



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
& ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη αυτόνομου υβριδικού συστήματος για τροφοδότηση
αγροικίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σάββας Ε. Αθανασόπουλος

Επιβλέπων : Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη αυτόνομου υβριδικού συστήματος για τροφοδότηση
αγροικίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σάββας Ε. Αθανασόπουλος

Επιβλέπων : Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την /3/2017

.....
Μ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

.....
Ν. ΘΕΟΔΩΡΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

.....
Π. ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ
ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2017

.....

Σάββας Ε. Αθανασόπουλος, 2017

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σάββας, Ε. Αθανασόπουλος, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στην περιγραφόμενη διπλωματική εργασία μελετώνται τα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα και γίνεται η μελέτη για την τροφοδότηση μιας αγροικίας στην περιοχή της Αττικής. Τέτοια συστήματα αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεμογεννήτριες, συσσωρευτές και ηλεκτρονικές διατάξεις. Τα πλαίσια είναι αυτά που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και μέσω ενός μηχανισμού, που λέγεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο, την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες από τη μεριά τους, μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι συσσωρευτές αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια, την οποία εκμεταλλευόμαστε όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Οι ηλεκτρονικές διατάξεις, δηλαδή ο μετατροπέας τάσης και ο ελεγκτής φόρτισης, ευθύνονται για την μετατροπή της συνεχούς ισχύος σε εναλλασσόμενη καθώς, επίσης, και για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Αφού γίνει παρουσίαση όλης της θεωρίας και των μαθηματικών τύπων που απαιτούνται, γίνεται εφαρμογή τους μέσω του σχεδιασμού του κατάλληλου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση της αγροικίας.

Λέξεις κλειδιά:

Φωτοβολταϊκό ανεμογεννήτρια υβριδικό αυτόνομο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Abstract

The subject of this diploma thesis is the study of stand-alone hybrid photovoltaic systems. Such systems include photovoltaic modules, wind turbines, batteries, inverters and charge controllers as well. The photovoltaic modules collect solar energy and transform it into electrical energy via a mechanism that is called photovoltaic effect. Wind turbine converts wind energy into electrical energy. Batteries storage electrical energy and are used when the electrical demand is greater than the energy generated by the modules and the wind turbine. Inverters are used to convert DC power into AC power and charge controllers connect or disconnect the batteries from the system, as needed. After presenting the theory data required, a stand-alone hybrid photovoltaic system is designed so as to supply a country house.

Key words

Photovoltaic wind turbine hybrid off-grid renewable energy sources

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια και επιβλέπουσα κα Μ. Ιωαννίδου για την πολύτιμη βοήθεια της και την επίβλεψη της στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τις πιο θερμές μου ευχαριστίες οφείλω στην οικογένεια μου. Τη σύζυγό μου Όλγα για την βοήθεια της τόσο σε υλικό όσο και σε ηθικό επίπεδο καθώς και για την υποστήριξη της κατά την διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας, και τα παιδιά μου, Ευστάθιο, Κωνσταντίνο και Λουκά για την υπομονή τους και τη συνεργασία τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
Εισαγωγή	11
1.1 Γενική εισαγωγή	11
1.2 Το ενεργειακό πρόβλημα	12
1.3 Πηγές Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	13
1.3.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας	13
1.3.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
Υβριδικά συστήματα	16
2.1 Εισαγωγή	16
2.2 Πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	21
Το αυτόνομο υβριδικό σύστημα	21
3.1 Φωτοβολταϊκά πάνελ	21
3.2 Ανεμογεννήτρια	23
3.3 Συσσωρευτές	26
3.4 Ρυθμιστής φόρτισης	28
3.5 Μετατροπέας (inverter)	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	32
Μελέτη αυτόνομου υβριδικού συστήματος	32
6.1 Εισαγωγή	32
6.2 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις	33
6.3 Η χρονική περίοδος	36
6.4 Η κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων	37
6.5 Διαμοιρασμός φορτίου από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια	40
6.5.1 Γενικά	40

6.5.2 Υπολογισμός απόδοσης ανεμογεννήτριας	42
6.5.3 Υπολογισμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	46
6.6 Σύγκριση του υπό μελέτη υβριδικού συστήματος με σύνηθες φωτοβολταϊκό σύστημα.	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	54
Επιλογή των στοιχείων του συστήματος	54
5.1 Η τάση του συστήματος	54
5.2 Το πλήθος και η οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων	55
5.3 Η ανεμογεννήτρια	56
5.4 Οι συσσωρευτές	58
5.5 Επιλογή ρυθμιστών φόρτισης.....	60
5.6 Επιλογή Inverter.....	63
5.7 Επιλογή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	66
6.10 Μορφή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	70
Τεχνική μελέτη	70
6.1 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) πάνελ	70
6.1.1 Αποφυγή σκίασης.....	70
6.1.2 Στήριξη φωτοβολταϊκών Φ/Β πάνελ.....	71
6.2. Τοποθέτηση και στήριξη ανεμογεννήτριας Α/Γ	74
6.3 Η καλωδίωση του συστήματος.....	77
6.3.1 Καλωδίωση DC	78
6.3.2 Καλωδίωση AC	79
6.4 Τηλεπίβλεψη	80
6.4.1 Σύστημα Τηλεπίβλεψης.....	80
6.4.2 Καλωδίωση Συστήματος Τηλεπίβλεψης.....	81
6.5 Νομοθεσία για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα επί εδάφους	82
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83

ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Γενική εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη λειτουργίας ενός αυτονόμου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος μιας αγροικίας στο νομό Αττικής. Ξεκινώντας θα παρουσιαστεί το ενεργειακό πρόβλημα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η επιτακτική ανάγκη αξιοποίησής τους. Στη συνέχεια θα αναλυθεί η λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των ανεμογεννητριών. Επίσης θα εξηγηθεί η λειτουργία των ηλεκτρικών συσσωρευτών που αποτελούν το μέσο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Ακόμη θα περιγραφούν ένα προς ένα όλοι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς που είναι υπεύθυνοι για την προσαρμογή και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα στους καταναλωτές, και θα αναλυθεί η λειτουργία τους και ο έλεγχος

τους. Σε επόμενο κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη των χαρακτηριστικών των τμημάτων του υβριδικού συστήματος και η τελική επιλογή των αγορών που θα πραγματοποιηθούν. Τέλος, θα ακολουθήσουν κάποια συμπεράσματα και ο επίλογος.

1.2 Το ενεργειακό πρόβλημα

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού, μέχρι τις αρχές της 10ετίας του '70, παρατηρείται διεθνώς μία συνεχής συγκέντρωση της παραγωγής σε συνεχώς μεγαλύτερους «Σταθμούς Παραγωγής» και παράλληλα ανάπτυξη των δικτύων Μεταφοράς και Διανομής με συνεχώς μεγαλύτερες τάσεις, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συνέβη και στην χώρα μας με την ανάπτυξη του Εθνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία κατά την περίοδο 1956-63 (περίπου) εξαγόρασε τις 300 περίπου ηλεκτρικές εταιρείες που προμήθευαν τότε την ηλεκτρική ενέργεια με μικρά τοπικά δίκτυα. Όμως, με αφορμή τις «πετρελαϊκές κρίσεις» της 10ετίας του '70, άρχισε να γίνεται διεθνώς συνείδηση η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας, αφενός μεν για να αξιοποιούνται καλύτερα οι διατιθέμενοι ενεργειακοί πόροι, αφετέρου δε για να περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος. Το θέμα της ενέργειας παραμένει στο επίκεντρο του αιώνα αυτού, θα καθορίσει αναμφίβολα τις εξελίξεις του επόμενου και μπορεί να προσεγγιστεί από τρεις διαφορετικές απόψεις:

- Της εξασφάλισης της αναγκαίας ποσότητας ενέργειας, στην κατάλληλη για την

κάθε χρήση μορφή, δηλαδή της ενεργειακής επάρκειας.

- Του κόστους αυτής της ενέργειας.

- Των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση της.

Αυτές οι τρεις απόψεις συνθέτουν ότι έχει γίνει ευρύτερα γνωστό με τον όρο «ενεργειακό πρόβλημα». Εξαιτίας του ενεργειακού προβλήματος άρχισε σε διεθνές επίπεδο η αναζήτηση Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας,

σε αντιστάθμισμα των Συμβατικών Πηγών, όπως είναι το κάρβουνο και το πετρέλαιο, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας, η οποία βεβαίως παρουσιάζει τα γνωστά προβλήματα. Παράλληλα άρχισε μία προσπάθεια για την εξοικονόμηση και γενικότερα την καλύτερη και αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας. Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ).

1.3 Πηγές Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται κυρίως από γαιάνθρακες, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια και μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μόνο 2%. Η τάση πάντως της χρησιμοποίησης των ανανεώσιμων τεχνολογιών δίνει ενθαρρυντικά μηνύματα για το μέλλον.

1.3.1 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Ονομάζονται επίσης μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αποκαλούνται έτσι γιατί δεν είναι δυνατό να ανανεώσουν σε εύλογο, για τον άνθρωπο, χρονικό διάστημα την αποθηκευμένη τους ενέργεια. Η διαδικασία σχηματισμού τους διήρκεσε εκατομμύρια χρόνια. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν:

- Στερεά καύσιμα γαιανθράκων (λιγνίτης, ανθρακίτης, τύρφη).
- Κατεργασμένα Υγρά Καύσιμα (μαζούτ, πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη).
- Αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υγραέριο)
- Πυρηνική ενέργεια (σχάση ραδιενεργών υλικών).

1.3.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ο όρος ανανεώσιμες/ήπιες μορφές ενέργειας αναφέρεται σε τρία κυρίως χαρακτηριστικά: 1) για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη ή άντληση, 2) είναι φιλικές προς το περιβάλλον και 3) βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στην φύση [8]. Τα είδη των ανανεώσιμων πηγών στοχεύουν να δώσουν ενέργεια στην ανθρώπινη κοινωνία σε βάθος χρόνου. Τα είδη των ανανεώσιμων πηγών παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Αιολική Ενέργεια (άνεμος)
- Ενέργεια Βιομάζας
- Ηλιακή Ενέργεια (ήλιος)
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια (υδατοπτώσεις)
- Ενέργεια Ωκεανών (παλιρροϊκών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων)

Η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε) και κυρίως της αιολικής και της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας προωθείται και ενισχύεται με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς σε όλον τον ανεπτυγμένο κόσμο. Μεταξύ των δυο αυτών μορφών η αιολική εμφανίζεται οικονομικότερη άρα και περισσότερο προσιτή, κυρίως με την μορφή αιολικών πάρκων συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους όπως ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, παρουσιάζουν ακόμα υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Η διάφορα κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής KWh από πετρέλαιο και από ανανεώσιμες πηγές μειώνεται σταδιακά, ώστε σύντομα μέσα στην επόμενη δεκαετία να μπορεί να προβλεφθεί μια απευθείας σύγκριση κόστους ενέργειας. Ήδη το κόστος εγκατάστασης τους παρουσιάζεται ανταγωνιστικό απέναντι στη συμβατική παραγωγή

ενέργειας σε περιπτώσεις μη συνδεδεμένων με το δίκτυο περιοχών, όπως σε απομονωμένα νησιά ή οικισμούς.

Στα πλαίσια ενίσχυσης του ρυθμού διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές στον βιομηχανικό τομέα, η ευρωπαϊκή ένωση προωθεί σχετικά προγράμματα με ισχυρά οικονομικά κίνητρα. Στο γεγονός αυτό έχει συμβάλει και η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλά κράτη. Αυτό σημαίνει ότι δύναται να υπάρχουν κάθετα οργανωμένες εταιρίες που να καλύπτουν και τους τρεις τομείς της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχοντας την δυνατότητα να ανεξαρτητοποιήσουν αυτούς τους τομείς και οποιοσδήποτε ιδιώτης μπορεί να έχει καταρχάς πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς ή τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας, να παράγει με δικό του τρόπο κάποιο ποσό ενέργειας και μπορεί είτε να το καταναλώνει ο ίδιος, είτε να το πουλά στον τοπικό οργανισμό παροχής ενέργειας, όπως η Δ.Ε.Η στην Ελλάδα, με την προϋπόθεση ότι η ισχύς που παράγει πληρεί ορισμένες προδιαγραφές. Οι σημαντικότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, κυρίως η ηλιακή και η αιολική, κρίνονται ιδανικές για ιδιοπαραγωγή καθώς τα επίπεδα ηλιοφάνειας και αιολικού δυναμικού στη χώρα μας είναι εξαιρετικά υψηλά, συγκρινόμενα με αυτά σε βορειότερα κράτη και δεν έχουν έξοδα καυσίμων, αλλά μόνο τα αρχικά έξοδα εγκατάστασης και ελάχιστα έξοδα συντήρησης. Επίσης στην χώρα μας αναμένεται σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., καθώς 1.6GW αιολικών πάρκων αναμένεται να εγκατασταθούν έως το 2020 σαν αποτέλεσμα του πλούσιου αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα και των πολιτικών υποστήριξης που εφαρμόζονται από την ελληνική κυβέρνηση. Παρατηρείται λοιπόν σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα μια αυξημένη δραστηριοποίηση στον ευρύτερο τομέα των Α.Π.Ε, που προοιωνίζει την αλματώδη ανάπτυξη τους και πλήρη ενσωμάτωση τους στη ενεργειακή παραγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Υβριδικά συστήματα

2.1 Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή η ζήτηση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Η ενεργειακή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, φέρνει στην επιφάνεια ζητήματα όπως η αναμενόμενη εξάντληση τους και τα θέματα πολιτικής που σχετίζονται με την εξόρυξη και εκμετάλλευση τους. Επιπρόσθετα, η καύση των ορυκτών καυσίμων είναι η κύρια αιτία πίσω από την διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Αυτοί είναι οι βασικοί παράγοντες που τις τελευταίες δεκαετίες οι ΑΠΕ έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των σπουδών έρευνας και ανάπτυξης. Οι δύο κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για μαζική παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια.

Ο στοχαστικός χαρακτήρας πολλών μορφών ΑΠΕ θέτει ορισμένους τεχνικοοικονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς κατά τη χρήση τους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Για παράδειγμα η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει τη χρήση αποθηκευτικών μέσων εξαιτίας των διακυμάνσεων στη διάθεση της. Το ίδιο ισχύει και για την αιολική ενέργεια. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν άλλες μορφές ΑΠΕ που παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα και υπάρχει καλύτερη προβλεψιμότητά τους, όπως η γεωθερμία και η βιομάζα. Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην έρευνα και ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία γενικά ορίζονται ως εκείνα τα συστήματα παραγωγής ενέργειας όπου υπάρχουν περισσότερες από μία ηλεκτρικές γεννήτριες διαφορετικής τεχνολογίας ως προς το εν χρήσει καύσιμο.

Τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ ικανοποιούν τη ζήτηση για ενέργεια άμεσα χωρίς την χρήση μεγάλων γραμμών μεταφοράς. Ο συνδυασμός διαφορετικών, αλλά συμπληρωματικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας βασιζόμενων σε ΑΠΕ ή και συνδυασμός ανανεώσιμων και μη (όπως ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη) πηγών ενέργειας είναι γνωστός σαν υβριδικό σύστημα ενέργειας. Συνήθως, τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν δύο ή και περισσότερες ΑΠΕ συνδυασμένες με συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας όπως είναι οι ντηζελογεννήτριες.

Ο σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος πρέπει να λαμβάνει υπόψη ένα αριθμό παραγόντων όπως:

- Την εθνική πολιτική για την προώθηση των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας και γενικότερα για την προώθηση των ΑΠΕ
- Τα χαρακτηριστικά του φορτίου και η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται (ημερήσιες kWh, peak).
- Τη διαθεσιμότητα και την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της ΑΠΕ.
- Το ποσοστό διεύδυσης της τεχνολογίας της ΑΠΕ στο υβριδικό σύστημα.

- Το κόστος εγκατάστασης και το κόστος λειτουργίας - συντήρησης, καθώς και την αξιοπιστία και τη επίδραση στο περιβάλλον.

2.2 Πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας και παρέχουν ενέργεια τέτοιας ποιότητας όπως αυτής του δικτύου, με ένα εύρος από 1 kW μέχρι πολλές εκατοντάδες kW. Έτσι μπορούν να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα καινούρια και ανεξάρτητα συστήματα μέσα σε μικρά συστήματα διανομής ενέργειας (mini-grids) ή να ενταχθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες βασιζόμενες στο πετρέλαιο μετά από τις απαραίτητες επεμβάσεις στο υπάρχον σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε περιοχές όπου η σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και η μεταφορά του καύσιμου θεωρούνται αντιοικονομικές επιλογές. Παρέχουν επίσης την δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης με το δίκτυο στις περιοχές που γίνεται η εγκατάσταση τους. Επιπλέον λόγω της υψηλής αποδοτικότητας τους και της αξιοπιστίας τους, τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μία αποτελεσματική λύση παροχής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή ακόμη και σε εξειδικευμένους καταναλωτές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι νοσοκομειακές μονάδες.

Όπως προαναφέρθηκε, ένα τυπικό υβριδικό σύστημα συνδυάζει δύο ή και περισσότερες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Από ΑΠΕ υπάρχει η χρήση φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών (Α/Γ) ή μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων και από τις συμβατικές τεχνολογίες, υπάρχει η χρήση συνήθως νηζελογεννητριών, μονάδες όπου παράγουν ενέργεια από τη χρήση βιομάζας (όπου αυτό είναι εφικτό). Συν τοις άλλοις, περιλαμβάνονται ηλεκτρονικά ισχύος (όπως ανορθωτές, αντιστροφείς, ρυθμιστές τάσης) και μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας.

