



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ»

Του φοιτητή
Μητσέλλης Κωνσταντίνου.
Αρ. Μητρώου: 511065

Επιβλέπων
Ιορδάνης Κιοσκερίδης
Βαθμίδα: Καθηγητής

Ημερομηνία : Μάιος 2021

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη αυτόνομου- υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Κωδικός Δ.Ε. 15191

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Μητσέλλης Κωνσταντίνος

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 5/5/2019

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

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

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

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

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία μελετάται με ποιόν τρόπο μπορεί ένα σπίτι έχει ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να την προμηθεύεται από το δίκτυο, παράγοντας την με “πράσινη ενέργεια”. Γενικά ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τις βάσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τους αντιστροφείς και αν πρόκειται για αποθήκευση ενέργειας τότε και μπαταρίες. Στην εργασία αυτήν αναλύονται όλα αυτά τα υλικά και οι διαφορετικοί τύποι και τεχνολογίες που υπάρχουν μέχρι σήμερα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτά που συνδέονται με το δίκτυο είτε για πώληση ενέργειας ή με μορφή συμψηφισμού καταναλώσεων, και υπάρχουν και συστήματα που δεν συνδέονται στο δίκτυο όπως στην περίπτωση μας και λέγονται αυτόνομα. Με τον όρο υβριδικό νοείται ένα σύστημα με πάνω από μια πηγές εισόδου. Σ’ αυτήν την εργασία λοιπόν θα δούμε ποια βήματα πρέπει να ακολουθήσουμε για να βρούμε το ιδανικότερο σύστημα που ταιριάζει με τις ανάγκες του καθένα, και με ποιόν τρόπο να γίνει η επιλογή αλλά και συνδεσμολογία των υλικών.

«AUTONOMOUS HYBRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM»

Mitsellis Konstantinos

Abstract

At this thesis being studied in which way one house can run on electricity without being connected to the grid , but producing its energy by “green energy” . In general a photovoltaics system consists of the base, the photovoltaics panels , inverters and if we re talking about saving energy then batteries too . At this thesis are analyzed all the products and the different types and technologies that exist today . There are two categories of pvsystems , those that are connected to the grid ,either with the form of selling energy or net metering , and there are systems that are off-grid such as in our case and they are called autonomous . With the term hybrid it meant one system that has more than one source of energy . At this thesis we will see which steps has someone to follow to get the ideal system that fits his needs and also in which way he can choose and connect each product .

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε το πανεπιστημιακό έτος 2020-2021 .

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους προσέφεραν την πολύτιμη βοήθειά τους στην εκπόνηση της. Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή του τμήματος Κιοσκερίδη Ιορδάνη για τη βοήθεια, την πολύτιμη καθοδήγηση και τις συμβουλές του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της έρευνας και συγγραφής της εργασίας. Επίσης, δεν θα παραλείψω να εκφράσω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου για την κατανόηση και την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	i
Abstract.....	ii
Ευχαριστίες.....	iii
Πίνακας Περιεχομένων.....	iv
Κατάλογος Σχημάτων.....	vi
Κατάλογος Πινάκων.....	viii
1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	1
1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Πράσινη Οικονομία.....	2
1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	7
1.4. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	13
2. Τεχνική Περιγραφή Αυτονόμου Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	17
2.1. Εισαγωγή.....	17
2.2. Περιγραφή φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	17
2.3. Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	22
2.4. Συνήθεις βλάβες σε φωτοβολταϊκά πάνελ.....	26
2.5. Περιγραφή Αντιστροφέων (Inverters).....	28
2.6. Νησιδοποίηση.....	34
2.7. Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.....	35
2.8. Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ.....	42
3. Μελέτη Περίπτωσης: Σχεδιασμός Αυτονόμου Φ/Β Συστήματος.....	49
3.1. Εισαγωγή.....	49
3.2. Διερεύνηση αναγκών.....	49
3.3. Φωτοβολταϊκά πάνελ.....	49
3.4. Αντιστροφέας.....	50
3.5. Μπαταρίες.....	52
3.6. Ρυθμιστής φόρτισης.....	53
3.7. Γεννήτρια.....	54
3.8. Παρακολούθηση μπαταριών.....	55
3.9. Βάση.....	55
3.10. Καλώδια.....	57
4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PV SOL.....	59
4.1. Εισαγωγή.....	59

4.2. Περιγραφή.....	59
4.3. Χαρακτηριστικά.....	59
5. Βιβλιογραφία.....	83
Παράρτημα.....	Error! Bookmark not defined.

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Περιβαλλοντικοί στόχοι μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου από τα κράτη μέλη της ΕΕ μέχρι και το 2050 [9].....	4
Σχήμα 1.2: Προϋπολογισμός χρηματοδοτικών προγραμμάτων για την εφαρμογή των πράσινων πολιτικών και πρακτικών εντός της ΕΕ [9].....	6
Σχήμα 1.3: Κατανομή των χρηματοδοτικών κονδυλίων για την πράσινη ανάπτυξη εντός της ΕΕ [9]....	6
Σχήμα 1.4: Μονάδα φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ενέργειας [18].....	7
Σχήμα 1.5: Υπεράκτια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ανεμογεννητριών [19].	8
Σχήμα 1.6: Υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής ενέργειας [20].....	8
Σχήμα 1.7: Μονάδα γεωθερμικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [8].....	9
Σχήμα 1.8: Παράδειγμα μονάδας παραγωγής ενέργειας από τα υποθαλάσσια ρεύματα [21].....	10
Σχήμα 1.9: Διάγραμμα σύγκρισης κόστους για την παραγωγή 1 KWh 2014-2015 [24].....	11
Σχήμα 1.10: Σύνοψη χαρακτηριστικών μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	15
Σχήμα 2.1: Σχέση κλίσης πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ως προς τον προσανατολισμό τους. [38].....	18
Σχήμα 2.6: Μονοφασικός αντιστροφέας (Inverter) ημιγέφυρας.....	31
Σχήμα 2.7: Μονοφασικός αντιστροφέας (Inverter) πλήρους γέφυρας.....	32
Σχήμα 2.8: Συσσωρευτές BYD.[42].....	36
Σχήμα 2.9: Τυπική σταθερή βάση στήριξης[44].....	44
Σχήμα 2.10: Μονοαξονικές διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.[45].....	45
Σχήμα 2.11: Διαξονικές διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.[44].....	46
Σχήμα 2.12: Μονοαξονική διάταξη ιχνηλάτησης με χειροκίνητη προσαρμογή [46].....	47
Σχήμα 2.13: Τυπικό αυτόνομο υβριδικό σύστημα.[47].....	48
Σχήμα 3.1: Φωτοβολταϊκό πάνελ μελέτης περίπτωσης.[48].....	50
Σχήμα 3.2: Αντιστροφέας μελέτης περίπτωσης[49].....	52
Σχήμα 3.3: Μπαταρίες μελέτης περίπτωσης.[50].....	53
Σχήμα 3.4: Ρυθμιστής φόρτισης μελέτης περίπτωσης.[49].....	54
Σχήμα 3.5: Γεννήτρια μελέτης περίπτωσης.[51].....	55
Σχήμα 3.6: Παρακολούθηση μπαταριών μελέτης περίπτωσης.[49].....	55
Σχήμα 3.7: Ντιζοστρίφωνα με αντάπτορα στερέωσης.[52].....	56
Σχήμα 3.8: Ράγα στην οποία πατάνε τα πλαίσια.[52].....	56
Σχήμα 3.9: (α) Τελικός συγκρατητής και (β) μεσαίος συγκρατητής.[52].....	56
Σχήμα 3.10: Βίδα μισής στροφής[52].....	57
Σχήμα 3.11: Καλώδια Solar.[53].....	57
Σχήμα 3.12: Βύσματα για καλώδια φωτοβολταϊκών.[53].....	58

Σχήμα 3.13: Διακλαδωτές για παραλληλισμό πάνελ ή στοιχειοσειρών.[53].....	58
Σχήμα 3.14: Πρέσα για βύσματα mc4.[53].....	58

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Σύγκριση κόστους για την παραγωγή 1 KWh 2014-2015 [24].....	11
Πίνακας 2.1: Κλίση φωτοβολταϊκών ανάλογα με τον προσανατολισμό τους [38].....	18

1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

1.1.Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή και οι απειλές που ενέχει για την ανθρωπότητα, έχει οδηγήσει μεγάλο αριθμό κρατών, και μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού να αναλάβουν δράση για την αντιμετώπισή της. Η δράση δεν περιορίζεται αποκλειστικά σε πρακτικές μείωσης του ανθρωπίνου αντικτύπου στο περιβάλλον, αλλά στην ολική επαναδιατύπωση της έννοιας «οικονομική δραστηριότητα» προκειμένου να δημιουργηθεί ένα πρότυπο αειφόρας ανάπτυξης και να διασφαλιστεί η προστασία των ανθρώπων. Η έννοια της «πράσινης οικονομίας» αποτελεί ένας σχεδιασμός ο οποίος τέθηκε σε εφαρμογή την δεκαετία του 80' και έκτοτε έχει εξαπλωθεί σε διάφορους βαθμούς σε όλο τον κόσμο [1].

Συγκεκριμένα πρόκειται για μία σειρά δράσεων, οι οποίες ως στόχο έχουν την μείωση του αντικτύπου της ανθρωπότητας στο περιβάλλον, με παράλληλη διασφάλιση της οικονομικής ανάπτυξης και του ευ ζην. Στο πλαίσιο αυτό έχουν εφαρμοστεί σε μεγάλη έκταση πολιτικές και πρακτικές, στο σύνολο των οικονομικών τομέων, με διαφορετικούς βαθμούς επιτυχίας φυσικά, προκειμένου η οικονομική δραστηριότητα να συμβαδίσει με τις ανάγκες του πληθυσμού, αλλά και τις απαιτήσεις της σύγχρονης αντίληψης της αειφόρου ανάπτυξης [2].

Μία από τις πρακτικές «κλειδιά» για την επίτευξη του παραπάνω αποτελέσματος αποτελεί η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Πρόκειται για μία πρακτική η οποία εφαρμόζει η ανθρωπότητα από τις απαρχές της, αλλά μετά την βιομηχανική επανάσταση έχει λάβει διαφορετική έννοια και προσδιορισμό. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), αποτελούν φυσικές πηγές οι οποίες προκύπτουν είτε από την γεωλογική δομή (γεωθερμία), είτε την ατμοσφαιρική (ηλιακή, αιολική), ενώ πολλές μορφές αποτελούν συνδυασμό των φυσικών δυνάμεων που δρουν στην επιφάνεια του πλανήτη (παλιρροιακή, ρευματοειδής, κυματική) [3].

Η εκμετάλλευση των φυσικών ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων αποτελεί μία τάση η οποία υπάρχει πριν την βιομηχανική επανάσταση, και την εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η χρήση της αιολικής και της υδραυλικής ενέργειας σε μονάδες άλεσης και άλλες όπου απαιτούνταν κίνηση μηχανικών μερών, ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη ήδη από την ελληνιστική και ρωμαϊκή περίοδο στην Ευρώπη, ενώ αρχαιολογικά ευρήματα στην Ινδία, την Κίνα, την Ιαπωνία και την Λατινική Αμερική, υποδεικνύουν πως και αυτοί οι πολιτισμοί χρησιμοποιούσαν κάποιας μορφής κινητά συστήματα, για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών [4].

Ωστόσο μετά την ανάπτυξη των μηχανών εσωτερικής καύσης, και λόγω της αποδοτικότητας των ορυκτών καυσίμων, οι πρακτικές αυτές μειώθηκαν σημαντικά. Κρίσιμος παράγοντας αποτέλεσε η εξάπλωση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, όπου για την παραγωγή της η βέλτιστη μέθοδος αποτελούσαν οι γεννήτριες ντίζελ, ενώ μόνο η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτέλεσε βιώσιμη εναλλακτική, με την συγκεκριμένη ωστόσο να ενέχει σοβαρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, δεδομένου πως απαιτούσε την διαμόρφωση μεγάλων περιοχών γης [5].

Οι σύγχρονες εξελίξεις στον τεχνολογικό τομέα των ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη κοινωνική και πολιτική διάσταση του ζητήματος της κλιματικής αλλαγής και των οικονομικών προοπτικών στον τομέα, έχουν οδηγήσει στην σημαντική αύξηση της αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων, με ΑΠΕ, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος για τον οποίο οι ΑΠΕ επικεντρώνονται κυρίως στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής δεν αφορά αποκλειστικά τον αντίκτυπο του τομέα στο περιβάλλον, αλλά τον ρόλο που διαδραματίζει η ηλεκτρική ενέργεια στην καθημερινότητα των ανθρώπων και των επιχειρήσεων [6].

Με εξαίρεση τομείς όπως η αεροναυσιπλοΐα και η ναυσιπλοΐα (στις οποίες το τεχνολογικό επίπεδο δεν επαρκεί για την αποδοτική λειτουργία τους), η πλειονότητα των οικονομικών και καθημερινών δραστηριοτήτων απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την διενέργειά τους. Ως αποτέλεσμα η παραγωγή της ενέργειας παίζει κρίσιμο ρόλο στην καθημερινότητα των πολιτών και των επιχειρήσεων, και κατά συνέπεια αποτελεί και το επίκεντρο των πολιτικών εφαρμογής πράσινων πρακτικών. Το πλέον πρόσφατο παράδειγμα στην Ελλάδα αποτελεί ο σχεδιασμός για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στο σύνολο της επικράτειας [7].

Ωστόσο σύμφωνα με ειδικούς, το ζήτημα δεν μπορεί να επιλυθεί με την αποκλειστική εκμετάλλευση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Οι απαιτήσεις της σύγχρονης καθημερινής ζωής ξεπερνούν σημαντικά την παραγωγική δυνατότητα των υφιστάμενων υποδομών ηλεκτροπαραγωγής, με αποτέλεσμα σε περίπτωση χρήσης των ΑΠΕ (και λαμβάνοντας υπόψη την διάσταση της αποδοτικότητας μεταξύ των συμβατικών μορφών ενέργειας και των ΑΠΕ), η χρήση τους θα πρέπει να αποτελεί ιδιαίτερα πιο διαδεδομένη και σε ατομικό επίπεδο. Η εγκατάσταση και λειτουργία μικρής κλίμακας μονάδων παραγωγής για την κάλυψη των καθημερινών οικιακών αναγκών. Εφαρμόζοντας το παραπάνω, οι απαιτήσεις του κτιριακού κεφαλαίου (το οποίο σε χώρες όπως η Ελλάδα ξεπερνά το 90% υπέρ των κατοικιών), μπορούν να μειωθούν σημαντικά από το δίκτυο, μειώνοντας παράλληλα τόσο το κόστος της ηλεκτροπαραγωγής, όσο και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του δικτύου [7].

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός αυτόνομου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος, για την κάλυψη των αναγκών μίας μέσης ελληνικής κατοικίας. Στο πρώτο μέρος της εργασίας εξετάζεται γενικά ο τομέας των ΑΠΕ, καθώς επίσης και οι εφαρμοζόμενες πολιτικές για την εξάπλωσή του, και την αύξηση του ποσοστού της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ. Στο δεύτερο μέρος διεξάγεται μία προσομοίωση όπου εξετάζεται η ανταποκρισιμότητα του συστήματος στις ανάγκες που προκύπτουν από την καθημερινότητα της κατοικίας.

1.2. Πράσινη Οικονομία

1.2.1. Γενικά

Η έννοια της πράσινης οικονομίας αποτελεί μία σύγχρονη προσέγγιση στην οικονομική θεωρία και δραστηριοποίηση, όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν επηρεάζουν αρνητικά ή επηρεάζουν θετικά το φυσικό περιβάλλον. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί σχετικά πρόσφατη προοπτική, και προέκυψε λόγω της ραγδαίας αύξησης του προβλήματος του φαινομένου του θερμοκηπίου και της ολοένα και αυξανόμενης προβολής του ανθρώπινου αντικτύπου στο περιβάλλον [8].

Η έννοια αυτή συνδέεται επίσης και με τις αρχές της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης, δύο αρχές που αποτελούν τα θεμέλια για την σύγχρονη αστική και οικονομική ανάπτυξη. Στόχος αποτελεί η ανάπτυξη της οικονομίας, αλλά με τρόπο βιώσιμο, δηλαδή τρόπο ο οποίος θα επιτρέπει την μακροχρόνια διατήρηση του περιβάλλοντος και του βιοτικού επιπέδου, ενώ παράλληλα θα επιτρέπει την οικονομική ανάπτυξη και την αξιοποίηση των φυσικών πόρων. Κατά κύριο λόγο, η πράσινη οικονομία συνοψίζεται στα ακόλουθα μέτρα [2]:

- Μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου.
- Αύξηση των θέσεων εργασίας στον τομέα των ΑΠΕ.
- Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Καινοτομία στον ενεργειακό και περιβαλλοντικό τομέα.
- Βελτίωση των μεθόδων βιομηχανικής παραγωγής.
- Μείωση του περιβαλλοντικού αντικτύπου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

- Επέκταση του τομέα διαχείρισης απορριμμάτων και λυμάτων.

Ωστόσο η έννοια της πράσινης οικονομίας συχνά παρερμηνεύεται και χρησιμοποιείται για να περιγράψει συγκεκριμένες δραστηριότητες και τομείς. Λόγω της διαμόρφωσης της σύγχρονης οικονομίας σε παγκόσμιο επίπεδο, και κατ' επέκταση της σύγχρονης εφοδιαστικής αλυσίδας, οι πράσινες πρακτικές πρέπει να εφαρμοστούν στο σύνολο των δραστηριοτήτων, προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη ανάπτυξη. Μία ακόμα σημαντική παρερμηνεία αποτελεί η διατύπωση της έννοιας ως μία προσπάθεια πλήρους αποβολής πρακτικών και πόρων του παρελθόντος, όπως για παράδειγμα την παύση της παραγωγής ορυκτών πόρων. Η λανθασμένη αυτή αποτύπωση οφείλεται στο γεγονός πως η χρήση συνδέεται με την παραγωγή, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται περιθώρια παρερμηνειών [4].

Σε πρακτικό επίπεδο η πλήρης διακοπή της παραγωγής ορυκτών ή υδρογονανθράκων είναι αδύνατη καθώς αποτελούν βασικά στοιχεία των σύγχρονων δραστηριοτήτων και υλικών. Ουσιαστικά, με την έννοια της πράσινης ανάπτυξης και πράσινης οικονομίας νοείται η εκμετάλλευση του συνόλου των διαθέσιμων ενεργειακών και άλλων πόρων, χωρίς ωστόσο να προκαλείται σοβαρός αντίκτυπος στο περιβάλλον, τόσο κατά την παραγωγή όσο και κατά τη χρήση τους. Η ερμηνεία αυτή χρησιμοποιείται συχνά και από τους λεγόμενους «αρνητές» της κλιματικής αλλαγής, κυρίως άτομα τα οποία ενέχουν επιρροή σε μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού και προέρχονται από διάφορους επιχειρηματικούς τομείς, επιχειρώντας να προκαλέσουν αρνητική άποψη για διάφορα μέτρα που ως στόχο έχουν να μετριάσουν την περιβαλλοντική μόλυνση, με σκοπό την κερδοφορία [9].

1.2.2. Ιστορική αναδρομή

Η έννοια της «πράσινης οικονομίας» ορίστηκε για πρώτη φορά το 1972 στο Συνέδριο της Στοκχόλμης για το κλίμα και το περιβάλλον, υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ο πρώτος ορισμός προέκυψε έπειτα από την διερεύνηση του αντικτύπου της σύγχρονης βιομηχανίας στο περιβάλλον, σε σύγκριση με στοιχεία που συνδεόταν με την πορεία των οικονομιών, την υγεία των ανθρώπων, και την κλιματική αλλαγή. Επρόκειτο για μία «επαναστατική» προσέγγιση στο ζήτημα δεδομένου πως ανέφερε πως μεγάλο ποσοστό των εφαρμοζόμενων πρακτικών των βιομηχανικών οικονομιών, ευθυνόταν για την κλιματική αλλαγή, και άρα θα έπρεπε είτε να περιοριστούν είτε να καταργηθούν [1].

Σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα του συνεδρίου προκάλεσαν αντιδράσεις, ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, όπου μέχρι και σήμερα το κράτος δεν λαμβάνει ουσιαστικά μέτρα για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο η επιστημονική κοινότητα συνέχισε τις προσπάθειες ευαισθητοποίησης των κυβερνήσεων για το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, και το 1982, διατυπώθηκε η Αναφορά της Brundland, η οποία αφορούσε την προβολή των μελλοντικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, σε περίπτωση που δεν λαμβανόταν μέτρα για την αντιστροφή της. Συγκεκριμένα η αναφορά διατύπωσε για πρώτη φορά το όριο των 2oC, δηλαδή πως σε περίπτωση υπερβολής του παραπάνω ορίου της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα είναι μη αντιστρέψιμες [4].

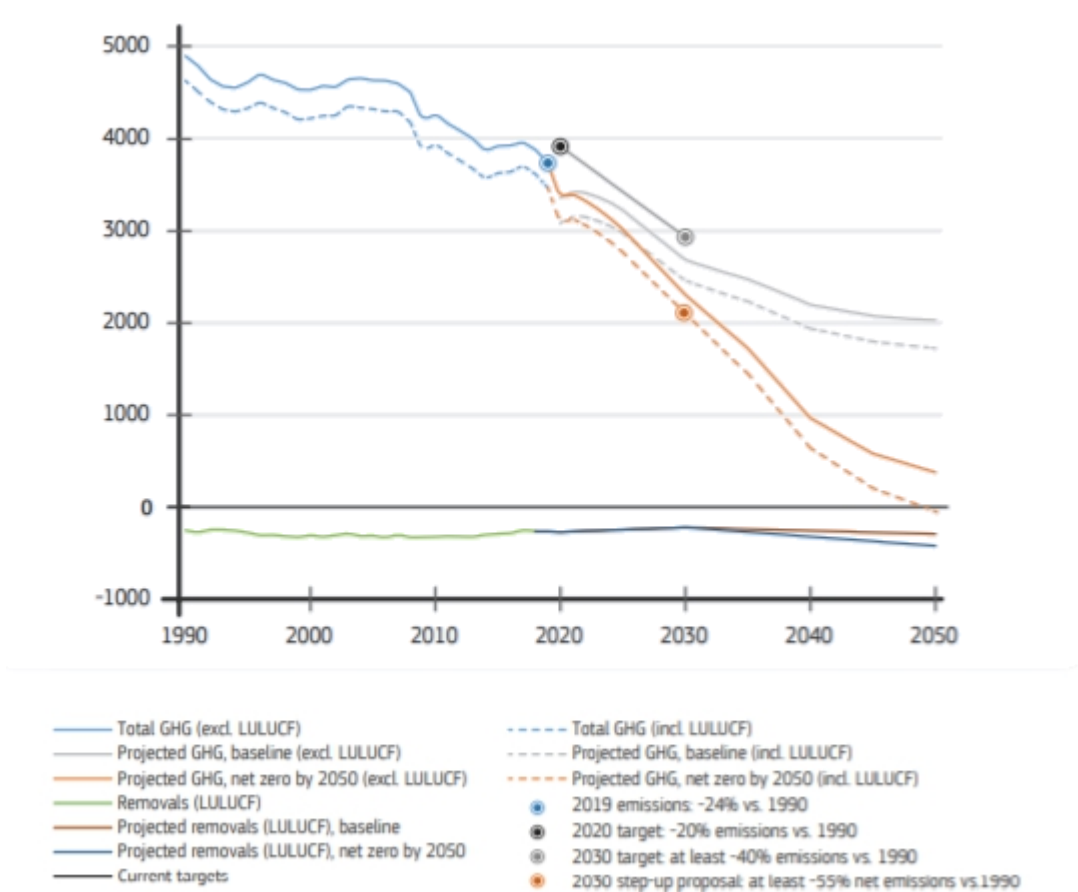
Η εν λόγω αναφορά προκάλεσε πολλές κυβερνήσεις να αναλάβουν δράση και το 1992, στην Σύνοδο για την Γη στο Κυότο της Ιαπωνίας, το σύνολο των μελών συμφώνησε στην λήψη δράσεων για την μείωση της ατμοσφαιρικής και της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Κατά τα επόμενα έτη συνάφθηκαν περαιτέρω συμφωνίες όπως η Συμφωνία του Παρισιού (2002) και η Συμφωνία του Ρίο (2012), σύμφωνα με τις οποίες θεσπίζονται στόχοι για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που παράγει η κάθε χώρα. Στο σύνολο των παραπάνω συνόδων και συμφωνιών, ωστόσο, δεν αναφέρεται η

έννοια της πράσινης οικονομίας, και δεν έχει μεταβληθεί ο ορισμός της κατά τα τελευταία έτη, με αποτέλεσμα να περιορίζεται σημαντικά η δυνατότητα παγκόσμιας εφαρμογής των αρχών της [8].

1.2.3. Πολιτικές

Ανεξαρτήτως των επιμέρους πολιτικών και πρακτικών, πολλά κράτη συμμετέχουν σε διεθνείς οργανισμούς που ως στόχο έχουν την εφαρμογή πράσινων πρακτικών για την μείωση του περιβαλλοντικού αντικτύπου της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οργανισμοί όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση και ο ΟΗΕ διαθέτουν ειδικά προγράμματα διαμοιρασμού τεχνογνωσίας και πόρων για την εφαρμογή πράσινων πολιτικών. Η ΕΕ συγκεκριμένα θεσπίζει συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς στόχους οι οποίοι και αφορούν όλο το εύρος της οικονομικής δραστηριότητας και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι στόχοι αποτελούν [10]:

- Την αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ μέχρι το 2050.
- Την σταδιακή αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων με ηλεκτρικά μέχρι το 2050.
- Την μείωση της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050.
- Την αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμου και την βελτίωση των μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων και απορριμμάτων μέχρι το 2050.



Σχήμα 1.1: Περιβαλλοντικοί στόχοι μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου από τα κράτη μέλη της ΕΕ μέχρι και το 2050 [9].

Εκτός των εμφανών περιβαλλοντικών οφελών που προκύπτουν από την εφαρμογή των παραπάνω, η ΕΕ έχει ως στόχο και την βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη, καθώς ως οργανισμός (δεδομένου ότι αποτελείται από οικονομίες διαφόρων δυνατοτήτων) αναγνωρίζει την πεπερασμένη

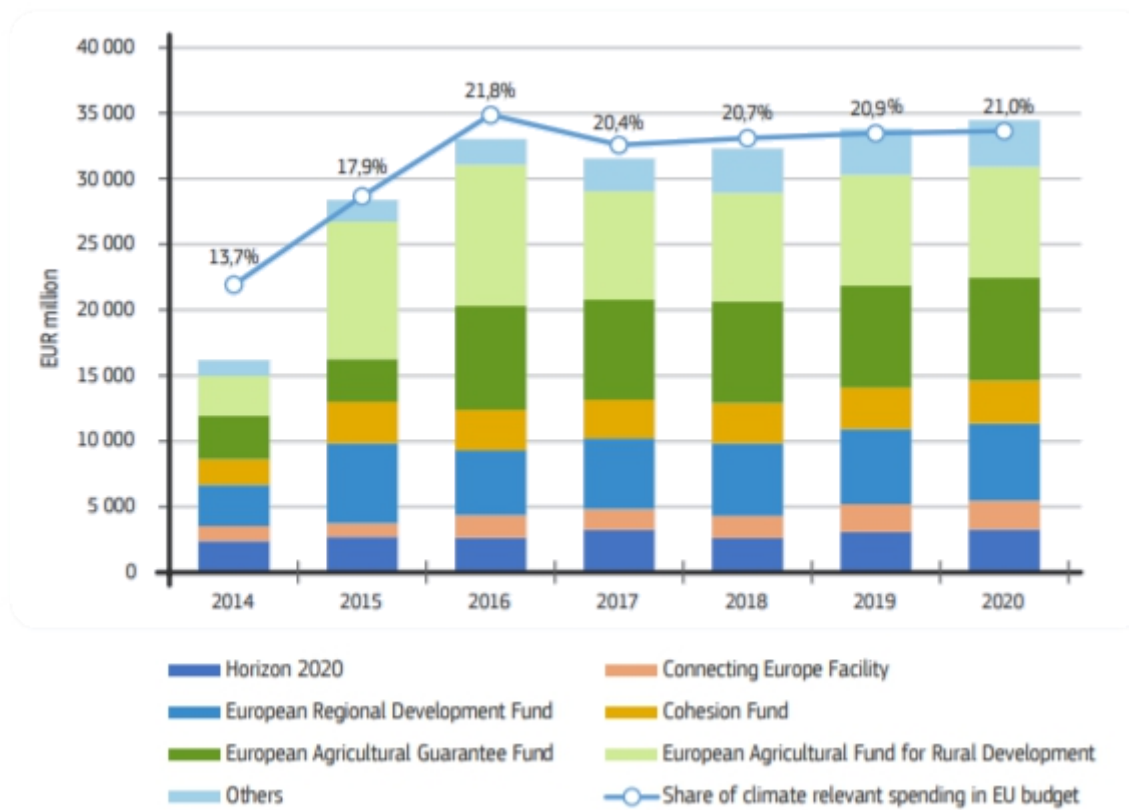
φύση των φυσικών πόρων. Επιπλέον μεγάλος αριθμός επιστημονικών μελετών αποκαλύπτει πως κρίσιμοι πόροι όπως το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, μειώνονται σταδιακά με αποτέλεσμα στους επόμενους δύο αιώνες να εξαλειφθούν πλήρως. Ως αποτέλεσμα η ΕΕ λαμβάνει προληπτικά μέτρα μεταβολής της υφιστάμενης βιομηχανικής δραστηριότητας, σε μία πιο πράσινη, η οποία μακροπρόθεσμα θα είναι βιώσιμη [11].

Επιπλέον η εκμετάλλευση των ΑΠΕ, επιφέρει και ένα μεγάλης κλίμακας όφελος, το οποίο αποτελεί η αποφυγή των γεωπολιτικών συγκρούσεων. Καθόλη τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, οι ενεργειακοί πόροι αποτελούσαν αντικείμενο πρόκλησης διαμαχών, συγκρούσεων και πολέμων. Οι πόλεμοι αυτοί συνεχίζονται μέχρι και σήμερα σε όλο τον πλανήτη όπου διακρατικές συγκρούσεις που αφορούν κυρίως την πρόσβαση σε ενεργειακούς πόρους, αποτελούν αέναα προβλήματα τα οποία δεν επιλύονται. Το πλέον πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η διαμάχη μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας για την πρόσβαση σε ενεργειακά κοιτάσματα στην Ανατολική Μεσόγειο [12].

1.2.4. Πρακτικές και στατιστικά στοιχεία.

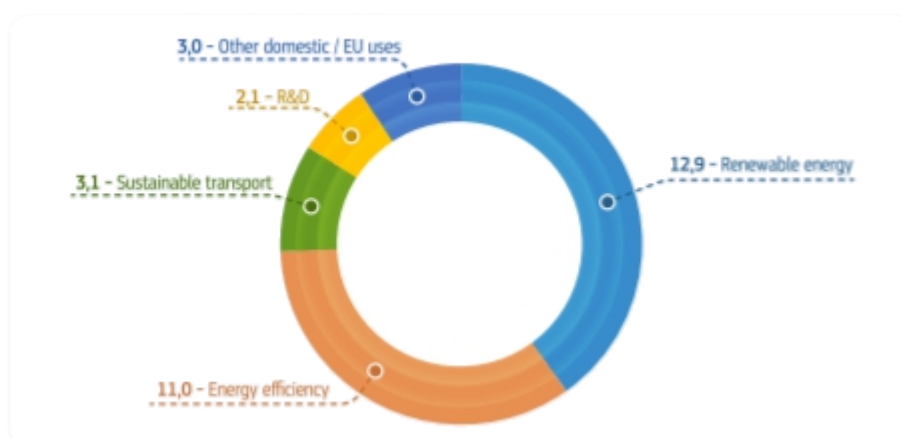
Οι εφαρμοζόμενες πρακτικές για την υιοθέτηση των αρχών της πράσινης οικονομίας βασίζονται σε δύο κύριες μορφές οικονομικών κινήτρων. Η πρώτη αποτελεί η χορήγηση κονδυλίων σε επιχειρηματικά σχέδια που στηρίζουν την πράσινη ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και την βιώσιμη ανάπτυξη, και η δεύτερη αποτελεί η χορήγηση προστίμων στις εταιρείες και τους οργανισμούς που δεν συμμορφώνονται με το περιβαλλοντολογικό πλαίσιο. Τα χρηματοδοτικά προγράμματα εντός της ΕΕ, αποτελούν αυτά τα οποία προσφέρουν στις επιχειρήσεις την δυνατότητα είτε μετατροπής των δραστηριοτήτων σε πράσινες, είτε την δημιουργία νέων κέντρων δραστηριοποίησης τα οποία εφαρμόζουν τον περιβαλλοντικό κανονισμό [13].

Τα χρηματοδοτικά προγράμματα συνήθως παρέχονται μέσω των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, ή κρατικών παροχών, προκειμένου να αυξήσουν την πιθανότητα απορρόφησής τους από τις επιχειρήσεις. Τα πρόστιμα συχνά αποτελούν επιμέρους περιπτώσεις οι οποίες κρίνονται από τα δικαστικά συστήματα των κρατών – μελών της ΕΕ, ή το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο, προκειμένου να απορροφηθούν τα απαραίτητα κονδύλια για την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ζημίας, να αποζημιωθούν οι κοινότητες και τα άτομα τα οποία επηρεάστηκαν από την μόλυνση, ή απλώς να μειωθεί η πιθανότητα να επαναληφθεί η πράξη [14].



