



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ**

Διπλωματική Εργασία

Ιωαννίδης Βλάσιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Συνεπιβλέπων: Ζημέρης Δημήτριος

Βόλος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ**

Διπλωματική Εργασία

Ιωαννίδης Βλάσιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Συνεπιβλέπων: Ζημέρης Δημήτριος

Βόλος 2019



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**TECHNICAL ANALYSIS OF PHOTOVOLTAICS AND WIND
GENERATORS IMPLEMENTATION ON THE COMERCIAL
BUILDING SECTOR**

Diploma Thesis

Ioannidis Vlasios

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

Co-Supervisor: Zimeris Dimitrios

Volos 2019

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο Δηλών

(Υπογραφή)

Ιωαννίδης Βλάσης

Ημερομηνία

Περίληψη

Στη σημερινή εποχή οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιριακών μονάδων ολοένα και αυξάνονται. Οι ενεργειακές ανάγκες διαβίωσης του ανθρώπου απαιτούν την κατανάλωση τεράστιων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία ευθύνεται για την ανεπανόρθωτη μόλυνση του περιβάλλοντος.

Στο 1^ο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας αναλύεται το προαναφερθέν ενεργειακό πρόβλημα καθώς και τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο 2^ο Κεφάλαιο, βάσει των τεχνικών οδηγιών του Κ.Εν.Α.Κ. εκπονήθηκε μελέτη για την κατάλληλη σχεδίαση των ηλεκτρικών δικτύων ενός κτιρίου προσχολικής εκπαίδευσης και στη συνέχεια καταμετρήθηκαν όλες οι ενεργειακές τους απαιτήσεις. Στο 3^ο Κεφάλαιο εκπονήθηκε μελέτη για τη σωστή διαστασιολόγηση και σχεδίαση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με σκοπό την κάλυψη ενός μέρους των ενεργειακών αναγκών του προαναφερθέντος κτιρίου. Για τον ίδιο σκοπό στο 4^ο Κεφάλαιο, ολοκληρώθηκε μια παρόμοια δεύτερη μελέτη που αφορά τη σχεδίαση μιας μικρής αιολικής εγκατάστασης. Τέλος, για την υλοποίηση των παραπάνω μελετών αξιοποιήθηκαν πολλά και διαφορετικά πλήρως ενημερωμένα λογισμικά και έγκυρα κλιματικά δεδομένα.

Οι παραπάνω μελέτες αποδεικνύουν ότι είναι δυνατή η σχεδίαση ενός ενεργειακά αποδοτικού κτιρίου μέσω της αξιοποίησης των πλούσιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην χώρα μας. Η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας μας αποτελούν μια εναλλακτική λύση για την κάλυψη ενός μέρους των ενεργειακών καταναλώσεων και την καταπολέμηση της ρύπανσης του πλανήτη μας.

Abstract

Nowadays the energy requirements of commercial building units are increasing rapidly. The living energy needs of human requires the consumption of huge amounts of electricity, which are responsible for the irreparable pollution of the environment.

In Chapter 1 is analyzed the above-mentioned energy problem and the advantages of renewable energy sources. In Chapter 2, according to the technical instructions of the building energy efficiency regulation a study was prepared for the properly design of the electrical networks of a preschool building. Also, all their energy requirements was measured. In Chapter 3, a study was conducted for the proper design and dimensioning of a photovoltaic installation in order to cover a part of the energy needs of the aforementioned building. For the same purpose in Chapter 4, a similar second study was completed relevant to a design of a small wind farm. Finally, for the implementation of the above researches were used many different fully updated softwares and valid climate data.

The above researches prove that it is possible to design an energy efficient commercial building through the utilization of the renewable energy sources in Greece. The penetration of renewable energy in the central energy system constitutes an alternative solution which helps to cover a part of the energy consumption and to the reduction of pollutants in our world.

Περιεχόμενα

1^ο Κεφάλαιο: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Το Ενεργειακό Πρόβλημα.....	2
1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	4
1.4 Η Οικονομική Διάσταση των ΑΠΕ.....	6
1.5 Τα Οφέλη της Εισαγωγής των ΑΠΕ στο Ενεργειακό Ισοζύγιο.....	7

2^ο Κεφάλαιο: Κτιριακές Εγκαταστάσεις

2.1 Ηλεκτρολογικές Απαιτήσεις Κτιριακής Εγκατάστασης.....	9
2.2 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιριακού Τομέα (Κ.Εν.Α.Κ).....	10
2.3 Φωτισμός.....	11
2.3.1 Απαιτήσεις Δικτύων Φωτισμού.....	11
2.3.2 Ανάλυση Φωτοτεχνικής Μελέτης.....	13
2.4 Κλιματισμός-Αερισμός-Θέρμανση.....	15
2.4.1 Ψύξη.....	16
2.4.2 Εξαερισμός.....	17
2.4.3 Θέρμανση.....	18
2.5 Ηλεκτρολογικά Συστήματα Κλιματισμού (HVAC Systems).....	19
2.5.1 Απαιτήσεις Συστημάτων.....	22
2.5.2 Υπολογισμός και Διαστασιολόγηση των Συστημάτων.....	24
2.6 Σχεδιασμός Ηλεκτρικών Δικτύων του Κτιρίου.....	26
2.7 Υπολογισμός Ενεργειακών Καταναλώσεων.....	27
2.7.1 Ετεροχρονισμός – Ταυτοχρονισμός.....	27
2.7.2 Καταμέτρηση Ενεργειακών Καταναλώσεων.....	29

