
Σεπτέμβριος	24,8		49,8	15,36%
Οκτώβριος	20,38		45,38	15,65%
Νοέμβριος	15,45		40,45	15,98%
Δεκέμβριος	12,01		37,01	16,20%

4.5 Inverter (Αντιστροφέας)

Για συνδεδεμένο με το δίκτυο ΦΒ σύστημα επιλέχθηκε ο Τριφασικός διασυνδεδεμένος αντιστροφέας (grid-tied inverter) της εταιρίας ABB μονελοTRIO-7.5-TL-OUTD-S-400 (Εικόνα 76) με ονομαστική ισχύς εισόδου 7.650Wp (Πίνακας 9) και μέγιστη ισχύ εισόδου 4,8 kWp ανά MPPT καθώς διαθέτει 2 MPPT. Ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα 98%, έχει απώλειες 2% κατά την μετατροπή του DC σε AC Παρακάτω τα ειδικά χαρακτηριστικά:

Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα της εταιρίας ABB μονελοTRIO-7.5-TL-OUTD-S-400

Είσοδος (DC)	Έξοδος (AC)
Μέγιστη ισχύς εισόδου ανά MPPT είσοδο : 4.800Wp	Μέγιστη φαινόμενη ισχύς : 7.500VA
Ονομαστική (συνολική) ισχύς εισόδου : 7.650Wp	Μέγιστη ενεργός ισχύς : 7.500W
Μέγιστη τάση εισόδου : 1000V	Τάση : 400V
Εύρος τάσεων λειτουργίας : 0,7×Τάση εκκίνησης έως 950V	Εύρος τάσης λειτουργίας : 320-480V
Ονομαστική τάση λειτουργίας : 620V	Συχνότητα : 50±3Hz
Ελάχιστη τάση εισόδου : 175V	Μέγιστο ρεύμα : 12,5A
Τάση εκκίνησης : 350V (προσαρμόσιμη από 175 έως 500V)	Ολική αρμονική παραμόρφωση ρεύματος (THD) : <2%
Αριθμός MPPT εισόδων : 2	Μέγιστος βαθμός απόδοσης : 98%
Αριθμός string ανά MPPT είσοδο : 2	Συντελεστής ισχύος : ±0,8@max7,5kVA
Μέγιστο ρεύμα εισόδου συνολικό/ανά MPPT είσοδο : 30A/15A	
Μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης για κάθε MPPT είσοδο : 20A	



Εικόνα 76: Αντιστροφέας (grid-tied inverter) της εταιρίας ABB μονελοTRIO-7.5-TL-OUTD-S-400.

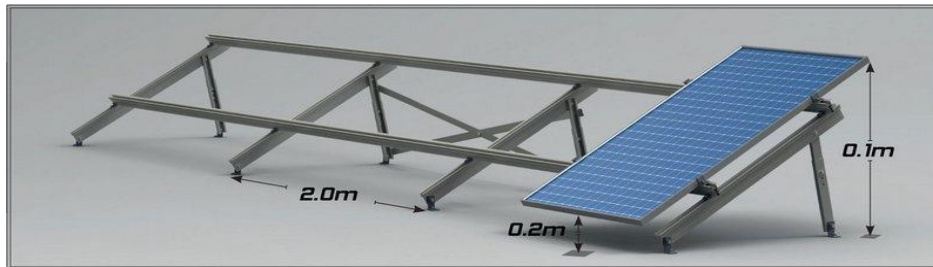
4.6 Καλωδίωση

Στην ενότητα (3.8) αναλύθηκε η επιλογή των σωστών τύπων καλωδίων ανάλογα με την διατομή και τις χαμηλές απώλειες που απαιτούνται για την όσο περισσότερη απόδοση ενός έργου, για το DC ρεύμα χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια με μικρή απώλεια για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα, μέχρι την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ. Στο συγκεκριμένο έργο το συνολικό μήκος καλωδίου AC ρεύματος για την τροφοδοσία του καταναλωτή και το δίκτυο είναι περίπου 30 m καλώδιο διατομής 2,5 mm².

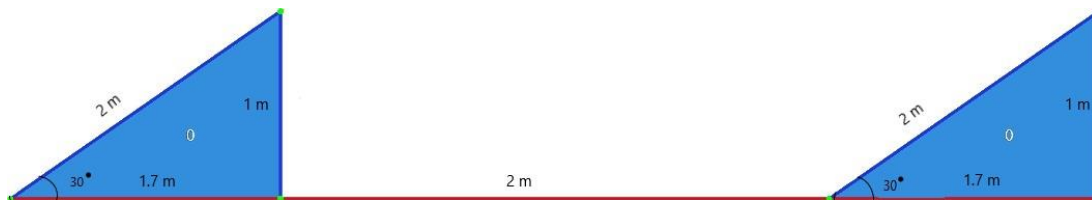
4.7 Βάση στήριξης

Για την στήριξη των πάνελ επιλέχθηκε η σειρά EUROPA SUN 500 (Εικόνα 77) ένα απλό και γρήγορο στη συναρμολόγηση σταθερό σύστημα στήριξης φωτοβολταϊκών με μικρό αριθμό εξαρτημάτων κατάλληλο

για εγκατάσταση σε επίπεδες στέγες Είναι το απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο, κατασκευάζονται από υψηλής ανθεκτικότητας κράμα αλουμινίου 6060 που προσφέρει στιβαρότητα και υψηλή αντοχή. Η βάση στήριξης θεμελιώνεται στη πλάκα μεπετού μέσω χημικών αγκυριών. Εναλλακτικά, τοποθετούνται αντίβαρα για την αποφυγή επεμβάσεων στην πλάκα. Δέχεται μια σειρά ΦΒ πλαισίων σε διάταξη κάθετη (portrait) ή οριζόντια (landscape) όπου στην συγκεκριμένη εγκατάσταση τοποθετήθηκαν κάθετα (portrait) για εξοικονόμηση χώρου. Η κάθε βάση είναι 6 μέτρων και δέχεται 6 ΦΒ πλαίσια ND-AH330H (992mm x 1.956mm). Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της στέγης και της ακμής ενός τυπικού panel είναι 1 m στο πίσω μέρος και 0,2m στο μπροστά μέρος, για κλίση 30°. Η τυπική απόσταση μεταξύ δύο στηρίξεων είναι 2 m για αποφυγή της σκίασης μεταξύ τους (Εικόνα 78). Η κάθε βάση καλύπτει περίπου 10,2 m² μαζί με τα πλαίσια που τοποθετούνται κάθετα.



Εικόνα 77: EUROPA SUN 500 σταθερό σύστημα στήριξης φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 78. Η τυπική απόσταση μεταξύ δύο στηρίξεων για αποφυγή της σκίασης μεταξύ τους.

5 Μελέτη ΦΒ συστήματος με το λογισμικό PVSyst

5.1 PVSyst

Το PVSyst είναι ένα πακέτο λογισμικού υπολογιστή για τη μελέτη, το μέγεθος και την ανάλυση δεδομένων ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ασχολείται με διασυνδεδεμένα, αυτόνομα, άντληση και DC-πλέγμα (μέσα μαζικής μεταφοράς) φωτοβολταϊκά συστήματα, και περιλαμβάνει εκτεταμένη μετεο και φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτήματα και βάσεις δεδομένων. Είναι προσαρμοσμένο στις ανάγκες αρχιτεκτόνων, μηχανικών, ερευνητών, επίσης πολύ χρήσιμο για την εκπαιδευτική κατάρτιση. Το PVSyst εστιάζει στην πλήρη και ακριβή μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων με ένα πλήρες σύνολο εργαλείων (Εικόνα 79):

Προκαταρκτικός σχεδιασμός :

Παρουσιάζοντας το βήμα ενός έργου. Σε αυτόν τον τρόπο, οι αξιολογήσεις απόδοσης συστήματος πραγματοποιούνται πολύ γρήγορα σε μηνιαίες τιμές, χρησιμοποιώντας πολύ λίγα γενικά χαρακτηριστικά ή παραμέτρους συστήματος, χωρίς να προσδιορίζονται τα πραγματικά στοιχεία του συστήματος. Υπάρχει επίσης μια πρόχειρη εκτίμηση του κόστους του συστήματος.

Για συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο, και ειδικά για την ενσωμάτωση κτιρίων, αυτό το επίπεδο θα είναι προσανατολισμένο στον αρχιτέκτονα, απαιτώντας πληροφορίες σχετικά με τη διαθέσιμη περιοχή, τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία (χρώματα, διαφάνεια κ.λπ.), την απαιτούμενη ισχύ ή την επιθυμητή επένδυση.

Για αυτόνομα συστήματα, αυτό το εργαλείο επιτρέπει τη διαμόρφωση της απαιτούμενης ισχύος ΦΒ και της χωρητικότητας της μπαταρίας, δεδομένου του προφίλ φορτίου και της πιθανότητας ότι ο χρήστης δεν θα είναι ικανοποιημένος (("Απώλεια φόρτου" Πιθανότητα LOL, ή ισοδύναμα το επιθυμητό "ηλιακό κλάσμα"))).

Για συστήματα άντλησης, δεδομένες απαιτήσεις νερού και βάθος άντλησης, και καθορίζοντας ορισμένες γενικές τεχνικές επιλογές, αυτό το εργαλείο αξιολογεί την ισχύ της αντλίας και το μέγεθος της φωτοβολταϊκής διάταξης. Όσον αφορά τα αυτόνομα συστήματα, αυτό το μέγεθος μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με μια συγκεκριμένη πιθανότητα ότι οι ανάγκες σε νερό δεν ικανοποιούνται κατά τη διάρκεια του έτους.