Τα υβριδικά συστήματα που περιέχουν τεχνολογία με καύσιμο λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση, επειδή προβλέπεται παραγωγή ενέργειας από αυτό μόνο σε περιόδους υψηλής ζήτησης φορτίου ή χαμηλού ανανεώσιμου δυναμικού. Το αυτό υποδηλώνει τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με μία αυτόνομη μονάδα συμβατικής τεχνολογίας μόνη της.

Σχετικά με τους παράγοντες που καθορίζουν το κόστος ηλεκτροδότησης μιας περιοχής είναι: η εγκατάσταση γραμμών μεταφοράς ενέργειας υψηλής και μέσης τάσης, η δημιουργία υποσταθμών, η δημιουργία δικτύου διανομής, το μέγεθος του φορτίου που πρέπει να καλυφθεί, η απόσταση του φορτίου από την υπάρχουσα γραμμή μεταφοράς και το είδος του εδάφους που πρέπει να διασχιστεί. Τα υβριδικά συστήματα συνήθως εφαρμόζονται σε αγροτικές περιοχές αποκομμένες απ' το δίκτυο. Επειδή οι περιοχές αυτές δεν παρουσιάζουν μεγάλο φορτίο και συνήθως βρίσκονται μακριά από το υπάρχον δίκτυο καθίσταται αντιοικονομική η δημιουργία δικτύου για την ηλεκτροδότηση τέτοιων κοινοτήτων ή ακόμη και κατοικιών. Έτσι η παροχή ενέργειας από υβριδικά συστήματα, βασιζόμενα σε ΑΠΕ είναι πιο οικονομική σε αυτές τις περιπτώσεις και φιλική προς το περιβάλλον. Η αύξηση της αξιοπιστίας αυτών των συστημάτων, οι ασήμαντες απώλειες μεταφοράς και η χρήση αειφόρων πηγών ενέργειας παίζουν σημαντικό ρόλο για να αποτελέσουν τα υβριδικά συστήματα την καλύτερη αποκεντρωμένη λύση.

Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να εγκαθίστανται είτε αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ως συστήματα υποστήριξης σε περιπτώσεις διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, είτε μπαίνουν σε λειτουργία τις ώρες αιχμής όταν η τιμή της kWh είναι υψηλή. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν μονάδες ΑΠΕ οι οποίες είτε διασυνδέονται απευθείας στο δίκτυο, είτε αποθηκεύουν την ενέργειά τους σε μέσα αποθήκευσης ώστε αυτή να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Συνήθως οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή αυτή είναι η τιμή της παραγόμενης kWh από την κάθε μορφή ΑΠΕ και το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Τέτοια μικρής κλίμακας συστήματα χρησιμοποιούνται τα

τελευταία χρόνια ευρέως στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ταχεία αύξηση της ζήτησης σε ισχύ προκαλεί συχνά προβλήματα αστάθειας δικτύου που μπορούν να οδηγήσουν μέχρι την κατάρρευσή του. Ακόμη η χρησιμοποίηση συμβατικών πηγών ενέργειας επιβαρύνει το περιβάλλον κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Το αυτόνομο υβριδικό σύστημα

3.1 Φωτοβολταϊκά πάνελ

Το βασικό χαρακτηριστικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία. Η τάση και η ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις 0.5V περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μέχρι μόλις 0.4W περίπου. Επίσης, είναι γνωστό ότι υπό ιδανικές συνθήκες δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές τάσης σε σειρά προστίθενται όπως προστίθενται και δύο ή περισσότερες πηγές ρεύματος που συνδέονται παράλληλα. Για τον λόγο αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φωτοβολταϊκών γεννητριών συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα και τοποθετούνται σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο ώστε να τροφοδοτούν στην έξοδο τους με την επιθυμητή από τον κατασκευαστή τάση και ισχύ.

Όταν τα ηλιακά κύτταρα έχουν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, η μέγιστη ισχύς που παίρνουμε από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισούται με το γινόμενο της μέγιστης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει κάθε

στοιχείο ξεχωριστά, επί τον αριθμό των στοιχείων. Η μέγιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου προσδιορίζεται από τον αριθμό συγκεκριμένων ηλιακών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και το μέγιστο ρεύμα στην έξοδο (για κανονικά επίπεδα ηλιοφάνειας) προσδιορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων (ή ομάδα εν σειρά στοιχείων) που συνδέονται παράλληλα. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που κυκλοφορούν στο εμπόριο, αποτελούνται από τα στοιχεία τα οποία προστατεύονται από πάνω με φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού και από κάτω με φύλλο ανθεκτικού υλικού, συνήθως μετάλλου ή ενισχυμένου πλαστικού. Το πάνω και κάτω προστατευτικό φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους στεγανά και μόνιμα. Διαμορφώνεται έτσι η βιομηχανική μονάδα η οποία χρησιμοποιείται ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φωτοβολταϊκών γεννητριών.

Στο εμπόριο συνήθως τα πλαίσια παρουσιάζουν τάσεις από 4V ως 22V, ρεύμα 0.5A ως 2.5A, ισχύς αιχμής (παραγόμενη μέγιστη ισχύς όταν το πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1kW/m^2) 2 Wp ως 60Wp και συντελεστή απόδοσης 6% ως 12%. Επίσης, συχνά χρησιμοποιούνται στα πλαίσια δίοδοι για την προστασία (δίοδοι απομόνωσης, blocking diodes) και την βελτίωση της απόδοσης τους (δίοδοι παράκαμψης, bypass diodes). Πολύ σημαντικός είναι ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας και περιγράφεται με την κλίση και την αζιμούθια γωνία των πλαισίων. Προφανώς η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε ένα συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία πρόσπτωσης να είναι όσο το δυνατό μικρότερη κατά τη διάρκεια του έτους. Στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς νότο). Βέβαια η βέλτιστη κλίση, λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, είναι διαφορετική για κάθε εποχή οπότε και επιλέγεται ανάλογα την εφαρμογή, κάποια διαφοροποίηση στην κλίση από την παράλληλο. Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες βέβαια, είναι δυνατό εκτός από τη συστοιχία να περιλαμβάνουν και επιπλέον

εξοπλισμό και με βάση αυτόν κατατάσσονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες. Τις απλές διατάξεις, όπου τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερό σημείο και η συστοιχία δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας. Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της μέρας. Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης, στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνική ψύξη των στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

3.2 Ανεμογεννήτρια

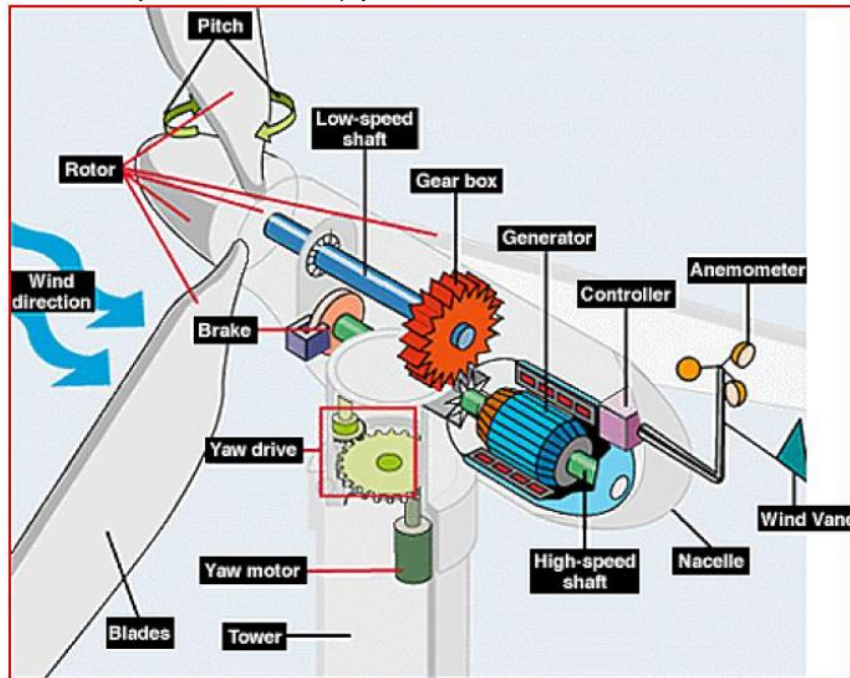
Οι μηχανές με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε το αιολικό δυναμικό, ονομάζονται ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Διακρίνουμε δύο είδη γεννητριών ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους: τις δίπτερες και τις τρίπτερες. Οι τρίπτερες, με ρότορα μικρότερο των 10 μέτρων, έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο απ' αυτό των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους. Η σύγχρονη τεχνολογία χρήσης της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές ανεμογεννήτριες δυναμικότητας 20 ως 75 kW. Σήμερα χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες δυναμικότητας από 200 ως 2,000 kW.

Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει, όλες οι ανεμογεννήτριες χρειάζεται να περιορίσουν την ισχύ που βγάζουν στην έξοδο του σε υψηλούς ανέμους. Οι περισσότερες γεννήτριες αρχίζουν τη λειτουργία τους σε μια ταχύτητα της τάξης των 3-5m/s και τη διακόπτουν σε ανέμους της τάξης των 20-25m/s. Η διακοπή αυτή γίνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας καθώς και με ένα είδος μηχανικού φρένου, που είναι ενσωματωμένο στο μηχανισμό πέδησης.

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας φτάνει τις 1,500 MWh σε μία περιοχή όπου ο άνεμος φτάνει τα 5 m/s στα 60 m ύψος, τις 3,700 MWh σε 7 m/s, τις 4,800 MWh στα 8m/s. Άνεμοι της τάξης των 5 m/s συναντώνται εύκολα μακριά απ' τις παράκτιες περιοχές και στις 5 ηπείρους. Άνεμοι ταχύτητας 7m/s συναντώνται σε πολλά παράκτια κράτη όπως η Δανία. Ακόμα ισχυρότεροι άνεμοι συναντώνται σε πολλά ελληνικά νησιά, στα παράλια της Καλιφόρνια, στην Καραϊβική, Ιρλανδία, Σουηδία, Ανταρκτική και στην Νέα Ζηλανδία. Ενδιαφέρον, για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού έχουν οι περιοχές με μέσες ταχύτητες ανέμου. Ένα αιολικό πάρκο, το οποίο σε ταχύτητα 8m/sec αποδίδει 1,600kW, σε ταχύτητα 4m/s αποδίδει μόνο 200kW. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τύπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη ανωμαλιών του εδάφους, κτιρίων, δέντρων ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβιλισμούς και να μειώσει την αποδοτικότητα. Πριν την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών και μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις του ανέμου για περίοδο ενός έτους.

Στα νησιά του Αιγαίου, στην Κρήτη και στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα οι μέσες ταχύτητες ανέμου είναι 6-7 m/s, με αποτέλεσμα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, γι' αυτό παρατηρείται πληθώρα έργων εκμετάλλευσης στις περιοχές αυτές. Τρίπτερες ανεμογεννήτριες με ρότορα μήκους μικρότερου των 10 μέτρων έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού ανέμου (ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου) και κόστος κατασκευής και συντήρησης χαμηλό καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης μηχανικών μερών είναι περιορισμένα στις μηχανές αυτής της κατηγορίας. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης σαφώς μικρότερο, από αυτό των τρίπτερων αντιστοίχου μεγέθους. Άλλη μία διαφοροποίηση των ανεμογεννητριών είναι σε οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα. Τα βασικότερα στοιχεία της ανεμογεννήτριας είναι (ανάλογα και με τη μορφή της) ο πύργος, ο δρομέας, το σύστημα εδράσεως του δρομέα στον πύργο, ο πολλαπλασιαστής στροφών, η γεννήτρια, το φρένο και το σύστημα περιστροφής.

Main elements of a wind turbine. Courtesy of Gamesa



Source: European Commission JRC (2014), Wind status report 2013

Σχήμα 3.1. Τα βασικά μέρη της ανεμογεννήτριας

Οι βασικές λειτουργίες ελέγχου των Α/Γ είναι κυρίως οι ακόλουθες:

- Λειτουργίες που αφορούν την εκκίνηση και το σταμάτημά τους.
- Λειτουργίες ελέγχου για την υπέρβαση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ, όταν η ταχύτητα του ανέμου περάσει μία ορισμένη τιμή.
- Λειτουργίες ελέγχου για τον προσανατολισμό της Α/Γ ώστε το επίπεδο περιστροφής της έλικας να βρίσκεται συνεχώς κάθετα προς τη διεύθυνση του ανέμου. Αυτός ο έλεγχος γίνεται μόνο στις Α/Γ οριζόντιου άξονα.
- Λειτουργίες των συστημάτων ασφαλείας για την πέδησης.
- Λειτουργίες ελέγχου στροφών για Α/Γ μεταβλητών στροφών.

3.3 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). Μετατρέποντάς 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.

Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητα τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής εντόνου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά οι απαιτήσεις του φορτίου σε κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλες όσο η ανάγκη η κατανάλωση να παρέχεται με αξιοπιστία και για μεγάλες χρονικές περιόδους και άλλες φορές ο τόπος της εγκατάστασης είναι τόσο δυσπρόσιτος που προτιμώνται συσσωρευτές με μικρές ανάγκες συντήρησης και επίβλεψης.

Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν, επίσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να

υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Είναι συνήθως συσσωρευτές υγρού ηλεκτρολύτη, με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και για τον λόγο αυτό απαιτείται συχνή αναπλήρωση των υγρών. Η κατάσταση τους μπορεί εύκολα να ελεγχθεί μετρώντας την ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη.

Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead-Acid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Έχουν βαλβίδα εξαέρωσης, που ανοίγει σε ορισμένη πίεση όταν υπερφορτιστούν, για να απελευθερωθούν τα αέρια που δημιουργήθηκαν όμως, δεν υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του ηλεκτρολύτη. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση, τις καθιστά ιδανικές για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Εκτός από το πρόβλημα της υπερφόρτισης, η απώλεια ηλεκτρολύτη μπορεί να επιταχυνθεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της αναπλήρωσης του, ειδικά μέτρα πρέπει να ληφθούν. Είναι δυνατόν να γίνει θερμοκρασιακή αντιστάθμιση και ρύθμιση ακριβείας ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση και η υπερβολική εκφόρτιση και μέσω του περιορισμού του φορτίου να αποφευχθεί ο μεγάλος ρυθμός εκφόρτισης. Έτσι μειώνεται σημαντικά η απώλεια ηλεκτρολύτη και αυξάνεται αντιστοίχως η διάρκεια ζωής. Μέσω του αλγορίθμου φόρτισης αντιμετωπίζεται η ευαισθησία που παρουσιάζουν οι συσσωρευτές αυτοί στη διαδικασία φόρτισης. Οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα μείωσης χωρητικότητας σε ψυχρότερο περιβάλλον όσο αυτοί του υγρού ηλεκτρολύτη, παρέχονται σε δύο τύπους (gelled electrolyte, AGM) και πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι εκτός από τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των ηλεκτροδίων, άλλα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, όπως ο τρόπος κατασκευής τους ή οι σχετικές διαστάσεις, ο αριθμός και η γεωμετρία των πλακών τους, μπορούν να τους κατατάξουν σε ειδικότερες κατηγορίες. Για παράδειγμα, συσσωρευτές μολύβδου με

θετικές πλάκες μεγαλύτερης επιφάνειας από αυτή των αρνητικών, αναφέρονται με το συνοδευτικό σύμβολο GroEH, ενώ για οπλισμένα θετικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται το συνοδευτικό OpzS, το οποίο είναι και η περίπτωση του φωτοβολταϊκού που χρησιμοποιούμε. Έτσι, το συνοδευτικό 5OpzS, υποδεικνύει κυψελίδα με 5 θετικές πλάκες, τύπου OpzS.

3.4 Ρυθμιστής φόρτισης

Η καλή λειτουργία και η αυξανόμενη απόδοση των υβριδικών συστημάτων υποβοηθείται συχνά με την χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως ηλεκτρονικών ισχύος, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η κάθε ενεργειακή πηγή. Ο ρυθμιστής φόρτισης (charge controller) της μπαταρίας είναι μια τέτοια διάταξη και έχει ως στόχο να αποτρέψει την υπερφόρτιση και την βαθιά εκφόρτιση της μπαταρίας.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται στο υβριδικό σύστημα και ανεμογεννήτριες, πριν το ρυθμιστή φόρτισης συνδέεται και ένας ανορθωτής τάσης (rectifier) ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγει η μηχανή σε συνεχές, προκειμένω, μέσω του ρυθμιστή φόρτισης, η περίσσεια ενέργεια να οδηγηθεί και να αποθηκευτεί κατάλληλα στην συστοιχία των μπαταριών.

Ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να διατηρείται η τάση εξόδου της ενεργειακής πηγής, είτε αυτή προέρχεται από φωτοβολταϊκά, είτε από ανορθωμένη τάση ανεμογεννήτριας, στην επιθυμητή τιμή, έχοντας ταυτόχρονα την ικανότητα, όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτιστούν πλήρως, να διοχετεύει την περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στην εκάστοτε ενεργειακή πηγή σε κατάλληλες αντιστάσεις ή προς τη γη, προστατεύοντας έτσι του συσσωρευτές από τους κινδύνους της υπερφόρτισης.