3^ο Κεφάλαιο: Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	33
--------------------------	----

3.2 Διακύμανση Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	34
3.3 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	36
3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	37
3.5 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	39
3.5.1 Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης	40
3.5.2 Σκίαση Πλαισίων.....	41
3.5.3 Γήρανση Πλαισίων.....	43
3.6 Εισαγωγή στο λογισμικό της PVsyst.....	43
3.7 Τύποι Φωτοβολταϊκών Δικτύων.....	45
3.7.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Διασυνδεδεμένα στο Ηλεκτρικό Δίκτυο.....	46
3.8 Τοποθεσία Εγκατάστασης.....	48
3.9 Διαστασιολόγηση Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	51
3.9.1 Εξοπλισμός Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	52
3.10 Τρόποι Σύνδεσης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	57
3.10.1 Συνδεσμολογία Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	59
3.11 Προσανατολισμός Πλαισίων.....	61
3.11.1 Ηλιακά Συστήματα Προσανατολισμού.....	62
3.12 Απώλειες Συστήματος.....	64
3.13 Αποτελέσματα Μελέτης.....	67

4^ο κεφάλαιο: Αιολικά Συστήματα

4.1 Αιολική Ενέργεια.....	72
4.2 Χαρακτηριστικά Ανέμου.....	73
4.3 Είδη Ανεμογεννητριών Βάσει των Αξόνων Περιστροφής.....	74
4.3.1 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα.....	74
4.3.2 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα.....	78
4.3.3 Σύγκριση Ανεμογεννητριών Οριζόντιου και Κάθετου Άξονα.....	79
4.4 Τύποι Ανεμογεννητριών.....	81
4.4.1 Ανεμογεννήτριες Σταθερής Ταχύτητας.....	81

4.4.2	Ανεμογεννήτριες Μεταβλητής Ταχύτητας.....	82
4.5	Η Τοποθεσία της Εγκατάστασης.....	86
4.6	Παράγοντες που Επηρεάζουν την Απόδοση της Εγκατάστασης.....	87
4.7	Ανάλυση Αιολικού Δυναμικού.....	89
4.7.1	Επιλογή Τοποθεσίας και Συλλογή Δεδομένων.....	91
4.8	Μελέτη Εγκατάστασης Αιολικών Συστημάτων.....	92
4.8.1	Ανάλυση Τεχνικών Χαρακτηριστικών του Εξοπλισμού.....	94
4.8.2	Ανάλυση της Επίδοσης των Ανεμογεννητριών.....	96
4.9	Υπολογισμός Ενεργειακής Παραγωγής Αιολικού Συστήματος.....	99
4.9.1	Απώλειες Συστήματος.....	100
4.10	Εισαγωγή Δεδομένων στο Πρόγραμμα της Retscreen.....	101
4.10.1	Εισαγωγή Κλιματιστικών Δεδομένων.....	101
4.10.2	Εισαγωγή των Χαρακτηριστικών του Εξοπλισμού.....	102
4.10.3	Συμπεριλαμβάνοντας τις Ενεργειακές Απώλειες στην Μελέτη.....	103
4.10.4	Αποτελέσματα Μελέτης.....	105
<u>5^ο κεφάλαιο: Συμπεράσματα</u>		
5.1	Σύνοψη.....	108
5.2	Σύγκριση Ηλεκτροπαραγωγής και Ζήτησης.....	109
5.3	Αξιολόγηση Μελέτης.....	110