Σχεδιασμός και προσομοίωση έργου

Ολοκληρωμένος σχεδιασμός συστήματος χρησιμοποιώντας λεπτομερείς ωριαίες προσομοιώσεις .Στο πλαίσιο ενός «έργου», ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει διαφορετικές τρέχουσες προσομοιώσεις συστήματος και να τις συγκρίνει. Πρέπει να καθορίσει τον προσανατολισμό του επιπέδου (με δυνατότητα παρακολούθησης επιπέδων ή τοποθέτησης υπόστεγων) και να επιλέξει τα συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος. Βοηθά στον σχεδιασμό της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων σε σειρά και παράλληλη), δεδομένου ενός επιλεγμένου μοντέλου μετατροπέα, μπαταρίας ή αντλίας. Σε ένα δεύτερο βήμα, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει πιο λεπτομερείς παραμέτρους και να αναλύσει τα πρόστιμα εφέ όπως η θερμική συμπεριφορά, η καλωδίωση, η ποιότητα της μονάδας, οι αναντιστοιχίες και οι απώλειες γωνίας

εμφάνισης, ορίζοντας (πολύ σκίαση) ή μερικές αποχρώσεις κοντινών αντικειμένων στη συστοιχία κ.ο.κ.. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν αρκετές δεκάδες μεταβλητές προσομοίωσης, οι οποίες μπορεί να εμφανίζονται σε μηνιαίες, ημερήσιες ή ωριαίες τιμές, ακόμη και να μεταφέρονται σε άλλο λογισμικό. Το "Διάγραμμα απώλειας" είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον εντοπισμό των αδυναμιών του σχεδιασμού του συστήματος. Μπορεί να εκτυπωθεί μια αναφορά μηχανικού για κάθε εκτέλεση προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση και των κύριων αποτελεσμάτων. Μια λεπτομερής οικονομική αξιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές συνιστωσών, τυχόν πρόσθετο κόστος και επενδυτικές συνθήκες.

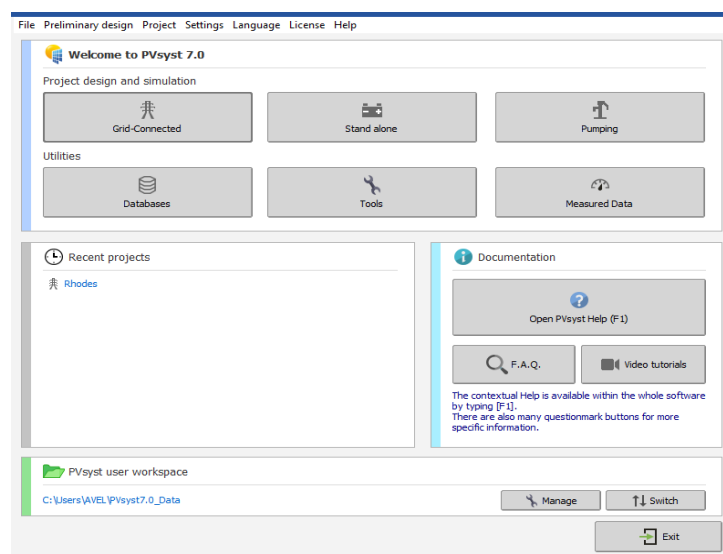
Εργαλεία

Περιέχει ένα σύνολο εργαλείων για την εμφάνιση πινάκων και γραφημάτων μετεωρολογικών δεδομένων ή παραμέτρων ηλιακής γεωμετρίας, ακτινοβολία κάτω από ένα καθαρό μοντέλο ημέρας, συμπεριφορά φωτοβολταϊκής συστοιχίας κάτω από μερικές σκιές ή αναντιστοιχία μονάδας, εργαλεία βελτιστοποίησης για προσανατολισμό ή τάση κ.λπ.

Μετρημένα δεδομένα

Το Φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί και παρακολουθείται προσεκτικά, αυτό το μέρος επιτρέπει την εισαγωγή μετρημένων δεδομένων (σε σχεδόν οποιαδήποτε μορφή ASCII), την προβολή πινάκων και γραφημάτων των πραγματικών επιδόσεων και την εκτέλεση στενών συγκρίσεων με τις προσομοιωμένες μεταβλητές. Αυτό δίνει ένα μέσο ανάλυσης των πραγματικών παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος και εντοπίζει ακόμη και πολύ μικρές παρατυπίες

Αφού μελετήθηκε και επιλέχθηκε η βέλτιστη κλίση, ο προσανατολισμός, τα ΦΒ πλαίσια, αντιστροφέας και όλα τα απαιτούμενα υλικά για την εγκατάσταση εισήχθησαν στο λογισμικό PVsyst που επιτρέπει την ολοκληρωμένη αναγνώριση, αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας δυνητικών έργων ανανεώσιμης ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης, καθώς επίσης και τη μέτρηση και επαλήθευση της πραγματικής απόδοσης των εγκαταστάσεων.

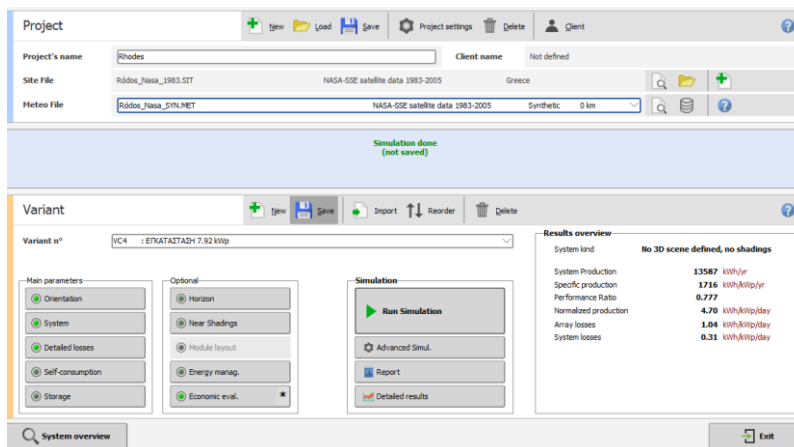


Εικόνα 79: Το αρχικό μενού του λογισμικού PVsyst και το πλήρες σύνολο εργαλείων.

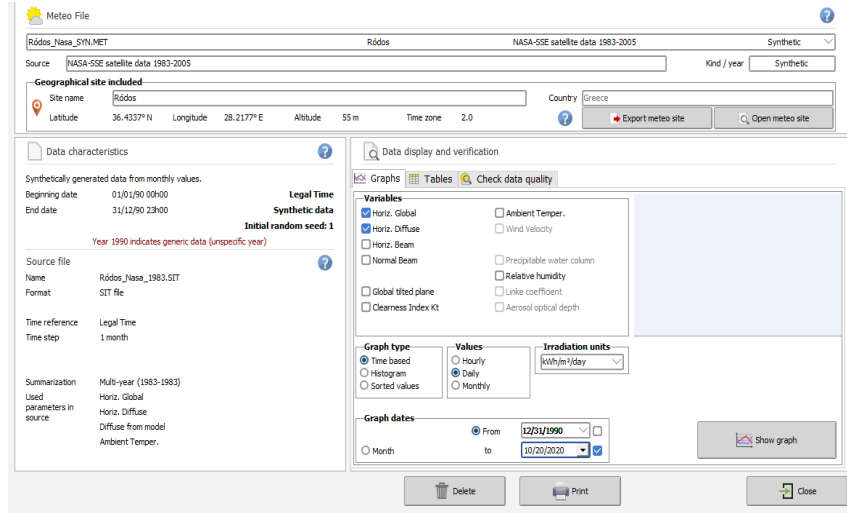
Παρακάτω αναλύονται όλα τα βήματα για την συμπλήρωση απαιτούμενων παραμέτρων για την προσομοίωση του έργου και την εκμηδένιση της ετήσιας κατανάλωσης του εργαστήριου.