Η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει την τάση που δίνει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, που είναι

αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, την μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για την φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

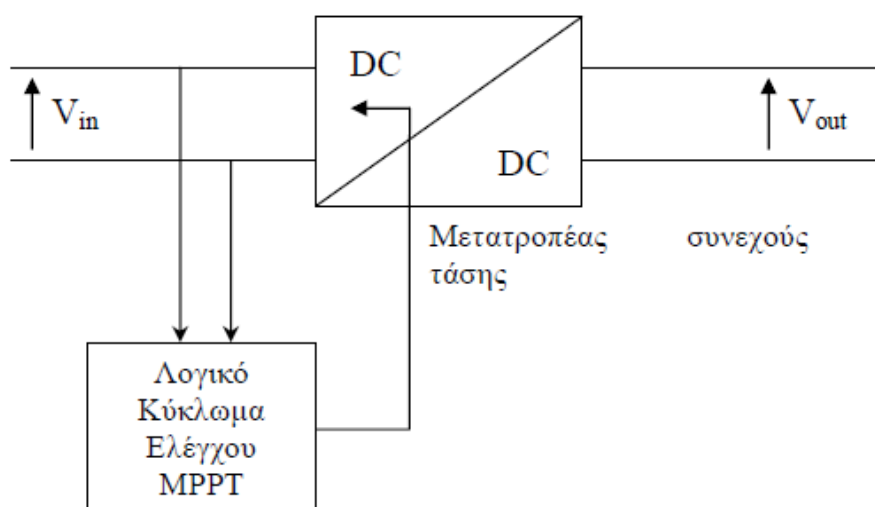
Παρόλο που ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει χωρίς ρυθμιστή φόρτισης και αυτό συμβαίνει συχνά σε μικρά συστήματα, η μακροχρόνια λειτουργία των αυτόνομων υβριδικών συστημάτων απαιτεί τη λειτουργία ρυθμιστή φόρτισης, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη το υψηλό κόστος αγοράς των συσσωρευτών. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός ρυθμιστή φόρτισης είναι τα εξής:

- Μικρή εσωτερική κατανάλωση ρεύματος (<5 mA).
- Υψηλό βαθμό απόδοσης (96% 98%).
- Διακοπή του φορτίου αν εμφανιστεί βαθιά εκφόρτιση.
- Τακτική φόρτιση σε υψηλότερη τάση.
- Προστασία από αντίστροφη πολικότητα.
- Προστασία από υπερφόρτιση.
- Λειτουργία σε θερμοκρασίες 0°c - 50°c .

Όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα ενός αυτόνομου συστήματος, τότε πρέπει να λαμβάνονται περισσότερα υπόψη στο σχεδιασμό του. Με κατάλληλη διαχείριση της ενέργειας η χρήση των συλλεκτών και η διάρκεια ζωής ευαίσθητων μονάδων του συστήματος μπορούν να βελτιωθούν. Για το λόγο αυτό συνίσταται το σύστημα να έχει πίνακα ελέγχου (control panel) που να πληροφορεί το χρήστη για την τρέχουσα κατάσταση του και να του δίνει συμβουλές για το πώς να αντιδράσει σε περίπτωση ανάγκης. Ο πίνακας ελέγχου είναι η μονάδα στην οποία φαίνεται η κατάσταση του συστήματος κάθε στιγμή. Έχει επικοινωνία με όλες τις μονάδες και μπορεί σε περίπτωση που εμφανισθεί κάποιο πρόβλημα να διακόψει τη λειτουργία, ώστε να προστατευθεί το σύστημα.

Συγκεκριμένα για τα Φ/Β συστήματα, εκτός από το ρυθμιστή τάσης, υπάρχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως είναι οι ρυθμιστές ισχύος, γνωστοί ως MPPT (Maximum power point trackers, δηλαδή

διατάξεις παρακολούθησης του σημείου της μέγιστης ισχύος). Ο προορισμός τους είναι να επιδιώκουν τη λειτουργία της Φ/Β γεννήτριας στο σημείο της καμπύλης τάσης έντασης που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόδοση, όσο επιτρέπει ο συντελεστής πλήρωσης (FF). Στη συνέχεια, με τον μετατροπέα τάσης, η τάση εξόδου της Φ/Β γεννήτριας μετατρέπεται στην απαιτούμενη για τη φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Πάντως, το κόστος των διατάξεων αυτών είναι σημαντικό, και έτσι, συνήθως παραλείπονται στα σχετικά μικρής ισχύος Φ/Β συστήματα.



Σχήμα 3.2. Κύκλωμα ρυθμιστή φόρτισης με MPPT

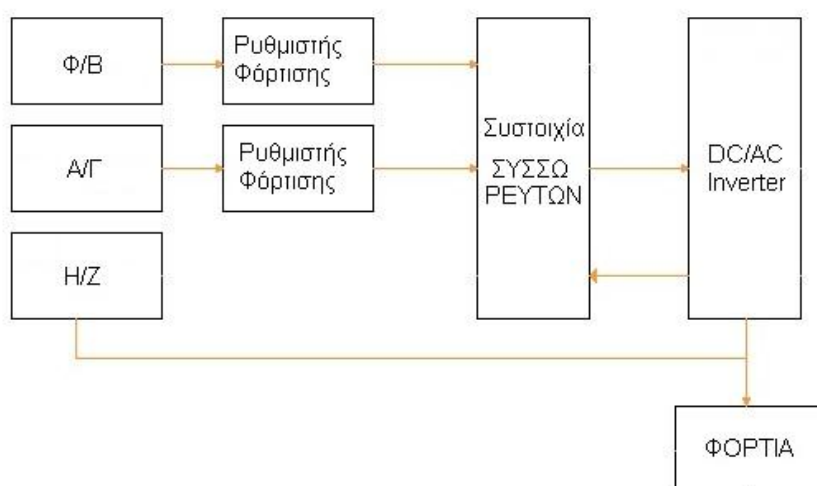
3.5 Μετατροπέας (inverter)

Ο Inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (dipolar transistors ισχύος, MOSFETs, thyristors κλπ), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων (Inversion).

Η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή (93-96%) εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Απαιτείται υψηλή απόδοση, όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο (100%), αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Συγκεκριμένα, βασικό απαιτούμενο χαρακτηριστικό ενός inverter είναι η υψηλή απόδοση (>90%) ακόμα και όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους. Σημειώνεται, επίσης, ότι η λειτουργία τους συνοδεύεται, κατά περίπτωση από παραγωγή μεγάλου πλήθους αρμονικών υψηλών συχνοτήτων (κυρίως με τον απλό τετραγωνικό παλμό), που περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.

Η λειτουργική συμπεριφορά του μετατροπέα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική ισχύ στην έξοδο του, την αντοχή του σε απότομη αύξηση της ισχύος εισόδου, την απόδοσή του και την παραμόρφωση των αρμονικών (ηλεκτρονική παραμόρφωση). Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι η μέγιστη απόδοση του αντιστροφέα επιτυγχάνεται πλησίον της ονομαστικής ισχύος εξόδου.

Το μειονέκτημα των περισσότερων αντιστροφέων είναι ότι έχουν πολύ μικρή απόδοση ή δεν λειτουργούν καθόλου όταν η ισχύς εισόδου τους είναι πολύ μικρότερη της ονομαστικής ισχύος τους (της τάξης του 10%). Για ισχύεις πάνω από 5KW συνηθίζεται η χρήση τριφασικών αντιστροφέων.



Σχήμα 3.3. Σχεδιάγραμμα αυτόνομου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Μελέτη αυτόνομου υβριδικού συστήματος

6.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο που ακολουθεί ασχολείται με το πρόβλημα τροφοδότησης αγροικίας, απομακρυσμένης από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η αγροικία που μελετάμε στεγάζει μια μέση ελληνική οικογένεια στον νομό Αττικής, στην παραθαλάσσια περιοχή του Καλάμου Αττικής. Η αγροικία έχει εμβαδόν 120m^2 . και αποτελείται από 3 υπνοδωμάτια, 1 μπάνιο, κουζίνα και σαλόνι.

Η οικογένεια αποφάσισε να εγκαταστήσει υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα για την τροφοδότηση της αγροικίας με ηλεκτρικό ρεύμα διότι το δίκτυο ης ΔΕΗ βρισκόταν πολύ μακριά και θα ήταν ασύμφορο εάν αποφάσιζαν να το χρησιμοποιήσουν.

Μαζί με τα φωτοβολταϊκά, την ανεμογεννήτρια και τούς συσσωρευτές που θα τροφοδοτήσουν την οικία θα χρησιμοποιηθεί και ως εφεδρική πηγή ενέργειας μία ντιζελογεννήτρια. Η ντιζελογεννήτρια θα χρησιμοποιείται προκειμένου να καλυφθούν φορτία αιχμής όταν τα φωτοβολταϊκά, η ανεμογεννήτρια και οι συσσωρευτές δεν επαρκούν, και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η ντιζελογεννήτρια θα αναλάβει επίσης τη φόρτιση των συσσωρευτών όταν αυτό δε θα γίνεται από τα φωτοβολταϊκά ή την ανεμογεννήτρια.

Το πρόβλημα λοιπόν που πρόκειται να μελετήσουμε είναι η τροφοδότηση οικίας 120 m^2 με υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, Η/Ζ (ντιζελογεννήτρια).

6.2 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

Ο σχεδιασμός πάντα ξεκινά με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος λειτουργίας τους στην διάρκεια του 24ώρου. Συχνά είναι χρήσιμο να καταγράφεται η πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών, ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σκόπιμο να γίνεται προγραμματισμένη κατανομή και ιεράρχηση της ζήτησης από τις διάφορες συσκευές για την αποφυγή υπερβολικών αιχμών. Στην περίπτωση μας, επιλέχθηκαν μοντέρνες οικιακές συσκευές ενεργειακής κλάσης A, δηλαδή χαμηλότερης ηλεκτρικής κατανάλωσης, έτσι ώστε η αγροτική οικογένεια να μπορεί να απολαμβάνει αστικές ανέσεις στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό. Για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της υβριδικής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης κρίνεται αναγκαία η αποφυγή ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση. Τέτοιες συσκευές αποτελούν οι ηλεκτρικές κουζίνες, τα ηλεκτρικά καλοριφέρ, τα αερόθερμα, οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες οι σταθεροί υπολογιστές κ.ά. και μπορούν να αντικατασταθούν από κουζίνες και θερμάστρες υγραερίου, ηλιακούς θερμοσίφωνες και φορητούς υπολογιστές (laptop).

Εν προκειμένω, στην οικία τα καλοριφέρ, ο θερμοσίφωναs αλλά και ο φούρνος λειτουργούν με υγραέριο λόγω. Στην αγροικία είχε γίνει εγκατάσταση υγραερίου παλαιότερα λόγω της έλλειψης ηλεκτρικού ρεύματος, με δεξαμενή που χρειάζεται να γεμίζει κάθε 3-4 χρόνια. Συνεπώς όσον αφορά τη θέρμανση και το ζεστό νερό υπάρχει ήδη αυτονομία και μάλιστα με πολύ καλή οικονομική απόδοση.

Στους πίνακες που ακολουθούν καταχωρήσαμε τα στοιχεία ημερήσιας κατανάλωσης κατά την διάρκεια των χειμερινών και των θερινών μηνών.

Συσκευές	Αριθμός συσκευών	Ισχύς (W)	Ώρες λειτουργίας (h)	Ημερήσια Κατανάλωση (kWh)
Πλυντήριο ρούχων	1	2300	2	1.01*
Πλυντήριο πιάτων	1	2400	1.3	0.8*
Ψυγιοκαταψύκτης	1	100	24	0.75*
Απορροφητήρας	1	170	2	0.34
Φούρνος μικροκυμάτων	1	1500	0.05	0.075
Τοστιέρα	1	800	0.03	0.024
Αναμικτήρας τροφών	1	200	0.01	0.002
Αναδευτήρας καφέ	1	20	0.01	0.0002
Καφετιέρα	1	700	0.06	0.042
Βραστήρας	1	2000	0.06	0.12
Φορητός υπολογιστής	2	65	3	0.39
Φορτιστής κινητών	1	10	2	0.02
Ηλεκτρική σκούπα	1	1400	0.5	0.7
Ηλεκτρικό σίδερο	1	1000	0.6	0.6
Τηλεόραση	2	80	3	0.48
Ραδιόφωνο	1	30	1	0.03
Ανεμιστήρας οροφής	3	100	4	1.2
Εκτυπωτής	1	50	0.03	0.0015
Στεγνωτήρας μαλλιών	1	1800	0.1	0.18
Εσωτερικός φωτισμός 1	4	6	3	0.072
Εσωτερικός φωτισμός 2	4	18	5	0.36
Εσωτερικός φωτισμός 3	3	7	2	0.042
Εξωτερικός φωτισμός	6	25	3	0.45
Λοιπές εξωτερικές ηλεκτρικές καταναλώσεις (π.χ. ηλεκτρικά εργαλεία)	1	600	0.1	0.06

Πίνακας 6.1: Πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού

Σύνολο: 7.79 kWh ανά ημέρα

Συσκευές	Αριθμός συσκευών	Ισχύς	Ώρες λειτουργίας	Ημερήσια Κατανάλωση
Πλυντήριο ρούχων	1	2300	2	1.01*
Πλυντήριο πιάτων	1	2400	1.3	0.8*
Ψυγείοκαταψύκτης	1	100	24	0.75*
Απορροφητήρας	1	170	2	0.34
Φούρνος μικροκυμάτων	1	1500	0.05	0.075
Τοστιέρα	1	800	0.03	0.024
Αναμικτήρας τροφών	1	200	0.01	0.002
Αναδευτήρας καφέ	1	20	0.01	0.0002
Καφετιέρα	1	700	0.06	0.042
Βραστήρας	1	2000	0.06	0.12
Φορητός υπολογιστής	2	65	3	0.39
Φορτιστής κινητών	1	10	2	0.02
Ηλεκτρική σκούπα	1	1400	0.5	0.7
Ηλεκτρικό σίδερο	1	1000	0.6	0.6
Τηλεόραση	2	80	3	0.48
Ραδιόφωνο	1	30	1	0.03
Ανεμιστήρας οροφής	0	0	0	0
Εκτυπωτής	1	50	0.03	0.0015
Στεγνωτήρας μαλλιών	1	1800	0.1	0.18
Εσωτερικός φωτισμός 1	4	6	4	0.096
Εσωτερικός φωτισμός 2	4	18	6	0.432
Εσωτερικός φωτισμός 3	3	7	3	0.063
Εξωτερικός φωτισμός	6	25	5	0.75
Λοιπές εξωτερικές ηλεκτρικές καταναλώσεις (π.χ. ηλεκτρικά εργαλεία)	1	600	0.1	0.06

Πίνακας 6.2: Πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα

Σύνολο: 6.97 kWh ανά ημέρα

** Στις 3 πρώτες ηλεκτρικές συσκευές χρησιμοποιήθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι αποδόσεις τους σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Για παράδειγμα το ψυγείο παρότι λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα δεν καταναλώνει ενέργεια που προκύπτει από τον τύπο: (24 x Watt συσκευής), αφού την περισσότερη ώρα κάνει συντήρηση της ήδη υπάρχουσας θερμοκρασίας του.**

Όπως προέκυψε από τα παραπάνω δεδομένα, η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών είναι 7.79 kWh και κατά την διάρκεια των θερινών ημερών είναι 6.97 kWh. Ωστόσο, ποτέ δεν μπορούμε να είμαστε πλήρως ακριβείς στις προβλέψεις μας επειδή είναι πολύ πιθανό να προκύψουν και πρόσθετες ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως η φόρτιση ενός κινητού τηλεφώνου, η χρήση κάποιας μικροσυσκευής ή ακόμη και η κατανάλωση ενέργειας από κάποια συσκευή που βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Έτσι, κρίνεται απαραίτητο να συνεχίσουμε την μελέτη μας θεωρώντας ότι η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι 8 kWh, όσο για τους χειμερινούς τόσο και για τους θερινούς μήνες του έτους.

Άρα:

Μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση: 8 kWh

6.3 Η χρονική περίοδος

Είναι προφανές ότι το σύστημα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα καθ' όλη την διάρκεια του έτους, αφού η αγροικία που μελετάμε είναι η μόνιμη κατοικία της οικογένειας. Συνεπώς, τα μεγέθη του υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος (μέγεθος συλλεκτών, ανεμογεννήτριας, συσσωρευτών και λοιπών διατάξεων) πρέπει να προσαρμόζονται στις συνθήκες τον μήνα με την μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, αφού η κύρια πηγή ενέργειας θα είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Και αυτό επειδή όπως θα δούμε παρακάτω η ηλιοφάνεια είναι αρκετά πιο σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους σε σχέση με την ένταση του ανέμου (Δεκέμβριος ή Ιανουάριος, ανάλογα με την κλίση των συλλεκτών που θα επιλέξουμε). Παρατηρούμε βέβαια ότι τους μήνες με την μικρότερη ηλιοφάνεια, έχουμε την μεγαλύτερη ένταση ανέμου και αντίστροφα, γεγονός που μας βοηθά στο να έχουμε ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Και συνεπώς μεγαλύτερη επιτυχία στην εξοικονόμηση ενέργειας και σημαντική μείωση της περισευούμενης ενέργειας.