1^ο Κεφάλαιο: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

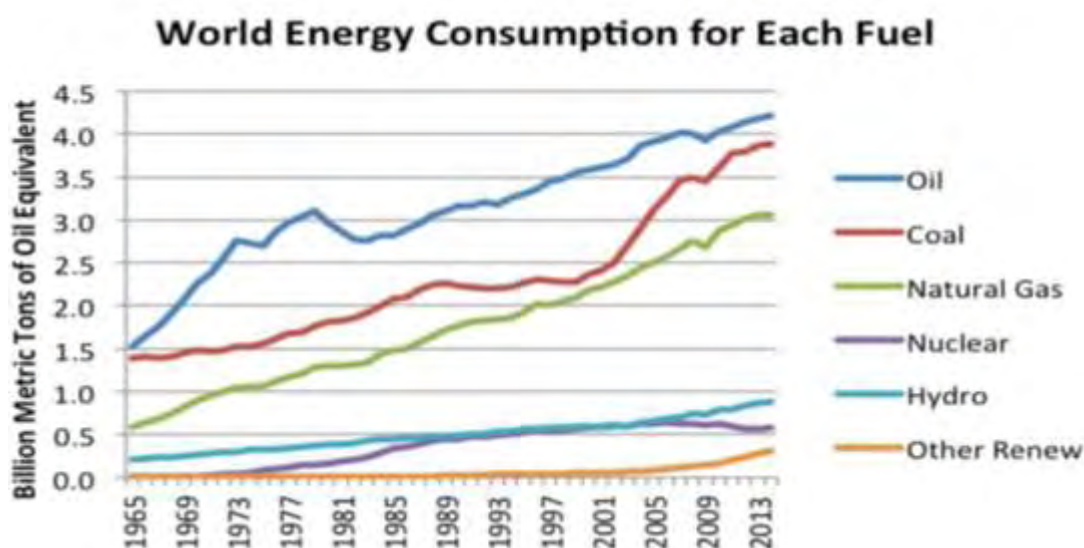
Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι ενεργειακές πηγές που βρίσκονται σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Οι εναλλακτικές ή ήπιες μορφές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διεργασίες της το φως του ηλίου, ο άνεμος, η κυκλοφορία του νερού, η γεωθερμία και η βιομάζα. Αναπληρώνονται φυσικά με την πάροδο του χρόνου και σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής (χρήση ορυκτών καυσίμων στερεής, υγρής και αέριας μορφής). Πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας και είναι πολύ φιλικές ως προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα στην ατμόσφαιρα. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η σταδιακή απεξάρτηση της σύγχρονης παραγωγής από τα συμβατικά καύσιμα (πχ λιγνίτης, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) θεωρείται πλέον αναγκαία. Τα ορυκτά καύσιμα από φυσικές πηγές της η αναερόβια αποσύνθεση νέκρων θαμμένων οργανισμών, δεν θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διότι χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια να ανασχηματιστούν. Στην σημερινή εποχή και βάση των ενεργειακών της αναγκών, τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων εξαντλούνται με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό από τον ρυθμό που σχηματίζονται. [1]

Η καύση των ορυκτών καυσίμων ετησίως ευθύνεται για την διοχέτευση 25-30 εκατομμύριων τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα [2]. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμική ρύπανση, η χημική ρύπανση των υδάτων, αλλά και οι κλιματικές διαταραχές οφείλονται στην καύση των καυσίμων αυτών. Ολόκληρη η διαδικασία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται ως ο μεγαλύτερος παράγοντας μόλυνσης του φυσικού περιβάλλοντος. Οι εκπομπές μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνες για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη της καθώς παρεμποδίζουν την απαγωγή της θερμότητας από την γη στο διάστημα.

Είναι προφανές ότι η συνεχής οικονομική και τεχνολογική εξέλιξη έχει ως αποτέλεσμα την αναστάτωση του ενεργειακού ισοζυγίου του πλανήτη μας. Η αλόγιστη παραγωγή, η υπερκατανάλωση και η μη ορθολογική χρήση της ενέργειας θέτει σε κίνδυνο τη διασφάλιση του σημερινού βιοτικού επιπέδου.

1.2 Το Ενεργειακό Πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα έγινε αρκετά εμφανές σε ολόκληρο τον κόσμο μετά την ενεργειακή κρίση του 1973. Ο 20^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται από έντονες αλλαγές και μεταβολές σε όλους της τεχνολογικούς τομείς. Οι τρόποι εξασφάλισης των απαιτούμενων ποσοτήτων ενέργειας, το συνολικό κόστος που σχετίζεται με την άντληση, την αγορά, την παραγωγή και τη μεταφορά ενέργειας καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης της, συνθέτουν τη συνολική εικόνα του ενεργειακού προβλήματος. Η εξάντληση των ενεργειακών πόρων και η συνεχώς ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας δείχνουν την μονιμότητα του προβλήματος αυτού. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1 η τεράστια εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα συνεχώς αυξάνεται. Η τιμές των καυσίμων αυτών παίζουν σημαντικό ρολό στην οικονομία μιας χώρας και θέτουν πολυάριθμα προβλήματα.