Σχήμα 1.2: Προϋπολογισμός χρηματοδοτικών προγραμμάτων για την εφαρμογή των πράσινων πολιτικών και πρακτικών εντός της ΕΕ [9].

Όπως προαναφέρθηκε μεγάλο μέρος της προσπάθειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής επικεντρώνεται στην αξιοποίηση των ΑΠΕ για την παροχή ενέργειας στο σύνολο των οικονομικών τομέων. Η πλειονότητα των χρηματοδοτικών προγραμμάτων έχει ως στόχο την αύξηση της παραγωγής από ΑΠΕ σε βάθος χρόνου, αλλά και την χρηματοδότηση της έρευνας και ανάπτυξης νέων τεχνολογιών στον τομέα, προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα της εν λόγω μεθόδου παραγωγής [15].



Σχήμα 1.3: Κατανομή των χρηματοδοτικών κονδυλίων για την πράσινη ανάπτυξη εντός της ΕΕ [9].

Η αποδοτικότητα των παραπάνω μέτρων φυσικά είναι αμφισβητούμενη δεδομένου πως η ΕΕ, και κατ' επέκταση τα κράτη μέλη της, λειτουργούν στα πρότυπα της ελεύθερης αγοράς, και άρα οι πολιτικές αποφάσεις επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο θα επηρεάσουν τις

επιχειρήσεις. Για παράδειγμα παρά την πολυετή προσπάθεια για επέκταση των δικτύων ηλεκτροκίνησης στην ΕΕ, μόλις πρόσφατα οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, και η Ελλάδα, πραγματοποίησαν ορισμένες πολιτικές για την εφαρμογή του παραπάνω μέτρου [16].

Ως προς την χρήση των ΑΠΕ, πολλές χώρες, ιδιαίτερα οι χώρες της Βόρειας Ευρώπης, βασίζονται σε μεγαλύτερο ποσοστό στις ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις χώρες της Νότιας Ευρώπης, παρά το γεγονός πως οι δε διαθέτουν καλύτερες γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες για την υιοθέτηση των συγκεκριμένων τεχνολογιών. Η διαίρεση αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στο εφαρμοζόμενο οικονομικό μοντέλο της εκάστοτε χώρας, καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση πολιτικών για την ενίσχυση συγκεκριμένων επιχειρηματικών τομέων [17].

1.3.Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

1.3.1. Τύποι

Το σύγχρονο τεχνολογικό επίπεδο, επιτρέπει την εκμετάλλευση των φυσικών και ανανεώσιμων πόρων με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η εκμετάλλευση των ΑΠΕ δεν αποτελεί κάποια μοντέρνα σύλληψη, δεδομένου πως χρησιμοποιείται σε διάφορες μορφές καθόλη τη διάρκεια της ιστορίας της ανθρωπότητας, ωστόσο μόλις κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί μία ραγδαία πρόοδος στις τεχνολογίες των ΑΠΕ.

Οι πλέον γνωστές μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελούν η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική. Ως προς την ηλιακή, πρόκειται για έναν συνδυασμό της προόδου της τεχνολογίας των υλικών, με την εξέλιξη των τεχνολογιών συσσωρευτών καθώς επίσης και την εκμετάλλευση της φυσικής ενέργειας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την πλέον αποδοτική σε σύγκριση με τις ΑΠΕ, αλλά και την πλέον «ρυπογόνα» δεδομένου πως για την αποδοτική αξιοποίησή της απαιτείται η χρήση εκτάσεων γης, ενώ πολλά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών συστημάτων, δεν είναι ανακυκλώσιμα.



Σχήμα 1.4: Μονάδα φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ενέργειας [18].

Η αιολική ενέργεια αποτελεί επίσης αποδοτική μορφή ενέργειας καθώς εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του ανέμου για την περιστροφή των ανεμογεννητριών, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η εν λόγω τεχνολογία χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στα κράτη της βόρειας Ευρώπης, σε χερσαίες, παράκτιες ή υπεράκτιες εγκαταστάσεις, λόγω της δυνατότητας

παραγωγής μεγαλύτερου όγκου ενέργειας σε σύγκριση με τις περιοχές της ενδοχώρας. Πρόκειται επίσης για τεχνολογία η οποία απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης ή περιοχών γενικότερα, αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε φθορές σε σύγκριση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, ενώ παράλληλα το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών κατασκευής αποτελούν ανακυκλώσιμα υλικά.



Σχήμα 1.5: Υπεράκτια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ανεμογεννητριών [19].

Η υδροηλεκτρική αποτελεί ιδιαίτερη μορφή ΑΠΕ, καθώς μπορεί να αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες περιοχές. Η χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτει μεγάλες εγκαταστάσεις οι οποίες συνήθως επηρεάζουν σε βάθος χρόνου τις περιοχές στις οποίες βρίσκονται, και τις περιοχές που αξιοποιούν τον υδάτινο όγκο που χρησιμοποιεί η εγκατάσταση. Ιδιαίτερα στην Ευρώπη, η κατασκευή υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων αποτελεί περίπλοκη διαδικασία, δεδομένου πως πολλά ποτάμια, τα οποία είναι αξιοποιήσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διασχίζουν περισσότερες από μία χώρες, και για την εγκατάσταση των μονάδων απαιτείται η σύμφωνη γνώμη του συνόλου των χωρών αυτών.



Σχήμα 1.6: Υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής ενέργειας [20].

Το κοινό στοιχείο της αιολικής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας ενός ρευστού (του αέρα και του νερού αντίστοιχα) και την μετατροπή της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική. Ως προς την ηλιακή ενέργεια, αυτή εκμεταλλεύεται την δυνατότητα της χημικής παραγωγής ηλεκτρισμού, μέσω της χρήσης ειδικά διαμορφωμένων πάνελ, τα οποία όταν

προσβάλλονται από την ηλιακή ακτινοβολία, αλλάζει η χημική τους σύσταση. Κατά την μεταβολή αυτή, προκύπτει ηλεκτρική ενέργεια, σε μία διαδικασία παρόμοια με την φωτοσύνθεση.

Οι παραπάνω μορφές φυσικά δεν αποτελούν τις μοναδικές, δεδομένου πως σε διάφορες περιοχές του πλανήτη υφίστανται ιδιαίτερες συνθήκες οι οποίες επιτρέπουν την χρήση και άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μία εξ αυτών αποτελεί η γεωθερμία, η οποία εντοπίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη. Πρόκειται για μέθοδο εκμετάλλευσης της υπόγειας θερμότητας για την παραγωγή ατμού, ο οποίος στη συνέχεια προσδίδει κίνηση στην τουρμπίνα της γεννήτριας. Η μέθοδος αυτής χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθώς απαιτείται σταθερά υψηλή θερμοκρασία για την αποδοτική παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 1.7: Μονάδα γεωθερμικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [8].

Μία άλλη κατηγορία ΑΠΕ αποτελούν οι θαλάσσιες πηγές ενέργειας, και συγκεκριμένα οι τεχνολογίες που σχετίζονται με παράκτιες ή θαλάσσιες τοποθετήσεις για την εκμετάλλευση της κινηματικής ενέργειας των κυμάτων και των υποθαλάσσιων ρευμάτων, καθώς επίσης και οι χημικές μορφές όπως η τεχνολογία αφαλάτωσης και παραγωγής ενέργειας. Ο λόγος για τον οποίο οι εν λόγω τεχνολογίες αποτελούν ιδιαίτερη κατηγορία αποτελεί το γεγονός πως πρόκειται για συστήματα υψηλών απαιτήσεων ως προς την συντήρηση, αλλά ιδιαίτερα υψηλής αποδοτικότητας. Λόγω του γεγονότος πως τόσο τα κύματα, όσο και τα υποθαλάσσια ρεύματα προκύπτουν από την επίδραση της βαρυτικής έλξης της σελήνης και της περιστροφής της γης, η κινητική ενέργεια των συγκεκριμένων πηγών είναι θεωρητικά ανεξάντλητη και συνεχής. Ωστόσο το υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, σε συνδυασμό με το γεγονός πως πολλές από τις θαλάσσιες περιοχές που είναι κατάλληλες για την αξιοποίηση των τεχνολογιών αυτών, αποτελούν περιοχές όπου υφίστανται διακρατικές συγκρούσεις και αμφισβητήσεις, η εν λόγω κατηγορία ΑΠΕ δεν έχει λάβει την δέουσα προσοχή.



Σχήμα 1.8: Παράδειγμα μονάδας παραγωγής ενέργειας από τα υποθαλάσσια ρεύματα [21].

1.3.2. Αποδοτικότητα

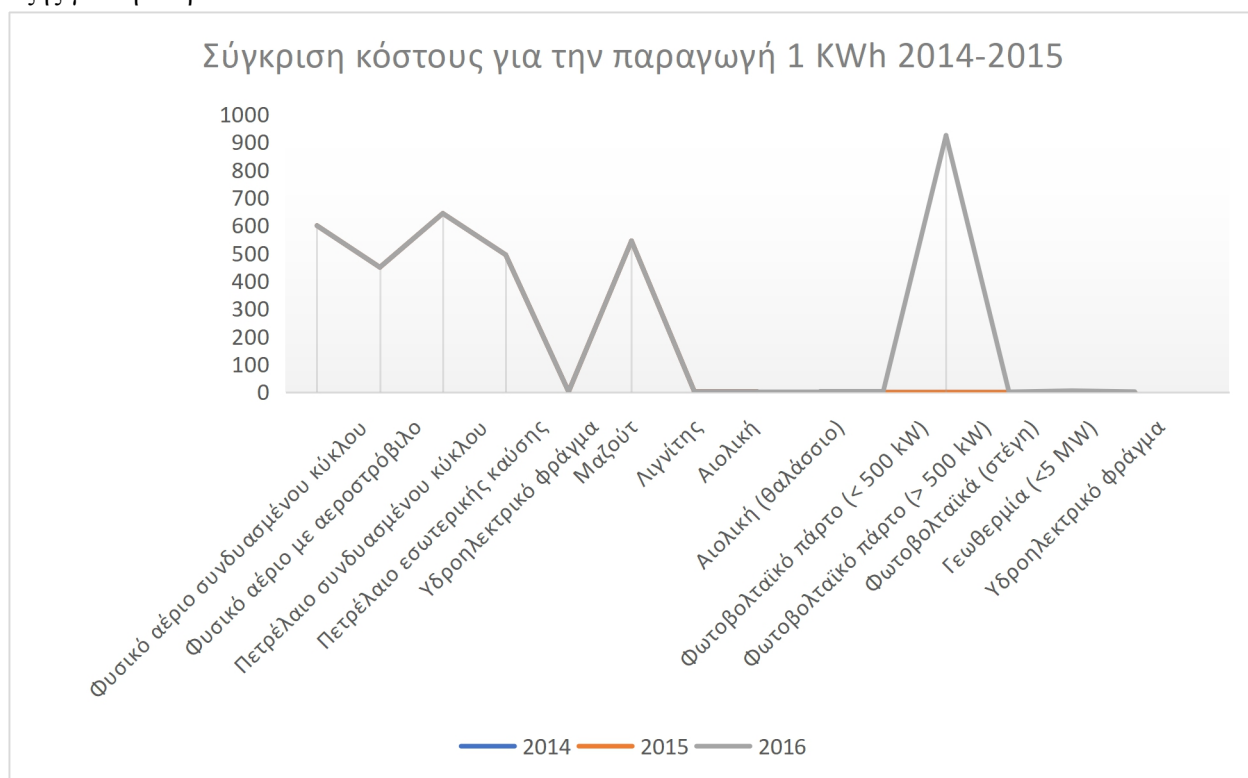
Η αποδοτικότητα της ηλιακής ενέργειας, καταρχήν, δεν είναι σταθερή. Αυτό συμβαίνει διότι, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες που επικρατούν σε μία περιοχή, θα μεταβάλλεται και η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα των συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Ακόμη, για να εξετάσει κανείς ακριβώς την αποδοτικότητα ενός συστήματος εκμετάλλευσης της εν λόγω μορφής ενέργειας απαιτείται να γνωρίζει τη θέση του ήλιου, τις καιρικές συνθήκες, την εποχή, ακόμη και την ώρα της ημέρας που γίνεται η συλλογή της. Ως εκ τούτου, λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή ανά έτος για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας αυτής [22].

Ειδικότερα, οι [22], ανέπτυξαν το σύστημα HOMER το οποίο χρησιμοποιείται ως ένα εργαλείο εκτίμησης της απόδοσης της ηλιακής ενέργειας. Το πείραμα αυτών έλαβε χώρα στο Ιράκ και έδειξε πως, με μέση θερμοκρασία τους 11 βαθμούς και κλίση 40 – 45 μοιρών, η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική έχοντας κόστος μόλις 0,54 δολάρια ανά κιλοβατώρα, καθιστώντας την, την πλέον οικονομική μορφή ενέργειας. Επιπλέον, οι [5], αναλύοντας την αποδοτικότητα της ηλιακής ενέργειας, κατέληξαν πως η ιδανική εναλλακτική είναι το να χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα [ηλιακής – αιολικής ενέργειας]. Με τον τρόπο αυτό σταθμίζονται τα μειονεκτήματα της χρήσης μόνο της μίας εκ των δύο μορφών οι οποίες και παρουσιάζουν μεγάλη εξάρτηση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Αν κανείς λάβει υπόψη και τα αποτελέσματα της έρευνας των [23] προκύπτει πως, πράγματι, η λύση της χρήσης ενός υβριδικού συστήματος αποτελεί μια οικονομική και αποδοτική εναλλακτική. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν, όπως και οι [22] το πρόγραμμα HOMER για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνάς τους και κατέληξαν πως για ένα σύστημα με κόστος 14.792 δολάρια των ΗΠΑ σε ένα μικρό σπίτι στην ίδια περιοχή για το ηλιακό και 7.340 για το αιολικό πάρκο, η απόδοση ήταν 84% τους θερμούς μήνες και 55% τους ψυχρούς [23].

1.3.3. Προοπτικές

Συγκρίνοντας τα κόστη ανά κιλοβατώρα στην Ελλάδα, σύμφωνα με την Greenpeace, αυτά έχουν ως εξής για την περίοδο 2014-2016:



Σχήμα 1.9: Διάγραμμα σύγκρισης κόστους για την παραγωγή 1 KWh 2014-2015 [24]

Πίνακας 1.1: Σύγκριση κόστους για την παραγωγή 1 KWh 2014-2015 [24]

	2014	2015	2016
Φυσικό αέριο συνδυασμένου κύκλου	600	600	600
Φυσικό αέριο με αεροστρόβιλο	450	450	450
Πετρέλαιο συνδυασμένου κύκλου	644	644	644
Πετρέλαιο εσωτερικής καύσης	495	495	495
Υδροηλεκτρικό φράγμα	2	2	2
Μαζούτ	545	545	545
Λιγνίτης	2,1	2,1	2,1
Αιολική	-	-	1,25
Αιολική (θαλάσσιο)	-	-	3,3

Φωτοβολταϊκό πάρτο (< 500 kW)	-	-	1,1
Φωτοβολταϊκό πάρτο (> 500 kW)	-	-	925
Φωτοβολταϊκά (στέγη)	-	-	1,25
Γεωθερμία (<5 MW)	-	-	5,5
Υδροηλεκτρικό φράγμα	2	2	2

Επομένως, ανεξαρτήτως του κόστους επένδυσης, αν αυτή η επένδυση έχει διάρκεια πάνω από 20 έτη θα υπάρχει απόσβεση λόγω του ιδιαίτερα χαμηλού κόστους παραγωγής ενέργειας.

Ειδικότερα, για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, μπορεί κανείς να εκτιμήσει τις πιθανές χρήσεις της ανάλογα με τα αποθέματα που διαθέτει κάθε κράτος σε εναλλακτικές πηγές, την ηλιοφάνεια ή και τις υποδομές. Έτσι, η πλέον απλή μορφή εκμετάλλευσης είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που χρησιμοποιούνται είτε από ιδιώτες είτε από μονάδες και οργανισμούς που χρειάζονται τακτική, φθηνή και αξιόπιστη παροχή νερού [π.χ. τα ξενοδοχεία]. Επίσης, μπορούν με τον ίδιο τρόπο να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά τα οποία είναι τόσο διαδεδομένα σε μεγάλο βαθμό, όσο και οικονομικά, ευέλικτα και απαντώνται σε διαφορετικούς τύπους. Για παράδειγμα, από μικρές αριθμομηχανές μέχρι φανάρια, τα φωτοβολταϊκά μπορούν να αξιοποιηθούν για την εξοικονόμηση ενέργειας. Για τον φωτισμό, δε, των κτιρίων, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει και παθητικά ηλιακά συστήματα [25].

Οι προοπτικές αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας αφορούν τη χρήση ανεμογεννητριών [οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα] και αιολικών πάρκων. Επιπλέον, τονίζεται πως, στην πραγματικότητα, όταν αναφέρεται κανείς σε αιολική ενέργεια αναφέρεται, τελικά, στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω του ότι οι άνεμοι προκαλούνται από την έλλειψη ομοιογένειας στον τρόπο με τον οποίο θερμαίνεται η επιφάνεια της γης [26, 27]. Ως εκ τούτου, για να μπορέσει κανείς να εκτιμήσει το πόσο μεγάλης έντασης άνεμοι θα εμφανίζονται σε μία περιοχή, μπορεί να υπολογίσει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτή. Επίσης, αν οι άνθρωποι ήταν πράγματι σε θέση να εκμεταλλευτούν πλήρως την αιολική ενέργεια, πιθανώς, θα ήταν σε θέση να καλύψουν σε μεγαλύτερο από τον απαιτούμενο βαθμό το σύνολο των αναγκών της ανθρωπότητας. Τονίζεται, δε, πως η αιολική ενέργεια είναι απόλυτα ασφαλής, ενώ η αποθήκευσή της αποτελεί, μεν, μία πρόκληση αλλά δεν είναι αδύνατη [27].

Οι προοπτικές της χρήσης και οι διάφορες μέθοδοι εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολυάριθμες. Αρχικά, αποτελεί μία πολύ ασφαλή μορφή ενέργειας η οποία δεν κρίνεται ως ανανεώσιμη, από τη μία, διότι τεχνικά παράγεται από τον ίδιο τον πλανήτη αλλά δεν ανανεώνεται, όμως είναι «πράσινη» διότι η εκμετάλλευσή της δεν προκαλεί προβλήματα στον πλανήτη. Επίσης, τυπικά, το γεωθερμικό ρευστό έχει θερμοκρασίες κάτω των 90 βαθμών κελσίου αλλά μπορεί να φτάσει και μέχρι τους 300 βαθμούς κελσίου [28].

Κατά βάση, αυτή η μορφή ενέργειας αξιοποιείται για τη βιομηχανική παραγωγή (σε σχεδόν το 90% των περιπτώσεων στο σύνολο του πλανήτη). Ωστόσο, μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί το θερμό ρευστό και το αέριο για διαφορετικές χρήσεις. Χαρακτηριστικά, όπως αναφέρεται και παραπάνω, αν η θερμοκρασία αυτών υπερβαίνει τους 90 βαθμούς, τότε αξιοποιούνται για την ηλεκτροπαραγωγή, αν

είναι άνω των 60 βαθμών για θέρμανση ή ψύξη, ενώ αν είναι περί τους 25 βαθμούς, στην κτηνοτροφία και στα θερμοκήπια [29].

Ουσιαστικά το μεγαλύτερο πλεονέκτημα από τη χρήση των ΑΠΕ στον τομέα της πολιτικής αφορά το ότι μειώνεται η εξάρτηση των κρατών από άλλα κράτη τα οποία ρυθμίζουν την αγορά ενέργειας. Εξίσου, όμως, επειδή περιορίζεται η χρήση ορυκτών, αυξάνεται η ευελιξία, περιορίζεται η μόλυνση, αυξάνεται η αξιοπιστία των δικτύων και περιορίζεται το ρίσκο πρόκλησης καταστροφών που σχετίζονται με διαρροές και ούτω καθεξής [24].

1.3.4. Μειονεκτήματα

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα από την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι πως, ως μορφή ενέργειας, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, δεν είναι ανανεώσιμη. Επίσης, για να μπορεί κανείς να την εκμεταλλευτεί απαιτούνται μεγάλες αρχικές επενδύσεις, οι οποίες, σε ένα σημαντικό ποσοστό αυτών κοστίζουν σημαντικά σε κεφάλαιο και χρόνο. Ωστόσο, όταν ολοκληρωθεί το έργο, η μορφή ενέργειας αυτή είναι και αποδοτική και οικονομικά συμφέρουσα [29].

Για την αιολική ενέργεια, ένα βασικό μειονέκτημα είναι πως απαιτεί συχνή συντήρηση η οποία πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται υλικά και τεχνολογίες οι οποίες κρίνεται εφικτό να διαταράξουν την πανίδα μίας περιοχής [κυρίως τα πουλιά]. Ως εκ τούτου, εκφράζονται ευρείες αντιδράσεις από φιλοζωικές οργανώσεις και συλλόγους που εστιάζουν στις διάφορες επιπτώσεις της επένδυσης στην αιολική ενέργεια. Ακόμη, ειδικά για αυτή τη μορφή ενέργειας, σημειώνεται πως η απόδοσή της είναι, μεν, σημαντική, αλλά απαιτείται η περιοχή στην οποία γίνεται η επένδυση να έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, άρα, να πνέουν σε αυτή δυνατοί [αλλά όχι εξαιρετικά δυνατοί] άνεμοι στη διάρκεια του έτους, προκειμένου να είναι πλήρως αξιοποιήσιμη και ορθολογική αυτή η επένδυση. Τέλος, αισθητικά, η ανέγερση γεννητριών μπορεί να υπάρξει ένα πρόβλημα, αφού «καταστρέφεται» το φυσικό τοπίο ορισμένων περιοχών [26].

1.4. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

1.4.1. Συστήματα παραγωγής ενέργειας

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συχνά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας στα πλαίσια μικρών οικιακών εγκαταστάσεων, όπου καλύπτουν ένα ποσοστό των αναγκών της κατοικίας, με το υπόλοιπο να καλύπτεται από το δίκτυο. Γενικά τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και αλληλεπίδρασης με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Συγκεκριμένα τρεις αποτελούν οι βασικές μορφές [30]:

- Η πρώτη αποτελεί η διασυνδεδεμένη με το δίκτυο, όπου η μονάδα παρέχει την ενέργεια απευθείας στο δίκτυο και αυτό την δρομολογεί αναλόγως. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται κατά κόρων στην Ελλάδα, όπου δεν επιτρέπεται η αυτόνομη χρήση των φωτοβολταϊκών μονάδων παραγωγής ενέργειας, με τον ιδιοκτήτη να αποζημιώνεται ανά κιλοβατώρα.
- Η δεύτερη αποτελεί η διαδραστική, η οποία συνδέεται με έναν συσσωρευτή, ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με το δίκτυο. Ο τύπος αυτός συχνά ονομάζεται και υβριδικός, δεδομένου πως κατά τις ημέρες όπου η σκίαση είναι έντονη, και άρα υφίσταται ο κίνδυνος πλήρης εξάλειψης της ενέργειας των μπαταριών, το σύστημα διαθέτει την δυνατότητα να μεταφέρει μέρος της απαραίτητης ενέργειας από το δίκτυο στις μπαταρίες, ούτως ώστε να μην χαθεί η δυνατότητά τους να αποθηκεύουν ενέργεια.

- Η τρίτη αποτελεί η ανεξάρτητη, η οποία δεν περιλαμβάνει καμία σύνδεση με το δίκτυο, αλλά αποκλειστικά με τον συσσωρευτή. Πρόκειται για συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται είτε σε λυόμενες εγκαταστάσεις, είτε σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν έχουν πρόσβαση σε δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο από σιλικόνη, καθώς πρόκειται για το πλέον κοινό υλικό στον πλανήτη, ενώ παράλληλα πρόκειται για την βέλτιστη επιλογή για την κατασκευή των συγκεκριμένων πάνελ, δεδομένου πως απαιτείται η «παγίδευση» του φωτός. Οι τρεις κύριες μορφές φωτοβολταϊκών πάνελ αποτελούν [31]:

- Η πολυκρυσταλλική μορφή.
- Η μονοκρυσταλλική μορφή.
- Η λεπτή – φιλμοειδής μορφή.

Η πλέον αποδοτική μορφή των φωτοβολταϊκών πάνελ αποτελεί η μονοκρυσταλλική, καθώς αγγίζει αποδοτικότητα ανώτερη του 20%, σε σύγκριση με την πολυκρυσταλλική η οποία κυμαίνεται από 15 μέχρι 17%, ενώ η φιλμοειδής δεν ξεπερνά το 11%. Η διαφοροποίηση αυτή δεν οφείλεται σε κανένα άλλο παράγοντα πέραν της δομής των πάνελ, καθώς το μέγεθος και η σκίαση δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αποδοτικότητά τους. Ως προς το κόστος, τα μονοκρυσταλλικά αποτελούν και τα πλέον κοστοβόρα, καθώς κατασκευάζονται από έναν κρύσταλλο πυριτίου, ενώ τα πολυκρυσταλλικά κατασκευάζονται και από θραύσματα κρυστάλλου πυριτίου. Ωστόσο τα μονοκρυσταλλικά ενέχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα πολυκρυσταλλικά, η οποία αγγίζει τα 15 έτη, σε σύγκριση με τα 10 έτη των πολυκρυσταλλικών, ενώ τα φιλμοειδή δεν ξεπερνούν τα 5 έτη ζωής [32].

1.4.2. Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί επίσης έναν από τους κρίσιμους παράγοντες διαμόρφωσης της αποδοτικότητας των ΑΠΕ. Λόγω της αστάθειας του μέσου παραγωγής της ενέργειας (π.χ. ηλιοφάνεια ή άνεμος), και της μη πάγιας έντασης ή όγκου αυτού, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση και η λειτουργία συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, για την αποθήκευση της ενέργειας κατά τις περιόδους της υπέρβασης της παραγωγής (overproduction) και την χρήση της κατά τις περιόδους μη εκπλήρωσή της (underproduction) [33].

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία αποτελούνται από διατάξεις συσσωρευτών και συστήματα ελέγχου, αποτελούν βασικό τμήμα των μονάδων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, ακόμα και όταν πρόκειται για μονάδες που συνδέονται απευθείας στο δίκτυο. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αποτελούν τις «δικλίδες» ασφαλείας, καθώς είτε λόγω των καιρικών συνθηκών, είτε κατά τις νυχτερινές ώρες, η αποδοτικότητα των πάνελ μειώνεται σημαντικά, και κατ' επέκταση και η παραγόμενη ενέργεια [34].

Οι τύποι συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελούν [35]:










- Μπαταρίες Λιθίου
- Μπαταρίες οξέως μολύβδου
- Μπαταρίες αλατόνευρου

Οι μπαταρίες λιθίου αποτελούν τις πλέον κοινές της αγοράς, καθώς λόγω της αξιοπιστίας της τεχνολογίας και του χαμηλού κόστους κατασκευής, χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Οι μπαταρίες αυτού του τύπου κατασκευάζονται με στόχο την μέση διάρκεια ζωής, και την ελάχιστη δυνατή απώλεια χωρητικότητας με το πέρασμα του χρόνου. Μία μέση μπαταρία λιθίου δεν ξεπερνά τα 10 έτη σε διάρκεια ζωής, με αποτέλεσμα σε περίπτωση χρήσης σε εγκατάσταση

φωτοβολταϊκών συστημάτων να απαιτείται τουλάχιστον μία αντικατάσταση των μπαταριών, σε σχέση με τη διάρκεια ζωής των πάνελ [36].

Οι μπαταρίες οξέως μολύβδου, αποτελούν τις πλέον οικονομικές μπαταρίες για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Πρόκειται για μπαταρίες με μεγάλη χωρητικότητα αλλά μικρή διάρκεια ζωής, κάτι που τις καθιστά ιδανικές για εγκατάσταση σε μονάδες που βρίσκονται εκτός δικτύου. Λόγω της υψηλής χωρητικότητάς τους, και του χαμηλού κόστους κατασκευής, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης αντικατάστασης, χωρίς σημαντική οικονομική επιβάρυνση. Τόσο αυτές οι μπαταρίες, όσο και οι μπαταρίες λιθίου, ωστόσο, χρησιμοποιούν ιδιαίτερα τοξικά μέσα για την λειτουργία τους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δυνατότητα ανακύκλωσης [37].

Για την αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού, έχουν αρχίσει να εξετάζονται και άλλες τεχνολογίες μπαταριών, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν μία πιο οικολογική λύση στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Μία εξ αυτών αποτελεί η μπαταρία αλατόνευρου, η οποία πρόκειται για ένα νέο σχέδιο για την δημιουργία μίας οικολογικής μπαταρίας. Η εν λόγω τεχνολογία βρίσκεται σε αναπτυξιακό στάδιο και η εμπορική της χρήση δεν είναι δυνατή, ωστόσο τα μέχρι τώρα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως πρόκειται για συσσωρευτή μέτριας διάρκειας ζωής, αλλά με υψηλή απόδοση ενέργειας [37].

Battery	Cost	Lifespan	Depth of Discharge
Lead Acid			
Lithium			
Saltwater			

Σχήμα 1.10: Σύνοψη χαρακτηριστικών μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων

1.4.3. Συστήματα ελέγχου και αυτοματισμοί.

Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτουν πολλαπλές απαιτήσεις σε αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου, και διαχείρισης της ενέργειας. Λόγω της αστάθειας της παραγωγής, και κατ' επέκταση της αστάθειας της παροχής της ενέργειας, η αυτοματοποίηση ενός μεγάλου εύρους των διαδικασιών αποτελεί απαραίτητη για την ασφαλή διενέργεια της διαδικασίας. Το ζήτημα περιπλέκεται σημαντικά στην περίπτωση των ΑΠΕ, όπου τα καιρικά δεδομένα παίζουν κρίσιμο ρόλο στον όγκο της παραγωγής [32].

Η εγκατάσταση και λειτουργία αυτοματισμών δεν αποτελεί μία μοντέρνα προσέγγιση στο ζήτημα, αλλά μία πάγια ανάγκη, δεδομένης της ευαισθησίας των μονάδων παραγωγής από ΑΠΕ. Οι αυτοματισμοί αυτοί συνδέονται με τους παράγοντες και τις παραμέτρους παραγωγής, ενώ παράλληλα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά και την αποδοτικότητα των συστημάτων. Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών μονάδων, οι παράμετροι αυτοί αποτελούν [5]:

- Την κατάσταση του καιρού (μονάδα ελέγχου κλιματικών συνθηκών, μονάδα ελέγχου ηλιοφάνειας, μονάδα ελέγχου επιπέδων ρύπων και σκόνης).

- Την θέση των πάνελ ως προς την ηλιακή ακτινοβολία (συστήματα αναγνώρισης σκίασης, συστήματα ρύθμισης κλίσης, συστήματα περιστροφής).
- Την λειτουργική κατάσταση της μονάδας (συστήματα ελέγχου τάσης, συστήματα ελέγχου θερμοκρασίας μπαταριών, συστήματα ελέγχου χωρητικότητας μπαταριών, συστήματα ελέγχου θερμοκρασίας πάνελ).
- Την παραγόμενη ενέργεια (συστήματα ελέγχου παραγόμενης τάσης, συστήματα ρύθμισης παροχής στο δίκτυο, συστήματα κατανομής ενέργειας).
- Τον έλεγχο βλαβών (συστήματα καταγραφής και ειδοποίησης βλαβών).

Το σύνολο των παραπάνω συστημάτων λειτουργεί παράλληλα καθόλη τη διάρκεια ζωής της μονάδας, και ως αποτέλεσμα αποτελεί βασικό τμήμα της διαχείρισης και της λειτουργίας της. Οι σύγχρονες μονάδες φωτοβολταϊκών συστημάτων, ανεξαρτήτως μεγέθους διαθέτουν ορισμένα βασικά συστήματα ελέγχου της παραγωγής, και κατανομής της ενέργειας δεδομένου πως ένα τμήμα αυτής πρέπει να κατανεμηθεί στις μπαταρίες και ένα τμήμα στο δίκτυο. Επιπλέον στις περιπτώσεις των υβριδικών συστημάτων παραγωγής, τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντικά, καθώς εκτός της παραγόμενης ενέργειας διαχειρίζονται και την λειτουργία των μετατροπέων και την λειτουργία των μπαταριών, κάτι που αποτελεί κρίσιμο για την ασφάλεια της συνολικής διαδικασίας [36].

Στις μονάδες μέσου ή μεγάλου μεγέθους (δηλαδή τις μονάδες που περιλαμβάνουν συστήματα προσαρμογής της θέσης και της κλίσης των πάνελ), η αυτοματοποίηση είναι απαραίτητη για την διασφάλιση της μέγιστης δυνατής αποδοτικότητας της μονάδας. Επιπλέον στο σύνολο των μονάδων απαραίτητη είναι η χρήση μετρητών σκίασης, και ελέγχου της ατμοσφαιρικής σκόνης, προκειμένου να καθαρίζονται τακτικά και ορθά τα πάνελ. Στις περιπτώσεις των μεγάλων μονάδων, τα πάνελ περιλαμβάνουν συστήματα πεπιεσμένου αέρα τα οποία απομακρύνουν τη σκόνη από την επιφάνεια, και αυξάνουν σημαντικά την αποδοτικότητα. Η διαχείριση του συνόλου των παραπάνω διεργασιών πραγματοποιείται με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών, ή με την χρήση ηλεκτρονικών «εγκεφάλων» (στις περιπτώσεις των οικιακών μονάδων), προκειμένου ο προγραμματισμός να ενισχύσει την παραγωγική δυνατότητα [32].