6.4 Η κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

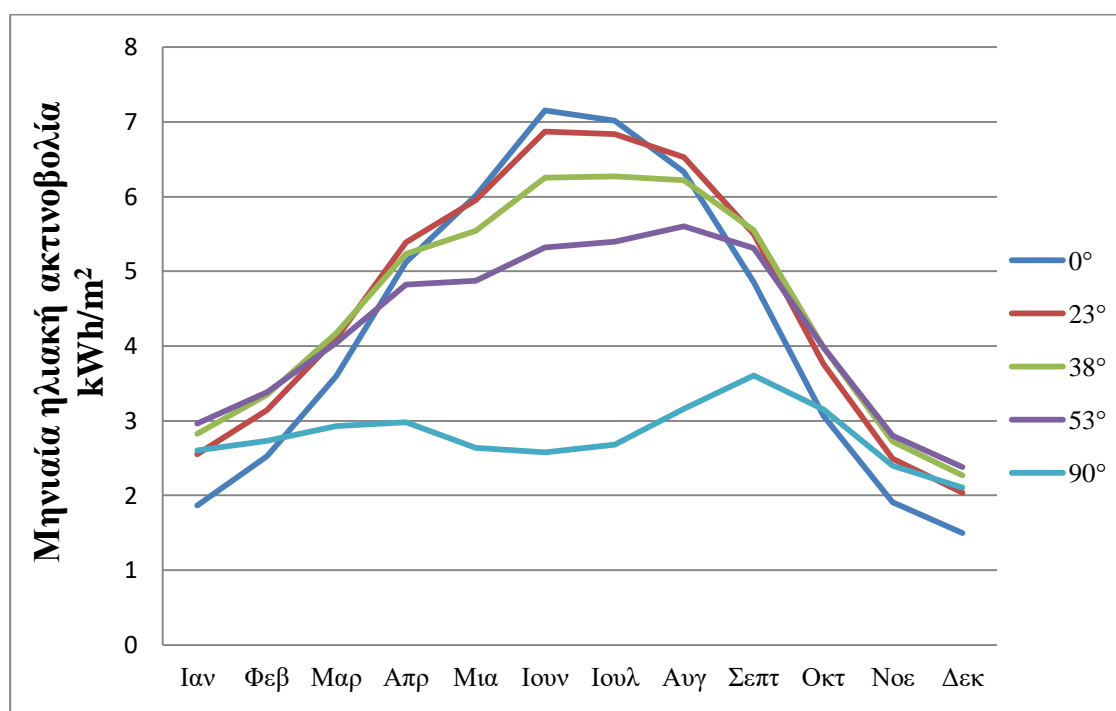
Η ηλιακή ακτινοβολία που θα δεχθεί μια επιφάνεια εξαρτάται από την κλίση και τον προσανατολισμό της. Για μια επιφάνεια σε έναν συγκεκριμένο τόπο, η αύξηση της κλίσης της έχει σαν αποτέλεσμα να δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τον χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι, είναι σύνηθες σε ηλιακές εφαρμογές που απαιτείται να γίνει χρήση της ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες τον χειμώνα, η κλίση τους να είναι μεγάλη ενώ αν οι συλλέκτες χρησιμοποιούνται το καλοκαίρι η κλίση τους να είναι μικρή.

Κλίση συλλέκτη	0°	23°	38°	53°	90°
Ιανουάριος	1,87	2,55	2,83	2,96	2,6
Φεβρουάριος	2,53	3,14	3,35	3,38	2,73
Μάρτιος	3,6	4,1	4,17	4,04	2,93
Απρίλιος	5,12	5,39	5,23	4,82	2,98
Μάιος	6,01	5,95	5,54	4,87	2,64
Ιούνιος	7,15	6,87	6,25	5,32	2,58
Ιούλιος	7,02	6,84	6,27	5,4	2,68
Αύγουστος	6,33	6,53	6,22	5,6	3,16
Σεπτέμβριος	4,86	5,5	5,55	5,31	3,61
Οκτώβριος	3,07	3,76	3,98	3,98	3,15
Νοέμβριος	1,91	2,49	2,72	2,8	2,4
Δεκέμβριος	1,5	2,04	2,27	2,38	2,11
Σύνολο	4,26	4,6	4,54	4,24	2,8

Πίνακας 6.3: Πίνακας ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m^2) κατά τη διάρκεια του έτους

Τα παρακάτω δεδομένα αντλήθηκαν από την NASA (NASA surface Meteorology and Solar Energy).

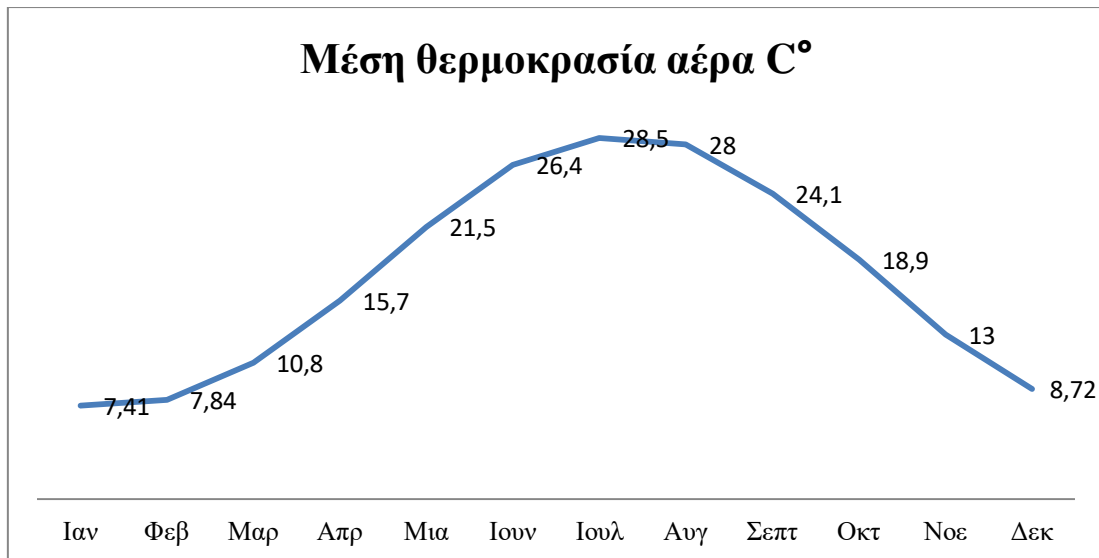
Στον πίνακα 6.3, πού ακολουθεί, αναγράφεται η συνολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτες διαφόρων κλίσεων στον προς μελέτη τόπο.



Σχήμα 6.1. Γράφημα μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας ανά κλίση (kWh/m^2) κατά τη διάρκεια του έτους

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μα	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση θερμοκρασία αέρα C°	7,41	7,84	10,8	15,7	21,5	26,4	28,5	28	24,1	18,9	13	8,72

Πίνακας 6.4. Πίνακας μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (C°) αέρα κατά τη διάρκεια του έτους



Σχήμα 6.2: Γράφημα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (C°) αέρα κατά τη διάρκεια του έτους

Μελετώντας το διάγραμμα του σχήματος 6.4, παρατηρούμε ότι η χρήση επίπεδων συλλεκτών (κλίση 0° και 23°) απορρίπτεται εξ αρχής διότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτούς κατά τους ακραίους μήνες (Δεκέμβριο και Ιανουάριο) παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις υπόλοιπες κλίσεις. Επιπλέον, είναι ολοφάνερο πως εάν τοποθετήσουμε συλλέκτες κλίσης 90° δεν θα εκμεταλλευτούμε στο έπακρον την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον προς μελέτη τόπο, για κανέναν μήνα του έτους. Θεωρητικά η κλίση των 53° υπερτερεί, αφού μας ενδιαφέρει να αυξήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την αξιοπιστία του συστήματος κατά τους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, επειδή το κέρδος σε σύγκριση με την κλίση των 38° είναι ιδιαίτερα μικρό, είναι προτιμότερο να τοποθετήσουμε συλλέκτες κλίσης 38° για να πετύχουμε μεγαλύτερη εκμετάλλευση ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους θερινούς μήνες. Βέβαια, και η κλίση των 53° θα μπορούσε να αποτελεί λύση του προβλήματος μας αφού οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους ακραίους μήνες δεν παρουσιάζουν δραματικές διαφορές. Μάλιστα, η κλίση αυτή αποτελεί την βέλτιστη λύση σε περίπτωση που υπάρχουν επιπλέον θερινά φορτία, όπως ένα κλιματιστικό.

6.5 Διαμοιρασμός φορτίου από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια

6.5.1 Γενικά

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να γίνει ο διαχωρισμός του φορτίου. Πρέπει να επιλέξουμε τι ποσοστό της απαιτούμενης ενέργειας θα παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και ποιο θα είναι το υπολειπόμενο ποσοστό που θα παράγεται από την ανεμογεννήτρια, έτσι ώστε γίνουν οι υπολογισμοί για τα μεγέθη και το πλήθος των συλλεκτών και της ανεμογεννήτριας. Είναι προφανές πως το κύριο μερίδιο της ζητούμενης ενέργειας θα το παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως θα δούμε και παρακάτω, η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα ευμετάβоло μέγεθος σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, δεν επικρατούν μεγάλης έντασης άνεμοι στην περιοχή που μελετάμε, έτσι ώστε να καθιστούν την ανεμογεννήτρια κύριο παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά ο ρόλος της ανεμογεννήτριας στο σύστημα μας είναι πολύ σημαντικός, καθότι θα αποτελεί σταθεροποιητικό παράγοντα αφού οι κύριοι μήνες που αποδίδει ικανοποιητικά, είναι και οι ίδιοι μήνες που τα φωτοβολταϊκά έχουν μικρή απόδοση. Το γεγονός αυτό, μας προσδίδει ισορροπία στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντίθεση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα που τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε μεγάλα ποσά περισσευούμενης ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να πετύχουμε αυτονομία τους χειμερινούς μήνες του έτους.

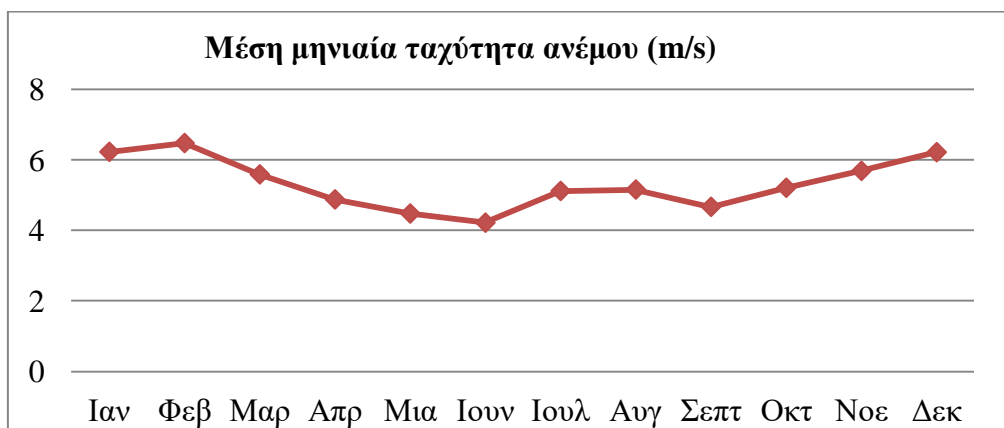
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η ένταση του ανέμου στην περιοχή και η μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από το site της NASA.

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	6,23	6,48	5,59	4,88	4,48	4,22	5,12	5,16	4,67	5,21	5,69	6,22

Πίνακας 6.5: Πίνακας μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (m/s) κατά τη διάρκεια του έτους

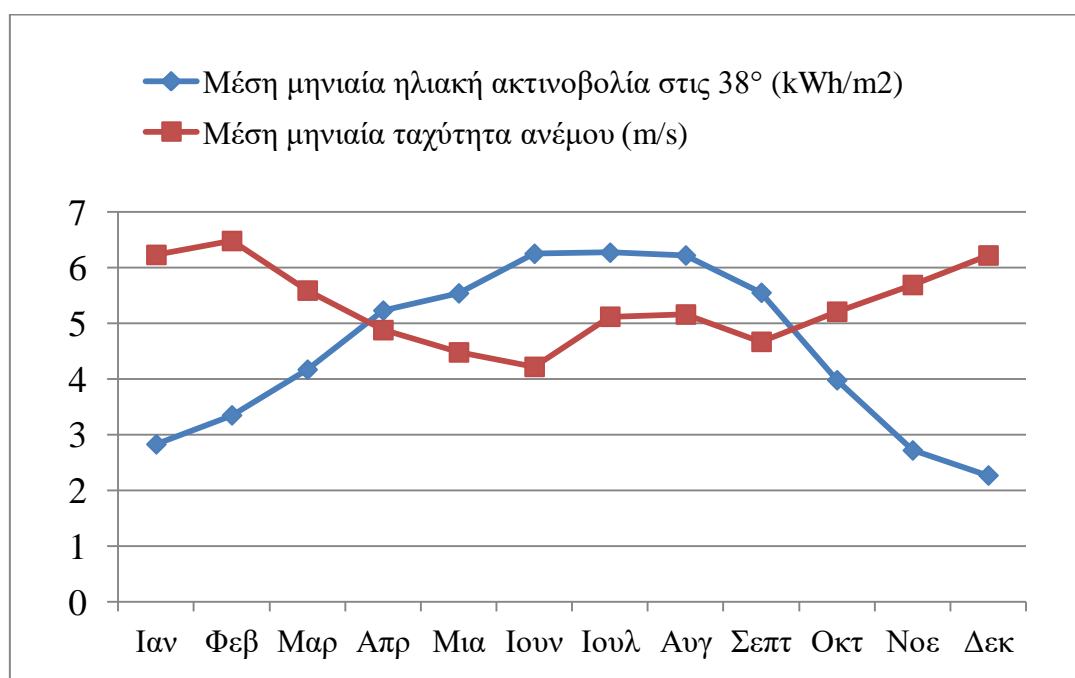
Παρατηρούμε ότι τους χειμερινούς μήνες έχουμε μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου, όπως αναμενόταν.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται γραφικά η μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου.



Σχήμα 6.3. Γράφημα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (m/s) κατά τη διάρκεια του έτους

Εφόσον προηγουμένως επιλέξαμε ότι η κλίση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών θα είναι 38° , προκύπτει το παρακάτω διαφωτιστικό γράφημα, στο οποίο φαίνεται χαρακτηριστικά η προαναφερθείσα αλληλοσυμπλήρωση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 6.4. Γράφημα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (m/s) και μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας ανά κλίση (kWh/m²) κατά τη διάρκεια του έτους

Το σημαντικότερο κομμάτι αλλά και αυτό που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, είναι αυτό του υπολογισμού του μεγέθους της ανεμογεννήτριας.

Ο σκοπός της χρησιμοποίησης της ανεμογεννήτριας είναι να παραγάγει ένα ποσοστό από την ενέργεια που χρειαζόμαστε τους χειμερινούς μήνες, στους οποίους η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλή.

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε ότι 6 μήνες το χρόνο (Ιανουάριος – Φεβρουάριος – Μάρτιος – Οκτώβριος – Νοέμβριος - Δεκέμβριος) που η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει κατακόρυφα, στην προς μελέτη περιοχή επικρατούν άνεμοι μεγαλύτεροι των 5m/s. Ένταση ανέμου που είναι ικανοποιητική για τις απαιτήσεις της εγκατάστασης μας.

Θα επιδιώξουμε να επιτύχουμε πλήρη αυτονομία τους 6 χειμερινούς μήνες συνδυάζοντας και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και την ανεμογεννήτρια. Ενώ τους υπόλοιπους 6 μήνες, λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, θα επιδιώξουμε πλήρη αυτονομία μόνο από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και η ανεμογεννήτρια θα λειτουργεί εφεδρικά σε έκτακτες περιπτώσεις.

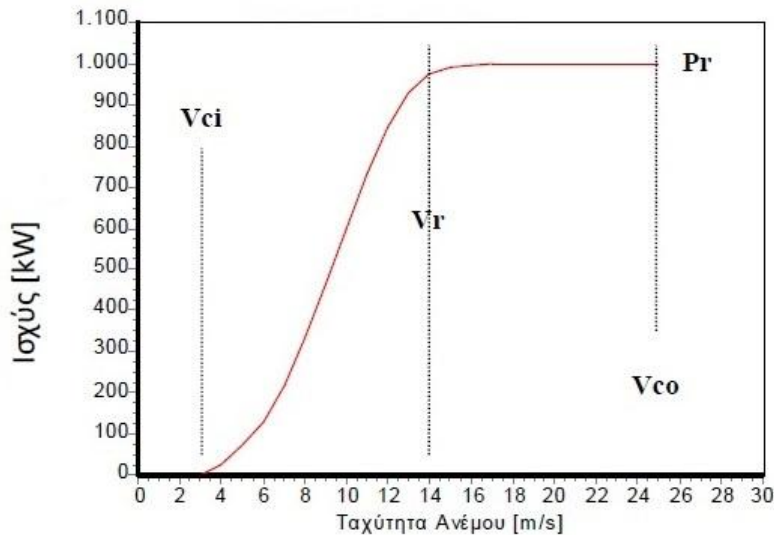
6.5.2 Υπολογισμός απόδοσης ανεμογεννήτριας

Εν προκειμένω, χρειαζόμαστε μια ανεμογεννήτρια που θα αποδίδει σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, δηλαδή 5m/s – 6m/s. Λόγω της περίπλοκης σχέσης που συνδέει την ταχύτητα του ανέμου και την απόδοση μιας ανεμογεννήτριας, κάθε κατασκευαστής παρουσιάζει το διάγραμμα ισχύος – ταχύτητας ανέμου για κάθε μοντέλο που κυκλοφορεί στην αγορά.