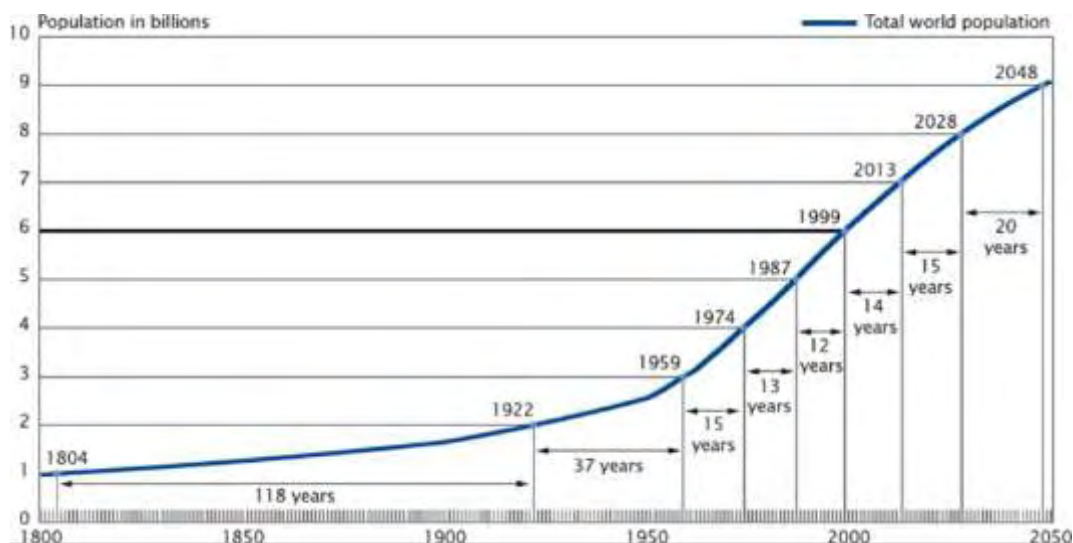


Εικόνα 1.1: Γραφική παράσταση της παγκόσμιας κατανάλωσης καυσίμων

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εξαρτάται κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό από τις εισαγωγές της σε ορυκτά καύσιμα. Αυτό το ποσοστό θα αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω των παγκόσμιων τεχνολογικών αναγκών. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι τα αποθέματα πετρελαίου, κάρβουνου και φυσικού αερίου θα εξαντληθούν μέσα στα επόμενα χρόνια και η εξόρυξή τους θα είναι πολύ δαπανηρή.[3]

Οι αιτίες οι οποίες ευθύνονται για την εξάντληση των ενεργειακών πόρων είναι οι εξής:

- Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2 ο παγκόσμιος πληθυσμός εν έτη 2019 έχει φτάσει κοντά στα 7.5 δισεκατομμύρια. Ο ανθρώπινος παράγοντας χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας από ότι παλιότερα για την ποιοτική διαβίωσή του. Οι απαιτήσεις συνεχώς αυξάνονται. Το ενεργειακό πρόβλημα είναι και θα είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα της σύγχρονης εποχής και έχει οδηγήσει σε μεγάλες πολιτικές και οικονομικές αναδιατάξεις τα τελευταία χρόνια. Η εγκατεστημένη ισχύς πολλών χωρών αυξάνεται ραγδαία και η κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη.



Εικόνα 1.2: Γραφική παράσταση του ανθρώπινου παγκόσμιου πληθυσμού.

- Η ανομοιομορφία στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας παίζει σημαντικό ρόλο. Η διεσπαρμένη ενεργειακή κατανάλωση στον πλανήτη οφείλεται στην συνεχή αύξηση του πληθυσμού της γης. Χώρες που χαρακτηρίζονται ως συνεχώς αναπτυσσόμενες έχουν ολοένα και μεγαλύτερες ενεργειακές

απαιτήσεις. Οι ενεργειακές τους ανάγκες συνεχώς αυξάνονται λόγω της ανάπτυξης των βιομηχανιών και της αύξησης των γενικότερων ενεργειακών απαιτήσεων διαβίωσης. Η ανάπτυξη λοιπόν αυτών των χωρών είναι αδύνατο να συνδυαστεί με τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

- Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες. Σημαντικά ποσά ενέργειας χάνονται κατά την μεταφορά και τη διανομή της ενέργειας από τον τόπο παραγωγής στο δίκτυο της κατανάλωσης.
- Τέλος, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας της ενεργειακής σπατάλης είναι η μη ορθολογική χρήση της ενέργειας. Στις κτιριακές εγκαταστάσεις η ενέργεια που καταναλώνεται για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου (φωτισμός, θέρμανση, κλιματισμός) είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι υπάρχει μια άσκοπη υπερκατανάλωση των ενεργειακών πόρων. Η σωστή διαχείριση και η κατάστρωση στρατηγικών με σκοπό να εξασφαλισθεί η ομαλή λειτουργία της ενεργειακής αγοράς της κάθε χώρας (προσφορά και ζήτηση ενέργειας) είναι αναγκαία στην σημερινή εποχή. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή διάφορων τεχνολογιών μπορούν να συμβάλουν σε μια πιο συνειδητοποιημένη χρήση της ενέργειας.

1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι έντονες κλιματικές αλλαγές, η μόλυνση του περιβάλλοντος αλλά και η καταπάτηση του φυσικού πλούτου με κύριο στόχο την οικονομική ανάπτυξη του ανθρώπινου παράγοντα χαρακτηρίζουν πλήρως την σημερινή εποχή και την κατάσταση του πλανήτη της. Εξαιτίας της αδιαφορίας και της κατασπατάλησης των αποθεμάτων ενέργειας, η ανθρωπότητα αρχίζει και βιώνει μια από τις μεγαλύτερες οικονομικές, οικολογικές και κοινωνικές κρίσεις στον τομέα της ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια.

Η συνεχής μείωση των συμβατικών ενεργειακών αποθεμάτων και η ανάγκη εύρεσης φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων παραγωγής ενέργειας οδήγησε στην ανάπτυξη και τη χρήση τεχνολογιών οι οποίες θα εκμεταλλεύονται αποδοτικά τις διαθέσιμες

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ανεξαρτητοποίηση και την ανάπτυξη των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην ενεργειακή αγορά αλλά και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

Για την εκμετάλλευση αυτών των ενεργειακών πόρων δεν απαιτείται κάποια ενεργειακή παρέμβαση από τον ανθρώπινο παράγοντα όπως η εξόρυξη, η άντληση ή και η καύση, αλλά απλώς η σωστή και έξυπνη εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στην φύση. Δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός σχετικά με τη συγκέντρωση της σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το ποιες τεχνολογίες παραγωγής είναι καταλληλότερες-αποδοτικότερες διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Η ενεργειακή πολιτική, οι διαθέσιμοι ενεργειακοί χώροι αλλά και οι γεωγραφικές και κλιματικές ιδιαιτερότητες, καθορίζουν τη συνολική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας της κάθε χώρας. [1,3]