2. Τεχνική Περιγραφή Αυτονόμου Φωτοβολταϊκού Συστήματος

2.1.Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει κάποιος για να έχει την βέλτιστη απόδοση ανάλογα με τις ανάγκες του (π.χ. αν χρειάζεται ένα σύστημα όλον το χρόνο ή για κάποια συγκεκριμένη περίοδο , για την κλίση των πάνελ ανάλογα με την γεωγραφική τοποθεσία κ.α.) Επίσης αναλύονται τα σημαντικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, πως λειτουργούν, οι διαφορετικοί τύποι που υπάρχουν και τι μπορούν να προκαλέσουν πτώση της απόδοσής των σε βάθος χρόνου . Επιπλέον δίνονται πληροφορίες για το ποιά χαρακτηριστικά πρέπει να προσέξει ο χρήστης για να κάνει τις καταλληλότερες επιλογές με βάση το επιθυμητό αποτέλεσμα που χρειάζεται

2.2.Περιγραφή φωτοβολταϊκών συστημάτων

2.2.1. Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και προσανατολισμός

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

- Η κλίση του συλλέκτη είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° έως 180° . Για γωνίες μεγαλύτερες από 90° το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι στραμμένο προς το έδαφος.
- Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη είναι η γωνία που σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφο του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου . Μπορεί να πάρει τιμές από -180° μέχρι 180° . Η γωνία -180° η οποία συμπίπτει με την γωνία 180° και η κατεύθυνσή του είναι προς το βορρά . Η γωνία -90° έχει κατεύθυνση προς την ανατολή . Η γωνία 0° έχει κατεύθυνση προς το νότο και η γωνία 90° προς τη δύση .

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή η συνεχής παρακολούθηση του ήλιου (tracker) δεν είναι οικονομικά αποδοτική (για την περίπτωση στέγης ή ταράτσας) επιλέγεται μια βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι 10° - 30° με κατεύθυνση προς το Νότο. Για την Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 28° . Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού μπορεί να είναι ανέφικτες, προτείνονται επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με αζιμουθιακή απόκλιση ως 70° από το Νότο και κλίση στο εύρος 10° - 30° . Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών άνω των 10° - 15° διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό (μέσω σταγονιδίων βροχής) των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.

Πίνακας 2.1: Κλίση φωτοβολταϊκών ανάλογα με τον προσανατολισμό τους [38]

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΚΛΙΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ		
	30°	0°	90°
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ-ΔΥΤΙΚΟΣ	85% x kWh _(max)	90% x kWh _(max)	50% x kWh _(max)
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ-ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟΣ	95% x kWh _(max)	90% x kWh _(max)	60% x kWh _(max)
ΝΟΤΙΟΣ	100 % x kWh _(max)	90% x kWh _(max)	60% x kWh _(max)
ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ-ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΣ	67% x kWh _(max)	90% x kWh _(max)	30% x kWh _(max)
ΒΟΡΕΙΟΣ	60% x kWh _(max)	90% x kWh _(max)	20% x kWh _(max)

Για μεγαλύτερη ακρίβεια παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο παρατηρείται ότι όσο απομακρυνόμαστε από το Νότο είναι καλύτερο η κλίση να μειώνεται από το βέλτιστο των 30 μοιρών.

		προσανατολισμός																		
		δύση						νότος						ανατολή						
		90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
τοποθέτηση πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο	0°	87	88	90	91	92	92	93	93	93	93	93	92	92	91	90	89	87	86	
	10°	84	87	90	92	94	95	95	96	96	97	97	96	95	94	93	91	89	87	84
	20°	82	85	90	93	94	96	97	98	99	99	98	97	96	95	93	91	88	84	81
	30°	78	83	87	91	93	96	97	98	99	100	98	97	96	95	93	89	85	81	78
	40°	75	79	84	87	92	94	95	96	96	96	96	95	94	92	90	86	82	77	72
	50°	70	74	79	83	87	90	91	93	94	94	94	93	91	88	83	80	76	73	70
	60°	65	69	73	77	80	83	86	87	87	87	88	87	85	82	78	74	71	67	63
	70°	59	69	66	70	72	75	78	79	79	79	79	79	78	75	72	62	64	61	56
	80°	50	56	60	64	66	68	69	70	71	72	72	71	70	67	66	60	57	54	50
	90°	41	49	54	58	59	60	61	61	63	65	65	63	62	59	59	52	50	47	44

Σχήμα 2.1: Σχέση κλίσης πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ως προς τον προσανατολισμό τους. [38]

Όσον αφορά τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά η επιλογή της κλίσης και του προσανατολισμού δεν έχουν να κάνουν τόσο με τη βέλτιστη επιλογή για τη μεγιστοποίηση της ετήσιας απόδοσης αλλά καθαρά με τη χρήση που απαιτείται. Έτσι αν μιλάμε για καλοκαιρινή χρήση και μόνο επιλέγεται κλίση κάτω των 15 μοιρών. Αν μιλάμε για χειμώνα και μόνο πάνω από 35 μοίρες. Αντίστοιχα αν η χρήση είναι πιο έντονη τα πρωινά ο ανατολικός προσανατολισμός είναι σημαντικός, ενώ για απογευματινή χρήση δυτικός. Δεν είναι λίγες οι φορές που σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό επιλέγουμε την τοποθέτηση σε Ανατολή και Δύση ώστε να έχουμε μία "καρδιοειδή" κατανομή ενέργειας για

περισσότερες ώρες της μέρας με σκοπό η ενέργεια να καταναλώνεται όσο γίνεται απευθείας από τον ήλιο χωρίς φόρτιση - εκφόρτιση της συστοιχίας μπαταριών που συνεπάγεται γήρανσή τους. Επίσης προκρίνεται ο δυτικός προσανατολισμός πολλές φορές ώστε οι μπαταρίες να είναι όσο γίνεται περισσότερο φορτισμένες λίγο πριν απαιτηθεί η έντονη χρήση τους δηλαδή τις πρώτες ώρες της νύχτας.[38]

2.2.2. Διάκριση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους Φ.Β. σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο. Τα παραπάνω συστήματα θα μπορούσαμε να τα χωρίσουμε και σε ακόμα μια υποκατηγορία, τα υβριδικά, με τα οποία θα ασχοληθούμε και θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω.[39]

2.2.3. Χρήσεις

Τα φωτοβολταϊκά είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια σε μια συσκευή ή για τη φόρτιση μπαταρίας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές τσέπης που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται συχνά σε συστοιχίες για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοια μορφή χρησιμοποιούνται για να δίνουν ενέργεια σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές, όπως για την ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων εκτάκτου ανάγκης σε εθνικές οδούς, σε σπίτια κλπ.

Σε πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο.

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με $-2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός, περίπου $+6 \text{ }\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας.

Σημειώνεται ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της Φ/Β γεννήτριας είναι συνηθισμένο να παραμελείται η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία.

Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος V_m είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Ο χαρακτηρισμός της βασικής Φ.Β. μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (NOCT) (Normal Operating Cell Temperature), οριζόμενης ως η θερμοκρασία του ηλιακού στοιχείου, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

- Ακτινοβολία 80%
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s

Η NOCT (συνήθως μεταξύ 42°C και 46°C) χρησιμοποιείται τότε για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού στοιχείου T_c κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως υποθέτουμε ότι η διαφορά μεταξύ T_c και θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία G_r . [39]

2.2.4. Συλλογή του ηλιακού φωτός

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρησης. Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το

95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν υπερσύγχρονες οπτικές τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους. Αυτά τα συστήματα πρέπει να προνοούν για ένα σημαντικό γεγονός, ότι δηλαδή συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που το σύστημα μπορεί να δεχθεί. Η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης υπερβαίνει το 10 περίπου και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας. [39]

2.2.5. Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης

Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη σχετικά χαμηλή τιμή, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική, του βαθμού απόδοσης είναι:

- Ανάκλαση: Μη επεξεργασμένη επιφάνεια πυριτίου ανακλά ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%. Επεξεργασία της επιφάνειας με χημικά μέσα και/ή επίστρωση με αντανάκλαστικά υλικά περιορίζει δραστικά τις ανακλάσεις μέχρι την τάξη του 3%.
- Σκίαση από τις επαφές: Η ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων τόσο στην επιφάνεια του υλικού τύπου -p όσο και του υλικού τύπου -n συνεπάγεται τη δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του κυττάρου που εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό συμβαίνει επειδή η αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στο πάνω επιφανειακό στρώμα του κυττάρου είναι μεγάλη και πρέπει να υπάρχουν πολλά σημεία απαγωγής των φορέων (ηλεκτρικές επαφές) με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα ωμικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα για τα ηλεκτρόδια είναι μια γεωμετρία μεταλλικού πλέγματος στην πάνω επιφάνεια του κυττάρου, που έχει σαν συνέπεια ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.
- Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων: Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος έχει διαφορετικές εντάσεις σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Δηλαδή στον κρύσταλλο, προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας τα οποία είναι δυνατόν ή να διαπεράσουν το κύτταρο, ή να απορροφηθούν παράγοντας μόνο θερμότητα υπό μορφή ταλαντώσεων των ατόμων, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών και η επιπλέον ενέργεια τους να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτός ο παράγοντας με τους τέσσερις μηχανισμούς του και μόνο περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόδοση στο 44%.
- Επανασύνδεση: Αυτή μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς στον κυρίως όγκο του ημιαγωγού στις επιφάνειες και στις ατέλειες του υλικού.
- Αντίσταση: Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της εν σειρά αντίστασης R_s όσο και της παράλληλης R_{sh} τείνουν να ελαττώσουν το συντελεστή ff , ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα sc , I , V_{oc} με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης.
- Θερμοκρασία: Οι φυσικοί μηχανισμοί που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και βαθμού απόδοσης είναι αρκετά πολύπλοκοι. Πάντως τόσο οι αρκετά υψηλές και οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες τείνουν να μειώσουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης

- **Γήρανση:** Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενσωματωμένου τμήματος του Φ/Β πλαισίου. Οι αιτίες της γήρανσης είναι πολλές όπως αποχρωματισμός των κυττάρων, ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς, και κακή λειτουργία των καλωδιώσεων και του κιβωτίου συνδέσεων. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες ~ 1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης).

2.3. Φωτοβολταϊκά πλαίσια

2.3.1. Φωτοβολταϊκή διάταξη

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 505W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays). Στο πίσω μέρος του κάθε πάνελ βρίσκεται η έξοδος του πλαισίου που ονομάζεται junction box . Τα πάνελ έχουν έξοδο είτε 12 ή 24 volt . Σύμφωνα με αυτό γίνεται η απαραίτητη συνδεσμολογία των πάνελ ώστε να φτάσει στην τιμή τάσης που “ανοίγει” ο αντιστροφέας.

2.3.2. Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες

1) Κρυσταλλικού πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου , με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων από 14,5% έως 21%.
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου , με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων από 13% έως 14,5%

2) Λεπτών μεμβρανών

- Άμορφου πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης περίπου 7%
- Χαλκοπυριτών CIS/CIGS , ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 14%

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β . Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.

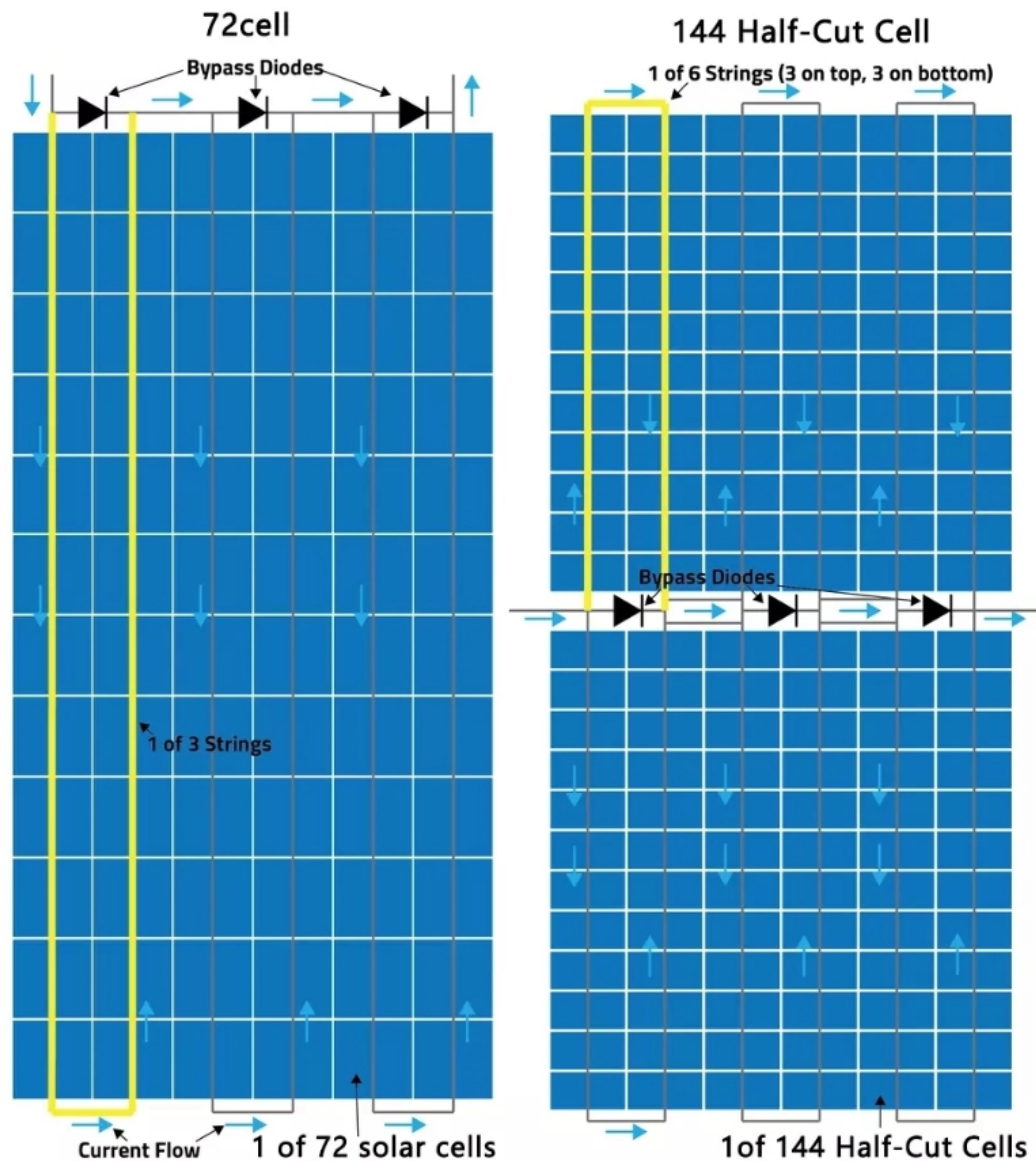
Η γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις,

λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Αυτό σημαίνει ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις. Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα. Η παραγωγή θερμότητας, η οποία είναι επιθυμητή στα ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό, είναι ανεπιθύμητη στα Φ/Β πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά μεγαλύτερη επιφάνεια.

Στα πλεονεκτήματα των πλαισίων λεπτού υμενίου τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η ελαφρώς χαμηλότερη απόδοσή τους, που φτάνει μέχρι 14% στα τεχνολογίας CIS / CISG. Οι άλλες τεχνολογίες λεπτού υμενίου φτάνουν περίπου μέχρι 10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων.

Μια νέα κατηγορία φωτοβολταϊκών πλαισίων που εισήλθε πρόσφατα στην αγορά είναι τα πάνελ μισής κυψέλης. Ένα κανονικό πάνελ αποτελείται από 60 κυψέλες, ενώ ένα πάνελ μισών κυψελών διπλασιάζει αυτό το ποσό σε 120 δηλαδή, στο ίδιο μέγεθος με τον προκάτοχό του. Επίσης δημιουργεί περισσότερες εξόδους τροφοδοσίας για τον αντιστροφέα. Η βασική τους διαφορά είναι μέχρι σήμερα, οι κυψέλες των πλαισίων ήταν συνδεδεμένες σε σειρά όλες μεταξύ τους, και οπότε σε περίπτωση σκίασης έστω και ενός μικρού μέρους του πλαισίου “έβγαινε εκτός λειτουργίας όλο το πάνελ”. Αυτό αποφεύγεται με τη τεχνολογία μισών κυψελών καθώς σε περίπτωση σκίασης λειτουργεί έστω το μισό πάνελ. Όσο η τεχνολογία προχωρά αυτή η ιδέα όλο και αναπτύσσεται με κάποιες εταιρείες να έχουν παρουσιάσει ακόμα και πλαίσια με κυψέλες του 1/3.



Σχήμα2.2 Σύγκριση φωτοβολταϊκού πλαισίου με 72 κυψέλες και με 144 κυψέλες

Αυτού του είδους τα πάνελ έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατά :

- Λειτουργούν καλύτερα σε συνθήκες με λιγότερο φως .
- Δεν επηρεάζονται από τις σκιάσεις τόσο έντονα όσο τα στάνταρ πάνελ
- Είναι πιο ανθεκτικό σε μακροζωία
- Είναι λιγότερο ευαίσθητο σε μικρο-ρωγμές (οι οποίες αναπτύσσονται στα κελιά με το πέρασμα του χρόνου)
- Αποδίδουν καλύτερα κάτω από υψηλές θερμοκρασίες
- Είναι λιγότερα ευαίσθητα σε hot spot, πράγμα που οδηγεί το πάνελ σε σφάλματα
- Είναι περισσότερο αποτελεσματικά από τα κοινά πάνελ

Κάποια παραδείγματα τέτοιας τεχνολογίας πάνελ είναι της εταιρείας Longi 315 Wp και της Q-Cells , το μοντέλο Q-Peak duo 325 Wp

2.3.3. Bi-facial

Μια νέα καινοτομία που έχει μπει στην αγορά των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι τα διπλής όψης πλαίσια (bi-facial).

Τα διπλής όψης φωτοβολταϊκά πλαίσια επιτρέπουν την απορρόφηση φωτός και από την πίσω πλευρά του πλαισίου, ως εκ τούτου αυξάνουν σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών . Με αυτή την ιδέα το πάνελ εκμεταλλεύεται και την διάχυτη ακτινοβολία και οι κατασκευαστές υπόσχονται έως και 25% αύξηση παραγωγής και προτείνουν επίσης στρώσιμο άσπρων χαλικιών / ασβέστομα του εδάφους για παραπάνω ανακλάσεις και σαν συνέπεια την απορρόφηση από την πίσω πλευρά του πλαισίου.

2.3.4. Εύκαμπτα φωτοβολταϊκά πάνελ

Η εξέλιξη στην τεχνολογία συνήθως μας οδηγεί σε μικρότερα μεγέθη , στη μείωση βάρους , νέα χαρακτηριστικά , αύξηση διάρκειας ζωής ή και ακόμα μικρότερο κόστος στο αντικείμενο . Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν διαφέρουν . Ο σχεδιασμός των σημερινών πάνελ έχει σημειώσει μεγάλη βελτίωση σε σχέση με τους προκατόχους του . Επίσης , κοστίζουν λιγότερο , τα οποία τα κάνουν πιο προσιτά στους καταναλωτές.

Μία πρόοδος στην τεχνολογία των πάνελ είναι αυτή του εύκαμπτου πάνελ ‘η thin-film όπως αυτή λέγεται στην αγορά. Εάν κάποιος θέλει να κάνει ένα οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα θα υποθέσει ότι τα εύκαμπτα πάνελ είναι η ιδανική λύση . Ωστόσο τα συγκεκριμένα πλαίσια συνιστώνται για διαφημιστικές εφαρμογές μόνο.

2.3.5. Τι είναι το εύκαμπτο φωτοβολταϊκό πάνελ;

Ένα πάνελ λεπτής μεμβράνης φτιάχνεται από μια ή περισσότερες στρώσεις φωτοβολταϊκού υλικού που τοποθετούνται σε ένα υπόστρωμα. Αυτές οι λεπτές στρώσεις με τα πολλαπλά στρώματα απορρόφησης φωτός μπορούν να είναι πάνω από 300 φορές μικρότερα απ’ ότι ένα παραδοσιακό πάνελ συλικόνης . Εξ αιτίας το μέγεθος των φωτοβολταϊκών κελιών χρησιμοποιούνται με ενσωματωμένους αγωγούς , τα λεπτής μεμβράνης πλαίσια είναι τα πιο ελαφριά πάνελ στην αγορά .

2.3.6. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα πάνελ λεπτής μεμβράνης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα ως προς τα παραδοσιακά πάνελ:

- Είναι πολύ ελαφριά λόγω της κατασκευής τους διότι εγκλωβίζονται ανάμεσα σε δυο φέτες γυαλιού χωρίς κάποιο πλαίσιο
- Κοστίζουν λιγότερο απ’ ότι τα κλασικά πάνελ
- Έχουν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον , επειδή χρησιμοποιείται λιγότερη συλικόνη
- Η εγκατάσταση συνήθως κοστίζει λιγότερο επειδή είναι εύκολα στην εγκατάσταση και απαιτούν λιγότερες βάσεις

Ωστόσο τα φωτοβολταϊκά λεπτής μεμβράνης έχουν και κάποια μειονεκτήματα έναντι των προκατόχων του

- Σε περίπτωση που τα πλαίσια περιέχουν τοξικό κάδμιο , οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αντί να μειωθούν αυξάνονται δραματικά
- Δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο τα παραδοσιακά πάνελ , όπου τα κλασικά πάνελ έχουν εύρος αποδοτικότητας από 13-28 % ενώ τα πάνελ λεπτής μεμβράνης κατά μέσο όρο έχουν 4-12 %
- Χρειάζονται περισσότερο χώρο , πιθανών και πάνω από 50 τοις εκατό περισσότερο , εξαρτάται βέβαια από το μέγεθος του έργου αν επιτρέπει την εγκατάσταση για περισσότερα πλαίσια
- Καθώς το κόστος των βάσεων μειώνεται , μπορεί να χρειάζονται εξειδικευμένα υλικά .

2.3.7. Περιπτώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα λεπτής μεμβράνης πλαίσια

Επειδή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτής μεμβράνης απαιτούν μεγαλύτερο χώρο εγκατάστασης , δεν προτιμούνται για οικιακές εγκαταστάσεις . Προωθούνται περισσότερο σε εμπορικές και εφαρμογές γενικά όπου ο χώρος εγκατάστασης είναι διαθέσιμος για μεγαλύτερης κλίμακας εγκαταστάσεις .

2.4.Συνήθειες βλάβες σε φωτοβολταϊκά πάνελ

2.4.1. PID

Το φαινόμενο Δυνητικής Επαγόμενης Υποβάθμισης (Potential Induced Degradation - PID), είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οδηγεί σε σταδιακή μείωση της απόδοσής τους , αγγίζοντας και το 30% μετά από λίγα χρόνια ακόμα και σε κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια πυριτίου Si . Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κυρίως στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο , που βρίσκεται πλησιέστερα στον αρνητικό πόλο . Το δυναμικό των φωτοβολταϊκών κυψελών κυμαίνεται συνήθως , ανάλογα με το μήκος μιας στοιχειοσειράς και τον τύπο συσκευής του χρησιμοποιούμενου αντιστροφέα μεταξύ -200V και -350V . Αντίθετα το πλαίσιο των φωτοβολταϊκών μονάδων έχει δυναμικό 0 V επειδή πρέπει να είναι γειωμένο για λόγους ασφαλείας. Λόγω αυτής της ηλεκτρικής τάσης , μεταξύ των φωτοβολταϊκών κυψελών και του πλαισίου μπορεί να απελευθερωθούν ηλεκτρόνια από τα χρησιμοποιούμενα στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο υλικά τα οποία ρέουν μέσω του γειωμένου πλαισίου , έτσι παραμένει μια φόρτιση (πόλωση) , η οποία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη χαρακτηριστική καμπύλη των κυψελών.

2.4.2. Hot Spot

Αναμφίβολα , όλες οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είτε πρόκειται για ένα οικιακό έργο 10kW είτε για ένα έργο 10MW σε αγροτεμάχιο, απαιτούν περιοδική συντήρηση και έλεγχο με επιτόπιες επισκέψεις για να εξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία τους και η μέγιστη δυνατή παραγωγή , άρα και κερδοφορία , του έργου .

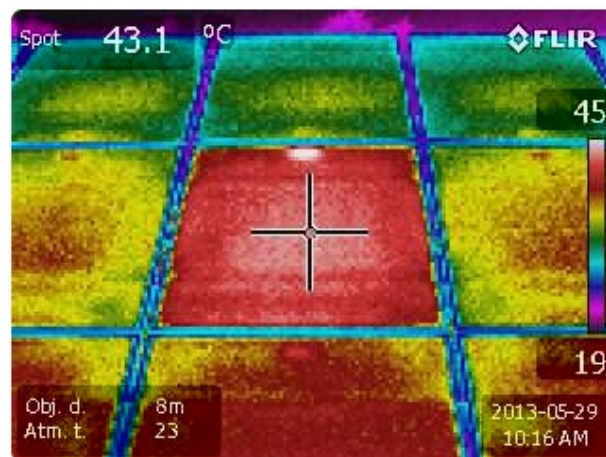
Απαραίτητο εργαλείο για τη σωστή συντήρηση ενός έργου , και ειδικότερα στο κομμάτι της μεγιστοποίησης της παραγόμενης ενέργειας , είναι η θερμοκάμερα . Με τη χρήση μιας θερμοκάμερας μπορεί ο συντηρητής να εντοπίσει γρήγορα και με αρκετή βεβαιότητα βλάβες ή ατέλειες οι οποίες δε θα μπορούσαν να εντοπισθούν με άλλο τρόπο .

Η πλέον χαρακτηριστική περίπτωση μιας τέτοιας βλάβης είναι η ύπαρξη μιας ή περισσότερων καμένων διόδων στο junction box ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Στα σύγχρονα φωτοβολταϊκά πάνελ οι κυψέλες είναι χωρισμένες συνήθως σε 3 ομάδες και κάθε ομάδα διαθέτει μια δίοδο Bypass.

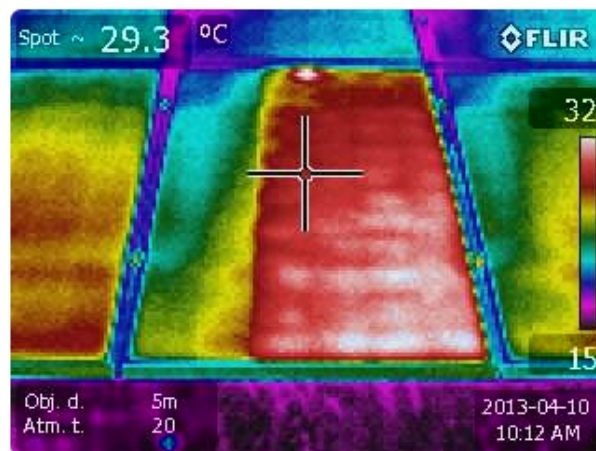
Αν μια από αυτές τις διόδους τεθεί εκτός λειτουργίας, τότε η αντίστοιχη ομάδα κυψελών σταματάει να παράγει ενέργεια. Το αποτέλεσμα είναι να μειωθεί η τάση εξόδου του πάνελ ανάλογα με το πλήθος των καμένων διόδων (π.χ. αν καεί μια δίοδος, τότε η τάση εξόδου θα είναι ίση με τα 2/3 της αναμενόμενης).

Το πρόβλημα με τον εντοπισμό της συγκεκριμένης βλάβης είναι ότι αν έχουμε ένα string με 20 ή 25 πάνελ, όπως συχνά συμβαίνει στα φωτοβολταϊκά πάρκα, η συνολικά απώλεια τάσης στο string μπορεί να είναι γύρω στα 10 V σε σύνολο 600 ή 700 V. Δηλαδή, έχουμε μια διαφοροποίηση της τάσης εξόδου κοντά στο 1 με 2%. Πρακτικά, μια τέτοια διαφορά είναι σχεδόν απίθανο να εντοπιστεί με ένα απλό πολύμετρο ή μέσω της παρακολούθησης από τη συσκευή τηλεμετρίας γιατί μπορεί να οφείλεται σε πολλούς άλλους παράγοντες (π.χ. θερμοκρασία, πτώση τάσης στα καλώδια κλπ) και εμπίπτει μέσα στο σφάλμα μέτρησης ενός οργάνου.

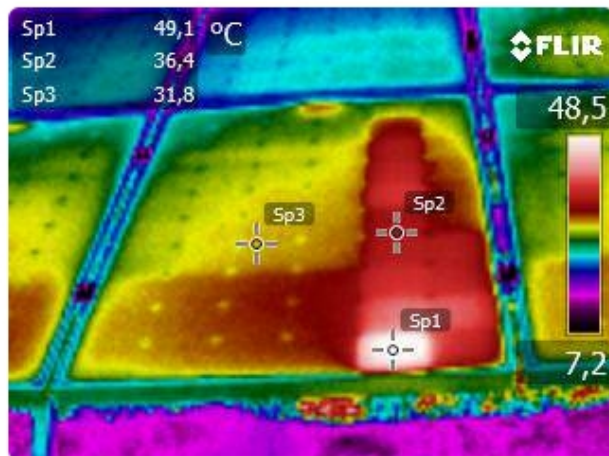
Αν όμως πραγματοποιηθεί θερμογράφιση όλων των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε ένα πάρκο, τότε είναι πάρα πολύ εύκολο να εντοπιστούν αμέσως τέτοιες βλάβες, καθώς οι κυψέλες που αντιστοιχούν στην καμένη δίοδο εμφανίζονται αρκετά θερμότερες από τις υπόλοιπες και επίσης, το junction box εμφανίζει αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τα γειτονικά.



Σχήμα 2.3 Περίπτωση με 3 καμένες διόδους[55]



Σχήμα 2.4 Περίπτωση με 2 καμένες διόδους[55]



Σχήμα 2.5 περίπτωση με μια καμένη δίοδο [55]

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε και ποια είναι η απώλεια του επενδυτή από μια τέτοια βλάβη. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα έχουμε κατά μέσο όρο 1400 kWh / kW / έτος παραγωγή, τότε ένα τυπικό πάνελ των 250 W παράγει περίπου 350 kWh ετησίως, άρα για κάθε καμένη δίοδο που έχουμε, η απώλεια είναι περίπου 120 kWh ετησίως. Προσοχή όμως, η απώλεια αυτή αντιστοιχεί σε ένα string που δεν είναι παράλληλο με άλλα. Στην περίπτωση που έχουμε παράλληλα string στον ίδιο MPP tracker του inverter, τότε η τάση του κάθε string θα είναι ίση με την μικρότερη τάση. Άρα αν έχουμε για παράδειγμα 3 string παράλληλα και σε ένα από αυτά υπάρχει μια δίοδος καμένη, τότε εύκολα προκύπτει ότι η πραγματική απώλεια αντιστοιχεί σε ένα ολόκληρο πάνελ ($3 \times 1/3 = 1$), δηλαδή 350 kWh / έτος. Πόσο μάλλον αν έχουμε τρεις διόδους καμένες σε ένα σύστημα με 10 ή 15 παράλληλα string, όπως συμβαίνει συχνά σε μεγάλα έργα.

Βέβαια, η χρήση της θερμοκάμερας μπορεί να μας βοηθήσει στον εντοπισμό και προβλημάτων μέσα στο ίδιο το πάνελ, όπως hot spots (προβληματικές κυψέλες που μειώνουν την παραγωγή του πάνελ), ηλεκτρολογικές επαφές που δεν έχουν συσφιχθεί σωστά, ανάπτυξη PID φαινομένου κλπ. [55]

2.5. Περιγραφή Αντιστροφών (Inverters)

2.5.1. Γενικά στοιχεία

Αντιστροφέας ονομάζεται η διάταξη που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα σε εναλλασσόμενο (AC) και αντίστροφα, όπως επίσης και από συνεχές σε συνεχές (DC-DC) υπάρχουν πολλοί τύποι αντιστροφών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για οικιακές εφαρμογές όσο και για βιομηχανικές.

Ο αντιστροφέας είναι ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας όπου παρέχει την δυνατότητα μεταβολής τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας της κυματομορφής εξόδου είτε αυτή είναι τάση είτε είναι ρεύμα .

Ανάλογα με το είδος της πηγής εισόδου οι αντιστροφείς μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κυρίως κατηγορίες :

- Αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης
- Αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος

Κάθε μία από τις δύο κατηγορίες μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο κατηγορίες :

- Στους μονοφασικούς αντιστροφείς (συνδεσμολογία ημιγέφυρας με δύο ελεγχόμενα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία ή συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας με τέσσερα ελεγχόμενα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία)
- Στους τριφασικούς αντιστροφείς με έξι ελεγχόμενα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία

Το εσωτερικό κύκλωμα του αντιστροφέα αποτελείται από ελεγχόμενα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος όπου με τη βοήθεια του κυκλώματος ελέγχου του, είτε ελέγχεται μόνο η έναυση (θυρίστορ), είτε τόσο η έναυση όσο και η σβέση (BJT, IGBT, MOSFET). το κύκλωμα ελέγχου του αντιστροφέα περιλαμβάνει όλους τους ελέγχους που χρειάζονται , ανάλογα με το είδος της εφαρμογής για το οποίο επιλέγεται ο αντιστροφέας . Οι έξοδοι του κυκλώματος ελέγχου είναι τα σήματα παλμοδότησης του αντιστροφέα τα οποία ελέγχουν τα διακοπτικά του στοιχεία .