Στο σημείο αυτό, λόγω των μεγάλων διαφορών που συναντάμε στις αποδόσεις των μικρών ανεμογεννητριών που υπάρχουν στο εμπόριο, θα πρέπει να ακολουθήσουμε διαφορετική πορεία στην δομή του υπολογισμού των απαιτούμενων μεγεθών τόσο για τα φωτοβολταϊκά όσο και για την ανεμογεννήτρια. Είναι δυνατόν θεωρητικά να μπορούμε να υπολογίσουμε την απόδοση μιας ανεμογεννήτριας, παρ' όλα αυτά η πραγματική απόδοσή της διαφέρει σημαντικά από τη θεωρητική τιμή. Για το λόγο αυτό, θα προχωρήσουμε στην επιλογή ανεμογεννήτριας ισχύος

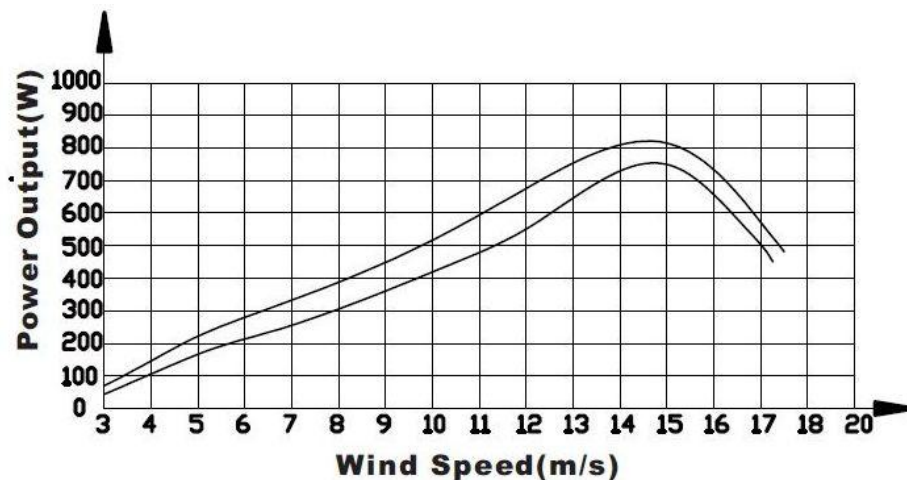
600 Watt (αυθαίρετα) και θα υπολογίσουμε την απόδοσή της ανά μήνα έτσι ώστε να συμπληρώσουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια την υπολειπόμενη ζητούμενη ισχύ.

Η απόδοση μιας τυπικής ανεμογεννήτριας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.5. Καμπύλη ισχύος τυπικής Α/Γ

Εν προκειμένω, στην επιλεγθείσα ανεμογεννήτρια, ο κατασκευαστής δίνει τα στοιχεία απόδοσης τα οποία φαίνονται παρακάτω:



Σχήμα 6.6. Καμπύλη ισχύος Α/Γ 600 Watt

Wind Speed		3m/s	5m/s	7m/s	8m/s	10m/s	12m/s	15m/s	16m/s
24V	Charge Current	2A	6A	8A	10A	15A	20A	27A	Brake
	Output Power	54W	162W	208W	273W	420W	550W	756W	
48V	Charge Current	1.5A	5A	6A	7A	9A	13A	15A	Brake
	Output Power	78W	260W	324W	378W	486W	689W	810W	

Πίνακας 6.6. Πίνακας απόδοσης A/G 600 Watt

Για την περιοχή έντασης των ανέμων 5m/s – 7m/s παρατηρούμε απόδοση 162W έως 208W, τιμές που όπως θα δείξουμε παρακάτω αποκλίνουν αισθητά από τις πραγματικές.

Ο μαθηματικός τύπος που εκφράζει την αποδιδόμενη ισχύ μιας ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας είναι ο εξής:

$$P = \frac{1}{2} \rho U^3 \frac{\pi d^2}{4} (W)$$

ρ = πυκνότητα του αέρα

U = ταχύτητα ανέμου,

π = 3.14,

d = διάμετρος ρότορα ανεμογεννήτριας

Επιπλέον, υπάρχει και το όριο Betz, σύμφωνα με το οποίο η ισχύς υπόκειται σε ποσοστιαία μείωση 59.3%. Για ταχύτητα 5m/s ο παραπάνω τύπος μας δίνει αποδιδόμενη ισχύ 99.8W ενώ ο κατασκευαστής δίνει αποδιδόμενη ισχύ=162W!

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, για τα αιολικά δεδομένα της περιοχής που μελετάμε προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας με την μηνιαία τελική αποδιδόμενη ισχύ της ανεμογεννήτριας σε kWh.

	Απόδοση Α/Γ (kWh)
Ιανουάριος	4,634
Φεβρουάριος	5,214
Μάρτιος	3,347
Απρίλιος	2,227
Μάιος	1,723
Ιούνιος	1,44
Ιούλιος	2,572
Αύγουστος	2,633
Σεπτέμβριος	1,952
Οκτώβριος	2,711
Νοέμβριος	3,53
Δεκέμβριος	4,611

Πίνακας 6.7. Πίνακας μηνιαίας αποδιδόμενης ισχύος ανεμογεννήτριας 600 Watt (kWh)

→ Για τις παραπάνω μετρήσεις χρησιμοποιήσαμε $\rho=1.23\text{kg/m}$ και $d=1.67\text{m}$ ←

Στον πίνακα 6.8, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο μήνας με τις μικρότερες τιμές (“αθροιστικά”) σε ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου, είναι ο Νοέμβριος. Συνεπώς θα εξετάσουμε τον Νοέμβριο ως προς τις αποδόσεις της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών ταυτόχρονα. Η ανεμογεννήτρια τον μήνα Νοέμβριο παράγει κατά μέσο όρο 3.53kWh, συνεπώς χρειαζόμαστε επιπλέον 4.47kWh τις οποίες θα παραγάγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

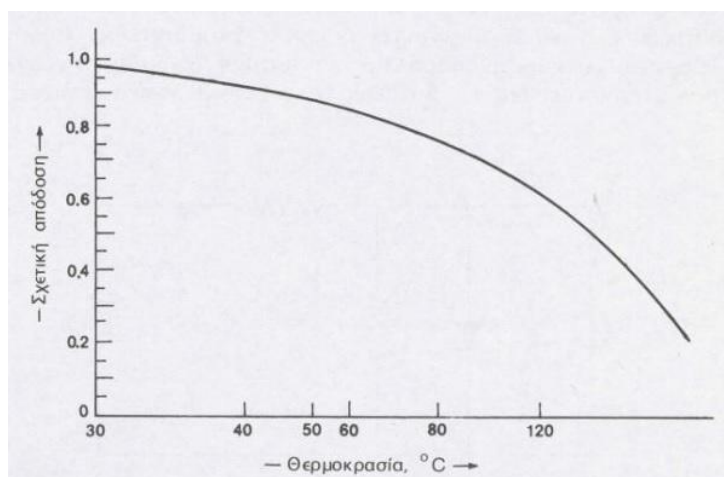
6.5.3 Υπολογισμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ζητούμενο λοιπόν είναι η παραγωγή 4.47kW από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τον μήνα Νοέμβριο.

Από τον πίνακα 6.5 παρατηρούμε ότι για τον Νοέμβριο η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι 13°C. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων είναι κατά 30°C μεγαλύτερη, καταλήγουμε στους 43°C για τον μήνα Νοέμβριο.

Επομένως, από το διάγραμμα που ακολουθεί (σχήμα 6.7) εύκολα βρίσκουμε τον συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης σ_{θ} :

$$\sigma_{\theta} \approx 0,90$$



Σχήμα 6.7. Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης

Όσο αφορά την ρύπανση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, προβλέπουμε ότι λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται επιθεώρηση κι ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι, δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή 0,9 για όλες τις εποχές του έτους:

$$\sigma_p = 0,90$$

Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά το μήνα Νοέμβριο είναι 2,72 kWh/m². Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται από:

$$P_a(kW_p) = \frac{E(kWh/d) \times 1(kW/m^2)}{\Pi(kWh/m^2 \cdot d) \times \sigma_\theta \times \sigma_\rho} \Rightarrow$$

$$P_a(kW_p) = \frac{4.47(kWh/d) \times 1(kW/m^2)}{2.72(kWh/m^2 \cdot d) \times 0.9 \times 0.9} = 2.03kW$$

Στην συνέχεια, προχωράμε σε μια χονδρική εκτίμηση των απωλειών του συστήματος. Παίρνοντας ως συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 85% για τον αναστροφέα DC/AC και 95% για τους αγωγούς τον συστήματος, καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης:

$$\alpha = 0,85 \times 0,85 \times 0,95 = 0,69$$

Επομένως, η ελάχιστη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας πρέπει να είναι:

$$P_{αιχμής} = \frac{P_a}{\alpha} = \frac{2.03kW}{0.69} = 2.94kW$$

Οπότε, έχω ότι η ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα είναι ίση με 2.94kW. Σύμφωνα λοιπόν με αυτή τη ισχύ αιχμής που βρήκαμε, θα υπολογίσουμε την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και για τους υπόλοιπους μήνες του έτους.

Προκύπτει έτσι ο παρακάτω πίνακας:

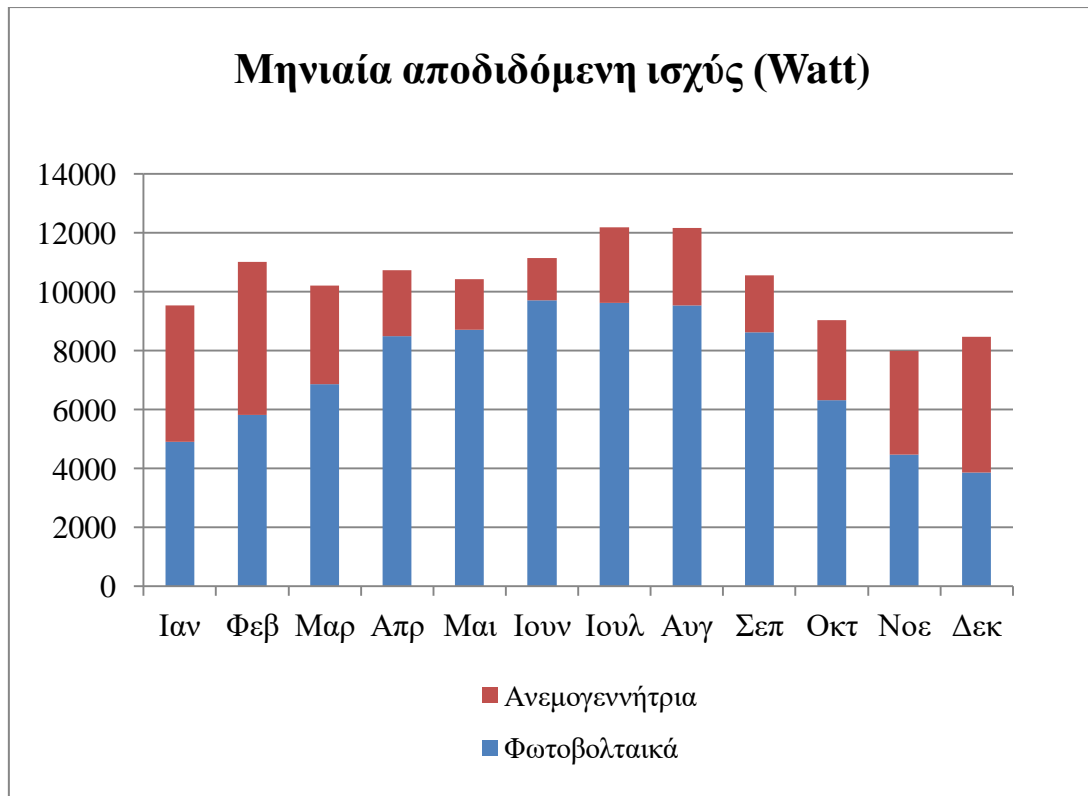
	Απόδοση Φ/Β (kWh)
Ιανουάριος	4,911
Φεβρουάριος	5,814
Μάρτιος	6,857
Απρίλιος	8,504
Μάιος	8,704
Ιούνιος	9,706
Ιούλιος	9,622
Αύγουστος	9,546
Σεπτέμβριος	8,619
Οκτώβριος	6,326
Νοέμβριος	4,47
Δεκέμβριος	3,857

Πίνακας 6.8. Πίνακας μηνιαίας αποδιδόμενης ισχύος φωτοβολταϊκών πλαισίων (kWh)

Έτσι, έχουμε για κάθε μήνα την αντίστοιχη παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά και από την ανεμογεννήτρια. Το άθροισμα τους θέλουμε σε κάθε περίπτωση να είναι μεγαλύτερο από 8kW σύμφωνα με τους προηγούμενους υπολογισμούς.

Προκύπτει λοιπόν το παρακάτω διαφωτιστικό γράφημα με την μηνιαία ισχύ που παράγεται από το σύστημά μας, στο οποίο παρατηρούμε ότι έχουμε πλήρη αυτονομία όλους τους μήνες του έτους με χαμηλότερη απόδοση, όπως σωστά προηγουμένως εκτιμήθηκε τον μήνα Νοέμβριο.

Παρατηρούμε επίσης ότι τους έξι «καλοκαιρινούς» μήνες αρκούν τα φωτοβολταϊκά για να καλύψουν τις ανάγκες μας, ενώ τους υπόλοιπους έξι μήνες συμβάλλουν τόσο τα φωτοβολταϊκά όσο και η ανεμογεννήτρια.



Πίνακας 6.8: Γράφημα μηνιαίας απόδοσης του προς μελέτη υβριδικού συστήματος ΑΠΕ, κατά τη διάρκεια του έτους (kWh)

6.6 Σύγκριση του υπό μελέτη υβριδικού συστήματος με σύνηθες φωτοβολταϊκό σύστημα.

Είναι ουσιώδες σε αυτό το σημείο, να γίνει μία σύγκριση μεταξύ του αυτόνομου υβριδικού συστήματος ΑΠΕ που επιλέξαμε να τοποθετήσουμε στην αγροικία, και ενός κλασικού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Σε προηγούμενο μέρος της παρούσας εργασίας αναφερθήκαμε στα πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ. Συνεπώς, είναι σημαντικό να δούμε εν τέλει εάν στην προκειμένη περίπτωση η επιλογή υβριδικού συστήματος ήταν σωστή, αποδοτική και συμφέρουσα.

Υποθέτουμε ότι για να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες θα χρησιμοποιήσουμε αποκλειστικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Για να υπολογίσουμε την ισχύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία με παραπάνω, μόνο που θα επιλέξουμε τον μήνα Δεκέμβριο για τις μετρήσεις μας, μιας και παρουσιάζει την χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία (2.27 kWh/m^2).

Χρειαζόμαστε για τον μήνα Δεκέμβριο 8 kW ημερησίως.

Από τον πίνακα 6.5 παρατηρούμε ότι για τον Δεκέμβριο η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι $8,72^\circ\text{C}$. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων είναι κατά 30°C μεγαλύτερη, καταλήγουμε στους $38,72^\circ\text{C}$ για τον μήνα Δεκέμβριο. Επομένως, από το σχήμα 6.7 εύκολα βρίσκουμε τον συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης σ_θ :

$$\sigma_\theta \approx 0,93$$

Όσο αφορά την ρύπανση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, προβλέπουμε ότι λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται επιθεώρηση κι ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι, δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή $0,9$ για όλες τις εποχές του έτους:

$$\sigma_p = 0,90$$

Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά το μήνα Δεκέμβριο είναι $2,27 \text{ kWh/m}^2$.

Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται από:

$$P_a(kW_p) = \frac{E(kWh/d) \times 1(kW/m^2)}{\Pi(kWh/m^2 \cdot d) \times \sigma_\theta \times \sigma_p} \Rightarrow$$
$$P_a(kW_p) = \frac{8(kWh/d) \times 1(kW/m^2)}{2.27(kWh/m^2 \cdot d) \times 0.93 \times 0.9} = 4.21kW$$

Ομοίως έχω:

$$\alpha = 0,85 \times 0,85 \times 0,95 = 0,69$$

Επομένως, η ελάχιστη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας πρέπει να είναι:

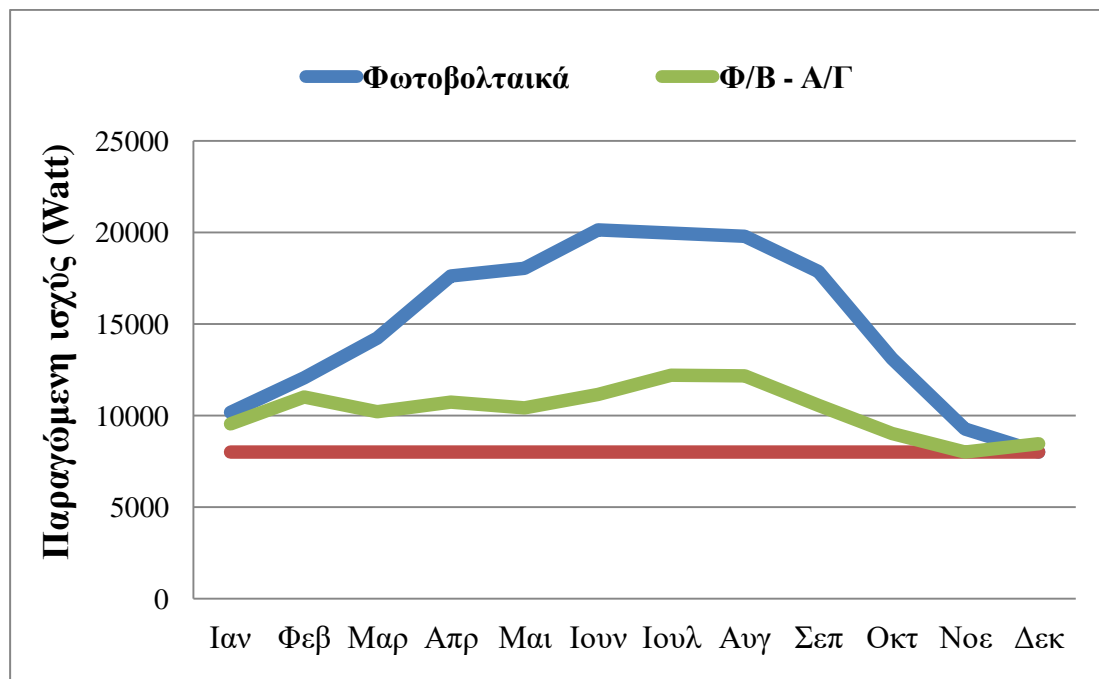
$$P_{\text{αιχμής}} = \frac{P_a}{\alpha} = \frac{4.21kW}{0.69} = 6.1kW$$

Προκύπτουν λοιπόν, με το ίδιο τρόπο οι μηνιαίες παραγωγές σε ισχύ για ολόκληρο το έτος και καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα

Μήνας	Απόδοση Φ/Β (kWh)
Ιανουάριος	10,19
Φεβρουάριος	12,05
Μάρτιος	14,22
Απρίλιος	17,64
Μάιος	18,05
Ιούνιος	20,13
Ιούλιος	19,95
Αύγουστος	19,8
Σεπτέμβριος	17,87
Οκτώβριος	13,12
Νοέμβριος	9,275
Δεκέμβριος	7,999

Πίνακας 6.9: Πίνακας μηνιαίας αποδιδόμενης ισχύος Φ/Β (kWh)

Στο παρακάτω γράφημα εμφανίζονται οι καμπύλες παραγωγής ισχύος αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά και από το υπό μελέτη υβριδικό σύστημά μας.