Οι ΑΠΕ μπορούν να ταξινομηθούν αναλυτικότερα ως εξής :

1. Ηλιακή Ενέργεια: Είναι το σύνολο των μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Για παράδειγμα το φως, η θερμότητα και η ηλιακή ακτινοβολία.
2. Αιολική Ενέργεια: Προκύπτει από την εκμετάλλευση της δύναμης των ανέμων.
3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια: Είναι η ενέργεια η οποία προκύπτει από την εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών.
4. Γεωθερμική Ενέργεια: Είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται και φυλάσσεται στο εσωτερικό της γης (θερμό νερό ή ατμός).
5. Βιοενέργεια: Προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση οργανικών υλικών τα οποία είναι πλούσια σε άνθρακα. Για παράδειγμα τα κτηνοτροφικά απόβλητα, τα απόβλητα τροφών, τα ενεργειακά φυτά και οι μορφές ξύλου αποτελούν τις πρώτες ύλες για την παραγωγή της.
6. Ενέργειες της θάλασσας: Είναι οι ενέργειες που προέρχονται από τις θερμοκρασιακές διαφορές των ωκεανών, από την εκμετάλλευση των παλιρροιών και την κινητική ενέργεια των κυμάτων.

1.4 Η Οικονομική Διάσταση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Διάφορες χώρες σε όλο τον κόσμο, καθώς και η Ελλάδα, στηρίζονται κατά βάση στη εισαγωγή ορυκτών καυσίμων από τις χώρες του εξωτερικού. Το 60% της συνολικής ελληνικής παραγωγής βασίζεται στην εισαγωγή πετρελαίου από διάφορες χώρες του εξωτερικού (Ρωσία, Καζακστάν και το Ιράκ), ενώ η ελληνική συνεισφορά στην παγκόσμια παραγωγή είναι πολύ μικρή. Η Ελλάδα είναι από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την μεγαλύτερη ενεργειακή εξάρτηση σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Ωστόσο η χώρα μας θεωρείται ότι κατέχει πλούσιο ανανεώσιμο ενεργειακό δυναμικό (για παράδειγμα ο ήλιος, το νερό και ο αέρας του Αιγαίου).

Τα τελευταία 20 χρόνια περίπου το νομοθετικό πλαίσιο της Ελλάδας έχει εισάγει νόμους για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επομένως, μπορούμε να καταλάβουμε ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την Ελλάδα μέσω των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) είναι σε αρχικό στάδιο και πρόκειται να αναπτυχθεί περισσότερο τα επόμενα χρόνια. Με την οδηγία 96/92/ΕΚ L.0092 του Ευρωπαϊκού συμβουλίου ρυθμίστηκαν τα θέματα ενεργειακής πολιτικής και των λοιπών διατάξεων. Αυτό έκανε την Ελλάδα να εναρμονιστεί με τις κοινές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μέσω αυτού του νόμου απελευθερώθηκε η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και δόθηκε προτεραιότητα στην παραγωγή ενέργειας μέσω των ΑΠΕ. Το αμέσως επόμενο βήμα ήταν να ρυθμιστούν τα θέματα και οι νόμοι που ορίζουν τον τρόπο διασύνδεσης των σταθμών ηλεκτρικής παραγωγής από ΑΠΕ στο κεντρικό δίκτυο. Σήμερα, οποιοσδήποτε κατέχει μια άδεια εγκατάστασης που τηρεί κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές μπορεί να ενταχθεί ως παραγωγός στο κεντρικό δίκτυο .

Την 23^η Απριλίου του 2009, στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο μέσω της οδηγίας 2009/28/ΕΚ, τέθηκαν οι λόγοι για την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην συνολική κατανάλωση. Ο κύριος στόχος είναι ο περιορισμός των εκπομπών αέριων ρύπων του θερμοκηπίου και η προώθηση καθαρότερων ενεργειακών μορφών παραγωγής. Θεσπίστηκαν εθνικοί δεσμευτικοί στόχοι για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με γενικό σκοπό οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αντιπροσωπεύουν το 20%

της ακαθάριστης τελικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην εν λόγω οδηγία αναφέρονται και άλλοι 2 στόχοι:

1. Η μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.
2. Και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%.