5.2 Βήμα 1 -Τοποθεσία

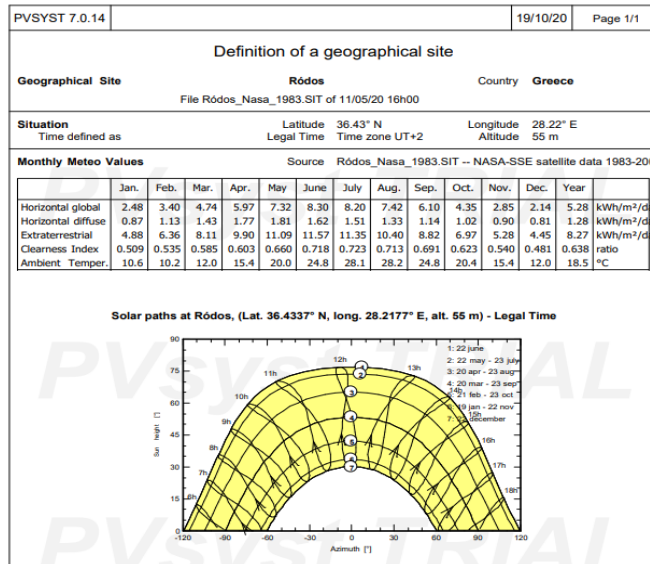
Προσδιορίστηκε η τοποθεσία ΦΒ εγκατάστασης (Ρόδος) και έγινε ο σχεδιασμός και προσομοίωση του έργου από (Εικόνα 80) το μενού Meteo file (Εικόνα 81) επιλέχθηκε ως πηγή κλιματικών δεδομένων ο δορυφόρος της Nasa και το λογισμικό φορτώνει όλα τα γεωγραφικά και κλιματολογικά δεδομένα (Εικόνα 82) όπου κυρίως αναγράφονται η οριζόντια παγκόσμια ακτινοβολία (horizontal global irradiance) είναι το συνολικό ποσό της επίγεια ακτινοβολίας μικρού κύματος που λαμβάνεται από μια οριζόντια επιφάνεια, οριζόντια διάχυτη ακτινοβολία (horizontal diffuse irradiance) και τέλος η θερμοκρασία. Στην συνέχεια από το μενού Orientation (Κλίση) συμπληρώθηκε ο βέλτιστος προσανατολισμός και η κλίση που μελετήθηκε στην ενότητα (4.3) (Εικόνα 83) με νότιο προσανατολισμό 0° αζιμούθιό και κλίση ΦΒ πλαισίων 30° . Η ετήσια απολαβή της ενέργειας ανά m^2 στον επιλεγμένο συνδυασμό ανέρχεται στα 2231 kWh/m^2 .



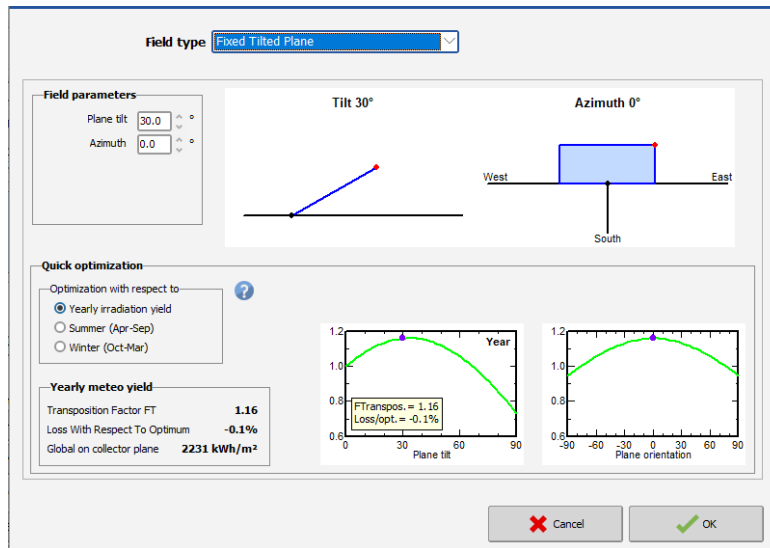
Εικόνα 80: Το μενού συμπλήρωσης παραμέτρων για τον σχεδιασμό και προσομοίωση έργου



Εικόνα 81: Το μενού από όπου επιλέχθηκε η πηγή των κλιματικών δεδομένων, εδώ μπορούν να αναλυθούν όλων των ειδών ακτινοβολίας, θερμοκρασιών κ.α. σε σχέση με την ώρα, ημέρα, μηνά, έτους ακόμα και δεκαετιών.



Εικόνα 82: Τα κλιματολογικά δεδομένα στην περιοχή της Ρόδου με Νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° ΦΒ πλαισιού.



Εικόνα 83: Η ετήσια απολαβή kWh/m² από το επιλεγμένο προσανατολισμό και κλίση στην τοποθεσία μελέτης.

5.3 Βήμα 2- Σύστημα

Στο συγκεκριμένο βήμα επιλέχθηκε το μέγεθος της εγκατάστασης kWp για να καλύψει τις ετήσιες ανάγκες της επιχείρησης, στην ενότητα (4.3) εκτιμήθηκε ως ιδανική ισχύς εγκατάστασης τα 7 kWp και υπολογίστηκαν μόνο οι απώλειες στα ΦΒ πλαίσια λόγω γωνίας επίπτωσης, θερμοκρασίας και χαμηλής ακτινοβολίας χωρίς να ληφθούν υπόψη οι απώλειες του συστήματος όπως συνδεσμολογία ΦΒ πλαισίων (ωμικές), απώλειες αντιστροφέα, καλωδίωση AC κ.α., λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες του συστήματος αυξήθηκε η απαιτούμενη ισχύς εγκατάστασης στα 7,92 kWp (Εικόνα 84) με το ΦΒ πλαίσιο από την ενότητα (4.4) ισχύος 330Wp (δεν ήταν διαθέσιμο στο λογισμικό το συγκεκριμένο πλαίσιο εισάχθηκε από τον χρήστη με ένα αρχείο. PAN που διατίθεται από την κατασκευάστρια εταιρία) και αντιστροφέα όπου τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στην ενότητα (4.5). Για την επιλογή του κατάλληλου τρόπου σύνδεσης της συστοιχίας, υπολογίστηκε (Σχέση 8) ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός και ο ελάχιστος επιτρεπόμενος αριθμός (Σχέση 9) των ΦΒ πλαισίων που μπορεί να συνδεθεί σε σειρά σε κάθε string -κλάδων/στοιχειοσειρών (Εικόνα 85):

Nb. of modules	24
Module area	47 m ²
Nb. of inverters	1
Nominal PV Power	7.9 kWp
Maximum PV Power	7.6 kWDC

Εικόνα 84: Μενού επιλογής της εγκατάστασης ισχύος και επιλογής ΦΒ πλαισίων, αντιστροφέα αλλά και ο τρόπος συνδεσμολογίας των ΦΒ πλαισίων μεταξύ τους.

$$n_{max} = \frac{V_{max}(inv)b}{V_{oc}(-10\text{ c})} = \frac{1000}{51.1} = 19.5 \text{ (Σχέση 8)}$$

$$19 \times 51,1 = 970,9\text{V}$$

Μπορούν να συνδεθούν 19 πλαίσια σε σειρά και η τάση ψυχρού καιρού είναι 970,9 V και αυτή η τάση είναι μικρότερη από τον περιορισμό του εξοπλισμού των 1000 V.

$$n_{min} = \frac{V_{min}(inv)b}{V_{oc}(60\text{ c})} = \frac{175}{33.1} = 5.28 \text{ (Σχέση 9)}$$

$$6 \times 33,1 = 198,6\text{ V}$$

Η ελάχιστη σύνδεση πλαισίων σε σειρά στον σύνδεσης στον αντιστροφέα είναι 6, η τάση θερμού καιρού θα είναι 198,6 V και αυτή η τάση είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τάση εισόδου 175 V. Για εγκατάσταση 7.92 kWp απαιτούνται:

$$7.920/0,33=24 \text{ ΦΒ Πλάισια}$$

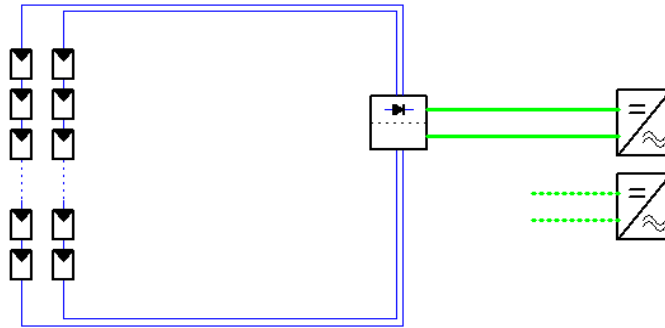
Ο αντιστροφέας διαθέτει 2 MPPT εισόδους, με 4,8 kWp για σύνδεση συστοιχιών (strings) πάνελ, για μέγιστη δυνατή απορρόφηση ισχύος από κάθε string. Έτσι συνδέθηκαν 12 πάνελ ανά MPPT:

$$N_s \times V_{mpp}(60\text{ }^\circ\text{C}) = 12 \times 31,1 = 397.2 \text{ V ανά MPPT}$$

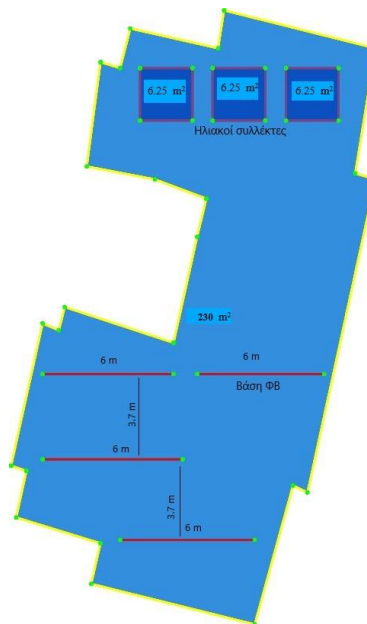
$$N_s \times V_{mpp}(-10\text{ }^\circ\text{C}) = 12 \times 51.1 = 613,2 \text{ V ανά MPPT}$$

Ο συνολικός αριθμών string (2), η σύνδεση μεταξύ τους παράλληλη η συνολική τάση στην είσοδο του μετατροπέα είναι $V_{mpp} 1 \text{ string} = V_{mpp} 2 \text{ string}$ ($V_{mpp}(60\text{ }^\circ\text{C}) = 397.2 \text{ V}$ ή $V_{mpp}(-10\text{ }^\circ\text{C}) = 613,2 \text{ V}$) ενώ το ρεύμα που διαρρέει κάθε string είναι ίδιο (8,6 A) καθώς τα 12 πλαίσια του κάθε string συνδέονται σε σειρά στην είσοδο του μετατροπέα είναι $I_{mpp} 1 \text{ string} + I_{mpp} 2 \text{ string}$ (8,6 A + 8,6 A = 17,3A) και το ρεύμα βραχυκύκλωσης αντίστοιχα 9,3 A κάθε string και 18,7 A συνολική είσοδο στον αντιστροφέα.