Σχήμα 6.9. Γράφημα μηνιαίας απόδοσης του υβριδικού συστήματος και του αντίστοιχου Φ/Β συστήματος κατά τη διάρκεια του έτους (W)

Είναι ολοφάνερο ότι οι δύο καμπύλες (μπλε – πράσινη) έχουν σημαντικές διαφορές, που καθιστούν το προς μελέτη υβριδικό σύστημά μας βελτίωνα λύση.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι με την αποκλειστική χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων, προκειμένου να εξασφαλίσουμε αυτονομία τους χειμερινούς μήνες, παράγουμε το καλοκαίρι πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από αυτά που χρειαζόμαστε. Γεγονός που οδηγεί σε συνεχή υπερφόρτιση των συσσωρευτών μειώνοντάς τους έτσι την απόδοση αλλά και τη διάρκεια ζωής τους.

Επίσης, παρατηρούμε ότι η καμπύλη παραγωγής ισχύος που αφορά το υβριδικό σύστημα είναι αισθητά πιο ομοιόμορφη με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν τόσο μεγάλες ποσότητες περισσευούμενης ενέργειας που δεν

καταναλώνονται. Συγκεκριμένα, το Φ/Β σύστημα παράγει περισευούμενη ισχύ 84.305kWh ενώ το υβριδικό σύστημα παράγει 27.534kWh. Σχεδόν το 1/3!!!

Επίσης, όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο, για την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος χρειάζονται τα διπλάσια φωτοβολταϊκά πλαίσια, γεγονός που αυξάνει το κόστος σημαντικά σε σχέση με το υβριδικό σύστημα που επιλέξαμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Επιλογή των στοιχείων του συστήματος

5.1 Η τάση του συστήματος

Η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και της ανεμογεννήτριας πρέπει να ισούται με την τάση των συσσωρευτών, καθώς και με την τάση εισόδου στον μετατροπέα. Συνήθως, προτιμούμε τάση 12V, 24V ή 48V. Όσο υψηλότερη τάση χρησιμοποιούμε στο σύστημα τόσο μικρότερο ρεύμα απαιτείται, που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση των απωλειών στα καλώδια. Ωστόσο, για να έχουμε υψηλή τάση θα πρέπει να συνδέσουμε μεγάλο πλήθος συσσωρευτών σε σειρά και κάτι τέτοιο αυξάνει υπερβολικά το κόστος εγκατάστασης. Για αυτούς τους λόγους πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ως προς την επιλογή της τάσης του συστήματος.

Στην παρούσα μελέτη, αποφασίστηκε να εγκαταστήσουμε μετατροπέα τάσης εισόδου 24V και συνεπώς, η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, της ανεμογεννήτριας και των συσσωρευτών θα είναι και αυτή 24V.

5.2 Το πλήθος και η οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Για να υπολογίσουμε τον ακριβή τύπο, αριθμό και συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων έπρεπε να ορίσουμε τη μέγιστη τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Ισχύει:

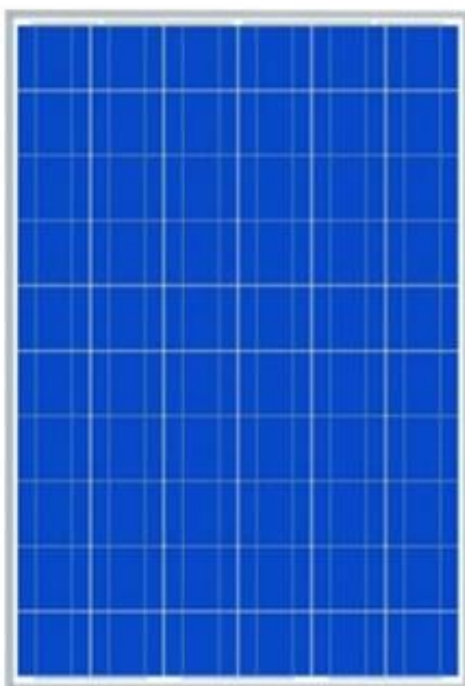
$$V_{m\Sigma} > 1.2V_B$$

όπου, V_B η ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή και με τιμή 24V.

Άρα,

$$V_{m\Sigma} > 28.8V$$

Επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού τύπου κυψελών της εταιρείας SolarTech ονομαστικής ισχύος 210 Wp.



Σχήμα 5.1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	SPM210P
Ονομαστική Ισχύς (Wp)	210
Μέγιστο Ρεύμα (I mpp)	7,11
Μέγιστη Τάση Ισχύος (Vmpp)	30
Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως (A)	7,72
Τάση Ανοικτοκυκλώσεως (V)	36,4
Βαθμός Απόδοσης (STC)	13,49%
Διαστάσεις πλαισίου	1640x994x50mm

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων

Επειδή η τάση των πλαισίων συμπίπτει με την επιθυμητή τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (24V) δεν θα χρειαστεί να συνδέσουμε καθόλου πλαίσια σε σειρά. Πρέπει όμως, να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαισίων που θα συνδέσουμε παράλληλα.

Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων (παράλληλης σύνδεσης) που θα χρειαστούμε δίνεται από:

$$N = \frac{P_{αιχμής}}{P_{\phi/\beta}} = \frac{2,94kW}{210W} = 14$$

Επειδή ο αριθμός των πλαισίων που θα εγκαταστήσουμε είναι μεγάλος, κρίνεται αναγκαίο να οργανώσουμε τα πλαίσια σε ομάδες. Αυτό θα διευκολύνει, στην συνέχεια, την μελέτη μας σε ότι αφορά την επιλογή των αντιστροφέων καθώς και των ρυθμιστών τάσεως. Έτσι, θα φτιάξουμε 2 ομάδες αποτελούμενες από 7 πλαίσια έκαστη.

5.3 Η ανεμογεννήτρια

Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε την ανεμογεννήτρια S800 της εταιρείας Greatwatt με ονομαστική ισχύ 600 Watt και τάση 24V (DC).



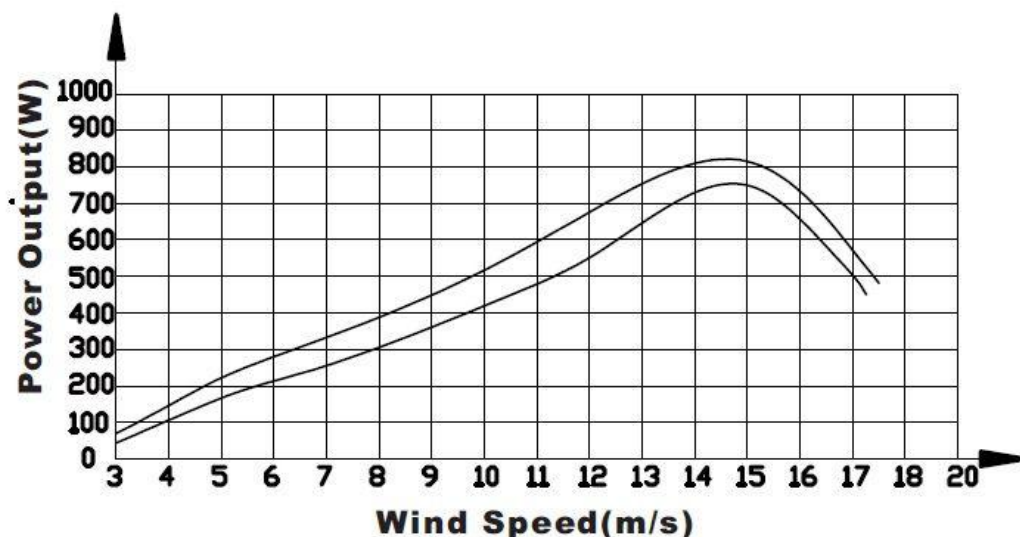
Σχήμα 5.2

Στην συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια βασιστήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για να υπολογίσουμε τα μεγέθη του συστήματος που αφορούσαν αιολικά δεδομένα και την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας.

Χαρακτηριστικά Α/Γ S800	
Ονομαστική ισχύς	600W
Ονομαστική τάση	24V
Μέγιστη ισχύς	800W
Ταχύτητα αποκοπής	3m/s
Διάμετρος ρότορα	1.67m
Προστασία	Ηλεκτρομαγνητικό φρένο

Πίνακας 5.2. Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας S 800

Οι καμπύλες παραγωγής ισχύος της ανεμογεννήτριας σε συνάρτησι με την ταχύτητα του ανέμου αλλά και κάποιες εργοστασιακές μετρήσεις για την ένταση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος και την αντίστοιχη ισχύ φαίνονται στα παρακάτω σχήματα



Σχήμα 5.3. Καμπύλη απόδοσης ανεμογεννήτριας S800

Wind Speed		3m/s	5m/s	7m/s	8m/s	10m/s	12m/s	15m/s	16m/s
24V	Charge Current	2 A	6A	8A	10A	15A	20A	27A	Brake
	Output Power	54W	162 W	208W	273W	420W	550W	756 W	
48V	Charge Current	1.5A	5A	6A	7A	9A	13A	15A	Brake
	Output Power	78 W	260W	324W	378W	486W	689 W	810W	

Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικά απόδοσης ανεμογεννήτριας S800

5.4 Οι συσσωρευτές

Με γνώμονα τα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευαστές, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε συσσωρευτές Rolls διότι υπερέχουν έναντι πολλών άλλων συσσωρευτών. Πιο συγκεκριμένα, έχουν μεγάλο βάθος

εκφόρτισης, έως και 80%, κι επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής, πάνω από 10 έτη.



Σήμα 5.4. Συσσωρευτές Rolls

Τύπος	Σειρά	μήκος	Πλάτος	Ύψος	Χωρητικότητα (Ah) - C20	Βάρος	Τάση (V)
T12250	4000	391	178	365	200	57.50	12

Πίνακας 5.4. Χαρακτηριστικά συσσωρευτών Rolls

Δεδομένου ότι επιλέξαμε ως τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών τα 24V θα πρέπει να συνδέσουμε 2 συσσωρευτές σε σειρά, για κάθε κλάδο συσσωρευτών, αφού η ονομαστική τάση των συσσωρευτών Rolls είναι 12V. Συνεπώς, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών είναι $\beta=80\%$, ο συντελεστής απόδοσής τους είναι $\alpha=85\%$ και η τάση τούς 24V.

Επιπλέον, επειδή πρόκειται για σύστημα που θα λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια τον έτους πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τις πιθανές διαδοχικές ημέρες συννεφιάς και άπνοιας καθ' όλη την διάρκεια τον έτους. Μια αρκετά καλή προσέγγιση είναι να σχεδιάσουμε το σύστημά μας ώστε να παρέχει ενέργεια στην αγροικία έως και 2 διαδοχικές ημέρες συννεφιάς και άπνοιας, κατά τους χειμερινούς μήνες.

Τότε, η ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

$$C = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V} = \frac{8000Wh}{0.85 \times 0.8 \times 24V} \cong 490Ah$$

Τελικά, το σύστημά μας θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να δύναται να παρέχει ενέργεια ίση με 8kWh, σε περίπτωση διαδοχικών ημερών συννεφιάς, γεγονός που καλύπτει τόσο τους χειμερινούς όσο και τους θερινούς μήνες. Επιθυμούμε αυτονομία 2 ημερών οπότε η χωρητικότητα των συσσωρευτών θα γίνει

$$C = 2 \times 490Ah = 980Ah$$

Η συστοιχία των συσσωρευτών θα περιλαμβάνει 5 παράλληλους κλάδους με 2 συσσωρευτές σε σειρά ανά κλάδο, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 10 συσσωρευτές. Η σύνδεση σε σειρά καθορίζει την ονομαστική τάση ($V = 2 \times 12 = 24V$) και η παράλληλη σύνδεση καθορίζει την ονομαστική χωρητικότητα ($C = 5 \times 200 = 1000 Ah$).

5.5 Επιλογή ρυθμιστών φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για την σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Ελέγχει την διαδικασία φόρτισης και την διακόπτει όταν διαπιστωθεί ότι η μπαταρία έχει φορτισθεί πλήρως. Εάν η φόρτιση συνεχιστεί ελλοχεύει ο κίνδυνος καταστροφής των συσσωρευτών. Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να εκφορτίζονται σταδιακά, ακόμη και όταν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή (αυτοεκφόρτιση), ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να ξαναρχίσει αυτόματα η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας

όταν διαπιστωθεί ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο πλήρους φόρτισης.

Στην παρούσα μελέτη, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα οργανωθούν σε 2 ομάδες, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι απαιτούνται 2 ρυθμιστές φόρτισης για την σωστή λειτουργία της συστοιχίας των συσσωρευτών.

Για τις δύο συστοιχίες των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα επιλέξουμε τον μετατροπέα – ρυθμιστή **Sunny Boy 4000TL** της εταιρείας SMA.



Σχήμα 5.4. Μετατροπέας Sunny Boy 4000TL

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ SUNNY BOY 4000TL	
Ονομαστική ισχύς εξόδου	4000W
Ονομαστική τάση εξόδου	230V
Ονομαστική συχνότητα εξόδου	50Hz
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	22A
Μέγιστη ισχύς εισόδου	4200W
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	15A
Βαθμός απόδοσης	97%

Πίνακας 5.5. Χαρακτηριστικά μετατροπέα Sunny Boy 4000TL

Για την ανεμογεννήτρια θα επιλέξουμε πάλι της ίδιας εταιρεία μετατροπέα - ρυθμιστή, το **Windy Boy 1200**.



Σχήμα 5.5. Μετατροπέας Windy Boy 1200

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ WINDY BOY 1200	
Ονομαστική ισχύς εξόδου	1200W
Ονομαστική τάση εξόδου	230V
Ονομαστική συχνότητα εξόδου	50Hz
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	6.1A
Μέγιστη ισχύς εισόδου	1200W
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	12.6A
Βαθμός απόδοσης	90.9%

Πίνακας 5.5. Χαρακτηριστικά μετατροπέα Windy Boy1200

Οι δύο συσκευές της εταιρείας SMA έχουν πλήρη συμβατότητα με τον κεντρικό μετατροπέα – διαχειριστή του συστήματος που θα επιλέξουμε παρακάτω. Είναι αξιόπιστες και εγκαθίστανται με μεγάλη ευκολία προσδίδοντας στο σύστημα μέγιστη απόδοση.

5.6 Επιλογή Inverter

Ο inverter είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα τον φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έτσι, από τους συσσωρευτές τον συστήματος μπορούμε να τροφοδοτήσουμε όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 220V. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων αυτών των συσκευών που λειτουργούν συγχρόνως να μην ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ τον μετατροπέα. Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας κλείνει αν από λάθος συνδεθεί μια συσκευή μεγαλύτερης ισχύος από αυτήν που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, τις ηλεκτρικές συσκευές. Το ίδιο γίνεται και σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι οι μπαταρίες τον συστήματος τείνουν να αδειάσουν.

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα τάσεως DC/AC (inverter). Ο μετατροπέας αυτός θα πρέπει να καλύπτει τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Τάση εισόδου ίση με την ονομαστική τάση των συσσωρευτών (δηλαδή 24 V).
- Η ισχύς στην έξοδο του μετατροπέα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων που λειτουργούν ταυτόχρονα (δηλαδή 4 kW).
- Η ισχύς αιχμής του μετατροπέα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ κατανάλωσης (περίπου 8kW).
- Η τάση εξόδου του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με την τάση των φορτίων κατανάλωσης, δηλαδή 230 V.

Επειδή τα φορτία της οικίας είναι πολυάριθμα, επιλέξαμε σ' αυτό το σημείο να χρησιμοποιήσουμε 2 τριφασικούς μετατροπείς στους οποίους θα διαμοιράζονται τα συνολικά φορτία και που καθένας από αυτούς θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ισχύ εξόδου 2-3 kW και ισχύ αιχμής 3-4 kW.