Όλοι οι εκάστοτε αναπτυξιακοί νόμοι, καθορίζουν τα πλαίσια για την ενίσχυση δραστηριοτήτων που στοχεύουν στην ανάπτυξη και τη συμβολή της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην συνολική παραγωγή. Ακολούθησαν προκηρύξεις σχεδίων σχετικά με τις επιδοτήσεις για την εγκατάσταση συστημάτων εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (κυρίως φωτοβολταϊκών συστημάτων) στον οικιακό, αγροτικό αλλά και στον επαγγελματικό τομέα. Οι χρηματοδοτήσεις αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την εφαρμογή πολλών έργων και καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών. Το ύψος των χρηματοδοτήσεων για την υλοποίηση των έργων αυτών, κυμαίνεται στο 40% με 60% του συνολικού κόστους. [4]

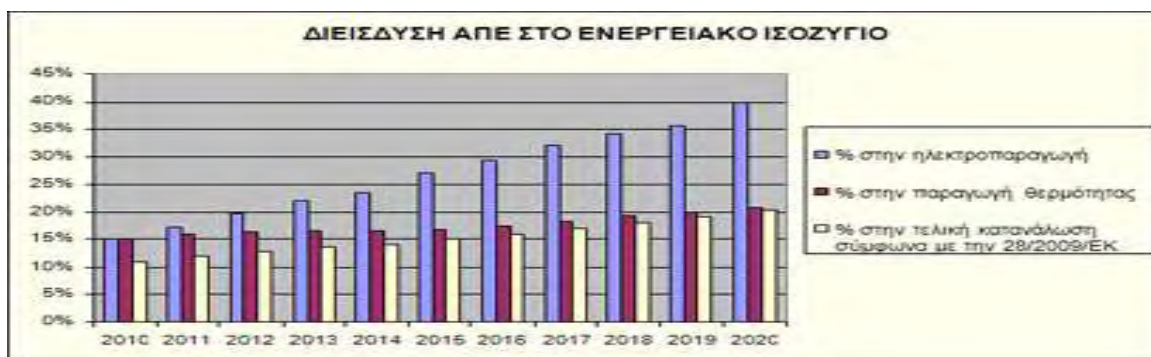
1.5 Τα Οφέλη της Εισαγωγής των ΑΠΕ στο Ενεργειακό Ισοζύγιο

Όλοι οι τομείς που ασχολούνται με τις μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναπτύσσονται ταχύτατα. Αυτή την στιγμή είναι στο επίκεντρο των τεχνολογικών εξελίξεων και εκεί θα βρίσκονται για τις επόμενες δεκαετίες. Η διεύδυση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο και στο ενεργειακό ισοζύγιο συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση της ανεξαρτητοποίησης της Ελλάδας από τους ενεργειακούς της παρόχους, στην εξασφάλιση ενεργειακών πόρων και συνακόλουθα στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (ιδιαίτερα στις απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές).

Μέσω αυτών δίνεται η δυνατότητα σε μικρές επιχειρήσεις και σε επενδυτές να ενταχθούν στην παραγωγή ενέργειας και στην παραγωγή ενεργειακών προϊόντων που μέχρι πρόσφατα ήταν αδύνατον, διότι σε αυτούς τους τομείς δραστηριοποιούταν μόνο μεγάλες εταιρίες. Τέλος, με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας που αφορούν την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων αυτών, προκύπτουν πολλά κοινωνικά και οικονομικά οφέλη για την χώρα μας.

Η ενεργειακή απεξάρτηση προκαλεί τη σταθεροποίηση των τιμών της ενεργειακής αγοράς και κατά συνέπεια την ανάπτυξη της οικονομίας. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τεράστια τεχνολογική εξέλιξη στον χώρο των ενεργειακών συστημάτων. Η σωστή ενεργειακή διαχείριση και η επιλογή των κατάλληλων συστημάτων, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη μιας χώρας. Η ανάπτυξη και η δημιουργία επιχειρήσεων στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας δραστηριοποιεί περισσότερους επιστήμονες και μηχανικούς να ερευνήσουν τις νέες ενεργειακές τεχνολογίες και να αναπτύξουν νέες κερδοφόρες καινοτομίες. Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της οικονομίας, της ενέργειας, του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια της ποιότητας ζωής του ανθρώπου, εξαρτάται άμεσα από αυτά.

Μέχρι το τέλος του 2020, με τη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, προβλέπεται η συμμετοχή της στην τελική κατανάλωση ενέργειας και στην παραγωγή θερμότητας να φτάσει το ποσοστό 20% (ηλεκτρισμός, μεταφορές, φωτισμός, κτίρια και ηλεκτρικές συσκευές). Στην Εικόνα 1.3 βλέπουμε ότι στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής ο στόχος διείσδυσης ενέργειας από ΑΠΕ φτάνει το ποσοστό του 40% για την χώρα μας. [5]



Εικόνα 1.3:

Οι εθνικοί δεσμευτικοί στόχοι και η εκτίμηση διείσδυσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό Ισοζύγιο

Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα οφέλη των ΑΠΕ είναι η δυνατότητα τους να τροφοδοτήσουν περιοχές που βρίσκονται πολύ μακριά ή και εκτός του ηλεκτρικού δικτύου. Απομακρυσμένες περιοχές, περιοχές με δυσμενή κλιματική συμπεριφορά είτε περιοχές οι οποίες είναι απομονωμένες λόγω της γεωγραφικής τους θέσης (νησιωτικές περιοχές) μπορούν πλέον να αποκτήσουν πρόσβαση στον ηλεκτρισμό με τη χρήση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας.