Η τάση στην έξοδο του αντιστροφέα περιέχει ανώτερες αρμονικές λόγω της διακοπτικής του λειτουργίας και γι' αυτό στην έξοδό του υπάρχει ένα φίλτρο που χρησιμεύει στον περιορισμό αυτών .

Η πλειοψηφία των αντιστροφέων λαμβάνει τόπο σε εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος , εφαρμόζεται ο σχεδιασμός τους ώστε να λειτουργούν είτε έχοντας συνδεδεμένους τους συσσωρευτές ώστε ο καταναλωτής να έχει ασφάλεια σε περίπτωση βλάβης του δικτύου να μην διακοπεί η τροφοδότηση εικόνα παρακάτω.

Οι αντιστροφείς που είναι συνδεδεμένοι με τους συσσωρευτές περιλαμβάνουν και έναν φορτιστή, ο οποίος σκοπός του είναι να φορτίζει μια συστοιχία συσσωρευτών από το ηλεκτρικό δίκτυο ή μέσω μιας ντιζελο-γεννήτριας όπως στην περίπτωση μας ή ακόμα και όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη ή ακόμα και όταν υπάρχει πρόβλημα σκιάσεων .

2.5.2. Μετατροπείς συνεχούς – εναλλασσόμενου ρεύματος

Μετατροπείς AC-DC

Αναφέρονται ως ανορθωτές και είναι διατάξεις που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές . Διακρίνονται σε

- Μονοφασικούς
- Τριφασικούς
- Ελεγχόμενους
- Μη ελεγχόμενους

Κάτι το οποίο εξαρτάται από το αν η τάση εξόδου είναι μεταβαλλόμενη ή όχι .

Οι μη ελεγχόμενοι ανορθωτές έχουν μη ελεγχόμενα δομικά στοιχεία , δηλαδή διόδους , άρα η τάση εξόδου δεν είναι ελεγχόμενη . Αν υπάρχουν ελεγχόμενα διακοπτικά στοιχεία τότε η τάση εξόδου του μπορεί να ελέγχεται μεταβάλλοντας τον χρόνο αγωγής κάθε στοιχείου.

Μετατροπείς DC-AC

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς DC-AC αναφέρονται σαν αντιστροφείς και η λειτουργία τους είναι να μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο . Η τάση εξόδου μπορεί να είναι μονοφασική ή τριφασική . Οι μετατροπείς αυτοί είναι ελεγχόμενοι τόσο για το πλάτος της τάσης εξόδου όσο και για τη συχνότητά της . Ο έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω ρύθμισης του χρόνου αγωγής των ημιαγωγικών στοιχείων .

Μετατροπείς DC-DC

Η λειτουργία του μετατροπέα DC-DC είναι να μετατρέπει τη συνεχή τάση ορισμένου πλάτους και πολικότητας σε συνεχή τάση με διαφορετικό πλάτος ή/και πολικότητα . Οι μετατροπείς αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν :

- Σε μετατροπείς υποβιβασμού , δηλαδή η τάση εξόδου να είναι μικρότερη από την τάση εισόδου
- Σε μετατροπείς ανύψωσης , δηλαδή η τάση εξόδου να είναι μεγαλύτερη από την τάση εισόδου

Μετατροπείς AC-AC

Η λειτουργία του μετατροπέα AC-AC είναι να μετατρέψει την εναλλασσόμενη τάση σταθερού πλάτους και συχνότητας σε εναλλασσόμενη τάση με ρυθμιζόμενο πλάτος και συχνότητα . Τα μεγέθη αυτά ελέγχονται ρυθμίζοντας το χρόνο αγωγής των διακοπτικών στοιχείων. Οι μετατροπείς αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν :

- Σε μετατροπείς ανύψωσης συχνότητας
- Σε μετατροπείς υποβιβασμού συχνότητας

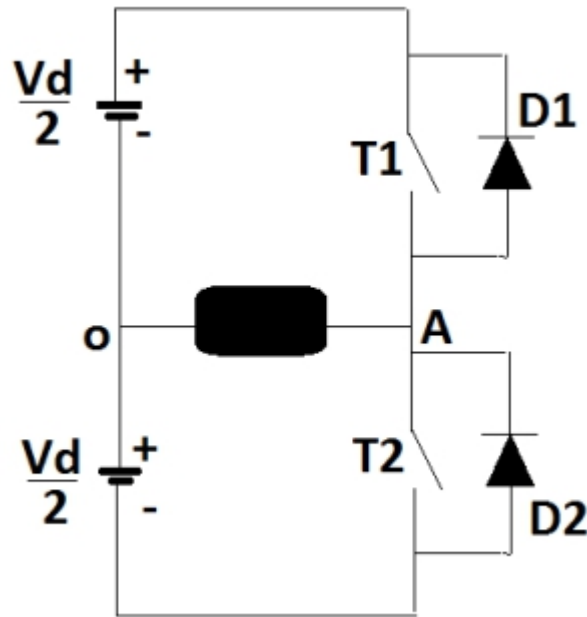
Ανάλογα με το αν η συχνότητα εξόδου είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της συχνότητας εισόδου . Υπάρχει και μια ειδική κατηγορία αυτών των μετατροπέων , οι ρυθμιστές εναλλασσόμενης τάσης , στους οποίους η συχνότητα εξόδου είναι σταθερή και ίση με τη συχνότητα εισόδου .

2.5.3. Μονοφασικοί αντιστροφείς

Οι μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Ημιγέφυρας
- Πλήρους γέφυρας

Η τοπολογία του μονοφασικού αντιστροφέα ημιγέφυρας φαίνεται στο σχήμα παρακάτω



Σχήμα 2.6: Μονοφασικός αντιστροφέας (Inverter) ημιγέφυρας.

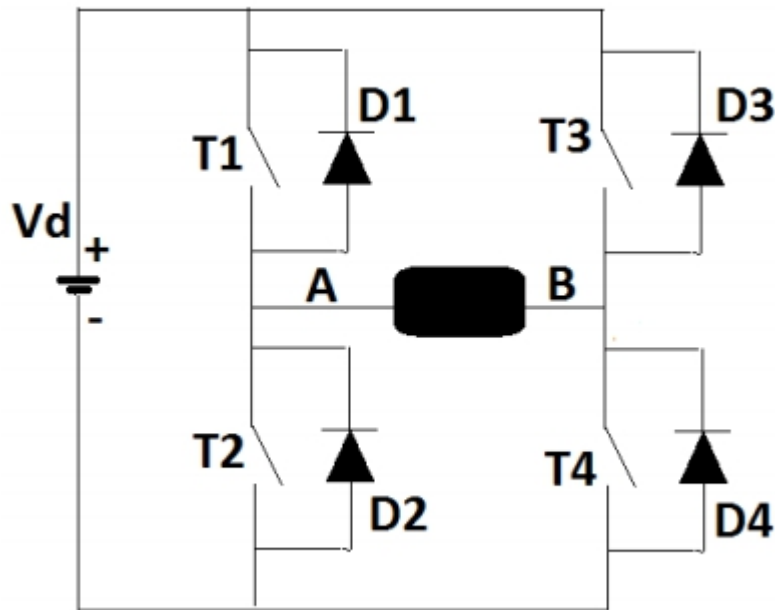
Ενεργοποιώντας και απενεργοποιώντας εναλλάξ τους διακόπτες T1 και T2 παράγεται μια τετραγωνική εναλλασσόμενη κυματομορφή τάσης πάνω στους ακροδέκτες του φορτίου. Η μέγιστη τιμή τάσης που εφαρμόζεται πάνω στο φορτίο είναι $V_d/2$ και η ελάχιστη $-V_d/2$. Κάθε ημιαγωγικό στοιχείο επιτρέπει την ροή ρεύματος κατά την μια φορά όταν αυτό άγει ενώ η άλλη διόδος επιτρέπει το ρεύμα να ρέει κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Η παρουσία των αντιπαραλλήλων διόδων είναι αναγκαία όταν το φορτίο είναι επαγωγικής φύσης διότι δίνουν έναν δρόμο επιστροφής του ρεύματος άρα και της ενέργειας από το φορτίο στην συνεχή τάση τροφοδοσίας στην είσοδο του αντιστροφέα.

Τα βασικά μειονεκτήματα του μονοφασικού αντιστροφέα ημιγέφυρας είναι τα εξής :

- Απαιτούνται δυο πυκνωτές μέσης λήψης
- Το πλάτος της τάσης εξόδου έχει μισή τιμή της τάσης εισόδου
- Δεν είναι δυνατό να σχηματιστούν διαστήματα μηδενικής τάσης στην κυματομορφή της τάσης εξόδου για μη ωμικά φορτία

Η τοπολογία του μονοφασικού αντιστροφέα πλήρους γέφυρας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από δυο ημιγέφυρες. Οι ελεγχόμενοι ημιαγωγικοί διακόπτες αναβοσβήνουν σε διαγώνια ζευγάρια δηλαδή όταν τα T1 και T4 άγουν τα T3 και T2 είναι σε αποκοπή και το αντίστροφο. Συνεπώς στο φορτίο εμφανίζεται τάση από V_d έως $-V_d$. Οι αντιπαραλλήλες διόδους έχουν ενεργό ρόλο μόνο όταν το φορτίο είναι επαγωγικής φύσης. Συγκεκριμένα για τις διόδους ισχύουν τα εξής :

- Αν το φορτίο είναι ωμικής φύσης το ρεύμα έχει παρόμοια μορφή με την τάση και οι αντιπαραλλήλες διόδους δεν έχουν ενεργό ρόλο στην λειτουργία του κυκλώματος.
- Αν το φορτίο είναι επαγωγικής φύσης και θεωρηθεί ότι τα ημιαγωγικά στοιχεία T1 και T4 άγουν, όταν αυτά σβήσουν θα άγουν τα T3 και T2. Έτσι η πολική τάση του φορτίου θα αλλάξει. Το ρεύμα της θα συνεχίσει να ρέει με την ίδια φορά λόγω της καθυστέρησης που εισάγει το επαγωγικό φορτίο. Μέχρι να μηδενιστεί το ρεύμα αυτό θα ρέει μέσω των διόδων D2 και D3 επιστρέφοντας ενέργεια στην πηγή τροφοδοσίας



Σχήμα 2.7: Μονοφασικός αντιστροφέας (Inverter) πλήρους γέφυρας.

2.5.4. Στόχοι και αρχές λειτουργίας αντιστροφέων

Η σύνδεση των αντιστροφέων στο ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με διάφορες αρχές:

- Η έξοδος του αντιστροφέα λαμβάνεται σαν μια ρυθμιζόμενη πηγή ρεύματος. Η αλλαγή με το χρόνο της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ρυθμίζεται έτσι ώστε να αντιστοιχεί στις αλλαγές της προβλεπόμενης τάσης του δικτύου . Εάν η τάση του δικτύου αποκλίνει σημαντικά από την ημιτονοειδή κυματομορφή , αυτή θα ακολουθηθεί από τον αντιστροφέα και θα λειτουργήσει με βάση αυτή .
- Ο αντιστροφέας παρέχει εσωτερικώς ρυθμιζόμενο ημιτονοειδές διαμορφωμένο ρεύμα στο δίκτυο, το οποίο ρέει ταυτόχρονα με τη τάση του δικτύου
- Ο αντιστροφέας λαμβάνει υπόψιν την κυματομορφή της τάσης του δικτύου και κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις ώστε να εξάγει την κατάλληλη κυματομορφή για τροφοδοσία
- Οι αντιστροφέες που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο έχουν ορισμένους στόχους που καλούνται να εκπληρώσουν και πρέπει να ικανοποιούν διάφορες ρυθμίσεις. Κατά την επιλογή ενός αντιστροφέα για το σύστημα το οποίο θα εγκατασταθεί λαμβάνονται υπόψιν οι εξής στόχοι :
- Αυτόματη έναρξη λειτουργίας το πρωί. Μετά την ανατολή , ο αντιστροφέας πρέπει να αναγνωρίζει τότε η ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εξασφαλίσει σύνδεση και παροχής το δίκτυο
- Υψηλή απόδοση υπό φορτίο μικρότερο του ονομαστικού. Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα από τον αντιστροφέα με τις ελάχιστες απώλειες. Επειδή δεν επικρατεί πάντα ηλιοφάνεια το σύστημα συχνά λειτουργεί με μερικό φορτίο . Άρα η εσωτερική κατανάλωση του αντιστροφέα έχει σημαντική επίδραση στην καμπύλη απόδοσης.

- Λειτουργία ορισμένης υπερφόρτισης. Όταν η ισχύς ξεπεράσει το όριο της στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος πρέπει να ληφθούν μέτρα που να εξασφαλίζουν ότι ο αντιστροφέας δεν θα απενεργοποιείται . Ο αντιστροφέας πρέπει να διατηρεί τη λειτουργία του έχοντας πάντα ένα όριο ισχύος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μετακινώντας το σημείο λειτουργίας μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος προς τις υψηλότερες τιμές τάσης . Όμως πιο σωστός τρόπος είναι η κατάλληλη επιλογή του αντιστροφέα με μεγαλύτερη ισχύ από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια ώστε να αποφεύγεται τέτοιου είδους υπερφορτίσεις.
- Λειτουργία στο σημείο μέγιστης ισχύος.
- Διακοπή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στον αντιστροφέα μέσω των ηλεκτρονικών εσωτερικού ελέγχου. Κατά την διάρκεια της νύχτας ο αντιστροφέας , δεν πρέπει να καταναλώνει οποιοδήποτε ποσό ισχύος από το δίκτυο. Τα ηλεκτρονικά ισχύος ελέγχου δεν πρέπει να θέτονται σε λειτουργία έως ότου η τάση που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο το πρωί.
- Αντοχή του αντιστροφέα σε συνθήκες βραχυκύκλωσης . Αν το δίκτυο αποσυνδεθεί ενώ υφίσταται τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ο αντιστροφέας δεν πρέπει να καταστραφεί . Όταν το δίκτυο ξαφνικά αποσυνδεθεί, η αποθηκευμένη ενέργεια στα πηνία και τους πυκνωτές δεν μπορεί πλέον να διαχυθεί στο δίκτυο αλλά να διασκορπιστεί εσωτερικώς. Για το λόγο αυτό οι αντιστροφέες πρέπει να περιέχουν ειδικό κύκλωμα προστασίας , σκοπός του οποίου είναι η επιτήρηση της τάσης των στοιχείων και η πρόληψη υπερφόρτισης με βραχυκύκλωση του του στοιχείου το οποίο βρίσκεται εκτός των επιτρεπτών ορίων τάσης λειτουργίας. Παρέχει επίσης προστασία από υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα , επιτηρώντας το ρεύμα εκφόρτισης και διακόπτοντας το αντίστοιχο κύκλωμα όταν ξεπεραστεί μια προκαθορισμένη τιμή κατωφλίου.
- Διηλεκτρική δύναμη Η είσοδος και η έξοδος του αντιστροφέα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικές στην υπέρταση
- Ακουστικός θόρυβος Ο ακουστικός θόρυβος πρέπει να είναι ελάχιστος
- Αυτόματη αποσύνδεση από το δίκτυο σε απόκλιση τάσης ή συχνότητας Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα πρέπει να αναγνωρίζουν τα σφάλματα του δικτύου . Εάν υπάρχουν αποκλίσεις από τη συχνότητα ή την τάση του δικτύου, ή διακοπή της μιας φάσης, ο αντιστροφέας πρέπει να αποκόπτεται από το δίκτυο εντός ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του εναλλασσόμενου δικτύου.
- Συντελεστής ισχύος $\cos\phi > 0,9$ Ο συντελεστής ισχύος του συστήματος του καταναλωτή πρέπει να είναι κοντά στη μονάδα. Αυτό εμποδίζει να απορροφάτε από το δίκτυο μεγάλη ποσότητα άεργης ισχύος . Αντιστροφέες με αυτόματη διαμόρφωση πλάτους έχουν συντελεστή ισχύος , $\cos\phi = 1$
- Χαμηλό αρμονικό περιεχόμενο στην παροχή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο.
Οι αντιστροφέες που συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης πρέπει να συμμορφώνονται με τους γενικούς κανονισμούς για τις αρμονικές.
- Σήματα συγχρονισμού Οι αντιστροφέες δεν πρέπει να επηρεάζονται από χαμηλής συχνότητας σήματα συγχρονισμού. Τα σήματα συγχρονισμού επιβάλλονται από την τάση του δικτύου των 50Hz και δεν πρέπει να προκαλέσουν την διακοπή του αντιστροφέα.
- Επίβλεψη συστήματος από τον χειριστή Ο χειριστής του διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να μπορεί να ελέγχει εάν το σύστημα λειτουργεί σωστά με σύντομο τρόπο . Ο έλεγχος των παρακάτω τιμών ικανοποιεί το στόχο αυτό.

- τάση της ηλιακής γεννήτριας
- ένταση της ηλιακής γεννήτριας
- ένταση του δικτύου
- κατάσταση μόνωσης της ηλιακής γεννήτριας

2.5.5. Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα

Ο βαθμός απόδοσης είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος γίνεται στο ότι οι απώλειες ισχύος μετατρέπονται σε απώλειες εισοδήματος όταν πρόκειται για διασυνδεδεμένα συστήματα. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου δηλαδή :

$$n(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (2.1)$$

Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ανάλογα με το αν περιέχει μετασχηματιστή ή όχι, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Σύμφωνα με το αν υπάρχει μετασχηματιστής συνδεδεμένος με τον αντιστροφέα, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες κατά τις οποίες ένας αντιστροφέας που περιέχει μετασχηματιστή και ένας που δεν περιέχει, αγγίζουν σχεδόν τις ίδιες αποδόσεις της τάξεως 94%-98%.

Ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency) είναι μια καλύτερη προσέγγιση για τον βαθμό αυτό, ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως :

$$n_{E+} = 0.03_{n5\%} + 0.13_{n10\%} + 0.1_{n30\%} + 0.48_{n50\%} + 0.2_{n100\%} \quad (2.2)$$

Όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48%, και 20% αντίστοιχα. Ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

2.6. Νησιδοποίηση

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding) αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα που έχει αποκοπεί από το κεντρικό Ηλεκτρικό δίκτυο. Αιτίες εμφάνισης του φαινομένου αυτού είναι η απρόσκοπη αποσύνδεση ενός μέρους του δικτύου από τα μέσα προστασίας. Οι λόγοι μπορεί να είναι οι εξής : ανίχνευση κάποιου σφάλματος, η προγραμματισμένη διακοπή του δικτύου για την συντήρησή του, η διακοπή της ηλεκτροδότησης λόγω εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, η πιθανή αστοχία ενός μέρους του εξοπλισμού του συστήματος.

Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 (Automatic disconnection device between a generator and the public low voltage grid) η συμμόρφωση προς το οποίο είναι υποχρεωτική.

Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και αν προσδιοριστεί τότε ο

αντιστροφείας αποσυνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 5 λεπτών . Επίσης , αν οι προστασίες ενός δικτύου ανοίξουν τους δακίπτες προστασίας μιας γραμμής (λόγω ανίχνευσης τυχαίων σφαλμάτων, πιθανής βλάβης του εξοπλισμού, εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, ανθρώπινων λαθών χειρισμού κ.α.) και δεν καταστεί εφικτό από τις διεσπαρμένες πηγές να εντοπίσουν τη διακοπή της ηλεκτροδότησης, θα συνεχίσουν να τροφοδοτούν τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στην ίδια γραμμή με αυτές .

Ο ΔΕΔΔΗΕ απαιτεί από τους παραγωγούς με διασυνδεδεμένα συστήματα να χρησιμοποιούν αντιστροφείς που είναι εφοδιασμένοι με τα κατάλληλα συστήματα “αντινησιδοποίησης” (anti-islanding).

Οι μονοφασικοί αντιστροφείς μπορεί και να μην παρουσιάσουν κάποιο πρόβλημα σχετικά με τη νησιδοποίηση αν αυτή προκλήθηκε από βραχυκύκλωμα του δικτύου λόγω ενός σφάλματος της γραμμής. Αντίθετα , οι τριφασικοί αντιστροφείς παρουσιάζουν πάντα μια διαταραχή της τάσης που συνδέεται με το σφάλμα. Η πλειοψηφία των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδέεται σε μια φάση του δικτύου. Ενώ η πλειοψηφία των συσκευών που χρησιμοποιούν τα δίκτυα για εκκαθάριση σφαλμάτων είναι τριφασικές. Ο συνδυασμός μονοφασικών αντιστροφέων και τριφασικών διακοπών σφάλματος οδηγεί στην πιθανή κατάσταση όπου ένα σφάλμα μπορεί να υπάρχει σε μια γραμμή που προέρχεται από το άνοιγμα ενός διακόπτη, αλλά χωρίς να υπάρχει διαταραχή της τάσης ώστε να υπάρχει επίπτωση στο μονοφασικό αντιστρόφεία.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σημαντικό και ο ΔΕΔΔΗΕ ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αντιστροφέων. Επιπλέον , αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους του ΔΕΔΔΗΕ κατά τη δοκιμή ηλεκτροδότησης του σταθμού και την παραλαβή του .[40]

2.7.Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

2.7.1. Ανάγκη για αποθήκευση

Ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι ανάγκη να αποθηκευτεί, ώστε να χρησιμοποιηθεί μετά τη δύση του ήλιου, τη νύχτα, πριν την ανατολή του ήλιου, όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία ή κατά τη διάρκεια συνεχών ημερών με νεφελώδη ουρανό. Η στατιστική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου και η δυνατότητα μετατροπής μέρους αυτής σε καθαρή για το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου του τρέχοντος επιπέδου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, καθιστά όλο και πιο συχνά επιτακτική τη χρήση των ηλιακών κυττάρων ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλιοφάνειας ενός τόπου αντιπαρατιθέμενα στην ίδια τη φύση του φαινομένου, που χαρακτηρίζεται από τις έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, θα περιόριζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα περισσότερα από τα συστήματα αποθήκευσης που υπάρχουν δεν προσφέρονται για το σκοπό αυτό είτε λόγω μεγάλου αρχικού κόστους, είτε λόγω μη προσαρμογής των δυνατοτήτων αποθήκευσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η άντληση και η αποθήκευση νερού, ο συμπιεσμένος αέρας, η θερμική αποθήκευση, η παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου, η αποθήκευση σε σφονδύλους κτλ.[43]

2.7.2. Ηλιακοί Συσσωρευτές

Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Η χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια συσσωρευτών φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Τα πλεονεκτήματα ενός Φ/Β συστήματος με συσσωρευτές είναι η δυνατότητα να παρέχουν ενέργεια σε περιόδους που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η δυνατότητα να καλύπτουν στιγμιαίες αιχμές ζήτησης φορτίου, η ύπαρξη σταθερής τάσης στο σύστημα, η ικανότητα αποθήκευσης της επί πλέον της ενεργειακής ζήτησης ενέργειας ώστε να μειώνονται οι απώλειες κτλ. Από την άλλη μεριά, η αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος, το αυξημένο κόστος, ο αυξημένος χρόνος και το κόστος συντήρησης και πολλές φορές η μειωμένη αξιοπιστία μπορούν να καταγραφούν στα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος.



Σχήμα 2.8: Συσσωρευτές BYD.[42]

Στο κεφάλαιο αυτό, εκτός από τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των συσσωρευτών θα εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.[43]

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή/και παράλληλα και ο τρόπος σύνδεσής τους εξαρτάται από την επιθυμητή τάση εξόδου και τη χωρητικότητα της συστοιχίας. Το στοιχείο αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

- Την άνοδο, η οποία δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Την κάθοδο, η οποία δέχεται τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και ανάγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη (ιονικός αγωγός) ο οποίος αποτελεί το μέσο για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του στοιχείου μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως κάποιο διάλυμα που συμβάλλει στην ιονική αγωγιμότητα της διάταξης.

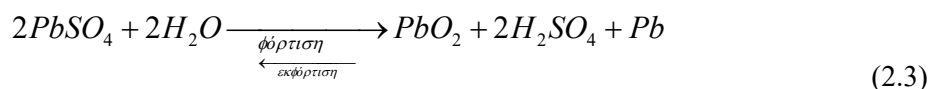
Σε ένα πρακτικό σύστημα, η άνοδος επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω: καλή αγωγιμότητα, σταθερότητα, ευκολία κατασκευής και μικρό κόστος. Συνήθως τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή ανόδων είναι τα μέταλλα. Η κάθοδος πρέπει να είναι ένας καλός οξειδωτικός παράγοντας και να μην αλληλεπιδρά χημικά με τον ηλεκτρολύτη. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή καθόδων είναι τα οξείδια μετάλλων. Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει καλή ιονική αγωγιμότητα. Η άνοδος και η κάθοδος είναι ηλεκτρικά απομονωμένες μέσα στο στοιχείο για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη.

Στις κατασκευές των στοιχείων χρησιμοποιείται ένα υλικό διαχωρισμού για να διαχωρίσει τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου. Το υλικό διαχωρισμού είναι διαπερατό από τον ηλεκτρολύτη, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ιονική αγωγιμότητα του στοιχείου. Κατάλληλα υλικά μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για τη μείωση της εσωτερικής τους αντίστασης.

Το στοιχείο μπορεί να κατασκευαστεί σε πολλά σχήματα: κυλινδρικό, επίπεδο ή πρισματικό. Τα στοιχεία σφραγίζονται με διάφορους τρόπους για να αποφευχθεί η διαρροή του ηλεκτρολύτη. Μερικά στοιχεία διαθέτουν βαλβίδες για να επιτρέπουν τη διαφυγή των αερίων που παράγονται κατά τη λειτουργία τους.

Αρχή Λειτουργίας Συσσωρευτών

Ο μηχανισμός της λειτουργίας των συσσωρευτών στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, η οποία για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την αντίδραση:



Η κατεύθυνση προς τα δεξιά αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη στη φόρτιση του συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αρχική επαφή των μολύβδινων πλακών με το ηλεκτρολυτικό διάλυμα H_2SO_4 , λεπτό επιφανειακό στρώμα των ηλεκτροδίων μετατρέπεται από Pb σε $PbSO_4$. Κατά τη φόρτιση υπό τάση λίγο μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης της διάταξης, το ηλεκτρόδιο που είναι συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο της πηγής φόρτισης, ανάγεται σε μεταλλικό μόλυβδο (Pb), με σπογγώδη μορφή και το άλλο που είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο της πηγής, οξειδώνεται προς PbO_2 , φαιού χρώματος. Ένας συσσωρευτής αποτελείται από μία συνάθροιση κυψελίδων και η ονομαστική του τάση είναι το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων των κυψελίδων του. Έτσι, ο συσσωρευτής που χρησιμοποιούμε, με ονομαστική τιμή 60Volt αποτελείται από 30 κυψελίδες ονομαστικής τιμής 2Volt η καθεμία.[43]

2.7.3. Κατηγορίες στοιχείων και συσσωρευτών

Πρωτεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές

Τα πρωτεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) δε γίνεται να επαναφορτιστούν, γι' αυτό εκφορτίζονται μία φορά και στη συνέχεια αποσύρονται. Ο πρωτεύων συσσωρευτής είναι μία ικανοποιητική και συνήθως φθηνή πηγή ενέργειας. Τα γενικά πλεονεκτήματά τους είναι η γενικά μεγάλη ζωή τους όταν βρίσκονται αποθηκευμένοι, η μεγάλη πυκνότητα ενέργειας για μικρούς ή μεσαίους ρυθμούς εκφόρτισης, η μικρή ή έως καθόλου ανάγκη για συντήρηση, η ευκολία χρήσης και το μικρό αρχικό κόστος. Διάφορες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός, φωτογραφικός εξοπλισμός, παιχνίδια κ.α. Οι πιο συνηθισμένοι πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι κυλινδρικοί ή επίπεδοι.

Δευτερεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές

Τα δευτερεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά μετά την εκφόρτιση, μέχρι να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση πριν τη εκφόρτιση. Αυτό γίνεται με την εφαρμογή ρεύματος με την αντίθετη φορά από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ισχύες. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής εκφορτίζεται μόνο όταν είναι απαραίτητο και φορτίζεται από μία πηγή τάσης ή ρεύματος. Τέτοιες εφαρμογές είναι τα συστήματα αεροπλάνων, συστήματα έκτακτης ανάγκης και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.
2. Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής χρησιμοποιείται ως κύρια πηγή ενέργειας και επαναφορτίζεται μετά τη χρήση αντί να αποσύρεται. Τέτοιες εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν τις φορητές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρικά οχήματα και γενικά εφαρμογές τις οποίες δε μπορούν να καλύψουν οι πρωτεύοντες συσσωρευτές.

Οι δευτερεύοντες συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακά πυκνότητα, υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης και καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Μερικοί συσσωρευτές, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως μηχανικά επαναφορτιζόμενοι, φορτίζονται με την αντικατάσταση ενός από τα ηλεκτρόδια, συνήθως της μεταλλικής δόδου. Τους βασικότερους εκπροσώπους αυτής της κατηγορίας, που είναι και πλέον κατάλληλοι για φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελούν οι συσσωρευτές μολύβδου (LEAD-ACID) και οι συσσωρευτές νικελίουκαδμίου (NICKEL-CADMIUM).

Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μικρού Ρυθμού Εκφόρτισης

Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που σχεδιάζονται για ελάχιστη συντήρηση με μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης (C /500), να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες, με μεγάλη διάρκεια ζωής (5-15 χρόνια) και μικρή ταχύτητα αυτοεκφόρτισης.

Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μέσου Ρυθμού Εκφόρτισης

Χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο ή με εφεδρική πηγή ενέργειας. Είναι συνήθως τροποποιημένοι συσσωρευτές έλξης (π.χ. περιέχουν περισσότερο ηλεκτρολύτη, ώστε να μειώσουν τις απαιτήσεις σε συντήρηση, λιγότερο ανθεκτικές από μηχανική άποψη κτλ). Έχουν μέσους ρυθμούς και μεγάλο ημερήσιο βάθος εκφόρτισης.[43]

2.7.4. Χαρακτηριστικά Μεγέθη ενός Συσσωρευτή

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (HEΔ) και η ονομαστική χωρητικότητά του. Η HEΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή.

Οι τιμές των HEΔ των διαφόρων τύπων συσσωρευτών (Pb- H₂SO₄, NiCd, Ni-Fe, Ni-Zn, Sodium- Sulphur, Zinc- Bromide, Zinc- Chloride, Lithium- Metal Sulphide, Nickel- Hydrogen) κυμαίνονται μεταξύ 1V και ~4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μια διάταξη συσώρευσης σε υψηλότερη HEΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25 V. Έτσι, οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με την τυπική εμπορική τους μορφή οι συσσωρευτές μολύβδου είναι 6V, 12V 24V και 48 V.

Χωρητικότητα

ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν είναι η χωρητικότητα C του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης ή περίοδο εκφόρτισης. Εξαρτάται από αρκετούς σχεδιαστικούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, η ποσότητα του ενεργού υλικού, ο αριθμός, ο σχεδιασμός και οι φυσικές διαστάσεις των πλακών (ηλεκτροδίων). Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από τη μπαταρία), η τάση της μπαταρίας στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία της μπαταρίας και το ιστορικό της χρήσης της (κακή χρήση κτλ).

Η συνήθης μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι το Amberhour (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας C προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με ρυθμό εκφόρτισης C /120). Φυσικά, η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Amber. Μερικές φορές, η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή εκφράζεται σε Kilowatt-hour (KWh) και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000.

Μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα 3/4 της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι βρίσκεται στο 25% SOC .

Εκφόρτιση και Επιτρεπόμενο Βάθος Εκφόρτισης

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή DOD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από το ρυθμό εκφόρτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας.

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης πρέπει να μειώνεται θέτοντας την τάση αποκοπής του φορτίου στην συσκευή ρυθμιστή φόρτισης σε κατάλληλο σημείο. Το αποτέλεσμα θα είναι ο συσσωρευτής να μην εκφορτίζεται πλήρως και η θερμοκρασία στερεοποίησης να διατηρείται χαμηλά. Το κόστος θα είναι η μείωση της αυτονομίας του συστήματος μπαταρίας-συσσωρευτή. Για να διατηρείται η αυτονομία, η χωρητικότητα του συσσωρευτή πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη, τόσο τη μείωση της σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και το DOD στις θερμοκρασίες αυτές. Η τάση του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με το ρυθμό εκφόρτισης για τον οποίο είναι καθορισμένη η χωρητικότητα.[44]

Αυτοεκφόρτιση

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του SOC (state of charge), χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Τα αίτια είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες της μπαταρίας και σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επιλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του συσσωρευτή. Τυπικό μέγεθος αυτοεκφόρτισης είναι η

απώλεια του 0,7% του SOC ανά ημέρα και για το λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση. Τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή είναι:

- Σε θερμοκρασία 5 C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 2% ανά μήνα.
- Σε θερμοκρασία 15 C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 4% ανά μήνα.
- Σε θερμοκρασία 25 C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 10% ανά μήνα

Φόρτιση

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς το συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας.