Η απόφασή μας να εγκαταστήσουμε δύο inverter έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα. Σε περίπτωση βλάβης σε μια από τις δύο συσκευές, η παροχή ρεύματος στην αγροικία δεν θα χρειαστεί να σταματήσει εντελώς, αφού η δεύτερη συσκευή μπορεί να λειτουργεί κανονικά. Σίγουρα, οι ηλεκτρικές καταναλώσεις θα πρέπει να περιοριστούν. Ωστόσο, θα μπορούμε να καλύψουμε τις βασικές ανάγκες της οικογένειας μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη στο σύστημα.

Έτσι, επιλέγουμε 2 μετατροπείς Sunny Island 2224 (σχήμα 5.6), της εταιρείας SMA. Οι μετατροπείς αυτοί προσφέρουν ολοκληρωμένη διαχείριση του αυτόνομου συστήματος, υψηλό βαθμό απόδοσης, έξυπνη διαχείριση του συσσωρευτή για μέγιστη διάρκεια ζωής, καθώς και υπολογισμό φόρτισης του συσσωρευτή.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετατροπέα φαίνονται στον Πίνακα 5.6.



Σχήμα 5.6. Μετατροπέας Sunny Island 2224

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ SUNNY ISLAND 2224	
Ονομαστική τάση εξόδου/ρυθμιζόμενη	230V
Ονομαστική συχνότητα εξόδου/ρυθμιζόμενη	50Hz
Συνεχής ισχύς εξόδου (AC) στους 25 °C	2900W
Ονομαστικό ρεύμα εξόδου	14.5A
Μέγιστη ισχύς εισόδου	5.75kW
Μέγιστο ρεύμα εισόδου/ρυθμιζόμενο	25A
Βαθμός απόδοσης	94.5%

Πίνακας 5.5. Χαρακτηριστικά μετατροπέα Sunny Island 2224

Η συσκευή αυτή είναι το βασικότερο στοιχείο του συστήματος. Το Sunny Island διατηρεί την τάση και την συχνότητα σταθερά εντός ορίων. Αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια στους συσσωρευτές και σε αντίθετη περίπτωση τροφοδοτεί την οικία με το ρεύμα του συσσωρευτή. Πρόκειται δηλαδή για ένα μετατροπέα αμφίδρομης κατεύθυνσης που

λειτουργεί από τη μία ως μετατροπέας και από την άλλη σαν ρυθμιστής φόρτισης των συσσωρευτών. Πέρα από τη διαχείριση του συστήματος, ο μετατροπέας Sunny Island διαθέτει ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης των συσσωρευτών που περιλαμβάνει και λειτουργίες επιτήρησης. Έτσι γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την ακριβή κατάσταση φόρτισης. Σε περίπτωση εκφορτισμένων συσσωρευτών και ταυτόχρονα μικρής χωρητικότητας παραγωγή, ο Sunny Island μπορεί να ενεργοποιήσει το H/Z ή να απενεργοποιήσει συγκεκριμένα φορτία κατανάλωσης. Είναι η συσκευή πάνω στην οποία θα συνδεθούν όλες οι συσκευές του συστήματός μας.

5.7 Επιλογή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους

Συνήθως, το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής, για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη τον συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συννεφιάς κλπ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται γεννήτριες ντίζελ. Ο λόγος που προτιμούμε αυτές τις γεννήτριες είναι ότι λειτουργούν με πετρέλαιο, στο οποίο όλοι έχουμε πρόσβαση ανά πάσα στιγμή.

Το μέγεθος της γεννήτριας εξαρτάται από τις ανάγκες που θέλουμε να ικανοποιήσουμε σε περίπτωση που η παροχή ρεύματος από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια διακοπεί.

Η επιλογή του κατάλληλου H/Z γίνεται με βάση τις 2 παρακάτω παραμέτρους:

1. Το H/Z πρέπει να εξασφαλίζει τη λειτουργία της εγκατάστασης όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα δε μπορεί να ανταποκριθεί στην επιπλέον ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Το H/Z πρέπει επίσης να είναι ικανό να επαναφέρει τον εκφορτισμένο ηλεκτρικό συσσωρευτή στην κατάσταση πλήρους φόρτισης.

Ο χρόνος φόρτισης t του συσσωρευτή από το Η/Ζ καθορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$t_{\phi} = \frac{\beta_{\varepsilon\kappa} \times C}{n_q \times I_{\phi}} h$$

όπου,

$\beta_{\varepsilon\kappa}=0.8$, το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

$C = 1000Ah$, η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή.

n_q , ο βαθμός απόδοσης φορτίου, δηλαδή ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση προς το φορτίο κατά τη φόρτιση (τυπική τιμή 0,9).

I_{ϕ} , το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή (συνήθως $< C/10$). Εμείς επιλέξαμε $< C/12$.

Έτσι, προκύπτει $t_{\phi} = 10.67h$. Άρα, το Η/Ζ θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί συνεχώς για τουλάχιστον 11h.

Η ηλεκτρική ισχύς P_{ϕ} του Η/Ζ για τη φόρτιση του συσσωρευτή δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\phi} = I_{\phi} \times V_{HZ}$$

όπου,

$V_{HZ} = 1.5V_B$, η τάση εξόδου του Η/Ζ προς τον συσσωρευτή και V_B η τάση του συσσωρευτή (24V).

Άρα, η ηλεκτρική ισχύς του Η/Ζ προκύπτει $P_{\phi} = 2.5kW$.

Η συνολική απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς P_{HZ} του Η/Ζ δίνεται από τη σχέση:

$$P_{HZ} \geq P_{\kappa} + P_{\phi}$$

όπου,

$P_{\kappa} = 8\text{kW}$, η συνολική ηλεκτρική ισχύς κατανάλωσης,

$P_{\phi} = 2.5\text{kW}$, η ηλεκτρική ισχύς για τη φόρτιση του συσσωρευτή.

Άρα χρειαζόμαστε μια γεννήτρια ισχύος περίπου 11kW.

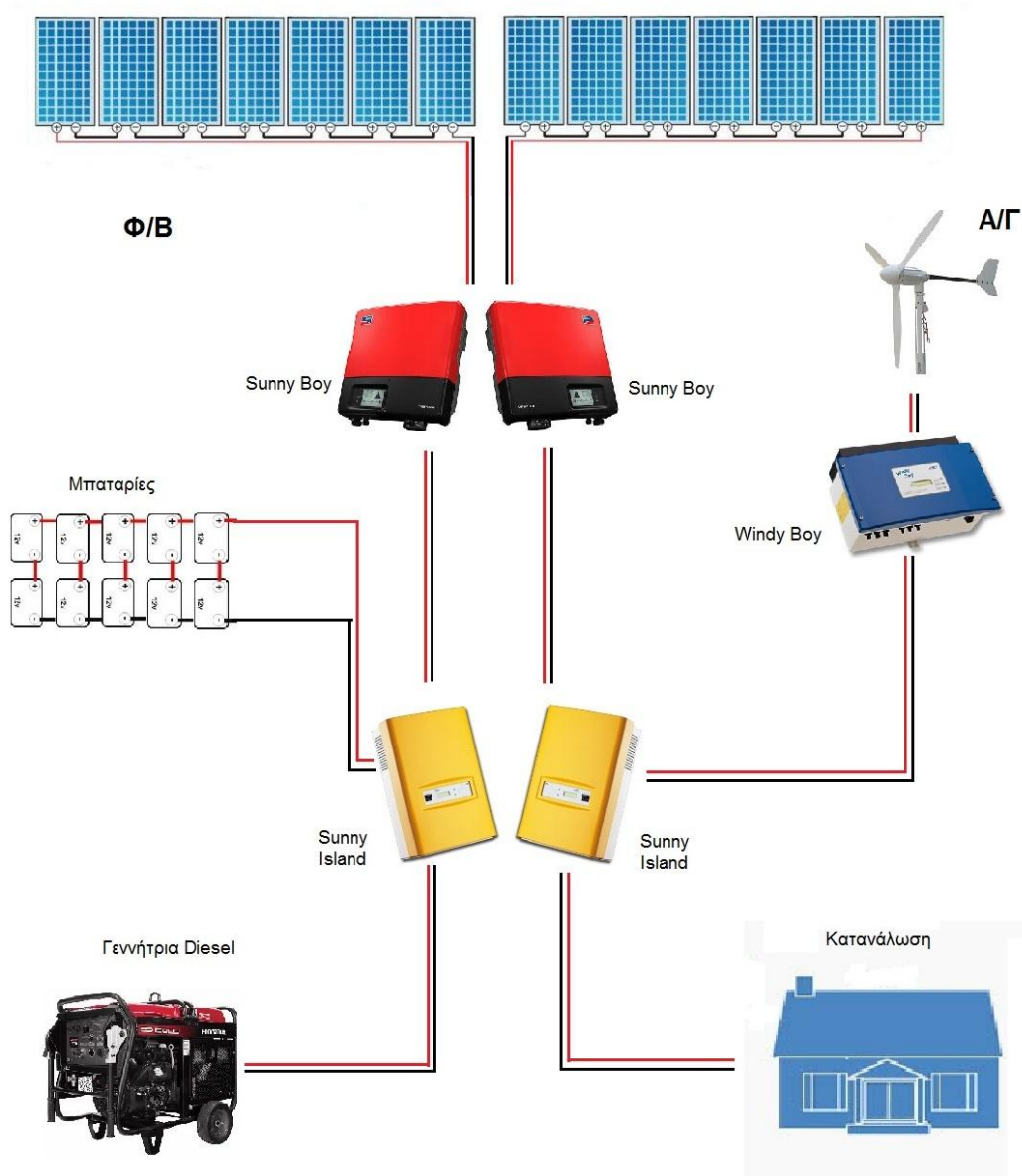
Επιλέγουμε την γεννήτρια HONDA EB10000, ονοματικής ισχύος 10kW. Μπορούμε έτσι σε μια περίπτωση ανάγκης να καλύψουμε τις καταναλώσεις της οικίας αλλά και να φορτίσουμε τους συσσωρευτές σε μικρό χρονικό διάστημα



Σχήμα 5.7. Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος

6.10 Μορφή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, καταλήξαμε ότι για την συγκεκριμένη εγκατάσταση θα χρειαστούμε 14 φωτοβολταϊκά πλαίσια οργανωμένα σε ομάδες. Τα πλαίσια της κάθε ομάδας θα είναι συνδεδεμένα παράλληλα και θα συνδέονται με έναν ελεγκτή φόρτισης ο οποίος θα καταλήγει στους κεντρικούς μετατροπείς του συστήματος (Sunny Island). Το ίδιο ισχύει για τη ανεμογεννήτρια αλλά και για τους συσσωρευτές



Σχήμα 5.8. Διάγραμμα του υβριδικού φ/β συστήματός μας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Τεχνική μελέτη

6.1 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) πάνελ

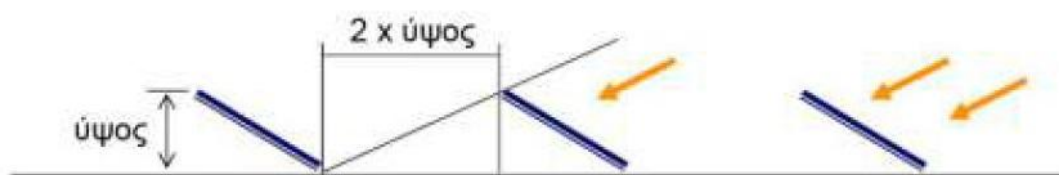
6.1.1 Αποφυγή σκίασης

Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά (και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα) φαινόμενα (π.χ. σύννεφα).

Για παράδειγμα ας θεωρηθεί η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Η περίπτωση αυτή οδηγεί στη δημιουργία «θερμών σημείων» (hot spots) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε γρηγορότερη γήρανση και ενδεχόμενα καταστροφή του πάνελ.

Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας.

Για το λόγο αυτό, πρέπει να ληφθεί κάθε δυνατή μέριμνα ώστε να αποφευχθούν σκιάσεις από δένδρα, καλώδια και στύλους ή περιβάλλοντα κτίρια. Επιπλέον, για την αποφυγή σκιάσεων σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.1. Χωροθέτηση σειρών φωτοβολταϊκών (Φ/Β) πάνελ

6.1.2 Στήριξη φωτοβολταϊκών Φ/Β 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).

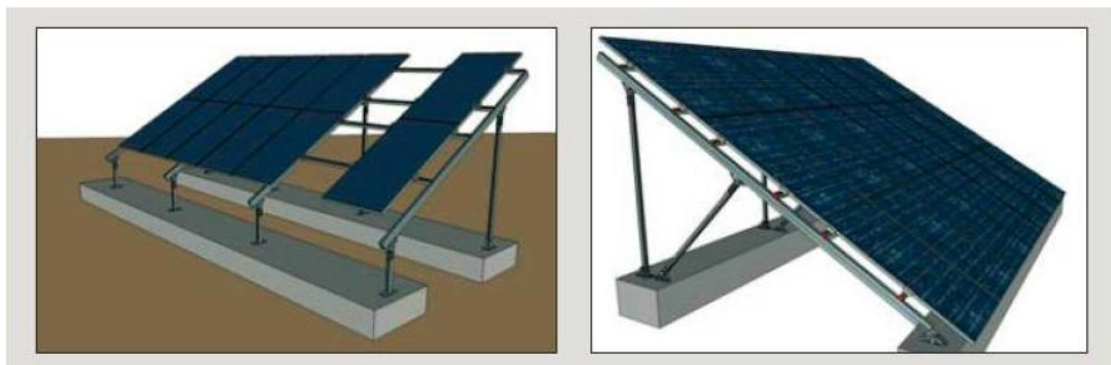
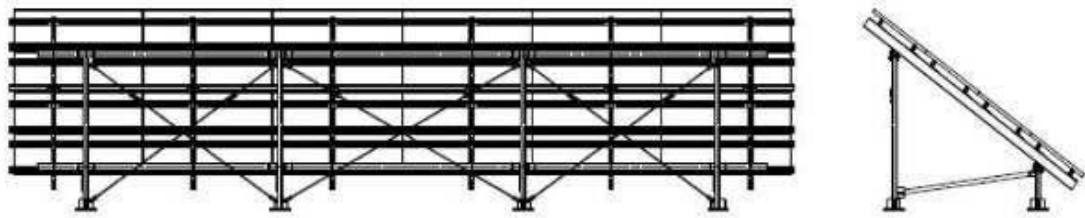
Στην παρούσα μελέτη λόγω πολλών παραμέτρων θα στηρίξουμε τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ σε σταθερές βάσεις.

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 38 μοίρες, εν προκειμένω. 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 εδαφόμψη. 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 σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμψη, γεγονός που στην παρούσα μελέτη, λόγω μικρής ποσοτήτας φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ δεν θα αποτελέσει σημαντική οικονομική επιβάρυνση.

Επιπλέον, χρειάζεται προσοχή 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 ληφθεί μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων. Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργω.

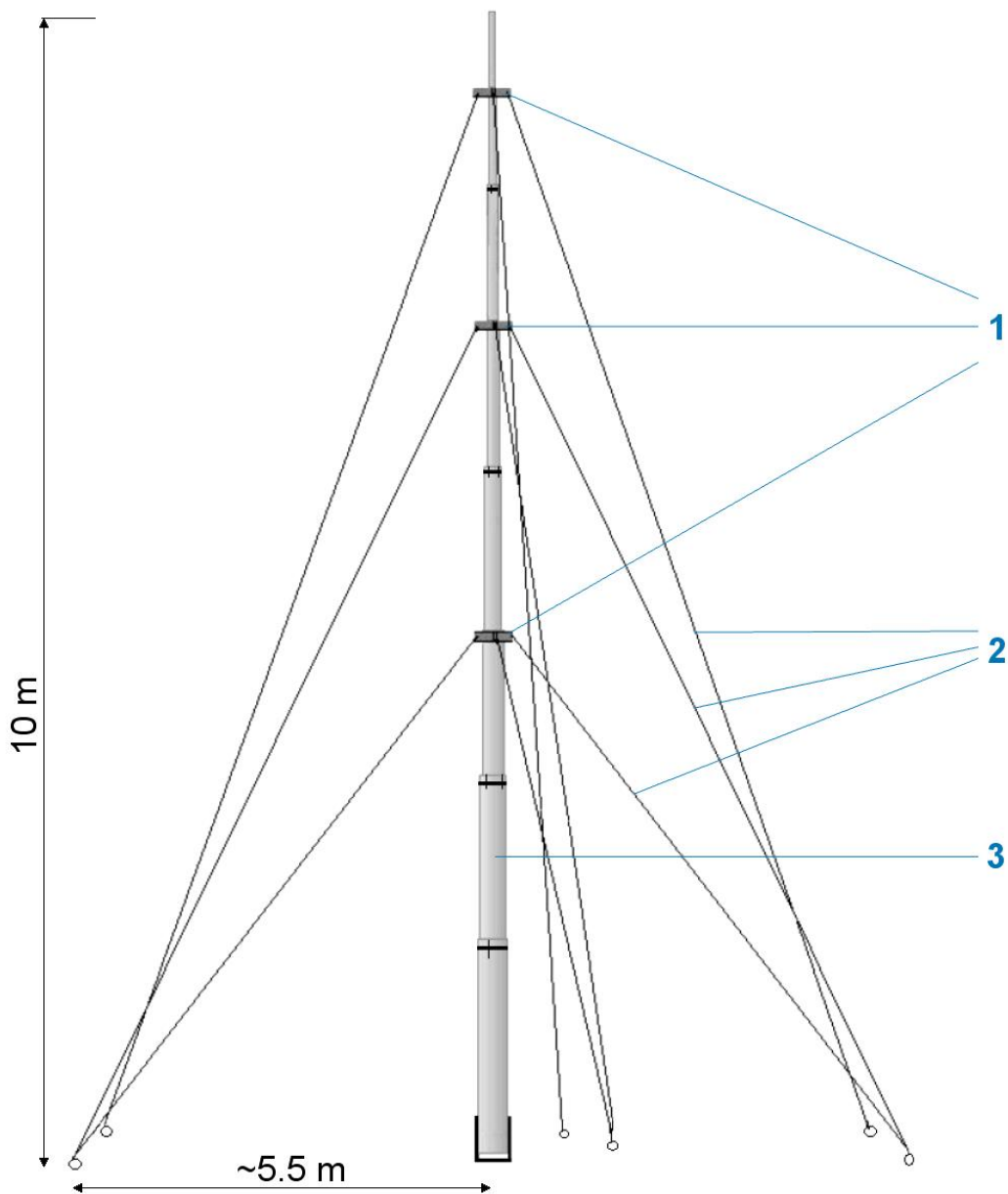
Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.