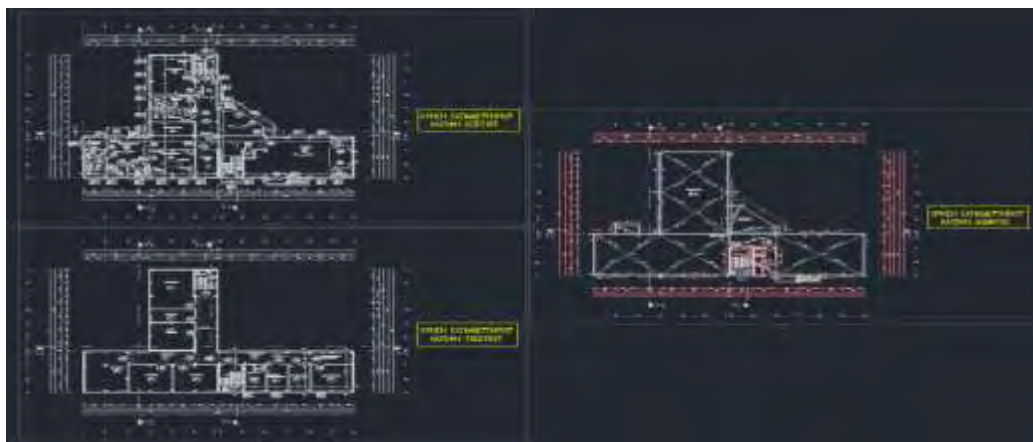
2^ο Κεφάλαιο: Κτιριακές Εγκαταστάσεις

2.1 Ηλεκτρολογικές Απαιτήσεις Κτιριακής Εγκατάστασης

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί η ηλεκτρική εγκατάσταση ενός κτηρίου του τριτογενούς τομέα. Το κτήριο αυτό είναι μια οικοδομή οι οποία σχεδιάστηκε να καλύπτει τις ανάγκες ενός βρεφονηπιακού σταθμού. Στην Εικόνα 2.1 βλέπουμε τα αρχιτεκτονικά σχέδια των κατόψεων για το δώμα, το ισόγειο και το υπόγειο. Οι απαιτήσεις της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης αφορούν τον ασφαλή σχεδιασμό των ηλεκτρολογικών δικτύων σύμφωνα με τον νέο κανονισμό ΕΛΟΤ HD 384 [6]. Τα δίκτυα της εγκατάστασης από τα οποία θα υπολογισθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου, είναι τα εξής:

1. Τα δίκτυα του φωτισμού.
2. Τα δίκτυα των ρευματοδοτών.
3. Τα δίκτυα του κλιματισμού, του εξαερισμού και της θέρμανσης (Συστήματα HVAC).
4. Και τα δίκτυα των λοιπών παροχών (θερμοσίφωνες, κουζίνα, υδραυλικός ανελκυστήρας).

Μια τέτοια μελέτη απαιτεί να υπάρχουν αρκετά στοιχεία δίχως ασάφειες. Ο τελικός στόχος είναι η συνολική διαστασιολόγηση του ηλεκτρικού δικτύου, ο υπολογισμός της συνολικής απαιτούμενης ισχύος και η καταμέτρηση των ενεργειακών καταναλώσεων των στοιχείων της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.1: Αρχιτεκτονικά Σχέδια των Κατόψεων του Κτηρίου

2.2 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιριακού Τομέα (Κ.Εν.Α.Κ)

Το 2005 μετά από απαίτηση της Ευρωπαϊκής ένωσης και με κοινή υπουργική απόφαση των Υπουργείων Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και Οικονομικών τέθηκε σε ισχύ η ειδική κοινοτική οδηγία σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αυτή η οδηγία υποχρέωνε όλα τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να εναρμονιστούν σε αυτή, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών ρύπων κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Έτσι αποφασίστηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιριακού Τομέα (Κ.Εν.Α.Κ), στον οποίο καθορίζονται οι ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις και προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζομένων κτιρίων, καθώς και η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης τους. Ο κύριος στόχος του κανονισμού αυτού είναι να πετύχουμε τη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Ο υπεύθυνος μηχανικός πέρα από την ασφάλεια και την αισθητική πλέον θα πρέπει να μεριμνά και για το πόσο ενεργειακά αποδοτικό είναι το κτήριο που σχεδιάζει. Η έμμεση αλλά και η άμεση προστασία του περιβάλλοντος είναι ο απώτερος σκοπός του κανονισμού αυτού. Τέλος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων οδηγεί σε μια οικονομικότερη λύση για τους χρήστες της. [7]

Το τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος ανέλαβε τη σύνταξη του κανονισμού αυτού ο οποίος από το 2010 και έπειτα αποτελεί βασικό εργαλείο κάθε μηχανικού. Για να συμβαδίζει ο κανονισμός με τα διεθνή πρότυπα (ASHRAE) ανανεώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του κανονισμού είναι ο διαχωρισμός της χώρας σε 4 διαφορετικές κλιματικές ζώνες με διαφορετικές προδιαγραφές για την καθεμία από αυτές. Επίσης, ορίζονται και ζώνες σχετικά με την υψομετρική θέση των κτηρίων. Δίνονται σαφή όρια για την ενεργειακή κατανάλωση σε κάθε είδος κτηρίου με βάση τη χρήση του. Οι βασικές κατηγορίες διαχωρίζονται της εξής :