Συνολικά για την τοποθέτηση των 24 ΦΒ πλαισίων και ισχύος 7,920 kWp απαιτούνται 4 βάσεις στήριξης που αναφέρεται στην ενότητα (4.7). Η κάθε βάση καλύπτει περίπου 10,2 m² με τοποθετούμενα (Εικόνα 86) τα πλαίσια κάθετα στις 4 βάσεις συνολικά δεσμεύονται 40,8 m², για αποφυγή της σκίασης μεταξύ των τριών βάσεων που βρίσκονται σε σειρά τοποθετήθηκαν το κάθε ένα 2 m σε απόσταση από το άλλο (3,7 m από της δυο κάθετες πλευρές των βάσεων στήριξης), επίσης υπολογίστηκε και ο χώρος επίσκεψης από τον τεχνικό για συντήρηση, επιδιόρθωση βλάβης κ.α. και έτσι η συνολική έκταση εκτιμήθηκε στα 26 m². Τέλος η συνολική επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση των πλαισίων είναι 66,8 m² ενώ για την μεταφορά των ηλιακών συλλεκτών στην νέα θέση περίπου 23,75 m² από τα συνολικά 230 m² διαθέσιμου χώρου εκμετάλλευσης της ταράτσας



Εικόνα 85: Σύνδεση ΦΒ εγκατάστασης με 12 πάνελ σε σειρά με δυο 2 string- κλάδων/στοιχειοσειρών.

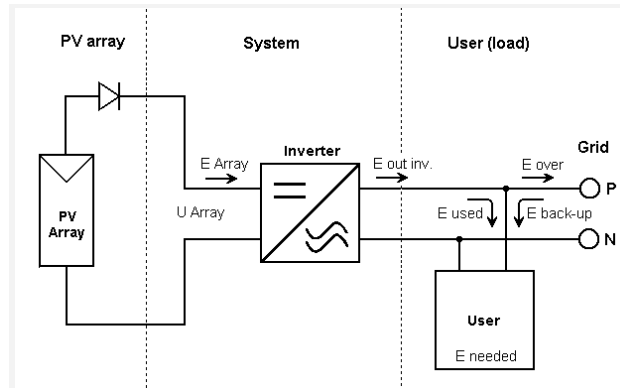


Εικόνα 86: Τα διαθέσιμα m^2 της ταράτσας και ο τρόπος τοποθέτησης των ΦΒ πλαισίων - ηλιακών συλλεκτών.

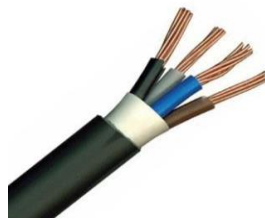
5.4 Βήμα 3 -Καλωδίωση και απώλειες

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα (3.8) για τη διασύνδεση των ΦΒ πλαισίων μεταξύ τους χρησιμοποιούνται DC καλώδια αλλά και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του μετατροπέα ενώ AC καλώδια ισχύος χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του αντιστροφέα σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ (Εικόνα 87). Τα DC καλώδια με συνδέσμους καλωδίων έχουν μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των $5m\Omega$ και μικρότερη) ενώ καλώδια (AC) του εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιούνται συμβατικού τύπου (π.χ. NYY, NYM, NYCWY). Σύμφωνα με τις διεθνείς βέλτιστες πρακτικές, είναι αποδεκτή πτώση τάσης 3% ή λιγότερο, στην συγκεκριμένη περίπτωση για την κάλυψη της απόστασης μέχρι το χώρο του καταναλωτή αλλά και στην τελική σύνδεση στον πυλώνα της ΔΕΗ χρειάστηκε 30m καλώδιο χαλκού διατομής $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$ με $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (Εικόνα 88) και η συνολική πτώση τάσης στο σύστημα υπολογίστηκε (το ρεύμα που διαρρέεται στο σύστημα (Σχέση 10)) 3,9 V (Σχέση 11) και η ποσοστιαία πτώση περίπου 0,97 % στους 20°C ενώ στους 50°C που υπολογίστηκε από το λογισμικό 4,4 V και ποσοστιαία πτώση τάσης 1,09% (Εικόνα 89), παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος αυξάνεται η πτώση τάσης και η αντίσταση του αγωγού στο σύστημα (Πίνακας 10). Δεν λήφθηκε η απώλεια ενέργειας λόγω σκίασης, καθώς η εγκατάσταση βρίσκεται σε χώρο στον οποίο απουσιάζουν εμπόδια ενώ

για την αποφυγή σκιάσεων των σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους τοποθετήθηκαν έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών να είναι διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης. Τέλος ορίστηκε η μη διαθεσιμότητα του συστήματος με απώλεια 2% (Εικόνα 90) ενώ το IAM (Incidence Angle Modifier) είναι το έλλειμμα μετάδοσης μέχρι το ηλιακό στοιχείο λόγω της γωνίας πρόσπτωσης (Εικόνα 91) που αφορά μόνο τη γωνιακή εξάρτηση αυτού του φαινομένου, δηλαδή είναι κανονικοποιημένο στη μετάδοση σε κάθετη επίπτωση γωνία πρόσπτωσης 0°.



Εικόνα 87: Αριστερά από το Inverter συνδέονται Dc καλώδια ενώ δεξιά από αυτό AC καλώδια.



Εικόνα 88: καλώδιο ισχύος NYG (νέα ονομασία J1VV-U) με ενισχυμένη εξωτερική μόνωση PVC

$$I\pi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U\pi} = \frac{7.500}{692} = 10,83 \text{ ή } 11 \text{ A (Σχέση 10)}$$

$$\Delta U\pi = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot I\pi}{S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.0175 \cdot 30 \cdot 11}{2.5} = 3,9 \text{ V (20°C)(Σχέση 11)}$$

DC circuit: ohmic losses for the array

Specified by

Global wiring resistance 396.9 mΩ Calculated

Loss fraction at STC 1.50 % Default

Voltage Drop across series diode 0.7 V Default

AC losses after the inverter

AC circuit: inverter to injection point

Uses AC circuit ohmic loss

Length Inverter to injection 30.0 m Wire section 2.5 mm²

Loss fraction at STC 1.09 %

STC: Pac = 8 kW, Vac = 400 V Tr1, I = 11 A

Voltage drop at STC 4.4 V (1.1%)

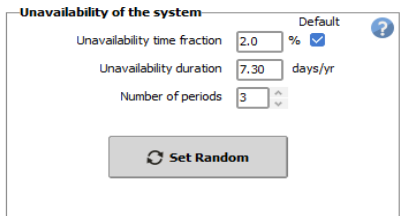
Uses one or several MV transformers

Uses a HV transformer

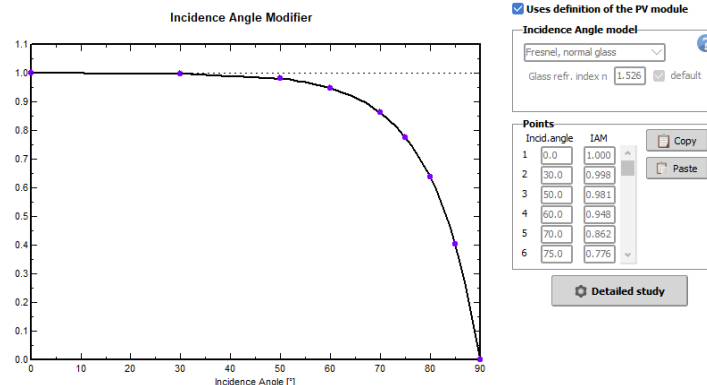
Εικόνα 89: Μενού υπολογισμού των ωμικών απωλειών του συστήματος

Πίνακας 10: Η πτώση τάσης σε διάφορες θερμοκρασίες του καλωδίου AC 2,5 mm² και η αντίσταση του αγωγού.

Ονομαστική τάση (Volt):400	Θερμοκρασία (°C)	Πτώση Τάσης (Volt)	Ποσοστιαία Πτώση Τάσης (%)	Αντίσταση αγωγού Ω
Υλικό αγωγού: Χαλκός (1.7 *10 ⁻⁸ Ω*m)	10	3,75	0,93	0,2
Μήκος αγωγού (m): 30	20	3,89	0,97	0,2
Ένταση ρεύματος (A): 11	30	4,04	1,01	0,21
Διατομή αγωγού (mm ²): 2.5	40	4,2	1,05	0,22
	50	4,35	1,09	0,23
	60	4,51	1,13	0,24



Εικόνα 90: Μη διαθεσιμότητα του συστήματος 2%.