Οι προδιαγραφές δεν περιορίζουν κατά κανόνα το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή εφόσον δεν γίνει υπέρβαση της τάσης εκλύσεως αερίων. Ωστόσο, η τάση εκλύσεως αερίων γίνεται μικρότερη καθώς το ρεύμα φόρτισης γίνεται μεγαλύτερο.

Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκλύσεως αερίων.

Χρόνος Ζωής Συσσωρευτή

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς (Overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (Overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και συνακόλουθα, την παραγωγή υδρογόνου με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκφόρτισης και φόρτισής του.

Η χωρητικότητα, C του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή. Μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Ένας πρακτικός κανόνας που προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά των συσσωρευτών και ουσιαστικά περιγράφει το χρόνο ζωής τους, είναι ο ακόλουθος: Το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι με καλή προσέγγιση σταθερό:

$$\beta_{εκφ} \cdot N_k = \text{σταθερό} \quad (2.4)$$

Όπου N_k το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή.

Συντελεστής Γήρανσης Συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή, με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή (γήρανση) πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στο χρόνο ζωής του να διατηρεί τη δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το αυτό βάθος εκφόρτισης, . Η εμπειρία έχει δείξει ότι, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητάς του. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή , n 0,8.

Συντελεστής Φόρτισης και Απόδοση

Τα αμπερόρια (Ah) που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι κατά κανόνα περισσότερα από τα Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά το ίδιο ποσοστό του SOC . Έτσι, ορίζεται ο συντελεστής φόρτισης ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ah προς την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής φόρτισης} = \frac{\text{εισερχόμενη ποσότητα Ah}}{\text{εξερχόμενη ποσότητα Ah}} \quad (2.5)$$

Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόδοση ισχύος} = \frac{\text{εξερχόμενη ενέργεια (kW)}}{\text{εισερχόμενη ενέργεια (kW)}} \quad (2.6)$$

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξεως του 10-20% της προσφερόμενης σ' αυτόν ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας, E_n . Ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ($W = V \cdot I \cdot t$), δια του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγούμενη φόρτισή του. Τυπική τιμή 80-85%.

$$n_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}} \quad (2.7)$$

Εκτός από το βαθμό ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιείται επίσης ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου, q_n , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά τη φόρτιση. Τυπική τιμή $q_n \approx 90\%$.

$$n_q = \frac{Q_{\text{εκφόρτισης}}}{Q_{\text{φόρτισης}}} \quad (2.8)$$

Οι Συσσωρευτές στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Για τη σωστή εκλογή, σχεδίαση και λειτουργία των συσσωρευτών στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι όπως :

- Τα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.
- Οι συσκευές προσαρμογής και ελέγχου της ισχύος.
- Το φορτίο.
- Οι μετεωρολογικές συνθήκες
- Ο συγκεκριμένος τύπος του συσσωρευτή

Κύκλος Λειτουργίας σε Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα με Εφεδρική Πηγή

Ο τρόπος με τον οποίο θα λειτουργήσει ένας συσσωρευτής επηρεάζει τόσο τον τύπο όσο και την ιδιαίτερη κατασκευή των στοιχείων του. Σ' ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ο κύκλος λειτουργίας των συσσωρευτών καθορίζεται κυρίως από:

- Το προφίλ του φορτίου.
- Την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τη χρονική σχέση της με το φορτίο.
- Την ύπαρξη ή μη εφεδρικής πηγής ενέργειας.

Αυτόνομα συστήματα με εφεδρική πηγή ενέργειας

Στα συστήματα αυτά υπάρχει μια εφεδρική πηγή (ντιζελογεννήτρια), ενώ για περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας ή μεγάλης ζήτησης υπάρχουν και συσσωρευτές με χωρητικότητα που κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι μερικές μέρες, ανάλογα με το ποσοστό του φορτίου που πρέπει να καλύψει το ηλιακό σύστημα και τις κλιματολογικές συνθήκες. Γενικά ο κύκλος λειτουργίας είναι παρόμοιος με των συσσωρευτών των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο. Ωστόσο αν υπάρχει διαθέσιμη αρκετή χωρητικότητα (μερικές μέρες) προκύπτουν κάπως χαμηλότεροι ρυθμοί φόρτισης/εκφόρτισης και λιγότεροι πλήρεις κύκλοι στη μονάδα του χρόνου.

Ονομαστική Χωρητικότητα και Παρεχόμενη Ισχύς από τους Συσσωρευτές κατά τη Λειτουργία τους σε Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καταλήγουμε σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας C_N . Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα C δίνεται από:

$$C = C_N \times \beta \quad (2.9)$$

Όπου β είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευθεί και να ανακτηθεί σε ιδανικές συνθήκες, σε κάθε κύκλο φόρτισης- εκφόρτισης είναι :

$$E = C \times \beta = C_N \times \beta \times V \quad (2.10)$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης - εκφόρτισης είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_ϕ , ίση με:

$$E_\phi = \frac{E}{\alpha} \quad (2.11)$$

Και τότε η ονομαστική χωρητικότητά του είναι :

$$C_N = \frac{E_\phi}{\beta \times V} = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V} \quad (2.12)$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ P επί συνεχείς μέρες, τότε η ενεργός χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

$$C = \frac{24\mu \times P}{\alpha \times V} \quad (2.13)$$

2.8. Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ συνήθως εδράζονται επί εδάφους με δύο τρόπους:

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις»
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers).

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ως άνω τρόπων έδρασης.[44]

2.8.1. Σταθερές βάσεις

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. 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, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται 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.

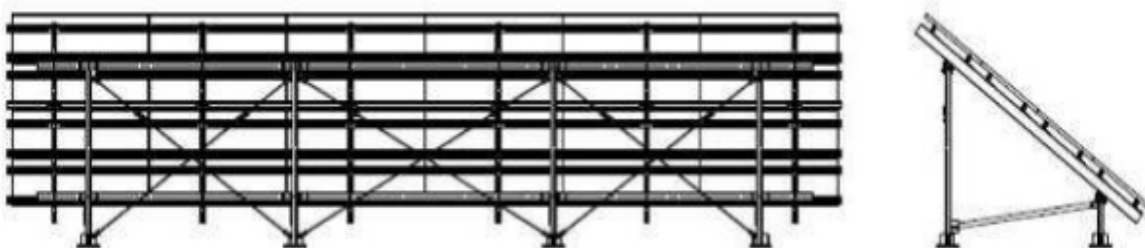
Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμπτυξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμπτυξη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5-1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση.

Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμπτυξη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμπτυξη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων.

Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πάνελ, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφέων, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση.

Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργω. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πάνελ (τυπικά 1,6 χ 1 μέτρο για κρυσταλλικά πάνελ). Τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή (συνηθέστερα) σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά τη μικρή διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού.

Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.[44]



Σχήμα 2.9: Τυπική σταθερή βάση στήριξης[44]

2.8.2. Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μια 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 ή τράκερ (tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξεως 30%. Διακρίνονται 2 κατηγορίες των συγκεκριμένων βάσεων:

A) Μονοαξονικά συστήματα : πρόκειται για συστήματα των οποίων η κίνηση γίνεται σε έναν άξονα κατά τη διάρκεια της μέρας αυτόν της Ανατολής- Δύσης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τυπικά τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

B) Διαξονικά συστήματα : πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς τον ορίζοντα. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων .

Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με συνήθως με ηλεκτρομηχανικά ή ηλεκτρουδραυλικά 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.

Λόγω της ανάγκης κίνησης σημαντικού αριθμού πάνελ, τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από επίπεδες επιφάνειες τοποθετημένες σε μία κάθετη ως προς το έδαφος βάση στήριξης. Στη βάση στήριξης τοποθετείται συνήθως και ο αντιστροφείας (inverter) ή αν αυτό δεν είναι δυνατόν, γίνεται η αναχώρηση καλωδίων προς ένα κεντρικό σημείο συλλογής όπου βρίσκονται και οι αντιστροφείς.

Το γεγονός αυτό οδηγεί σε κατασκευές σημαντικού ύψους το οποίο κυμαίνεται από 2,5 έως 10-12 μέτρα, αναλόγως της κατασκευής. Το ύψος της κατασκευής συνήθως αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας των πάνελ. Σήμερα συστήματα ιχνηλάτησης κατασκευάζονται για να φέρουν ισχύ πάνελ που κυμαίνεται από 2-3kWp έως περίπου 33kWp.

Το σημαντικό μέγεθος της κατασκευής καθιστά πολυπλοκότερη και την έδραση. Συνήθως οι βάσεις στήριξης εδράζονται σε οπλισμένο σκυρόδεμα σημαντικού όγκου (από 2-3 έως και περίπου 20-30 κυβ. μέτρα) ώστε να εξασφαλίζεται η στατική τους επάρκεια. Επιπλέον, αυξάνονται τα κόστη εγκατάστασης σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Το σημαντικό μέγεθος των συστημάτων αυτών (και κυρίως το ύψος τους) αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου σε σχέση με ένα σύστημα σταθερών βάσεων, συνήθως κατά 1,5-2 φορές, λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ τους για την αποφυγή σκιάσεων. Επιπλέον, το μέγεθος των τράκερ τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους (σε σχέση με συστήματα σταθερών βάσεων) σε ανεμοπιέσεις. Η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι να χρησιμοποιείται ένα ανεμόμετρο και όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το σύστημα

κίνησης να λαμβάνει εντολή να θέτει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος, μία διαδικασία γνωστή ως «οριζοντίωση», για λόγους προστασίας. Η ταχύτητα αυτή κυμαίνεται ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά μπορεί να είναι και χαμηλή και να αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 5-6 Bf. Κατά συνέπεια, κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εκτιμά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης προτού προχωρήσει στην επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου τέτοιου συστήματος.

Πέραν των παραπάνω, κάθε μελετητής μηχανικός και εν δυνάμει ιδιοκτήτης ενός Φ/Β πάρκου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα εξής πρακτικά ζητήματα που αφορούν την τοποθέτηση των συστημάτων ιχνηλάτησης:

Όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χρήζουν συντήρησης λόγω της ύπαρξης ηλεκτρο-μηχανικών ή ηλεκτρο-υδραυλικών μέσων κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να καταστεί απαραίτητος ο επαναπρογραμματισμός του λογισμικού του συστήματος κίνησης, λόγω απώλειας δεδομένων.

Λόγω του σημαντικού τους ύψους, είναι απαραίτητη η έκδοση οικοδομικής άδειας και όχι έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας, όπως ισχύει για τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και επηρεάζει τον χρόνο υλοποίησης της κατασκευής του σταθμού.

Επιπλέον λόγω του σημαντικού ύψους, η εκτέλεση διάφορων εργασιών γίνεται δυσκολότερη σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών αποτελούν η αντικατάσταση ενός πάνελ που έχει υποστεί φθορά ή ο καθαρισμός των πάνελ.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.[44]



Σχήμα 2.10: Μονοαξονικές διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.[45]



Σχήμα 2.11: Διαξονικές διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.[44]

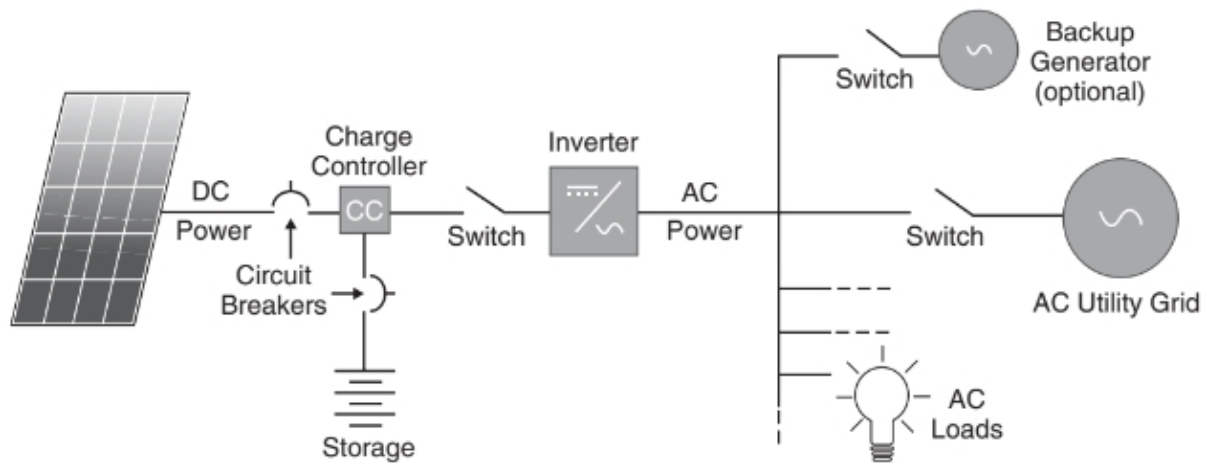
Ωστόσο υπάρχει και μια ακόμα επιλογή κινητής βάσης που δεν αποτελείται ήλεκτρο-μηχανικά ή ήλεκτρο-υδραυλικά συστήματα αλλά από μηχανικά . Όπως θα δείτε και στις σχετικές εικόνες παρακάτω οι βάσεις αυτές έχουν τη δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κλίσης από 10 έως 60 μοίρες ανάλογα με την εποχή του έτους. Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει και από τον ιδιοκτήτη και προσφέρει μια αύξηση παραγωγής της τάξεως του 10% . Το κόστος βέβαια της συγκεκριμένης βάσης είναι μεγαλύτερο από ότι αυτό μιας σταθερής βάσης . Αν όμως αναλογιστεί κανείς και το πλήθος των βάσεων που θα χρειαστούν για ένα έργο της τάξης των 500k kW (που στην καλύτερη περίπτωση θα είναι 38 τεμάχια των 30 μέτρων μήκους με 60 φωτοβολταϊκά πλαίσια φορτωμένα) θα πρέπει ο ιδιοκτήτης κάθε τρίμηνο να ρυθμίζει το ύψος για όλες τις βάσεις , πράγμα που δεν είναι φιλικό προς τον επενδυτή .



Σχήμα 2.12: Μονοαξονική διάταξη ιχνηλάτησης με χειροκίνητη προσαρμογή [46]

2.8.3. Υβριδικά συστήματα

Με τον όρο υβριδικό νοείται ένα σύστημα με παραπάνω από μια διαφορετικές πηγές εισόδου . Παραδοσιακά αυτό σημαίνει μια δεύτερη πηγή όπως για παράδειγμα γεννήτριες διηλεκτρικές ή ανεμογεννήτριες , ωστόσο σε πολλά μοντέρνα συστήματα φωτοβολταϊκών υποβοηθούνται από βοηθητικές επιτόπιες γεννήτριες ορυκτών καυσίμων ή από το δίκτυο ηλεκτρισμού . Ο όρος πολλαπλής λειτουργίας συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ιδιαίτερη περίπτωση ενός φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος το οποίο λειτουργεί παράλληλα με εξωτερική AC πηγή (δίκτυο) ή αυτόνομη AC πηγή όπου δεν είναι δυνατή η σύνδεση με το δίκτυο. Στο παρακάτω σχήμα φαινεται το μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού αυτόνομου υβριδικού συστήματος .[47]



Σχήμα 2.13: Τυπικό αυτόνομο υβριδικό σύστημα.[47]

Η ενέργεια μπορεί να είναι διαθέσιμη σε συνεχόμενη βάση κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε δυσμενής καιρικές συνθήκες από τις μπαταρίες . Τα υβριδικά συστήματα συνήθως διαστασιολογούνται έτσι ώστε ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας να προέρχεται από τον ήλιο και υπό ευνοϊκές καιρικές συνθήκες , οι ενεργειακές απαιτήσεις του καταναλωτή πληρούνται από την ενέργεια φωτοβολταϊκών πάνελ . Όποιο πλεόνασμα ενέργειας υπάρχει αποθηκεύεται στις μπαταρίες . Μια εφεδρική γεννήτρια μπορεί να παρέχει ηλεκτρικό φορτίο και στις καταναλώσεις και για να φορτίζει τις μπαταρίες , έτσι αυξάνεται η αξιοπιστία και εξαλείφεται η ανάγκη για ένα υπερμεγέθη σύστημα φωτοβολταϊκών . Τα υβριδικά συστήματα κατέχουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε ενεργειακής πηγής και παρέχουν ηλεκτρισμό ισάξιο με αυτόν του δικτύου.

3. Μελέτη Περίπτωσης: Σχεδιασμός Αυτονόμου Φ/Β Συστήματος

3.1.Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η υλοποίηση του συστήματος . Με βάση τις ετήσιες καταναλώσεις και με έμφαση στους χειμερινούς μήνες αποφασίζεται η ισχύς που πρέπει να έχει το σύστημα . Παραθέτονται αναλυτικά όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τον λόγο που επιλέχθηκε το καθένα καθώς και τη σύνδεση-επικοινωνία αυτών .

3.2.Διερεύνηση αναγκών

Το πρώτο βήμα για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού για οικιακή χρήση είναι η μελέτη των καταναλώσεων για την τοποθέτηση κατάλληλου συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες του . Ξεκινάμε δηλαδή με τις ετήσιες καταναλώσεις του σπιτιού , και δίνουμε έμφαση στους χειμερινούς μήνες , καθώς σε αυτήν την περίοδο εντοπίζονται νεφώσεις, και η διάρκεια της ημέρας είναι σαφώς μικρότερη σε σχέση με τους καλοκαιρινούς . Οπότε και η ανάγκη για αποθήκευση είναι μεγαλύτερη .

Έστω ένα σπίτι με 11 kWh Κατανάλωση ημερησίως . Λαμβάνεται υπόψιν οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται και μπορεί να έχουν μεγάλη κατανάλωση , όπως για παράδειγμα κουζίνα , θερμοσίφωνας κ.α. .

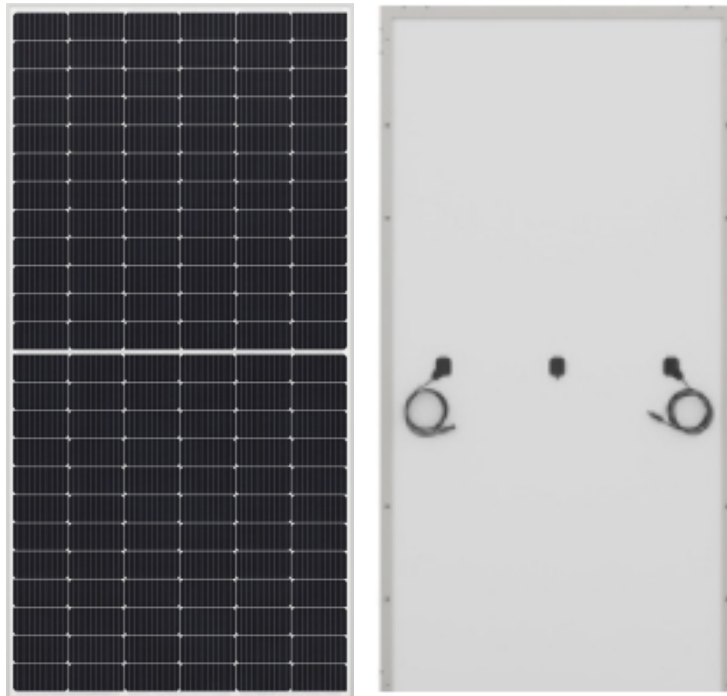
Οι ετήσιες καταναλώσεις που προκύπτουν στην περίπτωση μας φτάνουν ετησίως τις 4000 kWh . Συνεπώς θα χρειαστούμε ένα σύστημα της τάξεως των 3,5 kW . Ο αντιστροφέας που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους . Για την κατάλληλη επιλογή του αντιστροφέα πρέπει να γνωρίζουμε και την ισχύ της παροχής του σπιτιού . Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ισχύς είναι 8 kVA (μονοφασική) οπότε όσο ο αντιστροφέας τόσο και η εφεδρική γεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να έχουν την ίδια παροχή στην οικία .

Η συνδεσμολογία του συστήματος ξεκινάει από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια από εκεί σε έναν ρυθμιστή φόρτισης μετά στις μπαταρίες και από εκεί στον αντιστροφέα . Σε περιπτώσεις που η ενέργεια από τα πάνελ δεν είναι αρκετή θα ενεργοποιείται η γεννήτρια η οποία θα είναι συνδεδεμένη στον αντιστροφέα και από εκεί στις καταναλώσεις του σπιτιού . Αυτό γίνεται για περιπτώσεις που δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια από τα πάνελ για να φορτίσει τις μπαταρίες και έτσι για να μην εκφορτίσουν κάτω από το 60% θα χρησιμοποιείται ρεύμα από την γεννήτρια . Ο συγκεκριμένος αντιστροφέας είναι συνδυαστικός , δηλαδή διαθέτει και ρυθμιστή φόρτισης εσωτερικά για να υπάρχει εικόνα της κατάστασης των μπαταριών στην περίπτωση που θα διοχετευθεί ρεύμα από την γεννήτρια .

3.3.Φωτοβολταϊκά πάνελ

Όπως είπαμε θα χρειαστούμε ένα σύστημα με συνολική ισχύ περίπου 3,5 kW . Τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν είναι 440 Wp το κάθε ένα , και θα τοποθετηθούν 8 τεμάχια . Τα πάνελ είναι της παγκοσμίως γνωστής εταιρείας Sharp . αποτελείται από 144 κυψέλες , και είναι μισής κοπής , το οποίο σημαίνει πως σε περίπτωση σκίασης ενός μέρους του, το πάνελ δεν αποκόπτεται ολόκληρο . Οι διαστάσεις του είναι 2108 x 1048 x 40 mm και ζυγίζει 25,5 κιλά . Είναι μονοκρυσταλλικά το οποίο σημαίνει ότι είναι πιο αποδοτικά από τα πολυκρυσταλλικά ακόμη ακόμα και σε περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών ή ακόμη και κατά τη διάρκεια συννεφιάς . Τα συγκεκριμένα πάνελ της Sharp έχουν 3 μικρά junction box αντί για ένα , και στο καθένα έχει εφαρμοστεί από μια παρακαμπτήρια δίοδος.

Αυτά τα junction box μεταφέρουν λιγότερη θερμότητα στις κυψέλες αυξάνοντας έτσι την μακροζωία των πλαισίων και την γενική απόδοση του συστήματος.



Σχήμα 3.1: Φωτοβολταϊκό πάνελ μελέτης περίπτωσης.[48]

3.4.Αντιστροφέας

Ο αντιστροφέας που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο είναι της εταιρείας Victron που εξειδικεύεται στα αυτόνομα συστήματα και το μοντέλο είναι το Energy Quattro 48/8000 . Όπου 48 είναι η ονομαστική τάση εισόδου και 8000 η ονομαστική ισχύς . Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει και φορτιστή οπότε δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον συσκευή για την φόρτιση . Παρακάτω αναγράφονται αναλυτικά τα στοιχεία του όπως στο φύλλο δεδομένων :

Δυνατότητα παραλληλισμού

Για παράλληλη λειτουργία μέγιστο 6 τεμάχια και για τριφασική λειτουργία μέγιστο 6 σετ των 3 τεμαχίων .

Δύο είσοδοι Εναλλασσόμενου Ρεύματος με ενσωματωμένο διακόπτη μεταφοράς

Το Quattro μπορεί να συνδεθεί σε δύο ανεξάρτητες πηγές τροφοδοσίας AC, για παράδειγμα σε επίγεια πηγή ισχύος και σε μια γεννήτρια, ή σε δύο γεννήτριες. Το Quattro συνδέεται αυτόματα στην ενεργή πηγή τροφοδοσίας.

Δύο έξοδοι Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Η κύρια έξοδος διαθέτει λειτουργία προστασίας από διακοπές. Σε περίπτωση βλάβης στο δίκτυο ή εάν αποσυνδεθεί η τροφοδοσία από την επίγεια πηγή ή τη γεννήτρια, το Quattro αναλαμβάνει την τροφοδοσία των συνδεδεμένων φορτίων. Αυτό συμβαίνει τόσο γρήγορα (σε λιγότερο από 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου) που οι υπολογιστές και ο υπόλοιπος ηλεκτρονικός εξοπλισμός θα συνεχίσουν να λειτουργούν χωρίς διακοπή. Η δεύτερη έξοδος είναι ενεργή μόνο όταν υπάρχει τάση Εναλλασσομένου

Ρεύματος σε μία από τις εισόδους του Quattro. Τα φορτία που δεν αποφορτίζουν την μπαταρία, όπως το σύστημα κλιματισμού ή οι θερμαντήρες νερού, μπορούν να συνδεθούν σε αυτή την έξοδο.

Μοναδική λειτουργία PowerAssist

Το Quattro αποτρέπει την υπερφόρτωση μιας πηγής με περιορισμένη τάση Εναλλασσόμενου Ρεύματος. Πρώτον, η φόρτιση της μπαταρίας μειώνεται αυτόματα, όταν ενδέχεται να υπάρξει υπερφόρτωση. Το δεύτερο επίπεδο αντισταθμίζει την έξοδο της γεννήτριας ή την τροφοδότηση από επίγεια πηγή με το ρεύμα από τη μπαταρία.

Σχεδόν απεριόριστη ισχύς χάρη στην παράλληλη λειτουργία

Προκειμένου να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση ισχύος, έως και 6 συσκευές Quattro μπορούν να λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη. Υπάρχει επίσης δυνατότητα για τριφασική ή διαχωριστική φάση λειτουργίας.

- Τάση εισόδου : 48VDC
- Τάση εξόδου : 230VAC
- Ισχύς (25°C) : 6500W
- Ισχύς (40°C) : 5500W
- Ισχύς (65°C) : 3600W
- Στιγμιαία ισχύς : 16000W
- Ένταση ρεύματος φόρτισης : 110 A
- Ρελέ μεταγωγής 100 A
- Προστασία : IP21
- Προστασία Βραχυκυκλώματος
- Προστασία υπερφόρτωσης
- Προστασία υπερθέρμανσης
- Ένδειξη υψηλής τάσης μπαταρίας
- Ένδειξη χαμηλής τάσης μπαταρίας
- Παράλληλη συνδεσμολογία μέχρι 6 τεμάχια
- Inverter καθαρού ημιτόνου και φορτιστής μπαταριών με μια είσοδο AC και 2 εξόδους AC
- Δυνατότητα δημιουργίας τριφασικού ρεύματος , μέχρι 6 ομάδων των τριών τεμαχίων

Παρατηρούμε ότι στα στοιχεία του αντιστροφέα αναγράφεται η στιγμιαία ισχύς του , αυτό συμβαίνει διότι συσκευές όπως το ψυγείο όταν ξεκινά να λειτουργεί αντλεί μεγάλη ποσότητα ρεύματος στιγμιαία .



Σχήμα 3.2: Αντιστροφέας μελέτης περίπτωσης[49]

3.5.Μπαταρίες

Εφόσον η ονομαστική τάση εισόδου του αντιστροφέα είναι 48 volt και οι μπαταρίες θα πρέπει να έχουν την ίδια τάση . Για το έργο χρησιμοποιήθηκαν δίβολτα στοιχεία , οπότε θα πρέπει να συνδεθούν 24 μπαταρίες παράλληλα για να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα . Οι μπαταρίες που επιλέχθηκαν είναι της εταιρείας Sunlight της σειράς RES OPzS η οποία είναι μια σειρά μπαταριών με κορυφαία ποιότητα που αναπτύχθηκε για εφαρμογές που απαιτούν βαθιά κυκλική λειτουργία σε τακτική βάση . Πρόκειται για μια λύση αποθήκευσης ενέργειας με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης η οποία προσφέρει σημαντικά οφέλη από άποψη κόστους ανά κύκλο, σε συνδυασμό με το υψηλότερο δυνατό επίπεδο αξιοπιστίας και απόδοσης, ακόμα και για απομακρυσμένες εγκαταστάσεις όπου παρατηρούνται εκφορτίσεις μεγάλης διάρκειας και οι εξαιρετικές δυνατότητες επαναφόρτισης είναι σημαντικές. Χάρη στην άριστη σχεδίαση, την αποκλειστική χρήση υλικών υψηλής ποιότητας, τη στιβαρή κατασκευή και τις υπερσύγχρονες διαδικασίες παραγωγής, η σειρά μπαταριών RES OPzS είναι η ιδανική λύση για απαιτητικές εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Για να επιλέξουμε τις κατάλληλες μπαταρίες πρέπει να υπολογίσουμε πόσα Ah πρέπει να είναι η κάθε μπαταρία . Οι καταναλώσεις ημερησίως στην συγκεκριμένη οικία είναι 10 KWh . Διαιρούμε το αποτέλεσμα αυτό με την τάση των μπαταριών και το ποσό που προκύπτει (208) είναι τα Ah που θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν για τη επιλογή των μπαταριών . Για περισσότερους όμως κύκλους φόρτισης τα στοιχεία θα εκφορτίζουν μέχρι το 60 % (όπως προτείνει ο κατασκευαστής)οπότε θα επιλέξουμε μπαταρίες με 520Ah . Αυτά τα στοιχεία θα επιλέγαμε αν θέλαμε να έχουμε αυτονομία για μια ημέρα . Αυτό που χρειαζόμαστε είναι για 2 μέρες οπότε το τελικό αποτέλεσμα είναι 1040 Ah . Το πιο κοντινό υλικό στο επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η υγρού τύπου μπαταρία Sunlight 7 RES OPzS 1230 - 2V (C120) .



Σχήμα 3.3: Μπαταρίες μελέτης περίπτωσης.[50]

3.6.Ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι ένα είδος ελεγκτή που ρυθμίζει την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα . Ο κύριος ρόλος του είναι να ελέγχει το ρεύμα που έρχεται από τα πάνελ με προορισμό τις μπαταρίες και το τροποποιεί ώστε να μην είναι υψηλό και προκαλέσει κάποιο πρόβλημα .

Υπάρχουν δυο είδη ρυθμιστών φόρτισης

- PWM (Pulse Width Modulation)
- MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Ο MPPT είναι μια τεχνική με την οποία εντοπίζει και τροποποιεί την ενέργεια εξόδου από τα πάνελ στις μπαταρίες . Ο MPPT εντοπίζει την τάση και το ρεύμα εξόδου σε πραγματικό χρόνο και συνεχώς ανιχνεύει τη μέγιστη ισχύ ώστε το σύστημα να μπορεί να φορτίσει τις μπαταρίες χρησιμοποιώντας πάντοτε την μέγιστη δυνατή ισχύ .

Ο PWM χρησιμοποιεί μια τεχνική διαμόρφωσης πλάτους του παλμού σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες αλλάζοντας έτσι την τάση και την συχνότητα της ενέργειας εξόδου από τα πάνελ για να φορτίσει τις μπαταρίες . Αυτού του είδους οι ρυθμιστές φόρτισης μπορούν να θεωρηθούν σαν έναν διακόπτη ανάμεσα στα πλαίσια και τις μπαταρίες .

Πλεονεκτήματα MPPT

- Ο αλγόριθμος του MPPT αυξάνει την μετατροπή ενέργειας σε ποσοστό 99%
- Χρησιμοποιεί 4 στάδια φόρτισης που είναι καλύτερο για τη μακροζωία των μπαταριών
- Με δυνατότητα κλιμάκωσης για μεγάλα σε ισχύ συστήματα που δεν συνδέονται με το δίκτυο
- Διαθέσιμο για συστήματα άνω των 100 αμπερ
- Ευελιξία σε συστήματα που απαιτείται ανάπτυξη
- Εξοπλισμένο με πολλαπλές προστασίες
- Ποικιλία τρόπων διαμόρφωσης φορτίου
- Μερικοί μπορούν να φορτίσουν μπαταρίες λιθίου

Μειονεκτήματα MPPT

- Μεγάλο κόστος (συνήθως διπλάσιο από αυτούς με PWM)

- Μεγαλύτεροι σε μέγεθος σε σχέση με PWM

Πλεονεκτήματα PWM

- Έχει ώριμες και αποδεδειγμένες τεχνικές
- Απλή δομή και καλή σχέση κόστους-απόδοσης
- Λιγότερος προϋπολογισμός για μικρότερα έργα
- Εύκολη χρήση

Μειονεκτήματα PWM

- Χαμηλό ποσοστό μετατροπών
- Η τάση εισόδου πρέπει να είναι ίδια με την τάση των μπαταριών
- Λιγότερη κλιμάκωση για ανάπτυξη συστήματος
- Λιγότερη προστασία

Ο ρυθμιστής φόρτισης όπως αναφέρθηκε θα είναι τοποθετημένος ανάμεσα στα πλαίσια και τις μπαταρίες . Τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνδεδεμένα σε σειρά . Το ρεύμα και η τάση που προκύπτει από αυτά είναι 60 A και 40 V . Επομένως και ο ρυθμιστής θα πρέπει να έχει τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά .

Εάν στον ρυθμιστή δίνεται περισσότερη ενέργεια από την απαιτούμενη τότε μειώνει την επιπλέον ισχύ .

Ο ρυθμιστής φόρτισης γενικά προστατεύει τις μπαταρίες , διαβάζοντας τυχόν υπερθερμάνσεις, ακόμα και από την περίπτωση ανάστροφης πόλωσης . Ο χρήστης μπορεί να έχει εικόνα του συστήματος ακόμα και απομακρυσμένα , στέλνοντας τις πληροφορίες μέσω cloud στο smartphone .