Σχήμα 6.2. Σταθερές βάσεις για στήριξη φωτοβολταϊκών (Φ/Β) πάνελ

6.2. Τοποθέτηση και στήριξη ανεμογεννήτριας Α/Γ

Η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτεί μελέτη και προσοχή. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι να στηρίξεις μια ανεμογεννήτρια. Στην περίπτωση μας λόγω του χαμηλού ύψους του πύλωνα που θα βρίσκεται η ανεμογεννήτρια, θα χρησιμοποιήσουμε στήριξη με αντηρίδες .



Σχήμα 6.3. Στήριξη πύλωνα ανεμογεννήτριας 10 μέτρων

1→ Σύνδεση αντηρίδων με τον πυλώνα



2→ Αντηρίδες (συρματόσχοινα)



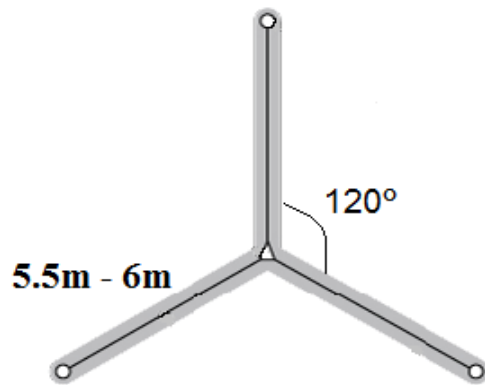
3→ Κεντρικός πυλώνας



Σχήμα 6.4. Εξαρτήματα στήριξης της ανεμογεννήτριας

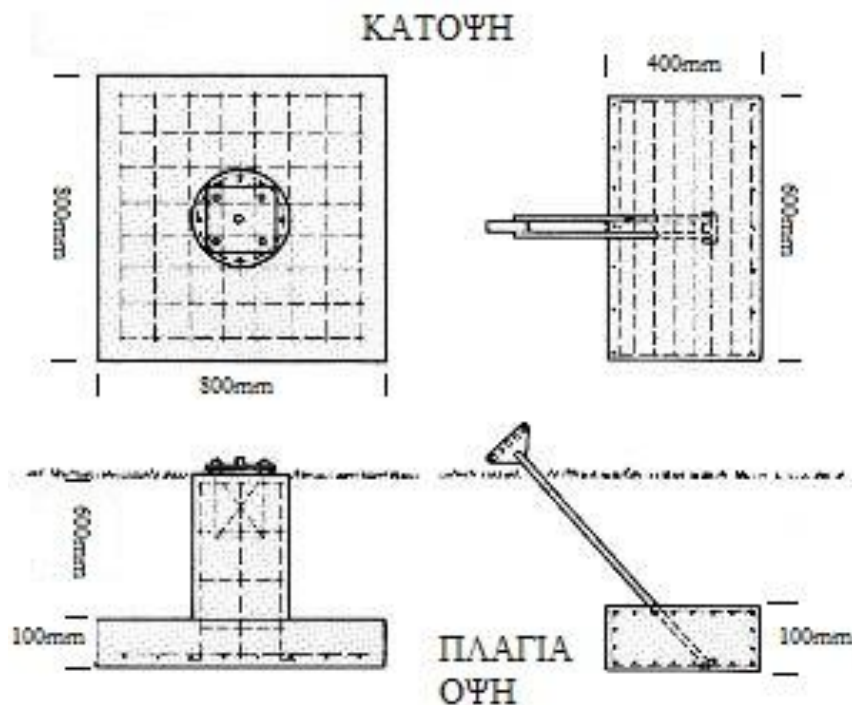
Θα χρειαστεί να γίνει εκσκαφή του εδάφους σε 4 σημεία και να τοποθετηθεί οπλισμένο σκυρόδεμα έτσι ώστε να πετύχουμε απόλυτη σταθερότητα στην κατασκευή μας. Στο κεντρικό σημείο που θα στηρίζεται ο πυλώνας, όπως επίσης και στα τρία σημεία που θα στερεωθούν οι αντηρίδες.

Η κάτοψη της εγκατάστασης στήριξης της Α/Γ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.5. Κάτοψη στήριξης πυλώνα ανεμογεννήτριας

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι κατόψεις και οι πλάγιες όψεις των σημείων όπου θα γίνει εκσκαφή και θα τοποθετηθεί οπλισμένο σκυρόδεμα. Το αριστερό σκέλος αφορά το κεντρικό σημείο που θα στηριχθεί ο πυλώνας της ανεμογεννήτριας και το δεξιό, τις βάσεις που θα στηρίζονται οι αντηρίδες.



Σχήμα 6.6. Κατόψεις και πλάγιες όψεις των σημείων όπου θα τοποθετηθεί οπλισμένο σκυρόδεμα



Σχήμα 6.7. Βάση πλώνα – βάσεις αντηρίδων

6.3 Η καλωδίωση του συστήματος

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου.



Σχήμα 6.8. Τυπικά καλώδια φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Όσον αφορά τους συνδέσμους καλωδίων, στην αγορά έχουν επικρατήσει λύσεις τύπου “plug and play” που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των $5\text{m}\Omega$ και μικρότερη).

6.3.1 Καλωδίωση DC

Για τη σύνδεση κάθε σειράς φωτοβολταϊκών στοιχείων με τον αντιστροφέα θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο τύπου DC Solar $1 \times 6\text{mm}^2$. Πρόκειται για εύκαμπτα καλώδια με μόνωση και μανδύα από ελαστικό υψηλής αντοχής. Τα καλώδια ακολουθούν τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 623.4 και HD 22.4. Ενδείκνυνται για χρήση σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους στο ύπαιθρο. Για την καλύτερη διάκριση των καλωδίων θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί χρωματισμοί ανάλογα με για τον θετικό πόλο και BLACK/BLACK για τον αρνητικό.



Σχήμα 6.9. Καλώδια για DC συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων



Σχήμα 6.10. Σύνδεσμοι για DC συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων

6.3.2 Καλωδίωση AC

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYY, NYM, NYCWY) εφαρμόζοντας τις συνήθειες πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.

Για την μεταφορά της ισχύος από τους αντιστροφείς προς τον κεντρικό πίνακα θα χρησιμοποιηθούν καλώδια τύπου H07RN-F διατομής 3x25mm², διατηρώντας σε κάθε περίπτωση τις απώλειες από την μεταφορά της ενέργειας χαμηλότερα από το 2% της μεταφερόμενης ισχύος.



Σχήμα 6.11. Καλώδια για AC συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα καλώδια του συγκεκριμένου τύπου είναι ανθεκτικά σε όλες τις καιρικές συνθήκες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και μέσα σε νερό (γλυκό ή θαλασσινό). Είναι ανθεκτικά σε όζον, βραδύκαυστα και μπορούν να αντέξουν σε υψηλές μηχανικές καταπονήσεις.

Όλα τα καλώδια πρόκειται να εγκατασταθούν εντός μεταλλικών σχαρών διατομών 200x60 mm.

6.4 Τηλεπίβλεψη

6.4.1 Σύστημα Τηλεπίβλεψης

Προαιρετικά, προκειμένου η μονάδα παραγωγής ενέργειας να είναι επιτηρήσιμη και άρα να υπάρχει η δυνατότητα απομακρυσμένης επίβλεψης του έργου (Σύστημα Τηλεπίβλεψης), εντός του κεντρικού πίνακα θα εγκατασταθεί το σύστημα Sunny Webbox.



Σχήμα 6.12. Συσκευή τηλεπίβλεψης Sunny Webbox

Το σύστημα Sunny Webbox συνδέεται «φυσικά» με όλα τα συστήματα αντιστροφών εντός του έργου, καθώς και με συσκευή συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων (Sunny Sensor Box) προκειμένου να είναι επιτηρήσιμη τόσο η κατάσταση και στιγμιαία απόδοση των αντιστροφών όσο και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Από την πλευρά της εγκατάστασης, συλλέγει διαρκώς όλα τα δεδομένα και δίδει έτσι την δυνατότητα να γίνει έλεγχος οποιαδήποτε στιγμή της τρέχουσας κατάστασής της.

Τα κύρια χαρακτηριστικά που προσφέρει το σύστημα τηλεπίβλεψης Sunny Webbox είναι:

- Συνεχής έλεγχος του συστήματος.
- Επιτήρηση μέσω δικτύου στιγμιαίων και συγκεντρωτικών δεικτών του πάρκου
- Έγκαιρος εντοπισμός σφαλμάτων λειτουργίας
- Καταγραφή Ενεργειακής Απόδοσης
- Ασφαλή αποθήκευση δεδομένων και αξιολόγηση
- Διάγνωση και ρύθμιση εγκατάστασης σε οποιοδήποτε τερματικό
- Αυτόματη μετάδοση δεδομένων
- Επεξεργασία δεδομένων και απεικόνιση στο διαδίκτυο

6.4.2 Καλωδίωση Συστήματος Τηλεπίβλεψης

Από κάθε inverter θα διατρέχει ένα καλώδιο σηματοδοσίας τύπου FTP Cat5e προκειμένου να υπάρχει η φυσική διασύνδεση και η συλλογή των δεδομένων από τον κεντρικό συλλέκτη και επεξεργαστή δεδομένων Sunny WebBox το οποίο θα βρίσκεται εντός του κεντρικού πίνακα.



Σχήμα 6.13. Καλωδίωση Συστήματος Τηλεπίβλεψης

6.5 Νομοθεσία για αυτόνομα φωτοβολταικά συστήματα επί εδάφους

Για συστήματα με ισχύ έως 500 kWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) η οποία χορηγείται από την Περιφέρεια (από την υποχρέωση αυτή εξαιρούνται τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων)
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της μελέτης τροφοδότησης αγροικίας με φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Αρχικά, με βάση τα δεδομένα που αντλήσαμε από τον ιστότοπο της Nasa, προέκυψε ότι η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης της φ/β συστοιχίας είναι 38°. Η μελέτη της λειτουργίας της υβριδικής εγκατάστασης αποφασίσαμε να γίνει για το μήνα Νοέμβριο (που επικρατούν οι χειρότερες συνθήκες).

Οι καταναλώσεις της οικίας είναι αντίστοιχα 6,97 kWh για το χειμώνα και 7,79 kWh για το μήνα καλοκαίρι. Η ισχύς αιχμής $P_{αιχμής}$ της φ/β συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων υπολογίστηκε ότι είναι 2,94 kWp. Ο αριθμός των πλαισίων που βρέθηκε ότι θα χρησιμοποιηθεί είναι 14, των 210Wp το καθένα. Άρα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα είναι τελικά 2,94 kWp. Σαν ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας επιλέχθηκαν τα 600W, και αυτό διότι σε αυτή την ισχύ έχουμε ικανοποιητική απόδοση στις ταχύτητες ανέμου 5-6m/s που επικρατούν στον περιοχή αλλά και χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η χωρητικότητα των συσσωρευτών όπου και βρέθηκε 490Ah. Με χρήση συσσωρευτών χωρητικότητας 1000Ah (δύο ημέρες αυτονομίας) βρέθηκε ότι τελικά η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει 5 παράλληλους κλάδους με 2 συσσωρευτές σε σειρά ο καθένας, δηλαδή συνολικά 10 συσσωρευτές.

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι κατάλληλοι ελεγκτές φόρτισης και χρησιμοποιήθηκαν 2 τριφασικοί μετατροπείς. Λόγω της ιδιομορφίας του υβριδικού συστήματος που μελετήσαμε, οι ηλεκτρονικές συσκευές που επιλέχθηκαν, είναι αποκλειστικά της εταιρείας SMA, προκειμένου να υπάρχει πλήρης συμβατότητα μεταξύ τους αλλά και για την βέλτιστη διαχείριση του συστήματος

Όσον αφορά το H/Z, έγινε χρήση ντιζελογεννήτριας 10kW με χρόνο πλήρους φόρτισης των συσσωρευτών, 11h.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την μελέτη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση αγροικίας συμπεραίνουμε ότι τέτοιου είδους μελέτες δεν είναι ιδιαίτερα απλές. Ο μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη του ένα πλήθος παραγόντων πριν προχωρήσει στην επιλογή των μονάδων και το μέγεθος της εγκατάστασης. Βασικό κριτήριο στις επιλογές του αποτελεί η επιθυμητή αξιοπιστία του μελετώμενου συστήματος που όμως αντικρούεται με το αυξημένο κόστος των απαραίτητων μονάδων για την συγκρότηση του.

Οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να κατανοήσουν ότι εφόσον η ηλεκτρική τροφοδότησή τους βασίζεται αποκλειστικά σε ένα αυτόνομο υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα, πρέπει να περιορίσουν τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική ενέργεια στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Ο μηχανικός οφείλει να τους προτείνει εναλλακτικές λύσεις σε ότι αφορά την χρήση συσκευών που μπορούν να αντικατασταθούν από άλλες που δεν απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, όπου αυτό είναι δυνατόν, προκειμένου να παρθεί μια τελική και συγχρόνως ικανοποιητική απόφαση ως προς το μέγεθος της εγκατάστασης.

Σήμερα, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ελάχιστες περιπτώσεις εξαιτίας της μικρής αξιοπιστίας τους και του υπέρογκου ποσού χρημάτων που πρέπει να δαπανηθεί για την μελέτη και εγκατάστασή τους. Συνήθως, τα συναντάμε σε κατοικίες απομακρυσμένες από το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο ή εξοχικά σπίτια που κατοικούνται κυρίως κατά τους θερινούς μήνες και οι απαιτήσεις σε ενέργεια και αποθήκευσή αυτής είναι πολύ περιορισμένες.

Δεδομένου ότι τα συμβατικά καύσιμα έχουν κάποια όρια ύπαρξης και κάποτε θα εξαντληθούν, η τεχνολογία έχει ήδη στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό είναι πολύ ενθαρρυντικό διότι η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε να εξελιχθεί σε βασική πηγή ηλεκτροδότησης του ανθρώπου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις”, Κ.Θ. Δερβός, ΕΜΠ, 2010
2. “Αιολική και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας”, Ηρώ Λειβαδά – Μαργαρίτα Ασημακοπούλου, Συμμετρία, 2008
3. “Φωτοβολταϊκή τεχνολογία”, Κ. Καγκαράκης, Συμμετρία, 1992
4. Ήπιες μορφές ενέργειας: ‘Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας’, Σ.Ν. Καπλάνη, ΙΩΝ
5. «Ένας πρακτικός οδηγός για τα φωτοβολταϊκά», Σύνδεσμος Εταιριών φωτοβολταϊκών
6. SOLAR ENERGY CONVERSION: THE SOLAR CELL (second edition), Richard C. Neville
7. Generating electricity from the sun, Fred C Treble
8. POWER ELECTRONICS (third edition), CYRIL W. LANDER
9. «Stand — Alone Photovoltaic Systems handbook of recommended design practices», Sandia National Laboratories, 1995
10. «Batteries and charge control in stand — alone photovoltaic systems», James P. Dunlop, Florida energy center, 1997
11. «Batteries and charge control in stand — alone photovoltaic systems», James P. Dunlop, Florida energy center, 1997
12. «Σχεδιασμός Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση Αγροικίας», διπλωματική εργασία της Φ. Μπουγιούκου, 2010.
13. «Σχεδίαση αυτόνομου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος», διπλωματική εργασία της Μ. Μαρκάτου, 2011
14. “Τεχνοοικονομική Μελέτη Φωτοβολταϊκού Πάρκου 99.84 Kwp”, διπλωματική εργασία Κ. Καμπούρη, 2016

15. «Ηλεκτρολογική μελέτη κατοικίας και φωτοβολταϊκό στέγης», διπλωματική εργασία του Β. Σπαθή, 2016
16. «Εξομοίωση υβριδικού συστήματος με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», διπλωματική εργασία της Γ. Χασιώτη, 2010
17. «Σύγκριση και αξιοποίηση υβριδικών συστημάτων», πτυχιακή εργασία των Γ. Κυριαζόπουλου – Α. Παυλίδη, 2013
18. «Παρακολούθηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος», διπλωματική εργασία του Κ. Κυδωνιάτη, 2015
19. «Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών», Ε. Παρασκευουδάκη, 2009
20. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
21. <http://www.sma-hellas.com/>
22. www.solar-systems.gr
23. www.anemogennitria.gr
24. www.cres.gr
25. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov>
26. www.aenaon.net/gr
27. <https://www.mpenergy.gr/αυτονομα-συστηματα.html>
28. <http://www.wind-generators.gr/index-2.html>
29. <http://www.4green.gr/data/fotovoltaika.html>
30. <http://www.compasolar.gr>
31. <http://www.autoenergy.gr/>
32. http://www.electrotech.gr/off_grid_systems.htm
33. <http://www.dei.gr>