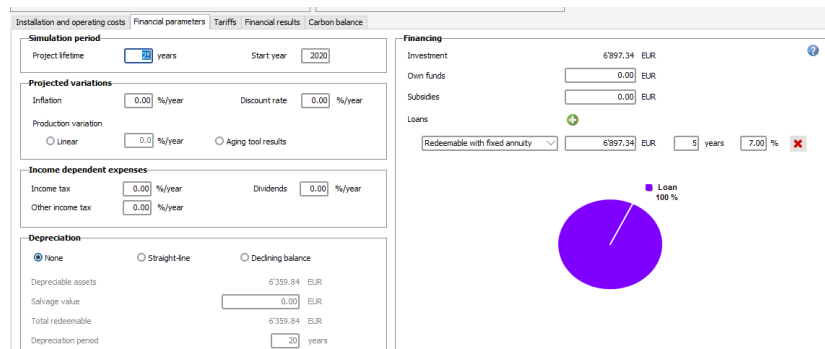
Εικόνα 91: Η απώλεια μετάδοσης είναι ένα γενικό φαινόμενο, λόγω της αντανάκλασης και της μετάδοσης της ακτίνας του ήλιου σε κάθε διεπαφή υλικού (γυαλί-αέρα, γυαλί-EVA, EVA-cell), καθώς και κάποια απορρόφηση στο γυαλί.

5.5 Βήμα 4 -Οικονομικά στοιχεία

Για την υλοποίηση της εγκατάστασης υπολογίστηκε ξεχωριστά η τιμή κάθε εξαρτήματος (**Εικόνα 92**) για την εκτίμηση του συνολικού κόστους έργου που ανέρχεται στα 6.897,34 € (**Πίνακας 11**) με κάλυψη 100% από τραπεζικό δάνειο (**Εικόνα 93**) με επιτόκιο 7% και με 25 χρόνια λειτουργίας. Τέλος ορίστηκε η τιμή πώλησης ρεύματος 0,080 € για κάθε kWh που παράγει το Φωτοβολταϊκό και εγγέεται στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΔΔΗΕ καθώς ισχύει από 1η Αυγούστου 2019 έως σήμερα.

Installation costs				Operating costs (yearly)	
Description	Quantity	Unit price	Total	Description	Yearly cost
PV modules			4575.84 EUR	Maintenance	0.00 EUR
Inverters			1784.00 EUR	Land rent	100.00 EUR
Studies and analysis			0.00 EUR	Insurance	0.00 EUR
Installation			537.50 EUR	Bank charges	0.00 EUR
Insurance			0.00 EUR	Administrative, accounting	0.00 EUR
Land costs			0.00 EUR	Taxes	0.00 EUR
Loan bank charges	0.00	0.00	0.00 EUR	Subsidies	0.00 EUR
Taxes			0.00 EUR		
Total installation cost			6'897.34 EUR	Operating costs (OPEX)	100.00 EUR/year
Depreciable asset			6'359.84 EUR		

Εικόνα 92: Συνολικό κόστος της εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης του συστήματος .



Εικόνα 93: Ο συνολικός χρόνος ζωής του έργου και το συνολικό ποσό δανείου.

Πίνακας 11: Αρχικό κόστος εγκατάστασης (επένδυσης) του έργου και το ετήσιο κόστος συντήρησης στην διάρκεια λειτουργίας του.

Υλικά	Τεμάχια	€/τεμ.	Σύνολο
Κόστος ΦΒ πλαισίων	24	184.00 €	4.416,00 €
Κόστος Αντιστροφή	1	1,784.00 €	1.784,00 €
Κόστος βάση στήριξης ΦΒ πλαισίων	4	39,96 €	159,84 €
Κόστος καλωδίων AC	30	1,25 €	37,50 €
Κόστος Μετρητή και εγκατάστασης ΔΕΗ	1	500,00 €	500,00 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ			6.897,34 €
Ετήσιο κόστος συντήρησης			100,00 €
Συνολικό κόστος συντήρησης 25 έτη			2.500,00 €
Τραπεζικό δάνειο			6.897,34 €
Επιτόκιο με 5 έτη			7%

5.6 Αποτελέσματα

Αφού ορίστηκε και έγινε η καταγραφή όλων των παραμέτρων της εγκατάστασης πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση και υπολογίστηκε η απόδοση ενέργειας συστήματος ισχύος 7,92 kWp στην τοποθεσία εγκατάστασης (Εικόνα 94). Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το σύστημα (Πίνακας 12) είναι 13.587 kWh ή 13,6 MWh και ο λόγος επίδοσης (PR) 0,77 ή 77% (Εικόνα 95). Η συνολική απώλεια του συστήματος

είναι 23% (Πίνακας 13) λόγω του ωμικών, θερμοκρασιών, πλαισίων, αντιστροφεία κ.α.. Παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος) λόγω των θερμοκρασιών που επικρατούν (Εικόνα 96). Αναλυτικά από την αρχική διαδρομή των ακτίνων του ηλίου κατά την πρόσπτωση στα ΦΒ πλαίσια και την μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια, την ολική απώλεια του συστήματος κατά την διάρκεια της διαδρομής μέχρι τον καταναλωτή (Εικόνα 97). και στην συνέχεια στο δημόσιο δίκτυο (Εικόνα 98-99) εκεί που λειτουργεί το ΦΒ σύστημα πιο αποδοτικά και η απολαβή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι περίπου 8 kWh/m²/day και παράγει ενέργεια που τροφοδοτεί το δίκτυο 50 kWh/day κατά μέσο όρο στην διάρκεια του έτους (παρατηρείται όπου υπάρχει ο συνωστισμός των μαύρων κουκίδων στο διάγραμμα).

Grid-Connected System: Simulation parameters

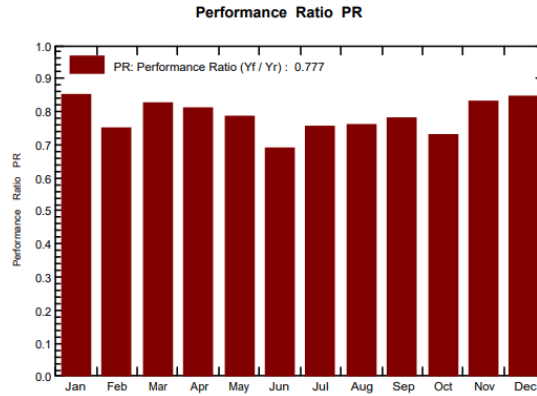
Project :	Rhodes		
Geographical Site	Rόδος	Country	Greece
Situation	Latitude 36.44° N	Longitude	28.22° E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+2	Altitude	25 m
	Albedo 0.20		
Meteo data:	Rόδος	NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Synthetic	
<hr/>			
Simulation variant :	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 7.92 kWp		
	Simulation date	06/12/20 12h02	
<hr/>			
Simulation parameters	System type	No 3D scene defined, no shadings	
Collector Plane Orientation	Tilt 30°	Azimuth	0°
Models used	Transposition Perez	Diffuse	Perez, Meteorom separate
		Circumsolar	
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
User's needs :	Unlimited load (grid)		

Εικόνα 94: Η συντεταγμένες της τοποθεσίας, ο προσανατολισμός και η κλίση της εγκατάσταση 7.92 kWp.

Πίνακας 12: Η συνολική ενέργεια MWh που παράγεται από το εγκαταστημένο σύστημα.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 7.92 kWp
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	76.9	27.00	10.58	122.1	119.7	0.853	0.822	0.850
February	95.2	31.60	10.19	136.7	133.8	0.950	0.812	0.751
March	146.9	44.30	11.97	181.2	177.0	1.231	1.187	0.827
April	179.1	53.10	15.37	193.4	188.0	1.285	1.238	0.808
May	226.9	56.10	19.99	220.5	213.8	1.426	1.373	0.786
June	249.0	48.60	24.78	229.1	222.0	1.448	1.252	0.690
July	254.2	46.80	28.10	239.7	232.5	1.491	1.434	0.755
August	230.0	41.20	28.16	238.8	232.2	1.493	1.436	0.759
September	183.0	34.20	24.80	217.7	212.2	1.394	1.342	0.778
October	134.8	31.60	20.38	186.5	182.7	1.237	1.077	0.729
November	85.5	27.00	15.45	133.5	130.8	0.912	0.878	0.831
December	66.3	25.10	12.01	109.4	107.2	0.764	0.735	0.849
Year	1927.8	466.60	18.53	2208.6	2152.0	14.484	13.587	0.777



Εικόνα 95: Γραφική απεικόνιση του λόγου επίδοσης του ΦΒ συστήματος σε διάστημα ενεούσης έτους, ο λόγος επίδοσης μειώνεται καθώς πλησιάζει τους θερμούς μήνες του χρόνου.

Πίνακας 13: Οι συνολικές απώλειες του συστήματος σε kWh από όλους τους μήνες του έτους.