Σχήμα 3.4: Ρυθμιστής φόρτισης μελέτης περίπτωσης.[49]

3.7.Γεννήτρια

Για την περαιτέρω αυτονομία του συστήματος όπως αναφέρθηκε θα χρησιμοποιηθεί γεννήτρια πετρελαίου με μίζα και ισχύος 8000 VA , όσο και η παροχή δηλαδή του σπιτιού . Σε περιπτώσεις με συνεχόμενες ημέρες συννεφιάς η όπου η ισχύς των μπαταριών δεν επαρκεί να τροφοδοτήσει τις ανάγκες του σπιτιού θα χρησιμοποιείται γεννήτρια . Η συγκεκριμένη γεννήτρια διαθέτει σύστημα για άμεση σύνδεση με μεταγωγικό πίνακα για την αυτόματη έναρξη λειτουργίας σε περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας από τα πάνελ ή τις μπαταρίες . Θα είναι συνδεδεμένη με τον

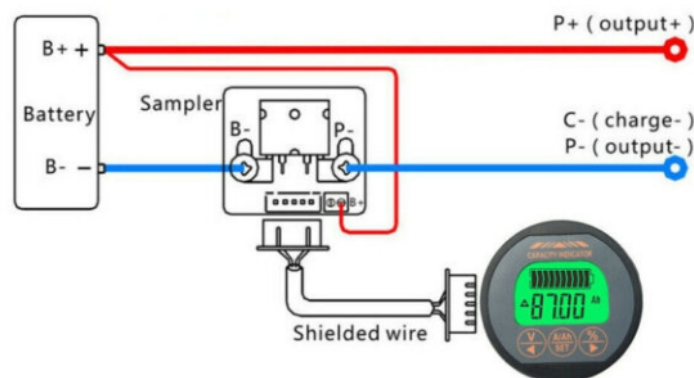
αντιστροφέα για μετατροπή του AC ρεύματος σε DC ώστε η στάθμη των συσσωρευτών να μην μειωθεί κάτω από το εξήντα τοις εκατό διατηρώντας τις έτσι σε καλή κατάσταση .



Σχήμα 3.5: Γεννήτρια μελέτης περίπτωσης.[51]

3.8. Παρακολούθηση μπαταριών

Ο αντιστροφέας όπως αναφέρθηκε είναι combi δηλαδή εμπεριέχει ρυθμιστή φόρτισης . Ωστόσο η ένδειξή του για τη στάθμη των συσσωρευτών γίνεται με την ένδειξη led λυχνιών , μια για κάθε είκοσι τοις εκατό . Για περαιτέρω ακρίβεια θα τοποθετηθεί μια οθόνη ανάμεσα στον αντιστροφέα και τις μπαταρίες , όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί .



Σχήμα 3.6: Παρακολούθηση μπαταριών μελέτης περίπτωσης.[49]

3.9. Βάση

Βάσει της νομοθεσίας περί αντικειμένων με μεγάλη επιφάνεια κάλυψης στις στέγες , τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στην συγκεκριμένη περίπτωση , θα πρέπει να είναι τοποθετημένα με τη κλίση της στέγης . Οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι εφικτό να στηθεί το έργο με τη βέλτιστη κλίση ή προσανατολισμό. Αυτό συμβαίνει διότι βάζοντας βάση στη σκεπή δημιουργείται ένα “εμπόδιο“ και σε περιπτώσεις δυνατού ανέμου υπάρχει μεγάλη περίπτωση να αποκολληθούν τα πλαίσια και προκαλέσουν ζημιά ή ακόμα και τραυματισμό . Στην περίπτωσή μας η στέγη του σπιτιού είναι 22° και

η πλευρά που επιλέχθηκε να τοποθετηθούν τα πλαίσια έχει 180° αζιμούθιο . Ο προσανατολισμός είναι ιδανικός δηλαδή αλλά η κλίση είναι μικρή για τα δεδομένα της περιοχής , όπως αναλύθηκε παραπάνω .

Για το στερέωμα των πλαισίων χρησιμοποιήθηκαν ντιζοστρίφωνα τα οποία βιδώθηκαν στη βάση της στέγης (τρυπώντας τα κεραμίδια) ανά ενάμιση μέτρο , στην κορυφή του οποίου υπάρχει ένας αντάπτορας στον οποίο πάνω θα βιδωθεί η ράγα στην οποία θα πατάνε τα πάνελ . Όπως φαίνεται και στις εικόνες παρακάτω υπάρχει ένα αυλάκι στην ράγα , εκεί θα περάσει η κεφαλή της βίδας μισής στροφής και στην άκρη του θα τοποθετηθούν συγκρατητές που θα κρατάνε τα πλαίσια στη θέση τους . Στο μόνο σημείο που μπορούσαν να μπουν τα πλαίσια είναι κάτω από τον φεγγίτη αλλά εκεί προϋπήρχε ηλιακός θερμοσίφωνα , οπότε θα τοποθετηθούν εκατέρωθεν του θερμοσίφωνα . Συνολικά για το έργο χρησιμοποιήθηκαν δώδεκα τεμάχια ντιζοστρίφωνα έξι για κάθε πλευρά και οχτώ τεμάχια ράγας από δύο μέτρα το καθένα . Επίσης χρειάστηκαν οχτώ μεσαίοι συγκρατητές ,οχτώ τελικοί και δεκαέξι βίδες μισής στροφής .



Σχήμα 3.7: Ντιζοστρίφωνο με αντάπτορα στερέωσης.[52]



Σχήμα 3.8: Ράγα στην οποία πατάνε τα πλαίσια.[52]



(α)



(β)

Σχήμα 3.9: (α) Τελικός συγκρατητής και (β) μεσαίος συγκρατητής.[52]



Σχήμα 3.10: Βίδα μισής στροφής[52]

3.10. Καλώδια

Όπως φαίνεται και στην προσομοίωση παρακάτω, δίπλα από το σπίτι υπάρχει ένα κτίσμα , το οποίο χρησιμοποιείται σαν αποθήκη . Εκεί θα στεγαστούν οι μπαταρίες και ο αντιστροφέας . Τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι ειδικά για εξωτερικές συνθήκες οπότε δεν θα χρειαστεί κάποια περαιτέρω προστασία ή κάποιο κανάλι για τη διαδρομή από την στέγη στην αποθήκη . Η απόσταση που θα καλύψουν τα καλώδια είναι 35 μέτρα επομένως θα χρειαστούμε 70 μέτρα , 35 για κάθε πολικότητα . Η διατομή του καλωδίου για την DC πλευρά του αντιστροφέα είναι 4 mm^2 .



Σχήμα 3.11: Καλώδια Solar.[53]

Ο αντιστροφέας απέχει από τον πίνακα 45 μέτρα και ενδιάμεσα τους παρεμβάλλεται η γεννήτρια . Οπότε χρειάστηκαν συνολικά 50 μέτρα καλωδίου AC διατομής 6 mm^2 . Και τα δύο είδη καλωδίων που χρησιμοποιήθηκαν είναι χαλκού .

Στο κάτω μέρος του αντιστροφέα και στην πίσω πλευρά των φωτοβολταϊκών πλαισίων υπάρχει ένα βύσμα ειδικά για DC καλώδια φωτοβολταϊκού τα οποία έχουν προστασία IP 67 και λέγονται MC4 (multi-contact) και είναι ιδανικά για καλώδια με διατομή έως και 10 mm^2 . Τα βύσματα αυτά χρησιμοποιούνται για ενώσεις καλωδίων . Υπάρχουν ακόμη και διακλαδωτά βύσματα για ένωση καλωδίων παράλληλα για πάνελ ή και για στοιχειοσειρές (strings) . Όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω υπάρχει ένα μεταλλικό σωληνάκι όπου εκεί μπαίνει το καλώδιο και με τη χρήση συγκεκριμένης πρέσας , πιέζεται ώστε να ασφαλίσει . Υπάρχουν διάφορα σχήματα βυσμάτων καθώς από αντιστροφέα σε αντιστροφέα διαφέρουν όπως επίσης και στα πάνελ .



Σχήμα 3.12: Βύσματα για καλώδια φωτοβολταϊκών.[53]



Σχήμα 3.13: Διακλαδωτές για παραλληλισμό πάνελ ή στοιχειοσειρών.[53]



Σχήμα 3.14: Πρέσα για βύσματα mc4.[53]

4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PV SOL

4.1.Εισαγωγή

Σ αυτό το κεφάλαιο θα δούμε συνοπτικά τις δυνατότητες που μας προσφέρει το λογισμικό προσημείωσης και πως να αναπαραστήσουμε τη κάθε περίπτωση .

4.2.Περιγραφή

Το PV SOL είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων ανεπτυγμένο στο Βερολίνο από την Valentin Software . Χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων για τον σχεδιασμό και τον προσδιορισμό των αποδόσεων .

4.3.Χαρακτηριστικά

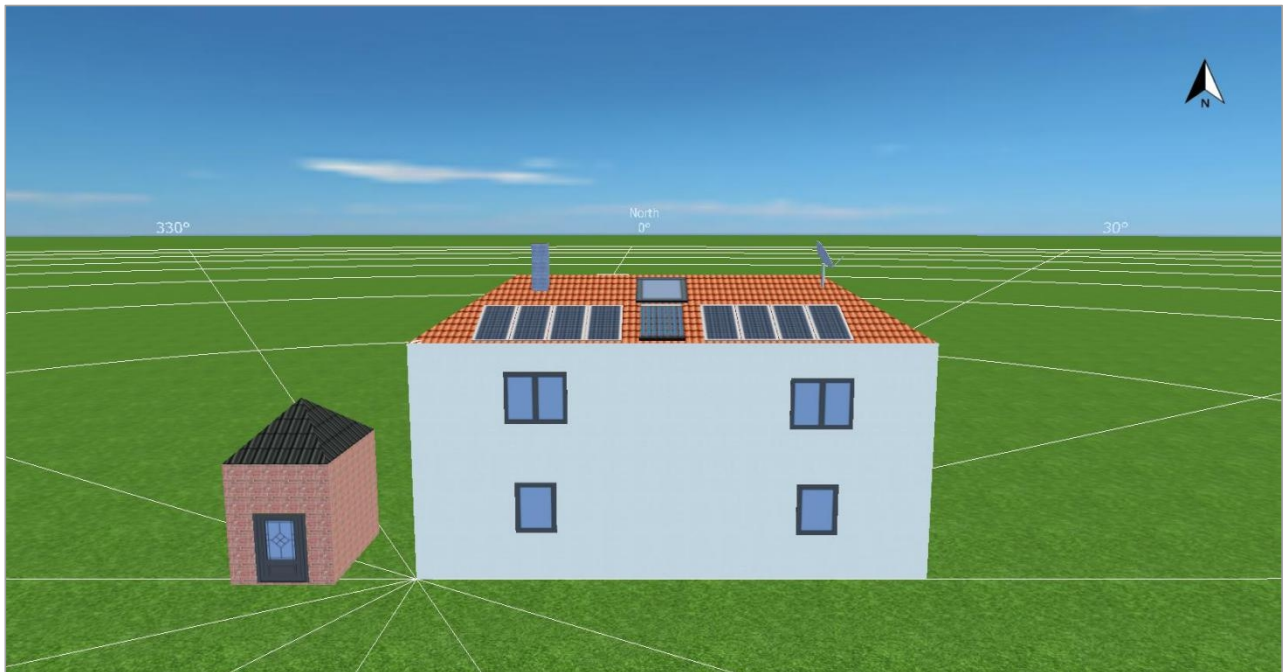
Μπορεί να προσομοιάσει και συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο και αυτόνομα . Είναι πιθανό μέσω του προγράμματος αυτού να ενσωματώσει κανείς συστήματα με αποθήκευση ακόμη και ηλεκτρικά αυτοκίνητα για τη δημιουργία του προφίλ καταναλώσεων . Ακόμη έχει την δυνατότητα τρισδιάστατης προσομοίωσης για ακόμη περισσότερη ακρίβεια σε περιπτώσεις με υψηλά δέντρα ή γενικά εμπόδια που μπορούν να προκαλέσουν τυχόν σκιάσεις κατά τη διάρκεια της μέρας .

Διαθέτει μια μεγάλη γκάμα κατασκευαστών πλαισίων , αντιστροφέων , μπαταριών αλλά προσφέρει και την δυνατότητα χειροκίνητης προσαρμογής χαρακτηριστικών .

Εκτός από την τεχνική μελέτη υπάρχει και η δυνατότητα ανάλυσης κερδοφορίας. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εισάγει τιμές αγοράς , τροφοδοσίας (της κιλοβατώρας) ή ακόμα και συμψηφισμού ώστε να έχει εικόνα της απόδοσης της επένδυσής του .

Στο τέλος της όλης διαδικασίας το λογισμικό έχει την δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε μορφή είτε pdf ή word , με διαγράμματα απόδοσης ανά μήνα.

4.4. Project Overview

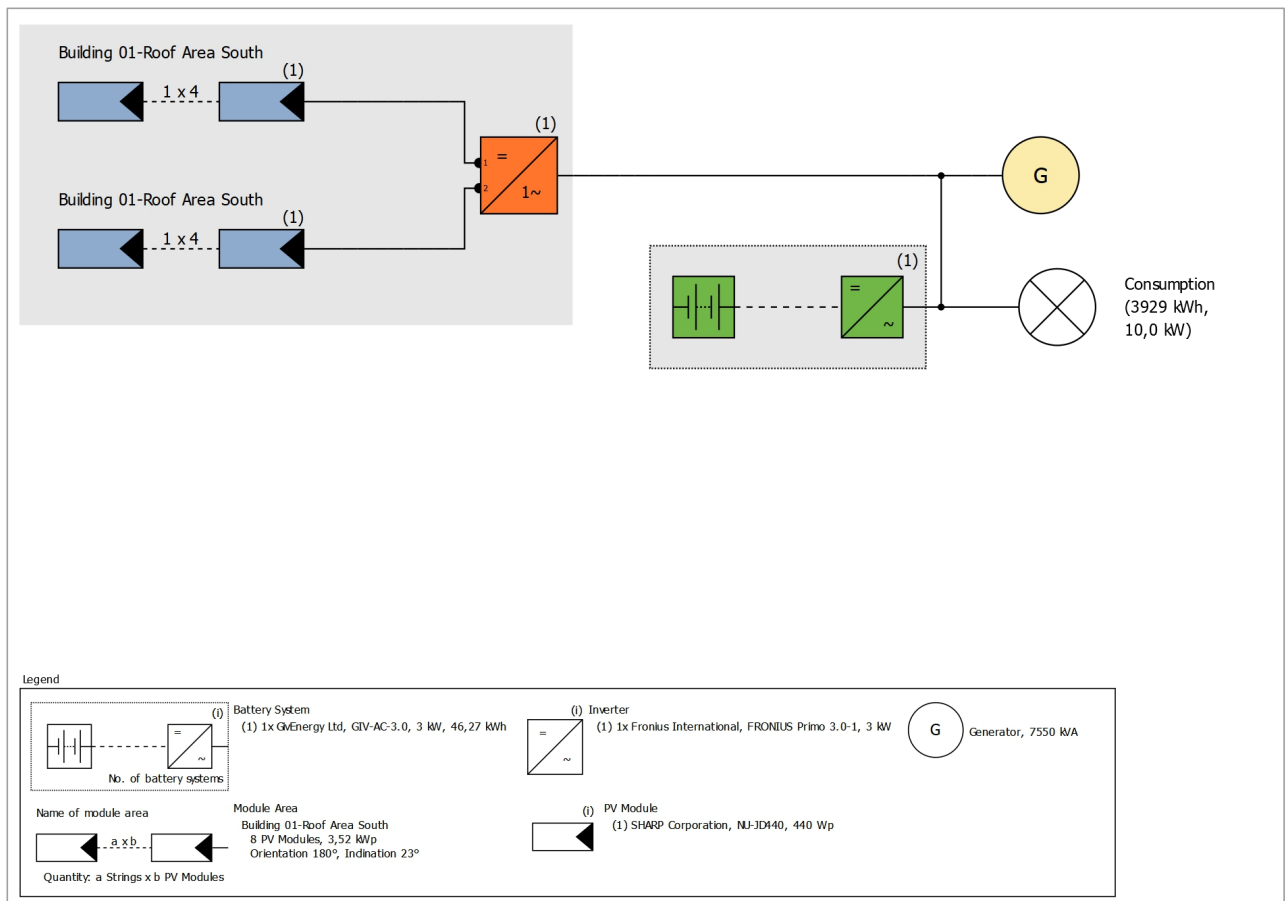


Σχήμα 1. Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου

PV System

3D, Stand-alone PV System with Backup Generator

Climate Data	Thessaloniki, GRC (1991 - 2010)	
PV Generator Output	3,52	kWp
PV Generator Surface	17,7	m ²
Number of PV Modules	8	
Number of Inverters	1	
Number of Battery Inverters	1	
Number of Batteries	24	



Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα συνδεσμολογίας

The yield

Maximum possible PV Energy	4.920	kWh
Usable PV Energy	3.696	kWh
Coverage of Consumption	1.137	kWh
Battery Charge	2.558	kWh
Solar Fraction	73,3	%
Spec. Annual Yield	1.397,60	kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	81,7	%
Yield Reduction due to Shading	0,5	%/Year

Set-up of the System

Overview

System Data

Type of System 3D, Stand-alone PV System with Backup Generator

Climate Data

Location Thessaloniki, GRC (1991 - 2010)

Resolution of the data 1 h

Simulation models used:

- Diffuse Irradiation onto Horizontal Plane	Hofmann
- Irradiance onto tilted surface	Hay & Davies

Consumption

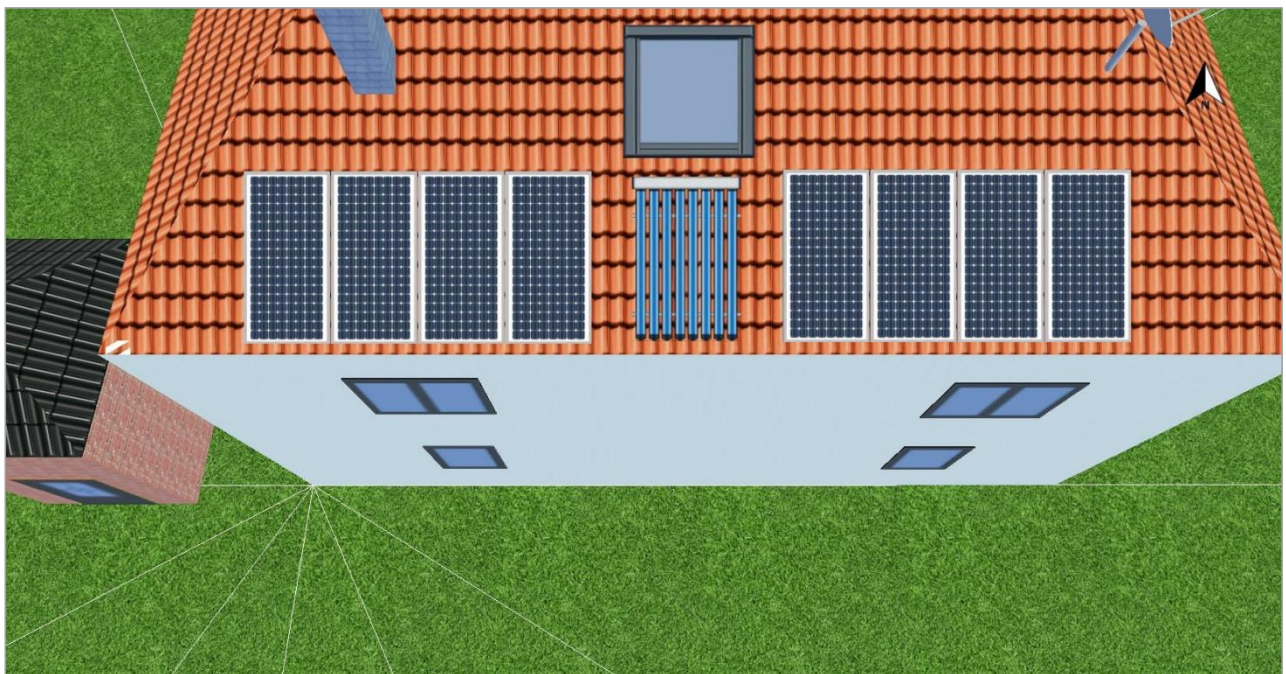
Total Consumption	3929	kWh
2 person household with one child	3929	kWh
Load Peak	10	kW

Module Areas

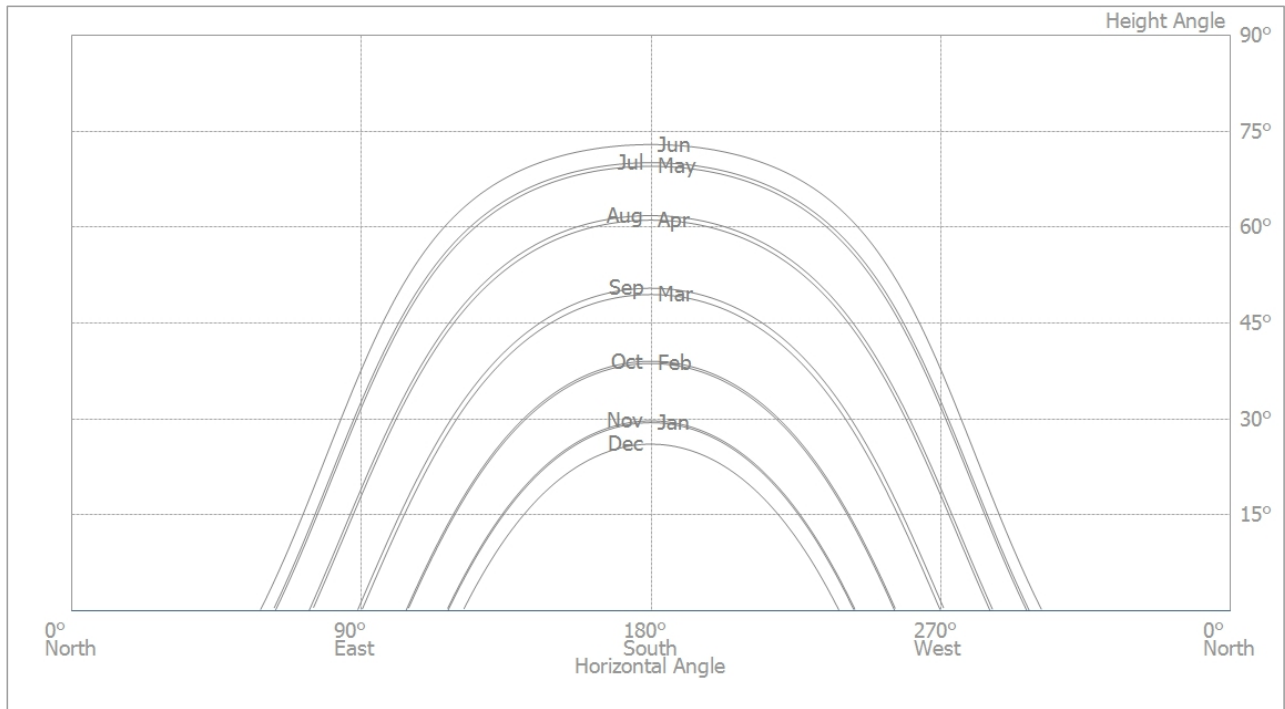
1. Module Area - Building 01-Roof Area South

PV Generator, 1. Module Area - Building 01-Roof Area South

Name	Building 01-Roof Area South
PV Modules	8 x NU-JD440 (v2)
Manufacturer	SHARP Corporation
Inclination	23 °
Orientation	South 180 °
Installation Type	Roof parallel
PV Generator Surface	17,7 m ²



Σχήμα 3. Προβολή της διάταξης των πλαισίων στην στέγη του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό
Horizon Line, 3D Design



Σχήμα 4 Οριζοντας τρισδιάστατη απεικόνιση

Inverter configuration

Configuration 1

Module Area	Building 01-Roof Area South	
Inverter 1		
Model	FRONIUS Primo 3.0-1 (v1)	
Manufacturer	Fronius International	
Quantity	1	
Sizing Factor	117,3 %	
Configuration	MPP 1: 1 x 4	
	MPP 2: 1 x 4	

AC Mains

AC Mains

Number of Phases	1	
Mains Voltage (1-phase)	230	V
Displacement Power Factor (cos phi)	+/- 1	

Stand-alone PV System

Backup Generator

Model	7.55 kW - 230 V - 1p (v2)	
Manufacturer	Kumatsugen	
Constant Power	7,55	kW

Battery Inverter and Battery

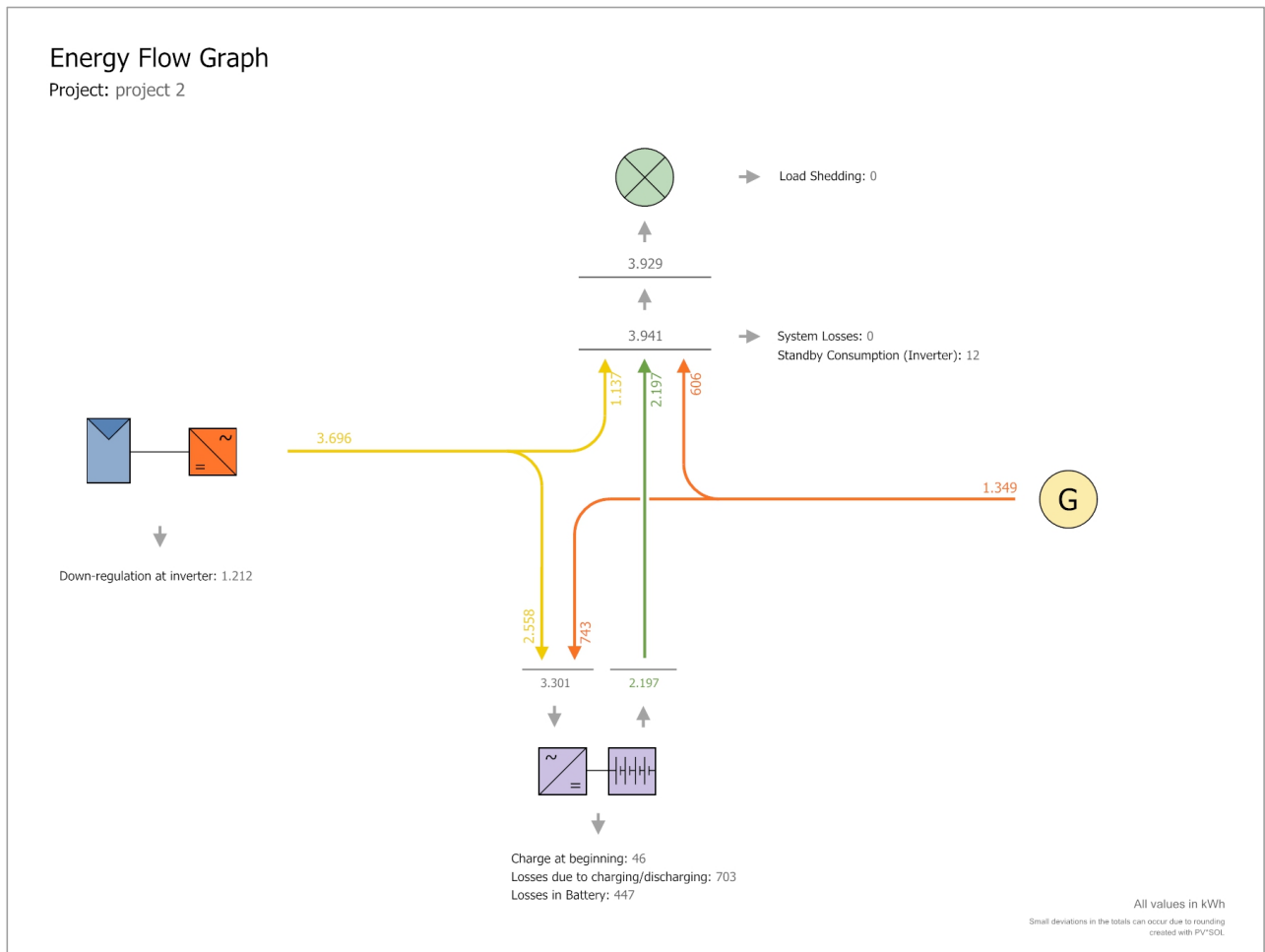
Total Power	3	kW
Total Battery Power	46,3	kWh
Autonomy Time	3,4	Days

Cluster 1

Power	3	kW
-------	---	----

Battery Inverter		
Model	GIV-AC-3.0 (v1)	
Manufacturer	GivEnergy Ltd	
Quantity	1	
Battery		
Model	7 RES OPzS 1230 - 2V	
Manufacturer	Sunlight	
Quantity	24 (24 x 1)	
Battery Type	Lead Acid - Enclosed (Gel)	
Simulation Results		
Results Total System		
PV System		
PV Generator Output	3,5	kWp
Spec. Annual Yield	1.397,60	kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	81,7	%
Yield Reduction due to Shading	0,5	%/Year
Maximum possible PV Energy	4.920	kWh/Year
Usable PV Energy	3.696	kWh/Year
Coverage of Consumption	1.137	kWh/Year
Battery Charge	2.558	kWh/Year
Appliances		
Consumption	3.929	kWh/Year
Consumption with Load Shedding	3.929	kWh/Year
Standby Consumption (Inverter)	12	kWh/Year
Cable Losses	0	kWh/Year
Total Consumption	3.941	kWh/Year
covered by PV power	1.137	kWh/Year
covered by battery	2.197	kWh/Year
covered by auxiliary generator	606	kWh/Year
Solar Fraction	73,3	%
Backup Generator		
Backup Generator Energy	1.349	kWh/Year
Coverage of Consumption	606	kWh/Year
Battery Charge	743	kWh/Year
Fuel Consumption	574	l/Year
Battery System		
Battery Charging	3.301	kWh/Year
PV System	2.558	kWh/Year
Backup Generator	743	kWh/Year
Coverage of Consumption by the Battery System	2.197	kWh/Year
Losses due to charging/discharging	703	kWh/Year
Losses in Battery	447	kWh/Year
Cycle Load 1	3,5	%

Service Life 1	>12	Years
Total System		
System Efficiency	62,7	%
CO ₂ Emissions avoided	1.213	kg / year



Σχήμα 5. Απεικόνιση Ροή ενέργειας

Financial Analysis

Your Gain

Fuel Costs	875.87 €/Year
Total investment costs	19859.25 €
Return on Assets	0,00 %
Amortization Period	0,0 Years
Electricity Production Costs	0 €/kWh
Specific Costs	0.48 €/kWh

Overview

System Data

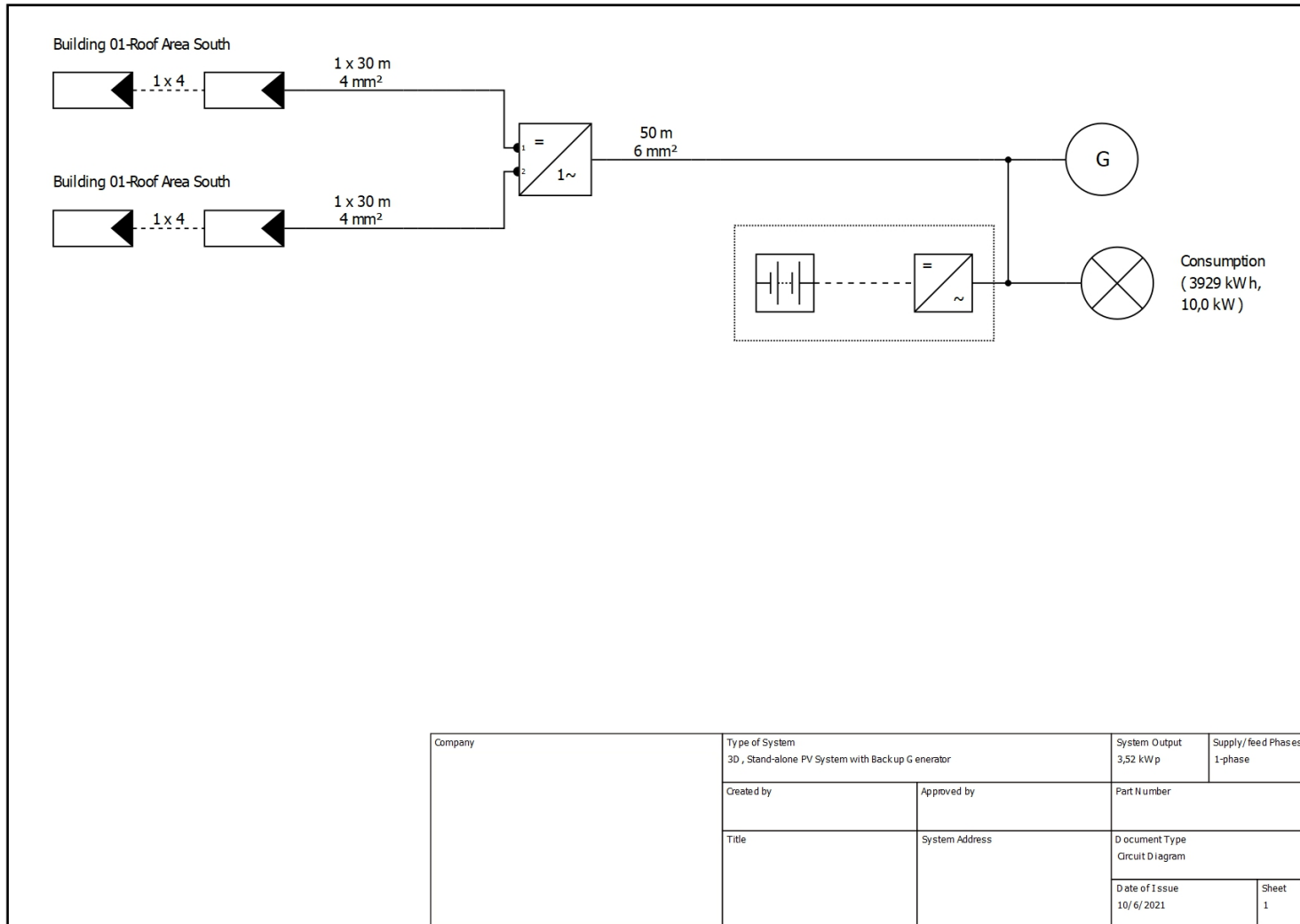
Assessment Period	20 Years	Cost
Number of system components		
Number of PV Modules	8	1.832 €
Number of Inverters	1	3.332,75 €
Number of Battery Inverters	1	525 €
Number of Batteries	24	11.232 €
Number of Backup Generators	1	1.120 €