	ModQual	MisLoss	OhmLoss	EArrMPP	InvLoss	EACOhmL
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	-11.000	18.52	10.12	853	26.02	4.93
February	-12.244	20.62	11.26	950	28.06	4.87
March	-15.890	26.76	16.53	1231	36.11	7.93
April	-16.589	27.94	17.64	1285	38.15	8.24
May	-18.429	31.03	20.63	1426	44.42	9.22
June	-18.723	31.53	22.10	1448	45.64	8.47
July	-19.296	32.49	23.52	1491	47.91	9.76
August	-19.320	32.54	24.10	1493	47.02	10.02
September	-18.038	30.38	22.10	1394	42.66	9.50
October	-15.986	26.92	17.50	1237	37.35	7.08
November	-11.757	19.80	11.39	912	27.86	5.30
December	-9.834	16.56	8.39	764	24.35	4.00
Year	-187.106	315.08	205.27	14484	445.55	89.32

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	397 mΩ	Loss Fraction	1.5 % at STC
Series Diode Loss	Voltage drop	0.7 V	Loss Fraction	0.2 % at STC
LID - Light Induced Degradation			Loss Fraction	1.0 %
Module Quality Loss			Loss Fraction	-1.3 %
Module mismatch losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Strings Mismatch loss			Loss Fraction	0.10 %

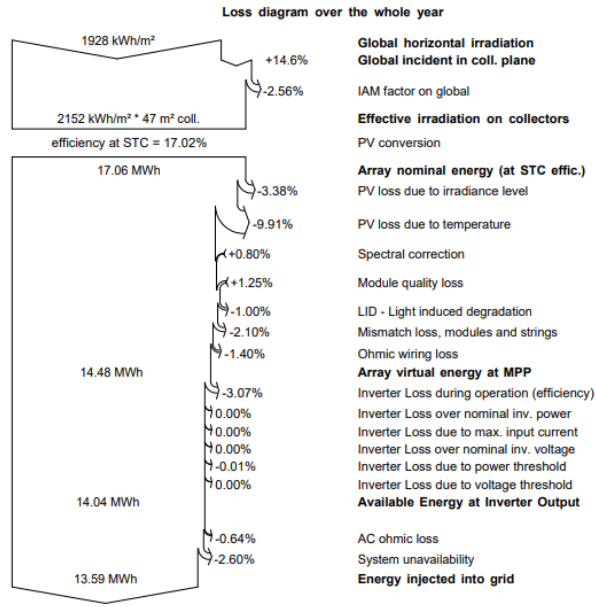
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

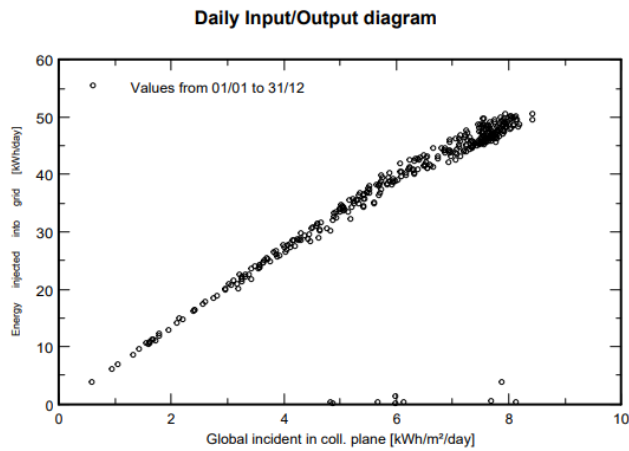
Spectral correction FirstSolar model. Precipitable water estimated from relative humidity

Coefficient Set	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Polycrystalline Si	0.8409	-0.027539	-0.0079224	0.1357	0.038024	-0.0021218

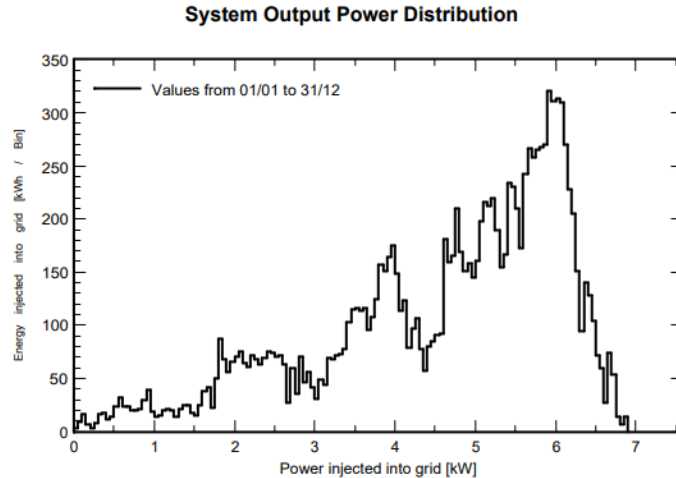
Εικόνα 96: Αναλυτικά οι απώλειες του συστήματος.



Εικόνα 97 : Η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια από το ΦΒ σύστημα 47m², οι συνολικές απώλειες του συστήματός και η τελική παραγωγή του συστήματός σε διάστημα ενός χρόνου.



Εικόνα 98: Διαγραμμα ημερήσιας παραγωγής ενέργειας προς ημερήσιας προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε διάστημα ενός έτους από το ΦΒ σύστημα. (50 kWh/day κατά μέσο όρο στην διάρκεια του έτους και 8 kWh/m²/Day προσπίπτουσας ακτινοβολίας και παρατηρείται όπου υπάρχει ο συνωστισμός των μαύρων κουκκίδων στο διάγραμμα).



Εικόνα 99: Διάγραμμα που απεικονίζει την ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο σε σύνολο ενός έτους.

5.7 Οικονομοτεχνικά

Το κόστος των υλικών για την υλοποίηση του έργου είναι στα 6.897,34 € και περιλαμβάνει 24 ΦΒ πλαίσια 330 W, έναν αντιστροφέα 7.5 kW, τέσσερις βάσεις στήριξης των ΦΒ πλαισίων και τέλος ο AC αγωγός 30 m διατομής 2,5mm² για σύνδεση από τον αντιστροφέα έως το δίκτυο ενώ τα τέλη σύνδεσης και η αντικατάσταση του υφιστάμενου μετρητή με απορροφηθείσας-εγχυθείσας ενέργειας από την ΔΕΔΗΕ στα 500,00 (Εικόνα 100) και το ετήσιο κόστος της συντήρησης στα 100 €. Η αποπληρωμή του του δανείου (Εικόνα 101) προς την τράπεζα στα 5 χρόνια με επιτόκιο 7 % ενώ η απόσβεση του έργου στα 8,5 χρόνια (Εικόνα 102) με συνολική απόδοση της επένδυσης (ROI) 235,8% (Εικόνα 103).

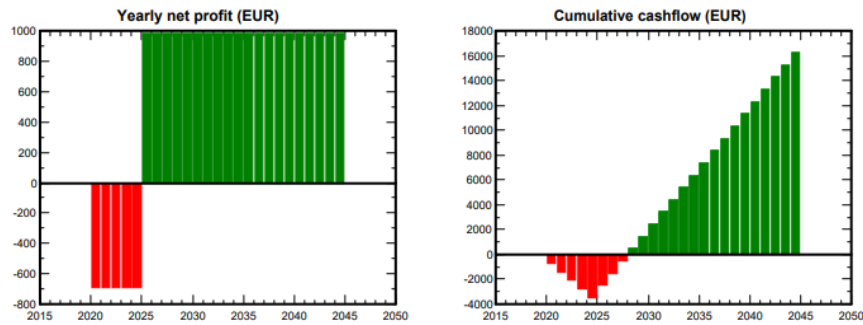
Main system parameters		System type No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		tilt 30°	azimuth 0°
PV modules	Model ND-AH 330W	Pnom 330 Wp	
PV Array	Nb. of modules 24	Pnom total 7.92 kWp	
Inverter	Model TRIO-7.5-TL-OUTD-400	Pnom 7.50 kW ac	
User's needs	Unlimited load (grid)		
Installation costs			
PV modules			
ND-AH 330W	24 units	184.00 EUR/unit	4'416.00 EUR
Supports for modules	24 units	6.66 EUR/unit	159.84 EUR
Inverters			
TRIO-7.5-TL-OUTD-400			1784.00 EUR
Installation			
Wiring	30 units	1.25 EUR/unit	37.50 EUR
Grid connection			500.00 EUR
		Total	6'897.34 EUR
		Depreciable asset	6'359.84 EUR
Operating costs			
Land rent			100.00 EUR/year
		Total (OPEX)	100.00 EUR/year
System summary			
Total installation cost		6'897.34 EUR	
Operating costs		100.00 EUR/year	
Produced Energy		13.6 MWh/year	
Cost of produced energy (LCOE)		0.032 EUR/kWh	

Εικόνα 100: Το συνολικό κόστος του έργου και ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την υλοποίησή του.

Detailed economic results (EUR)

	Gross income	Loan principal	Loan interest	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Cumul. profit	% amort.
2020	1'087	1'199	483	100	0	504	0	-695	-695	7.3%
2021	1'087	1'283	399	100	0	588	0	-695	-1390	15.8%
2022	1'087	1'373	309	100	0	678	0	-695	-2086	25.7%
2023	1'087	1'469	213	100	0	774	0	-695	-2781	36.9%
2024	1'087	1'572	110	100	0	877	0	-695	-3476	49.6%
2025	1'087	0	0	100	0	987	0	987	-2489	63.9%
2026	1'087	0	0	100	0	987	0	987	-1502	78.2%
2027	1'087	0	0	100	0	987	0	987	-515	92.5%
2028	1'087	0	0	100	0	987	0	987	472	106.8%
2029	1'087	0	0	100	0	987	0	987	1459	121.1%
2030	1'087	0	0	100	0	987	0	987	2446	135.5%
2031	1'087	0	0	100	0	987	0	987	3433	149.8%
2032	1'087	0	0	100	0	987	0	987	4420	164.1%
2033	1'087	0	0	100	0	987	0	987	5407	178.4%
2034	1'087	0	0	100	0	987	0	987	6393	192.7%
2035	1'087	0	0	100	0	987	0	987	7380	207.0%
2036	1'087	0	0	100	0	987	0	987	8367	221.3%
2037	1'087	0	0	100	0	987	0	987	9354	235.6%
2038	1'087	0	0	100	0	987	0	987	10341	249.9%
2039	1'087	0	0	100	0	987	0	987	11328	264.2%
2040	1'087	0	0	100	0	987	0	987	12315	278.6%
2041	1'087	0	0	100	0	987	0	987	13302	292.9%
2042	1'087	0	0	100	0	987	0	987	14289	307.2%
2043	1'087	0	0	100	0	987	0	987	15276	321.5%
2044	1'087	0	0	100	0	987	0	987	16263	335.8%
Total	27'174	6'897	1'514	2'500	0	23'160	0	16'263	16'263	335.8%

Εικόνα 101: Αναλυτική οικονομική απόδοση σε διάστημα 25 ετών



Εικόνα 102: Αριστερά το ετήσιο κέρδος του καταναλωτή στο σύνολο των 25 ετών ενώ δεξιά το ετήσιο κόστος αποπληρωμής της επένδυσης μέχρι την απόσβεση της και το τελικό κέρδος

Financial parameters	
Simulation period	
Project lifetime	25 years
Start year	2020
Income variation over time	
Inflation	0.00 %/year
Production variation	0.00 %/year
Discount rate	0.00 %/year
Income dependent expenses	
Income tax rate	0.00 %/year
Other income tax	0.00 %/year
Dividends	0.00 %/year
Financing	
Loan	6'897.34 EUR
Electricity sale	
Feed-in tariff	0.08 EUR/kWh
Duration of tariff warranty	20 years
Annual connection tax	0.00 EUR
Annual tariff variation	0.0 %/year
Feed-in tariff decrease after warranty	0.00 %
Return on investment	
Payback period	8.5 years
Net present value (NPV)	16'263.11 EUR
Return on investment (ROI)	235.8 %

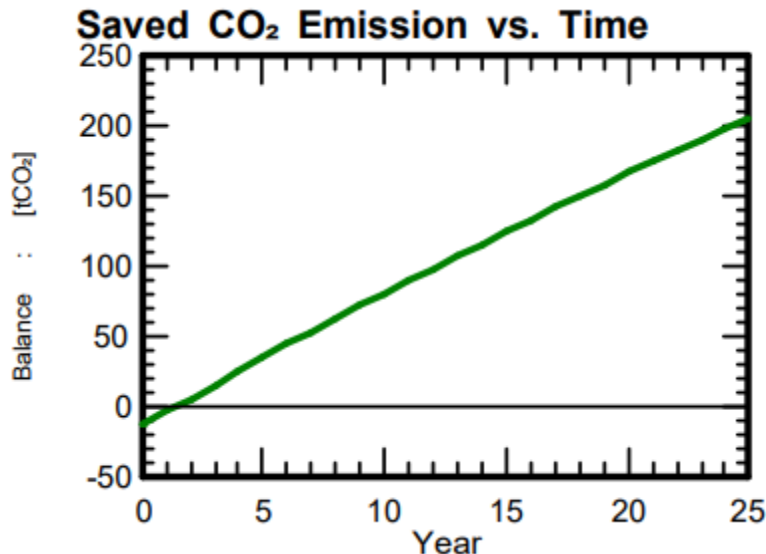
Εικόνα 103: Οικονομική ανάλυση του έργου και το εκτιμώμενο κέρδος σε διάρκεια 25 ετών.

5.8 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) του έργου

Υπολογίστηκε (Εικόνα 104) το CO₂ κατά την διάρκεια των 25 ετών κατά την παραγωγή 13,6 MWh με Grid LCE 730gCO₂/kWh είναι μια προκαθορισμένη τιμή που δημοσιεύεται από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας IEA, αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν τη μέση εκπομπή CO₂ ανά kWh παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικές χώρες ή περιοχές και στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η Ελλάδα ενώ LCE 13,98 tCO₂ και αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα εκπομπών CO₂ που προκαλούνται από την κατασκευή και τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Η μείωση εκπομπών CO₂ κάθε χρόνο περίπου 8 tCO₂/yr και η συνολική μείωση του CO₂ κατά την διάρκεια 25 ετών(Εικόνα 105) στα 206,4 tCO₂.

Main system parameters	System type	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	ND-AH 330W	Pnom 330 Wp
PV Array	Nb. of modules	24	Pnom total 7.92 kWp
Inverter	Model	TRIO-7.5-TL-OUTD-400	Pnom 7.50 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Generated emissions	Total:	13.98 tCO₂	
	Source:	Detailed calculation from table below:	
Replaced Emissions	Total:	248.0 tCO₂	
	System production:	13.59 MWh/yr	Lifetime: 25 years
			Annual degradation: 1.0%
	Grid Lifecycle Emissions:	730 gCO ₂ /kWh	Country: Greece
	Source:	IEA List	
CO₂ Emission Balance	Total:	206.4 tCO₂	
System Lifecycle Emissions Details:			
Item	Modules	Supports	Inverters
LCE	1557 kgCO ₂ /kWp	4.87 kgCO ₂ /kg	482 kgCO ₂ /units
Quantity	7.92 kWp	240 kg	1.00 units
Subtotal [kgCO ₂]	12332	1169	482

Εικόνα 104: Όλοι οι παράμετροι για τον υπολογισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα CO₂.



Εικόνα 105 : Διάγραμμα μείωσης CO₂ στην διάρκεια 25 ετών.

5.9 Ενεργειακός συμψηφισμός (Net Metering)

Στην περίπτωση το ενεργειακού συμψηφισμού, οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις υπολογίζονται βάσει των μετρητικών δεδομένων κατά την αντίστοιχη περίοδο καταμέτρησης. Ως χρεωστέα ενέργεια υπολογίζεται η διαφορά των ποσοτήτων που καταγράφονται από τον μετρητή της ΔΕΗ, δηλαδή η διαφορά A (Απορροφώμενη) – E (Εγγεόμενη), εφόσον η διαφορά αυτή είναι θετική. Εάν η διαφορά ισούται με μηδέν δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια ενώ αν η διαφορά είναι αρνητική επίσης δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, αλλά η διαφορά αυτή πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό ως πρόσθετη εξερχόμενη (εγγεόμενη) ενέργεια (Πίνακας 12). Κατά την ετήσια εκκαθάριση τυχόν πλεόνασμα ενέργειας συμψηφίζεται με την χρεωστέα ενέργεια προηγούμενων περιόδων, για την οποία γίνεται αντιλογισμός. Τυχόν παραμένον μετά τον ετήσιο αντιλογισμό πλεόνασμα δεν πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό.

Πίνακας 12: Εκκαθαριστικό λογαριασμό ενεργειακού συμψηφισμού του εργαστήριου κατά την διάρκεια ενός έτους.

Τετράμηνο	Απορροφώμενη A	Εγγεόμενη E	Συμψηφιζόμενη N = A-E	Χρεωστέα	Πιστούμενη διαφορά	Παραγόμενη Π	Κατανάλωση K=A+Π-E
A	1500	1000	500	500	0.0	4069	4559
B	1050,6	2260	-1209,4	0	709,4	5495	4285,6
Γ	1305	1000	300	0	409,4	4043	4338
ΕΤΟΣ	3855,6	4261	-409,4	0	0	13587	13182,6

Η Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από ΔΕΗ κατά την διάρκεια του έτους 3855,6 kWh/yr ενώ η εγγεόμενη ενέργεια από το ΦΒ σύστημα κατά την διάρκεια του έτους 4261 kWh/yr και η συνολική κατανάλωση από το δίκτυο και από το ΦΒ σύστημα κατά την διάρκεια του έτους 13.182,6 kWh/yr, περίπου το 71% της κατανάλωσης είναι από το ΦΒ σύστημα. Το ετήσιο κόστος της επιχείρησης προς την ΔΕΗ πριν την εγκατάσταση των ΦΒ ήταν 2.768,34 €/yr με 100% τροφοδοσία από την ΔΕΗ ενώ μετά την εγκατάσταση του ΦΒ συστήματος η επιχείρηση απορροφάει από το δίκτυο μόλις 29 % ανά έτος και χρεώνονται μόνο τα τέλη όπως πάγιο, χρεωση ισχύος, δίκτυο μεταφοράς, δίκτυο διαμονής, ΥΚΩ, ΕΤΜΕΑΡ κ.α. ενώ θα προστεθεί η χρεωση ενέργειας μόνο αν η Απορροφώμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την Εγγεόμενη και υπάρχει Χρεωστέα ενέργεια προς το δίκτυο στο τέλος των 12 μηνών. Κατά τον ετήσιο ενεργειακό συμψηφισμό της συγκεκριμένης εγκατάστασης που μελετήθηκε η Εγγεόμενη ενέργεια ήταν μεγαλύτερη από την Απορροφώμενη στην διάρκεια ενός έτους, έτσι η διαφορά των 409,4 kWh από τον ετήσιο συμψηφισμό είναι Πιστούμενη διαφορά που εγχέεται στο δίκτυο, δεν μεταφέρεται περαιτέρω και δεν αποζημιώνεται στο επόμενο ετήσιο λογαριασμό αντιθέτως χάνεται για τον αυτοπαραγωγό.