Financial Analysis

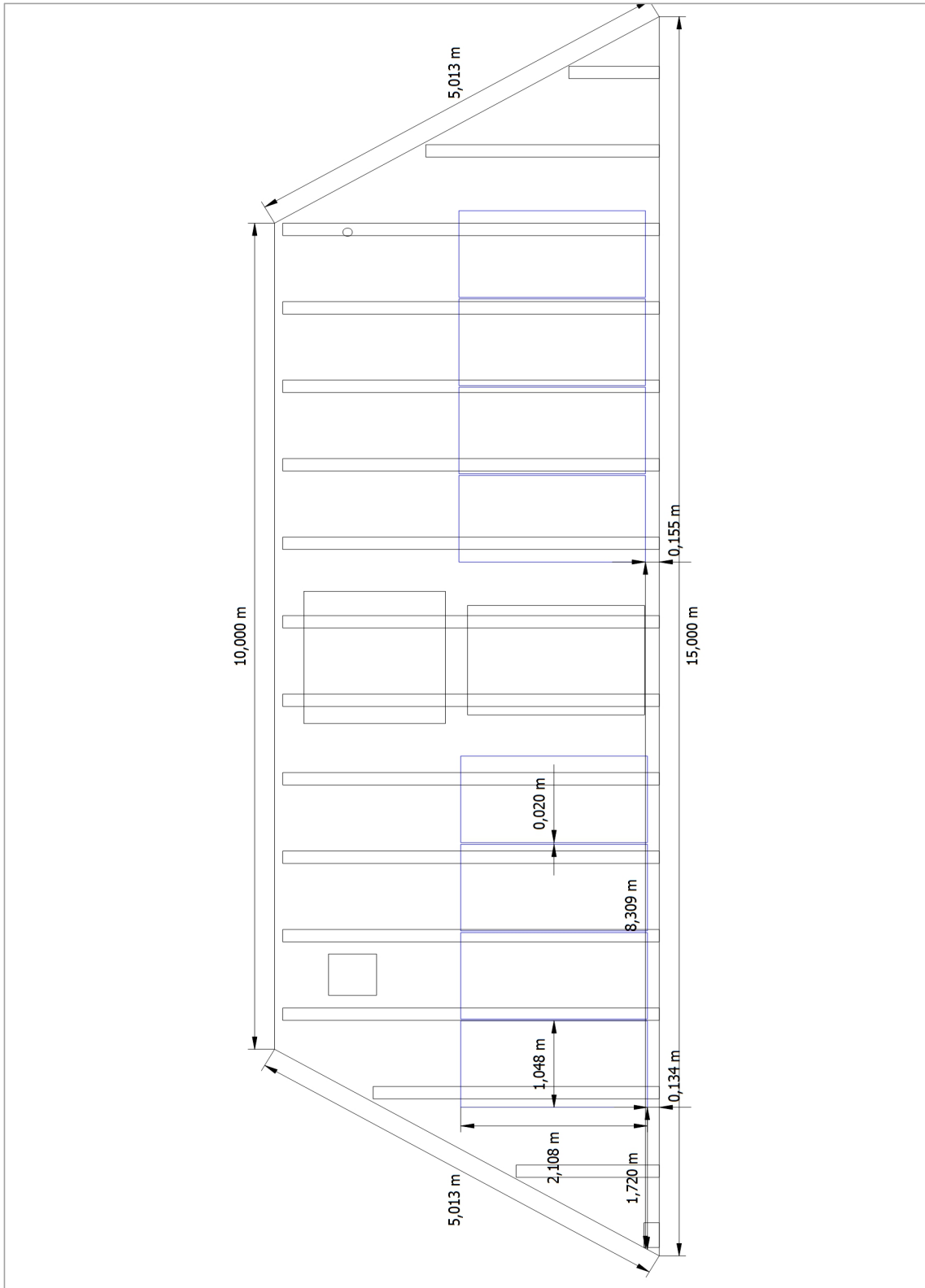
Fuel Costs	875.87 €/Year
Total Investment Costs	19859.25 €
Specific Costs	0.48 €/kWh

Plans and parts list

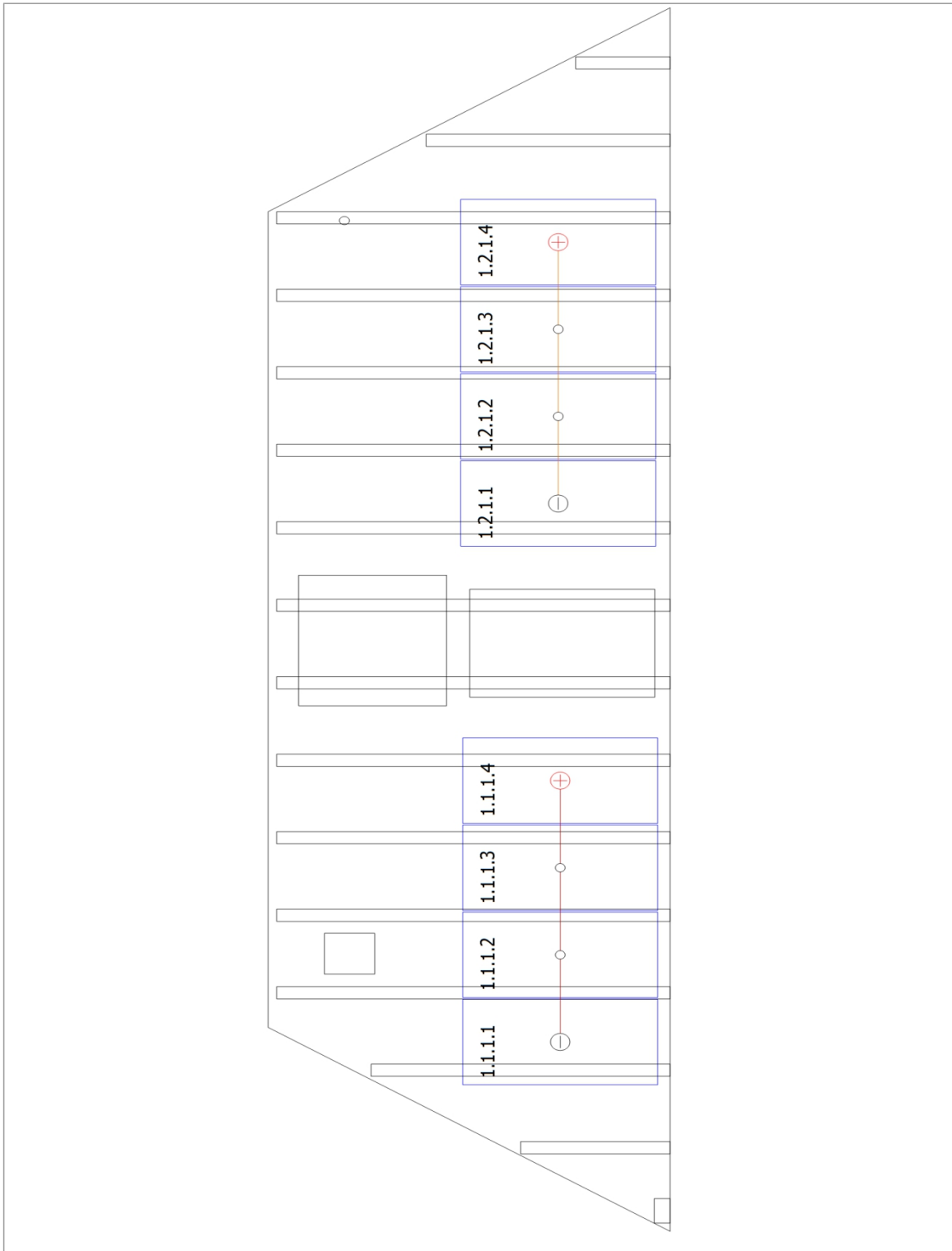
Circuit Diagram



Σχήμα 6. Απεικόνιση Μονογραμμικού σχεδίου και μήκη καλωδίων



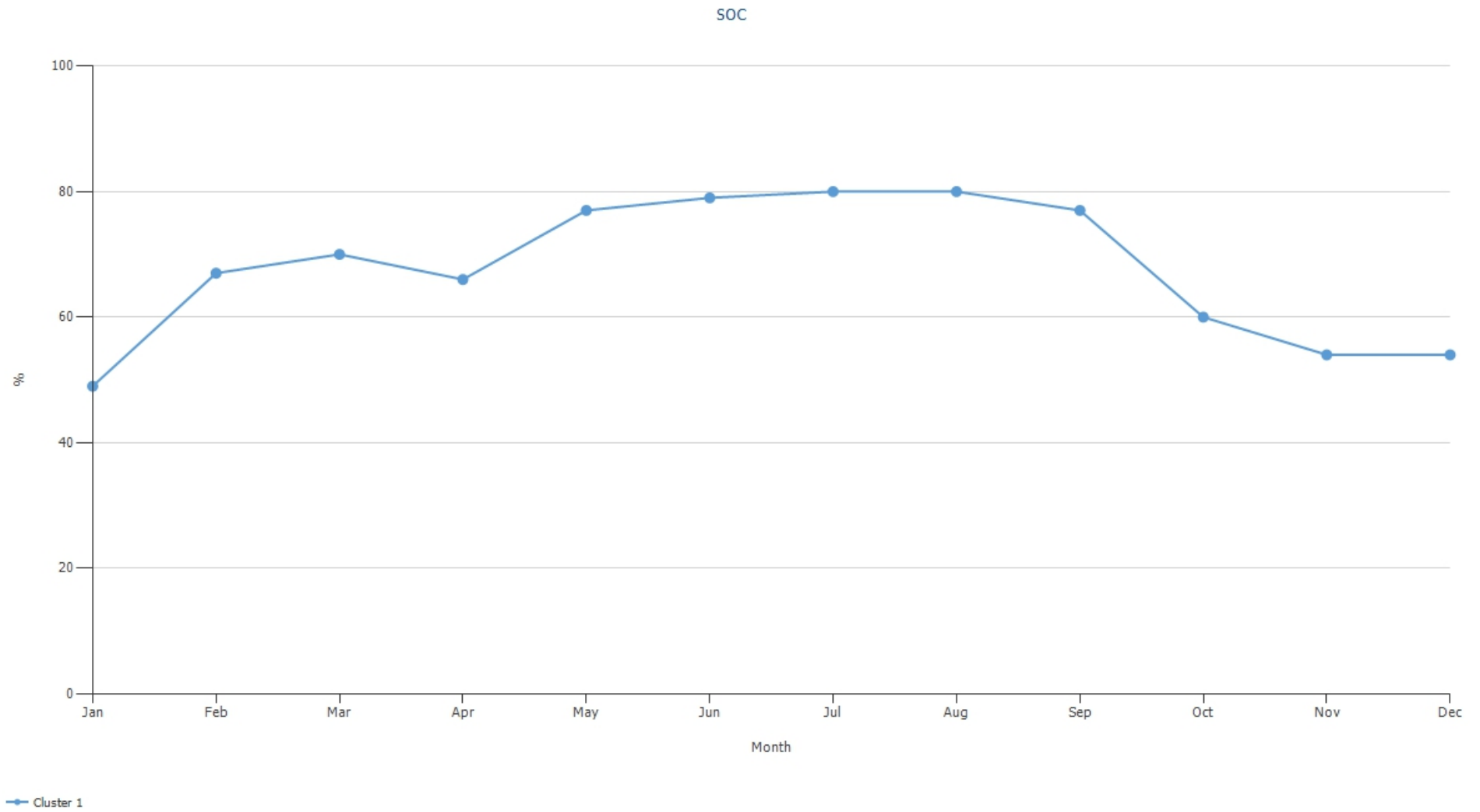
Σχήμα 7 . Απεικόνιση τοποθέτησης και εγκατάστασης των πλαισίων στην στέγη



Σχήμα 8. Απεικόνιση των καλωδιώσεων

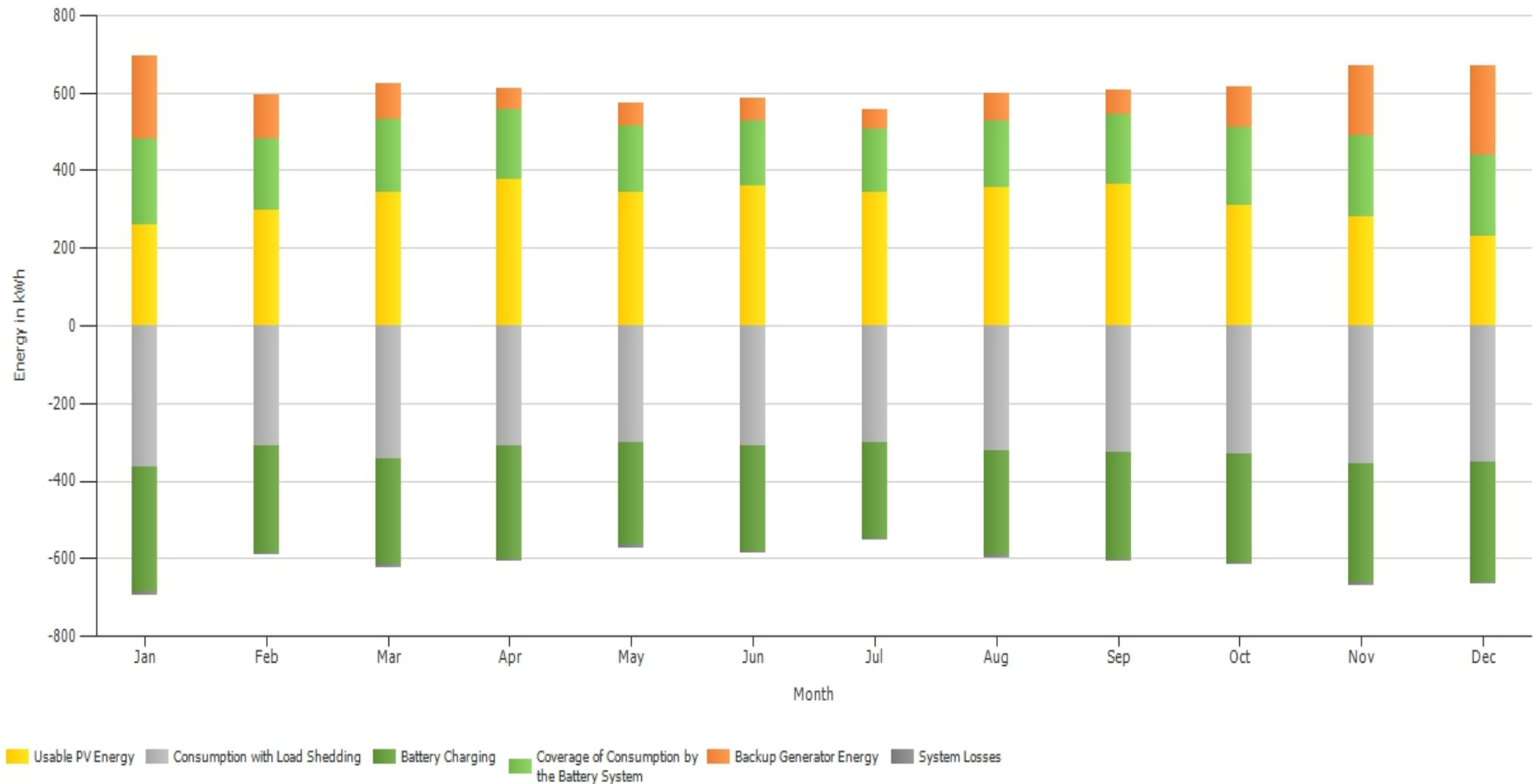
Πίνακας Parts list

#	Type	Item number	Manufacturer	Name	Quantity	Unit
1	PV Module		SHARP Corporation	NU-JD440	8	Piece
2	Inverter		Victron Energy	Victron Energy 1 Quattro 48/8000/110-11/1		Piece
3	Backup Generator		Kumatsugen	7.55 kW - 230 V - 1 lp		Piece
4	Battery Inverter		Victron Energy	Victron EnergyBluesolar MPPT 150/60	1	Piece
5	Battery		Sunlight	Sunlight 7 RES24 OPzS-2V 1040 Ah		Piece



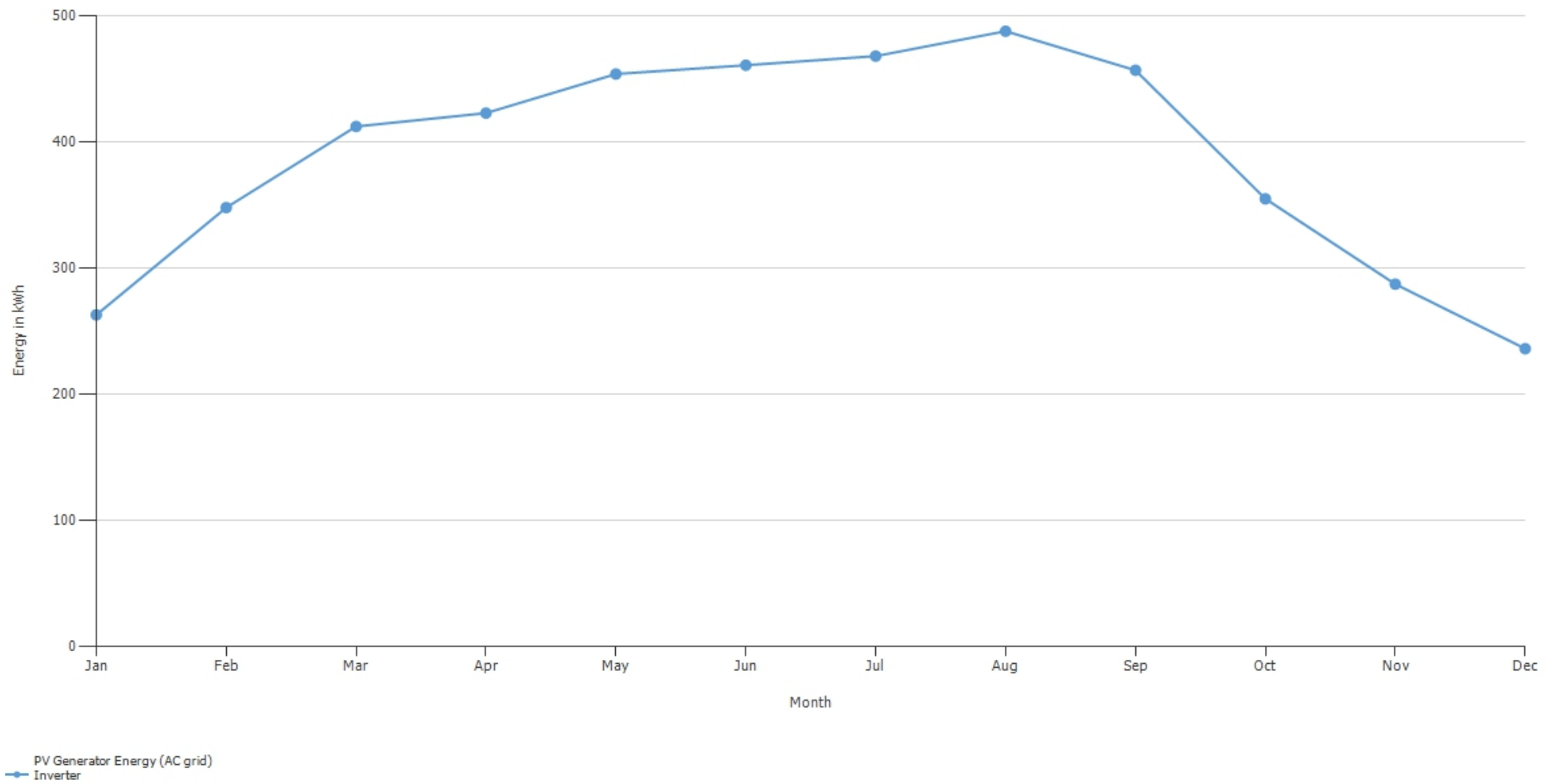
Σχήμα 9. Απεικόνιση της κατάστασης φόρτισης των μπαταριών κάθε μήνα

Production Forecast with consumption



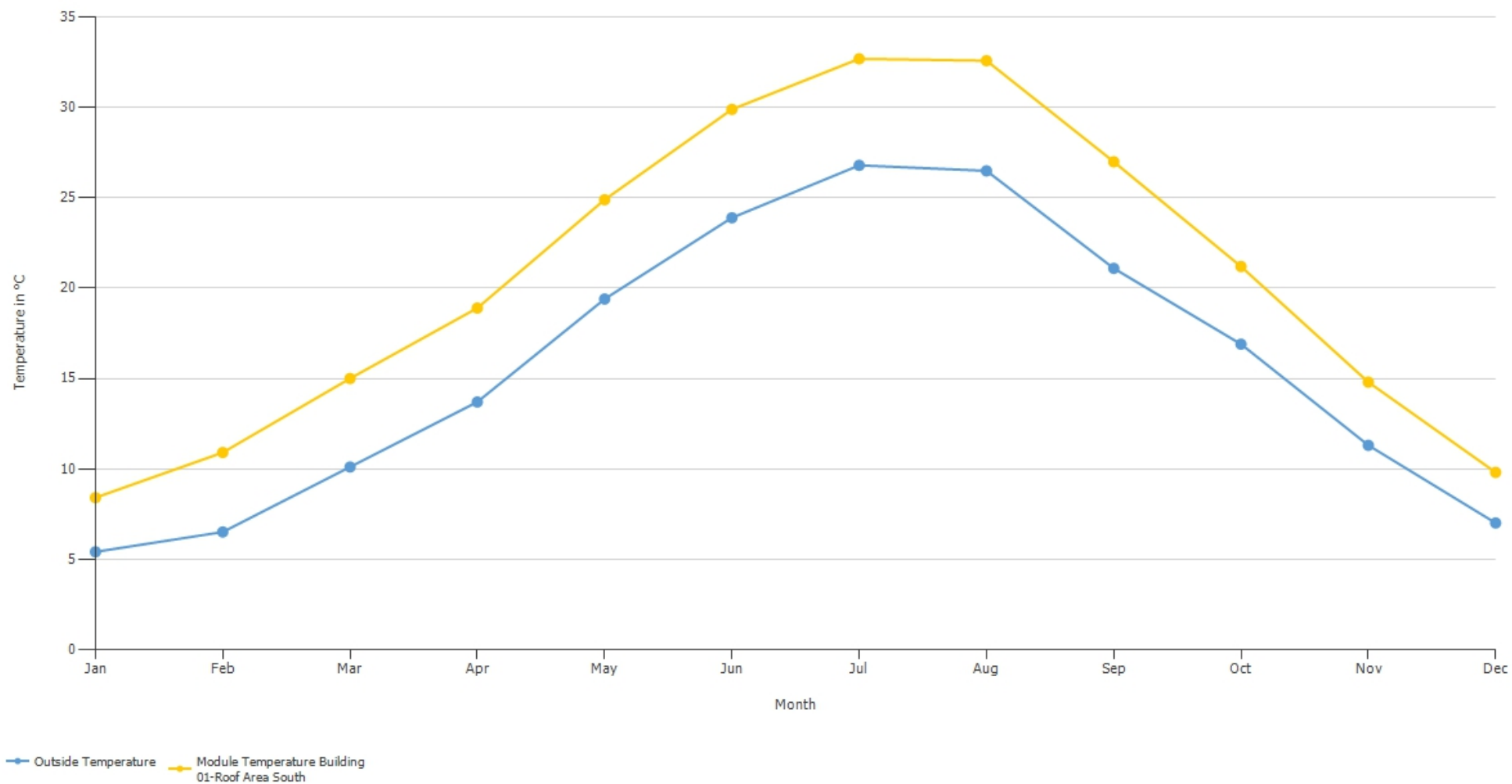
Σχήμα 10. Απεικόνιση της ενέργειας κατά μήνα .Με κίτρινο χρώμα φαίνεται η ενέργεια που καταναλώθηκε την ίδια στιγμή που παράχθηκε από τα φβ πλαίσια . Με ανοιχτό γκρι χρώμα οι καταναλώσεις την διάρκεια που γίνεται οικονομία αυτής . Με σκούρο πράσινο η φόρτιση των μπαταριών . Με ανοιχτό πράσινο η κάλυψη καταναλώσεων από τις μπαταρίες . Με πορτοκαλί η ενέργεια που διοχετεύθηκε από την γεννήτρια. Με σκούρο γκρι οι απώλειες .

Production Forecast per Inverter



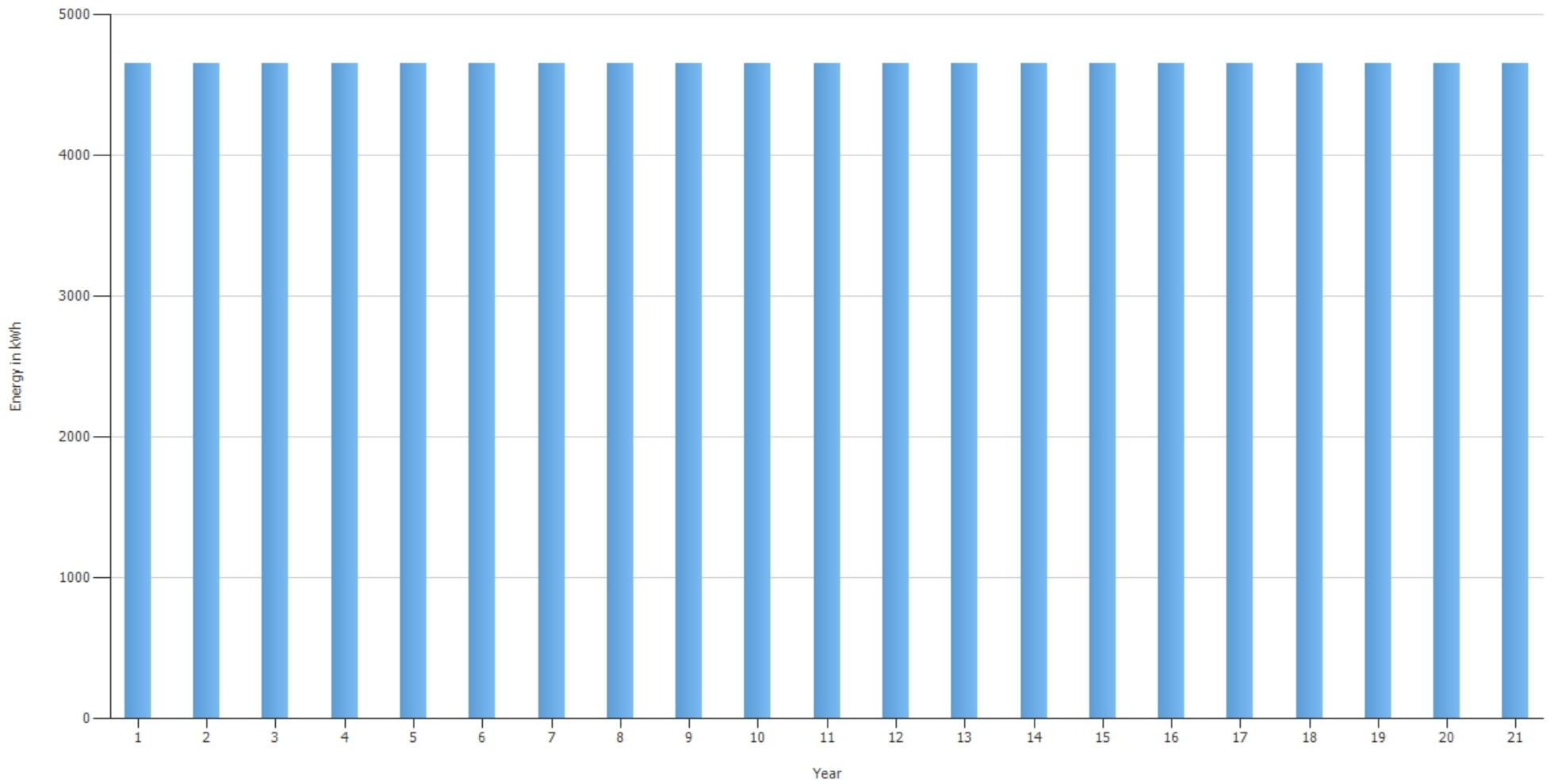
Σχήμα 11.Απεικόνιση της παραγωγής ενέργειας από τον αντιστροφέα .

Temperature per module area



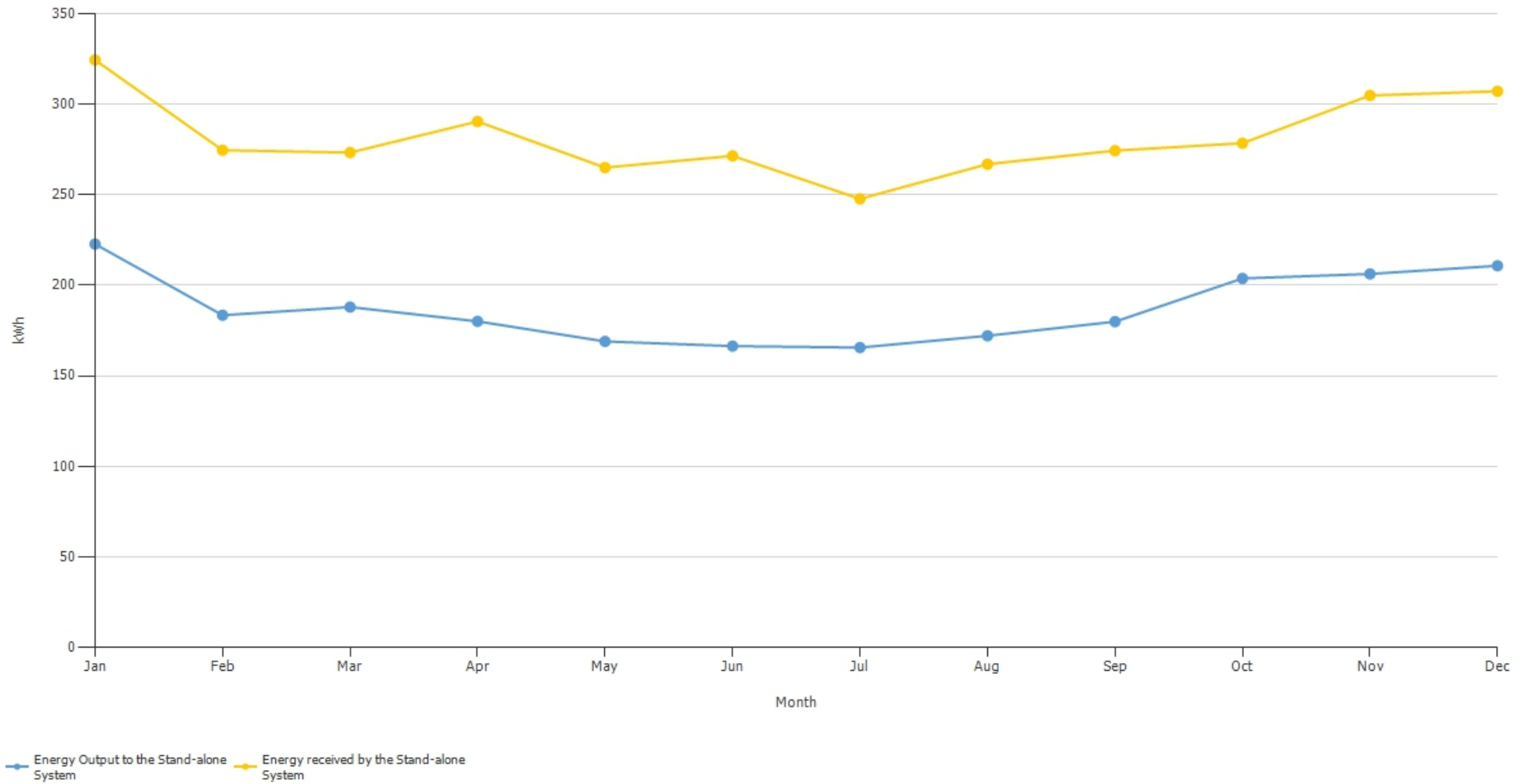
Σχήμα 12. Απεικόνιση της εξωτερικής θερμοκρασίας με μπλε χρώμα , και θερμοκρασίας των πλαισίων με κίτρινο χρώμα

PV energy during observation period



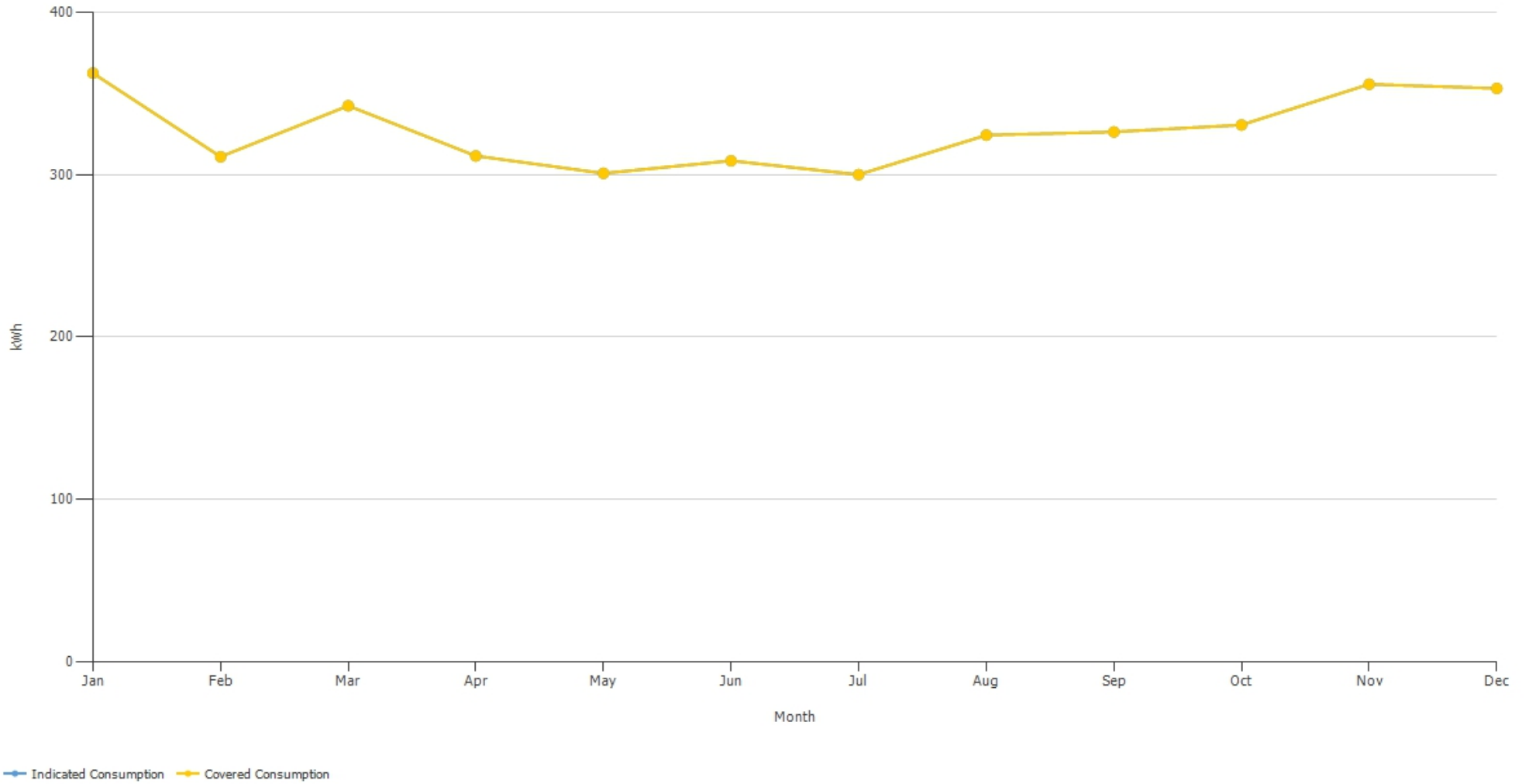
Σχήμα 13. Απόδοση του συστήματος με την πάροδο ετών , παρατηρείται σταθερή πορεία απόδοσης του συστήματος σε βάθος εικοσαετίας, όπως εγγυώνται και οι κατασκευαστές .