6 Συμπεράσματα

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναλυτική μελέτη για εγκατάσταση ΦΒ συστήματος 7.92 kWp με ενεργειακό συμψηφισμό στο εργαστήριο αλουμίνιου – σιδήρου και την σύνδεση στο δημόσιο δίκτυο της ΔΕΗ με διάρκεια συμβολαίου και λειτουργίας για 25 χρόνια. Το ΦΒ πλαίσιο που επιλέχθηκε ήταν 330 W (24 ΦΒ Πλαίσια βαθμό απόδοσης 17% έκαστος) και με ισχύ αντιστροφεία 7.5 kW. Όπως έγινε φανερό, το πρώτο ζητούμενο αποτελεί η επίτευξη της μέγιστης δυνατής έντασης ακτινοβολίας σε κάθε πάνελ κατά τη διάρκεια του χρόνου, η ένταση της ακτινοβολίας είναι αρκετά μεγαλύτερη το καλοκαίρι απ’ ότι το χειμώνα. Ωστόσο, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απολαβής λήφθηκε υπόψη και το γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού συντελούν αρνητικά στην παραγωγή ενέργειας. Για την μέγιστη απολαβή ενέργειας, τα πάνελ τοποθετήθηκαν με νότιο προσανατολισμό καθώς η τοποθεσία εγκατάστασης βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο με κλίση η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για τα δεδομένα της εγκατάστασης στο νησί της Ρόδου, η τυπική μέση χαρακτηριστική κλίση υπολογίστηκε στις 30° μοίρες, ώστε να εκμεταλλεύεται στο έπακρο την θέση του ήλιου στον ορίζοντα. Αναφορικά με τη σκίαση, δεν λήφθηκε υπόψιν καμία απώλεια καθώς η εγκατάσταση βρίσκεται σε χώρο στο οποίο απουσιάζουν εμπόδια (δέντρα, κτήρια κ.α.) και για την αποφυγή της σκίασης μεταξύ των πλαισίων, τοποθετήθηκαν οι σειρές των πάνελ σε απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να μην σκιάζονται. Με το λογισμικό PVsyst εκτιμήθηκε η ετήσια απολαβή ενέργειας από το σύστημα στον τελικό καταναλωτή στα 13,6 MWh/yr και απόδοση του συστήματος περίπου 77 % και εκμηδενίζει την κατανάλωση της επιχείρησης καθώς καλύπτει μεγάλη μέρος της απαιτούμενης ενέργειας του εργαστηρίου που είναι 13,1 MWh/300 μέρες. Η περίσσεια ενέργεια μετά τον ενεργειακό συμψηφισμό ισούται με 409,4 kWh και χάνεται από τον αυτοπαραγωγό καθώς δεν αποζημιώνεται από την ΔΕΗ ή μπορεί να καταναλωθεί από το εργαστήριο τις 65 μέρες που υπολογίστηκαν ως αργίες, εξωτερικές δουλειές κτλ. στην διάρκεια του χρόνου ή μπορεί και να είναι χρήσιμη μελλοντικά, καθώς σε βάθος 25 ετών το ΦΒ σύστημα θα χάνει την απόδοση του λόγω φθοράς – γήρανσης του έργου. Το κόστος της εγκατάστασης ανέρχεται στα 6.897,34 € ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησης στα 100 € με εξ ολοκλήρου κάλυψη κόστους επένδυσης από πιστωτικό ίδρυμα με επιτόκιο 7% και αποπληρωμή εντός 5 ετών και εκτιμήθηκε η απόσβεση του έργου στα 8.5 χρόνια. Στα 25 χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης το συνολικό όφελος του έργου είναι 27.174 € όπου τα 16.263 € είναι το καθαρό κέρδος του αυτοπαραγωγού ενώ 10.911 € τα συνολικά έξοδα υλικών, εγκαταστάσεις, επιτόκιο και συντήρησης, είναι αρκετά αποδοτικό καθώς η επιστροφή επένδυσης ανέρχεται κατά 235,8%. Τέλος το σύστημα συμβάλει σημαντικά στην μείωση θερμοκηπιακού αερίου CO₂, στα 25 χρόνια λειτουργίας η συνολική μείωση του αποτυπώματος άνθρακα 206,4 tCO₂.

Μελλοντικά η επιχείρηση θα αναβαθμίσει τα μηχανήματα της επιχείρησης ώστε να αυξήσει την μονάδα παραγωγής της, συνεπακόλουθα θα αυξηθεί και η απαιτούμενη ενέργεια, έτσι; έχει προβλεφθεί από την παρούσα μελέτη για αύξηση της εγκαταστημένης ισχύος χωρίς να χρειαστεί κάποια αλλαγή των μηχανημάτων-εξαρτημάτων απλά αυξάνοντας τον αριθμό των ΦΒ πλαισίων ως το σημείο που επιτρέπει ο νομός για τα μη συνδεδεμένα νησιά, καθώς υπάρχει διαθέσιμος χώρος στην ταράτσα της πολυκατοικίας για αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος kWp ενώ και ο αντιστροφείας έχει δυνατότητα εκμετάλλευσης μέγιστης ισχύς εισόδου 4,8 kWp ανά MPPT ενώ η εγκαταστημένη ισχύς στην μελέτη που πραγματοποιήθηκε και τελικά εγκαταστάθηκε είναι 3,96 kWp ανά MPPT για κάλυψη των τωρινών αναγκών του εργαστηρίου.

7 Βιβλιογραφία

7.1 Άρθρα – Οδηγοί – Βιβλία

1.

Greece aims to install 5 GW of PV by 2030

https://www.pv-magazine.com/2019/12/02/greece-aims-to-install-5-gw-of-pv-by-2030/?utm_source=Biblio&utm_campaign=Internal

"Η Ελλάδα θα μπορούσε να εξάγει ηλιακή ενέργεια στη Μόσχα" - Η νέα ενεργειακή αφθονία και η Ελλάδα

<https://energypress.gr/news/i-ellada-tha-mporoyse-na-exagei-iliaki-energeia-sti-mosha-i-nea-energeiaki-afthonia-kai-i>

Εξαιρετικά λεπτά, εύκαμπτα ηλιακά κύτταρα

<https://onelab.mit.edu/research/solar-technologies/ultra-thin-flexible-solar-cells>

Ηλιακές τεχνολογίες

<https://onelab.mit.edu/research/solar-technologies>

2.

ΟΔΗΓΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΈΡΓΩΝ

http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika_ergwn.pdf

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

https://imegseevee.gr/wp-content/uploads/2018/01/fotovoltaika_systimata.pdf

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ ΣΚΙΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ – ΚΩΔΙΚΑΣ – Ε-ΦΑΡΜΟΓΕΣ

https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3570/koilakoss_solarcollectors.pdf?sequence=3&isAllowed=y

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ - ΚΑΠΕ

http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟ (NET METERING)

<https://www.deddie.gr/Documents2/net%20metering/%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20CE%95%CE%B3%CF%87%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%20MT.pdf>

3.

Φωτοβολταϊκά συστήματα Φραγκιαδάκης Ιωάννης Ε.

Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις Σταμάτης Δ. Περδίας

Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων Σωκράτης Ν. Καπλάνης

7.2 Ιστότοποι

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%BF>
<https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/oruxeia>
<https://gr.euronews.com/2020/03/06/ellada-to-telos-tou-ligniti-apeilei-me-erimwsi-ti-dytiki-makedonia>
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82>
<http://www.physics.uoi.gr/seci/clim2.pdf>
https://www.arcmeletitiki.gr/images/uploads/pdf/arc_ape11.pdf
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_1_en
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_2_en
<https://www.consilium.europa.eu/el/press/press-releases/2019/06/20/a-new-strategic-agenda-2019-2024/>
<https://www.consilium.europa.eu/el/press/press-releases/2019/10/04/8th-environmental-action-programme-council-adopts-conclusions/#>
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1
<https://energypress.gr/news/o-deddie-apantaei-stis-syhnoteres-erotiseis-shetika-me-ta-fotovoltaika-net-metering>
<https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-3468-2006.html>
<https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-4203-2013.html>
<https://helapco.gr/nea-2020/fek-neoy-peri-vallontikoy-energeiakoy-nomoy-4685-2020/>
https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_Net_Metering.pdf
<https://www.ppcr.gr/el/announcements/news/363-pv-plant-200mw-ptolemaida>
<https://www.e-mc2.gr/el/news/oi-protaseis-toy-syndesmoy-etairion-fotoboltaikon-sef-gia-tin-aplopoiisiton-adeiodotikon>
<https://www.dei.gr/el/oikiakoi-pelates/xrisimes-plirofories-gia-to-logariasmo-sas/net-metering/paradeigmata-etisias-ekkatharisis-upologismos-xrew>
<https://illustrationprize.com/el/100-difference-between-single-phase-amp-three-phase.html>
<https://selasenergy.gr/history.php>
<https://selasenergy.gr/fundamentals.php>
https://selasenergy.gr/fv_systems.php
<https://selasenergy.gr/interconnected.php>
<https://selasenergy.gr/autonomous.php>
<https://selasenergy.gr/environment.php>
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%AD%CE%B1%CF%82>
<https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>
<https://www.youtube.com/watch?v=EoTVtB-cSps>
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
<http://www.cres.gr/kape/datainfo/clima/rhodes.htm>
https://www.pvsyst.com/help/general_descr.htm