Energy from the Battery Inverters



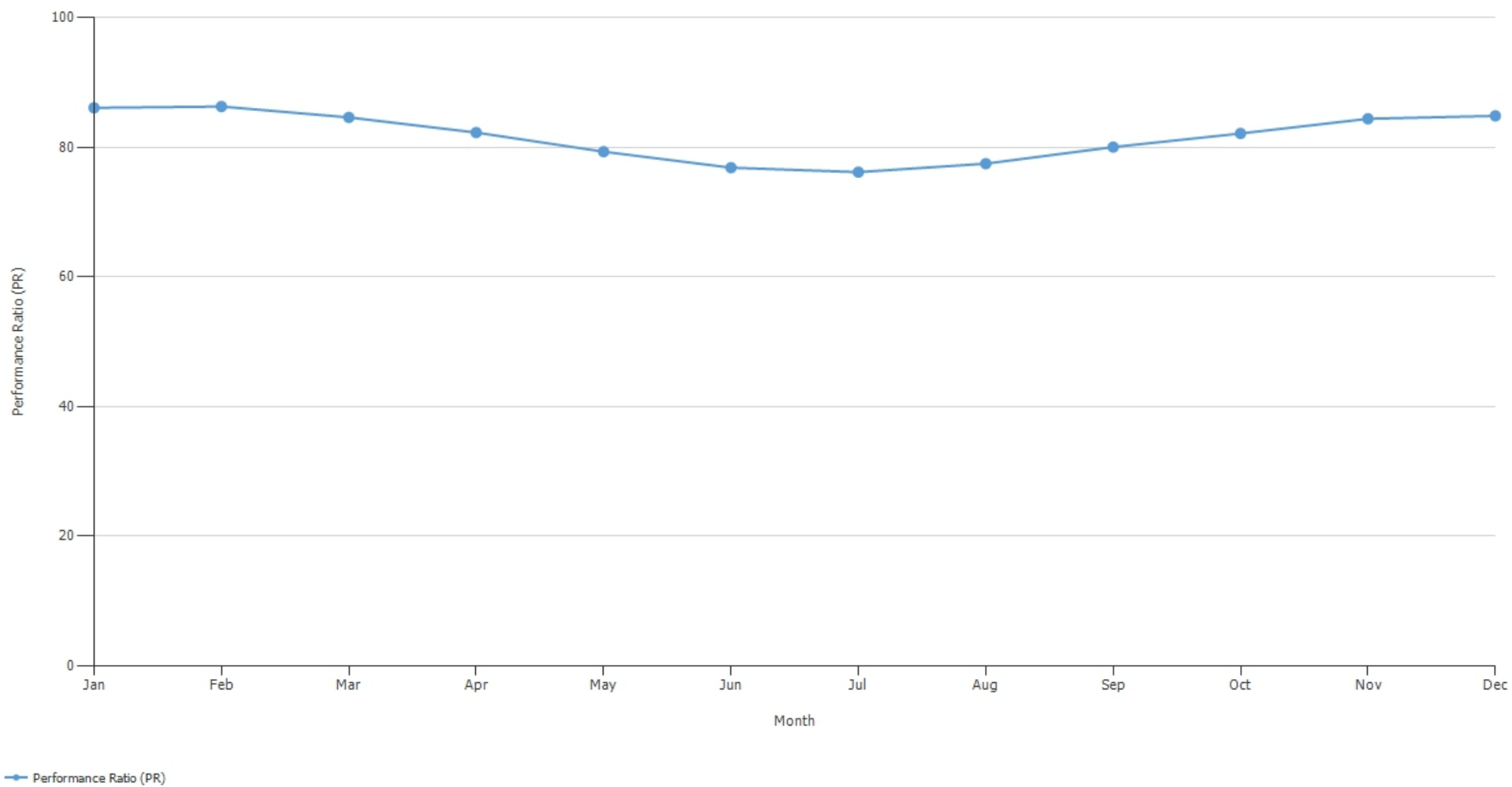
Σχήμα 14. Με μπλέ χρώμα φαίνεται η ενέργεια που δόθηκε στις μπαταρίες και με κίτρινο η ενέργεια που λήφθηκε από αυτές

Appliances



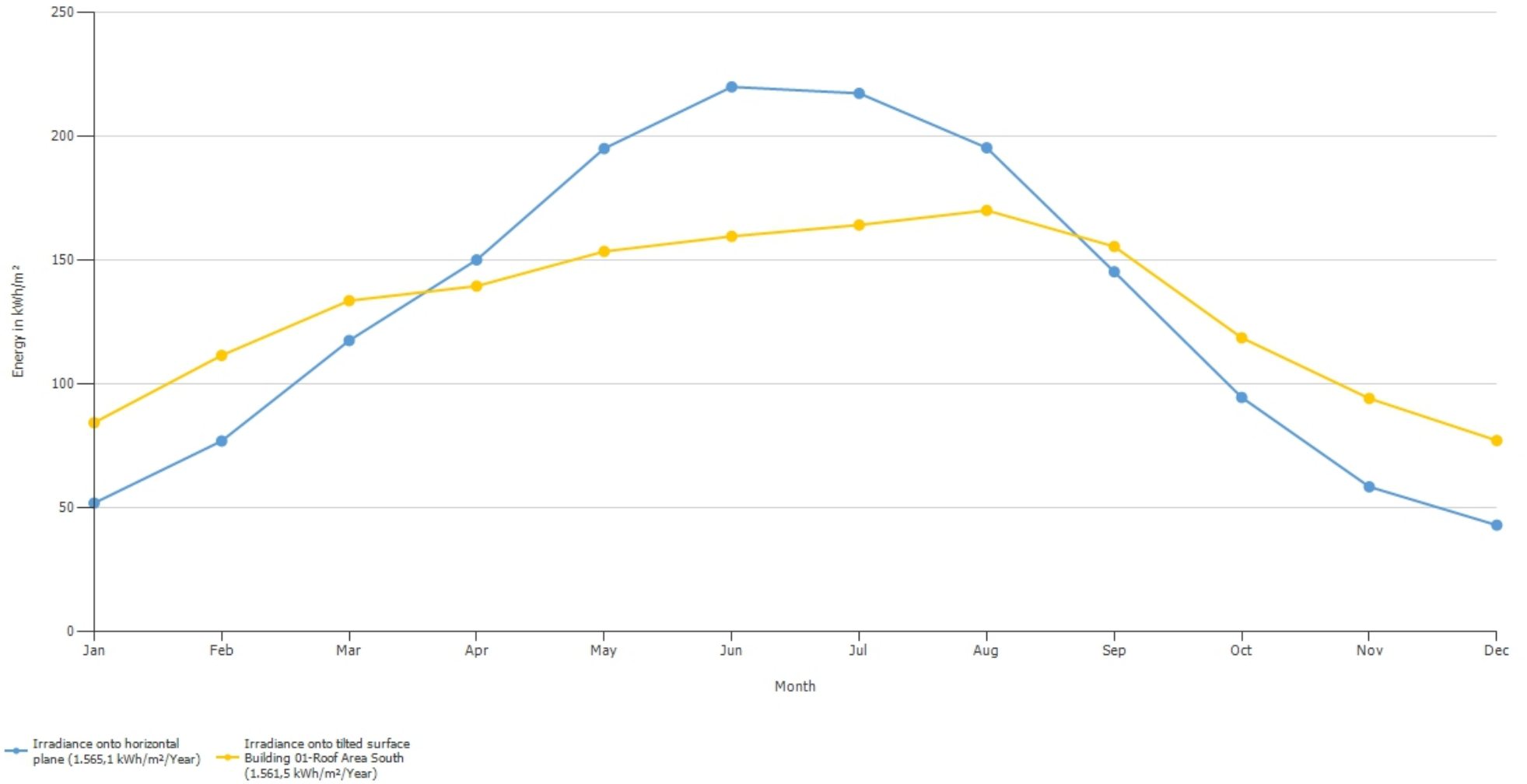
Σχήμα 15. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η απαιτούμενη ενέργεια ενώ με κίτρινο η κατανάλωση που καλύφθηκε , οι δύο γραμμές είναι καλυπτόμενες πράγμα που σημαίνει ότι το νοικοκυριό δεν έμεινε κάποια στιγμή χωρίς ρεύμα

Performance Ratio (PR) per Inverter

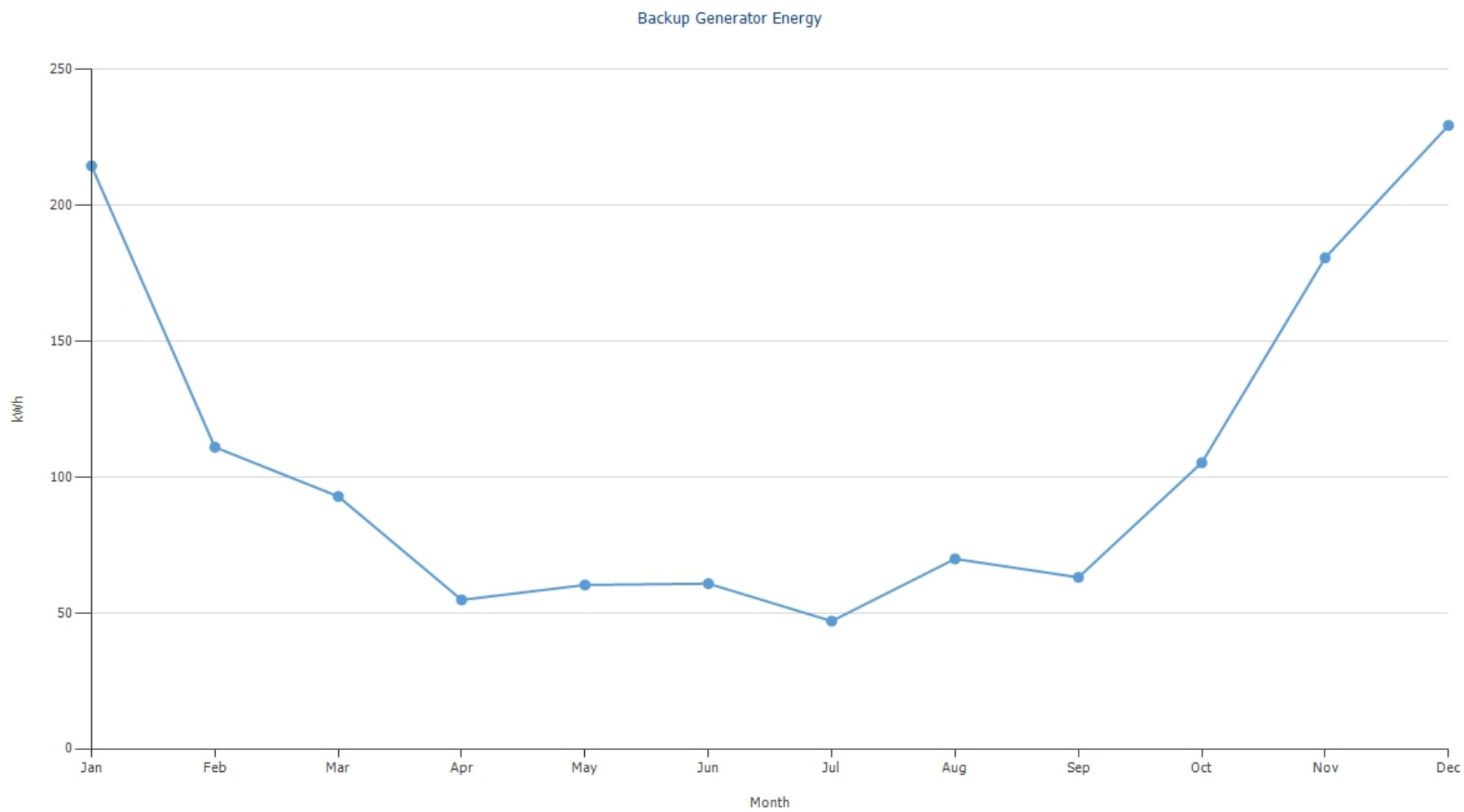


Σχήμα 16. Απεικόνιση της απόδοσης του αντιστροφέα σε ποσοστό επί τοις εκατό με την πάροδο των μηνών

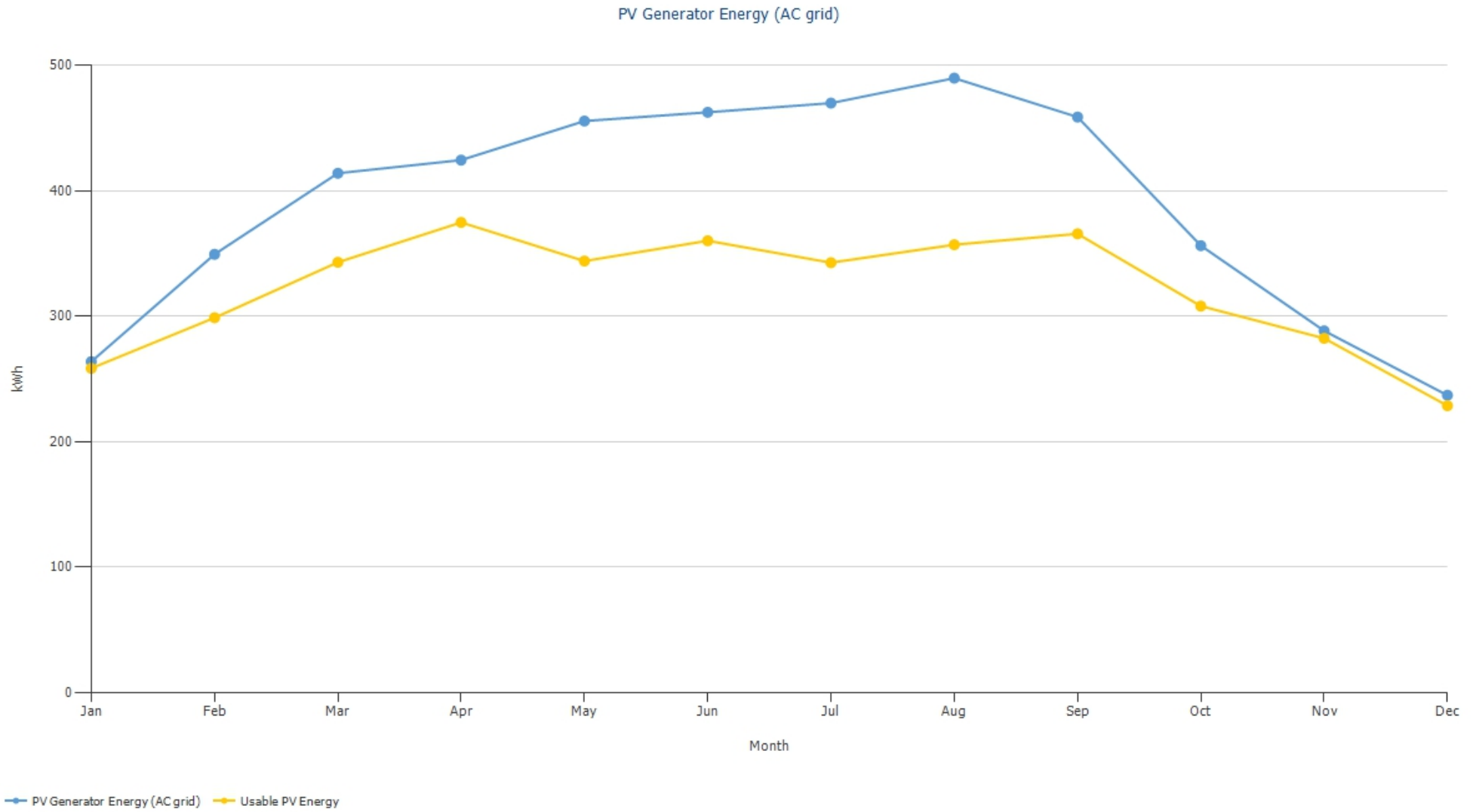
Irradiance per module area



Σχήμα 17. Με μπλέ χρώμα απεικονίζεται η ακτινοβολία των πλαισίων στη περίπτωση που ήταν τοποθετημένα στο έδαφος, ενώ με κίτρινο η ένταση ακτινοβολιάς των πλαισίων τοποθετημένα σε στέγη .



Σχήμα 19. Απεικόνιση της ενέργειας που παράχθηκε από την εφεδρική γεννήτρια ντίζελ .



Σχήμα 20. Με μπλέ χρώμα φαίνεται η παραχθείσα ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, και με κίτρινο η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε.

5. Συμπεράσματα

Σε αυτήν την εργασία αναλύσαμε την σημαντικότητα της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας . Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και ποιοί παράγοντες μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της απόδοσης του συστήματος και πως να προληφθούν .

Στην αρχή της μελέτης είδαμε ποιά είναι η ιδανική κλίση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών με βάση το γεωγραφικό μήκος και πλάτος και ποιά πρέπει να είναι η απόσταση μεταξύ των σειρών ώστε να μην υπάρχουν τυχόν σκιάσεις .

Είδαμε επιπλέον αναλυτικά τα μέρη που αποτελούν την φωτοβολταϊκή γεννήτρια τα πλαίσια δηλαδή και τους αντιστροφείς , και τα διαφορετικά είδη βάσεων που υπάρχουν στην αγορά .

Οι ετήσιες καταναλώσεις της οικίας αγγίζουν τις 4000 kWh . Για το λόγο αυτό η συνολική ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι 3,5 kW . Χρησιμοποιήθηκαν 8 φωτοβολταϊκά πλαίσια με ονομαστική ισχύ 440 Wp . Με βάση την ηλεκτρική παροχή του σπιτιού επιλέχθηκε η εφεδρική γεννήτρια 8 kVA δηλαδή . Γνωρίζοντας αυτό επιλέχθηκε ο αντιστροφέας που θα πρέπει να έχει τουλάχιστον την ίδια ονομαστική ισχύ καθώς στην συγκεκριμένη περίπτωση για μείωση κόστους περιέχει ρυθμιστή φόρτισης εσωτερικά . Αυτά συνδέονται μεταξύ τους ώστε σε περίπτωση συνεχόμενων ημερών με συννεφιά να μην επιτρέψουν στις μπαταρίες να πέσει η στάθμη κάτω από 60% και μειωθεί έτσι ο κύκλος ζωής των .

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης 24 μπαταρίες της εταιρείας Sunlight με 1040 Ah η καθεμία και συνδέθηκαν παράλληλα ώστε η τάση να φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο δηλαδή 48 V .

Τέλος αναφέρθηκε με ποιόν τρόπο έγινε η στήριξη των πλαισίων στην σκεπή και λήφθηκαν υπόψιν τα “εμπόδια που προϋπήρχαν (καμινάδα, κεραία) .

Η μελέτη τελειώνει με τα διαγράμματα να απεικονίζουν το ποσό της ισχύς που χρειάστηκε, από ποιά πηγή προήλθε και πόση ισχύς έμεινε ανεκμετάλλευτη για κάθε μήνα καθώς και τη στάθμη των μπαταριών .

6. Βιβλιογραφία

- [1] L. Aldieri και C. P. Vinci, «Green economy and sustainable development: The economic impact of innovation on employment,» *Sustainability*, 10(10), p. 3541, 2018.
- [2] O. Lavrinenko, S. Ignatjeva, A. Ohotina, O. Rybalkin και D. Lazdans, «The role of green economy in sustainable development (case study: the EU states),» *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 6(3), p. 1113, 2019.
- [3] Y. Vertakova και V. Plotnikov, «Problems of sustainable development worldwide and public policies for green economy,» *Economic Annals-XXI*, (166), pp. 4-11, 2017.
- [4] L. V. Matraeva, «Methodological approaches to estimation of energy efficiency within the framework of the concept of green economy and sustainable development.,» 2017.
- [5] M. Wang, X. Zhao, Q. Gong και Z. Ji, «Measurement of regional green economy sustainable development ability based on entropy weight-topsis-coupling coordination degree—A case study in Shandong Province, China,» *Sustainability*, 11(1), p. 280, 2019.
- [6] S. M. Khoshnava, R. Rostami, R. M. Zin, D. Štreimikienė, A. Yousefpour, W. Strielkowski και A. Mardani, «Aligning the criteria of green economy (GE) and sustainable development goals (SDGs) to implement sustainable development,» *Sustainability*, 11(17), p. 4615, 2019.
- [7] H. Neofytou, Y. Sarafidis, N. Gkonis, S. Mirasgedis και D. Askounis, «Energy Efficiency contribution to sustainable development: A multi-criteria approach in Greece,» *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, pp. 1-33, 2020.
- [8] S. Jovanovic, «Working group set up for Vojvodina to get first geothermal power plants,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://balkangreenenergynews.com/working-group-set-up-for-vojvodina-to-get-first-geothermal-power-plants/>.
- [9] European Commission, «Kick - starting the journey towards a climate - neutral Europe by 2050,» 2020.
- [10] F. Bassi και J. G. Dias, «Sustainable development of small-and medium-sized enterprises in the European Union: A taxonomy of circular economy practices,» *Business Strategy and the Environment*, 29(6), pp. 2528-2541, 2020.
- [11] F. Bassi και J. G. Dias, «Sustainable development of small-and medium-sized enterprises in the European Union: A taxonomy of circular economy practices,» *Business Strategy and the Environment*, 29(6), pp. 2528-2541, 2020.
- [12] P. Fraga-Lamas και T. M. Fernández-Caramés, «Leveraging Blockchain for Sustainability and Open Innovation: A Cyber-Resilient Approach toward EU Green Deal and UN Sustainable Development Goals,» σε *Computer Security Threats*, 2020.
- [13] R. B. Swain και A. Karimu, «Renewable electricity and sustainable development goals in the EU,» *World Development*, 125, p. 104693,

2020.

- [14] E. Chodakowska και J. Nazarko, «Assessing the Performance of Sustainable Development Goals of EU Countries: Hard and Soft Data Integration,» *Energies*, 13(13), p. 3439, 2020.
- [15] L. Dogaru, «Green Economy and Green Growth—Opportunities for Sustainable Development,» σε *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2021.
- [16] I. Bak, K. Cheba και I. Lacka, «Sustainable development and innovations-how they work together?.,» 2020.
- [17] O. Fitch-Roy, D. Benson και D. Monciardini, «Going around in circles? Conceptual recycling, patching and policy layering in the EU circular economy package,» *Environmental Politics*, 29(6), pp. 983-1003, 2020.
- [18] CR, «Libya begins construction of 100MW solar power plant in Kufra town,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://constructionreviewonline.com/ongoing-projects/proposed-office-for-african-guarantee-fund-along-muthangari-rd-lavington-nairobi-kenya/>.
- [19] L. Yang, «Rise of offshore wind power boosts the demand for larger, more efficient offshore vessels,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wartsila.com/insights/article/rise-of-offshore-wind-power-boosts-the-demand-for-larger-more-efficient-offshore-vessels>.
- [20] L. Feuken, «GABON: AfDB finances construction of two hydroelectric power plants,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.afrik21.africa/en/gabon-afdb-finances-construction-of-two-hydroelectric-power-plants/>.
- [21] I. Shmukov, «EMEC to help develop 4.5-MW tidal energy test site in Korea,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://renewablesnow.com/news/emec-to-help-develop-45-mw-tidal-energy-test-site-in-korea-706142/>.
- [22] A. S. Aziz, M. F. N. Tajuddin, M. R. Adzman και M. A. Ramli, «Impacts of albedo and atmospheric conditions on the efficiency of solar energy: A case study in temperate climate of Choman, Iraq,» *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 2021.
- [23] N. Q. Mohammed, M. S. Ahmed, M. A. Mohammed, O. A. Hammood, H. A. N. Alshara και A. A. Kamil, «Comparative Analysis between Solar and Wind Turbine Energy Sources in IoT Based on Economical and Efficiency Considerations,» *In 2019 22nd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS) (pp. 448-452). IEEE.*, 2019.
- [24] ΥΠΕ, «Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ηλιακή Ενέργεια, διαθέσιμο σε <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286&language=el-GR>,» Αθήνα, 2018.
- [25] K. Adeyeye, N. Ijumba και J. Colton, «Exploring the environmental and economic impacts of wind energy: a cost-benefit perspective,» *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 27(8), pp. 718-731, 2020.
- [26] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins και E. Boassanyi, *Wind energy handbook.*, John Wiley & Sons., 2001.

- [27] E. Barbier, «Geothermal energy technology and current status: an overview,» *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), pp. 3-65, 2002.
- [28] J. W. Lund, D. H. Freeston και T. L. Boyd, «Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review,» *Geothermics*, 40(3), pp. 159-180, 2011.
- [29] Greenpeace, «Μελέτη ανάλυσης και σχεδιασμού του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 2017-2035,» <https://www.greenpeace.org/static/planet4-greece-stateless/2018/03/meleti-analushs-2017-2035.pdf>, 2017.
- [30] A. Campoccia, L. Dusonchet, E. Telaretti και G. Zizzo, «Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar PV and Wind systems: Four representative European cases,» *Solar Energy*, 83(3), pp. 287-297, 2009.
- [31] E. Elibol, Ö. T. Özmen, N. Tutkun και O. Köysal, «Outdoor performance analysis of different PV panel types,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp. 651-661, 2017.
- [32] A. H. Al-Waeli, K. Sopian, H. A. Kazem και M. T. Chaichan, «Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, pp. 109-130, 2017.
- [33] M. J. Khan, A. K. Yadav και L. Mathew, «Techno economic feasibility analysis of different combinations of PV-Wind-Diesel-Battery hybrid system for telecommunication applications in different cities of Punjab, India,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, pp. 577-607, 2017.
- [34] D. Azuatalam, K. Paridari, Y. Ma, M. Förstl, A. C. Chapman και G. Verbič, «Energy management of small-scale PV-battery systems: A systematic review considering practical implementation, computational requirements, quality of input data and battery degradation.,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, pp. 555-570, 2019.
- [35] S. Salisu, M. W. Mustafa, L. Olatomiwa και O. O. Mohammed, «Assessment of technical and economic feasibility for a hybrid PV-wind-diesel-battery energy system in a remote community of north central Nigeria.,» *Alexandria Engineering Journal*, 58(4), pp. 1103-1118, 2019.
- [36] G. Angenendt, S. Zurmühlen, H. Axelsen και D. U. Sauer, «Comparison of different operation strategies for PV battery home storage systems including forecast-based operation strategies,» *Applied energy*, 229, pp. 884-899, 2018.
- [37] M. Saberi, S. A. Ahmadi, F. J. Ardakani και G. H. Riahy, «Optimal sizing of hybrid PV and wind energy system with backup of redox flow battery to postpone grid expansion investments,» *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(5), p. 055903, 2018.
- [38] mp energy "φωτοβολταϊκά με απλά λόγια" available : <https://www.mp-energy.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CE%B2%CE%BF%CE%B7%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB>

%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CE%BC%CE%B5-%CE%B1%CF%80%CE%BB%CE%B1-%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%B1.html

- [39] seia (Solar Energy Industries Association) available :<https://www.seia.org/solar-industry-research-data>
- [40] Hlektrologia.gr Οδηγίες για τον έλεγχο ηλεκτρικών εγκαταστάσεων available : hlektrologia.gr
- [41] Δρ. ΠΕΤΡΟΣ ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ (Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων Γενική Συνομοσπονδία Επαγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας) Φωτοβολταϊκά συστήματα & ανανεώσιμες πηγές ενέργειας pp 63-65
- [42] MERKASOL Lithium battery BYD B-BOX 5.0 available : <https://merkasol.com/BYD-B-Box-50-Lithium-Batterie>
- [43] Κ. Καγκαράκης "Φωτοβολταϊκή τεχνολογία" εκδόσεις Συμμετρία 1992
- [44] ΤΕΕ ΤΚΜ (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας) " Οδηγός Μελέτης Φωτοβολταϊκών Έργων" 2011 pp 28-34
- [45] electronics b2b "NEXTracker hits milestone by selling 1 GW of Solar tracker in India" available :<https://www.electronicb2b.com/industry-buzz/nextracker-hits-milestone-selling-1-gw-solar-tracker-india/>
- [46] Σταυρίδης "Βάσεις Στήριξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων " available :<https://www.clamps.gr/fotografies-rithmizomeni-vasi-fotovoltaika.el.aspx>
- [47] Antonio Luque, Steven Hegedus "Handbook of Photovoltaic science and engineering 2nd edition" pp 846-851
- [48] Sharp electronics available :<https://www.sharp.co.uk/cps/rde/xchg/gb/hs.xsl/-/html/index.htm>
- [49] Victron Energy blue power available : <https://www.victronenergy.gr/>
- [50] e-kiriazis batteries & more available :https://www.e-kiriazis.gr/ell/product/%CE%9C%CF%80%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%B1_%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD_%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%BF%CF%8D_%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85_Sunlight_7_RES_OPzS_1230_-_2V_877AhC12?skr_prm=WyI3ZWQ1MDlmOS0wMjE1LTQzNTMtYmFjMC0wZDAyZmFhMWEzYzYiLDE2MjMwMDQ2NDA2ODQseyJhcHBfdHlwZSI6IndlYiIsImNwIjoiZiIsInRhZ3MiOiIifV0
- [51] Ergo-tel electronic store Γεννήτρια πετρελαίου available : https://www.ergo-tel.gr/product_info.php?products_id=85114&skr_prm=WyI3ZWQ1MDlmOS0wMjE1LTQzNTMtYmFjMC0wZDAyZmFhMWEzYzYiLDE2MjMwMDQ3MzcyNzgseyJhcHBfdHlwZSI6IndlYiIsImNwIjoiZiIsInRhZ3MiOiIifV0
- [52] Kranich solar "pricelist mounting systems" available : <https://krannich.com.au/product-category/mounting-systems/clenergy/clamps/>

- [53] Olympic engineering and consulting " Αξεσουάρ για φωτοβολταϊκά - καλώδια, βυσματα, εργαλεία " available:
<https://www.oleng.eu/fvtoboltaika-kalvdia-bysmata-ergaleia/>
- [54] ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΟΙ "Βλάβες και εξοπλισμός" available : <https://www.perivallontologoi.gr/MaintenanceEquipment.aspx>
- [55] Pn tech "Η χρησιμότητα της θερμοκάμερας στο έλεγχο φωτοβολταϊκών Έργων