- Κατοικίες
- Χώροι σχεδιασμένοι για την συνάθροιση κοινού
- Εκπαιδευτικά ιδρύματα

- Γραφεία
- Κέντρα υγείας και κοινωνικής πρόνοιας
- Χώροι προσωρινής διαμονής

2.3 Φωτισμός

2.3.1 Απαιτήσεις Δικτύων Φωτισμού

Ο σωστός σχεδιασμός των δικτύων φωτισμού ενός κτηρίου είναι απαραίτητος διότι έχει άμεση επίδραση στη συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου, αλλά και στην γενικότερη οπτικό – αισθητική εικόνα του χώρου. Επηρεάζει κατά πολύ τον τρόπο που ζούμε, κινούμαστε και εργαζόμαστε. Με την υλοποίηση της μελέτης του φωτισμού υπολογίζουμε για κάθε χώρο ξεχωριστά τα απαιτούμενα τεμάχια φωτιστικών τα οποία θα δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Οι απαιτήσεις του κάθε χώρου σχετικά με την γενική στάθμη του φωτισμού προκύπτουν από τους πίνακες του ΚΕΝΑΚ (Πίνακας 2.1). Η απαραίτητη ένταση φωτισμού μετριέται σε lux ή lumen ανά τετραγωνικό μέτρο. [7]

Πίνακας 2.1: Στάθμες απαιτήσεων γενικού φωτισμού ανά χρήση κτιρίου σύμφωνα με τον EN 12464-1

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού Uo (min/μέση τιμή)
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	200	0,8	-	-
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
θερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
χειμερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
θερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
χειμερινής λειτουργίας	300	0,8	22	0,6
Οικοτροφείο και κοιτώνας	300	0,8	22	0,6
Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά.	250	0,8	-	-
Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου	100	0,5	28	0,4

Πίνακας 2.1: Στάθμες απαιτήσεων γενικού φωτισμού ανά χρήση κτιρίου σύμφωνα με τον EN 12464-1

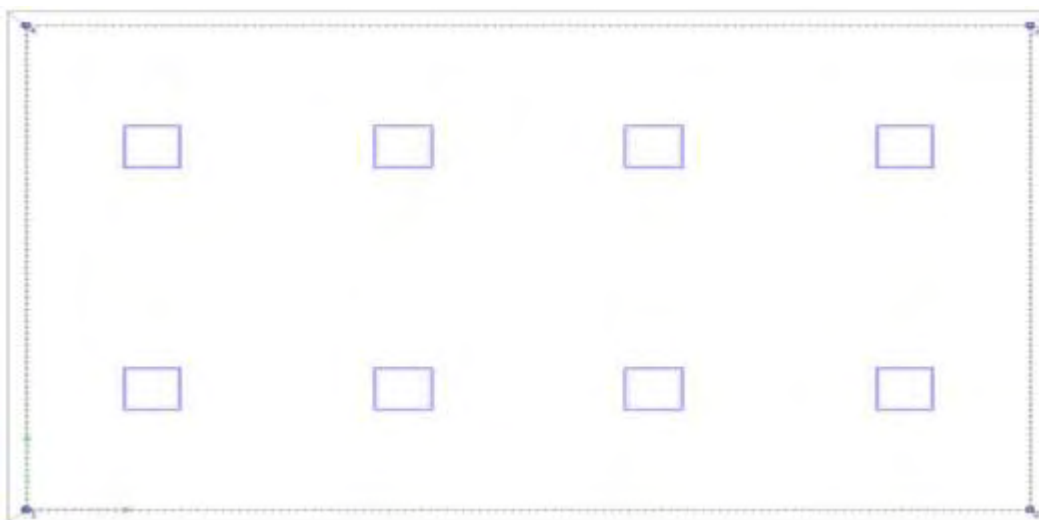
Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού Uo (μίνι/μέση τιμή)
κ.ά.				
Εστιατόριο	200	0,8	-	-
Ζαχαροπλαστείο, καφεενείο	250	0,8	-	-
Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή	100	0,8	-	-
Θέατρο, κινηματογράφος	100	0,8	25	0,4
Χώρος συναυλιών	100	0,8	25	0,4
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	200	0,8	22	0,4
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	500	0,8	19	0,6
Τράπεζα	500	0,8	19	0,6
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	300	0,8	19	0,6
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	300	0,5	22	0,6
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	100	0	28	0,4
Λουτρό (κοινόχρηστο)	200	0,8	25	0,4
Νηπιαγωγείο	300	0,8	19	0,6
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης	300	0,8	19	0,6
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	500	0,8	19	0,6
Φροντιστήριο, ωδείο	500	0,8	19	0,6
Νοσοκομείο, κλινική	300	0,8	19	0,6
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	100	0,8	19	0,4
Χειρουργείο (τακτικό)	1000	0,8	19	0,6
Εξωτερικών ιατρείων	500	0,8	19	0,6
Αίθουσες αναμονής	200	0,8	22	0,4

Οι τύποι των φωτιστικών στοιχείων οι οποίοι θα εγκατασταθούν στους χώρους επιλέγονται κατά κύριο λόγο βάση την κατανάλωση τους, την ομοιομορφία φωτισμού του χώρου αλλά και τη συνολική τους κοστολόγηση.

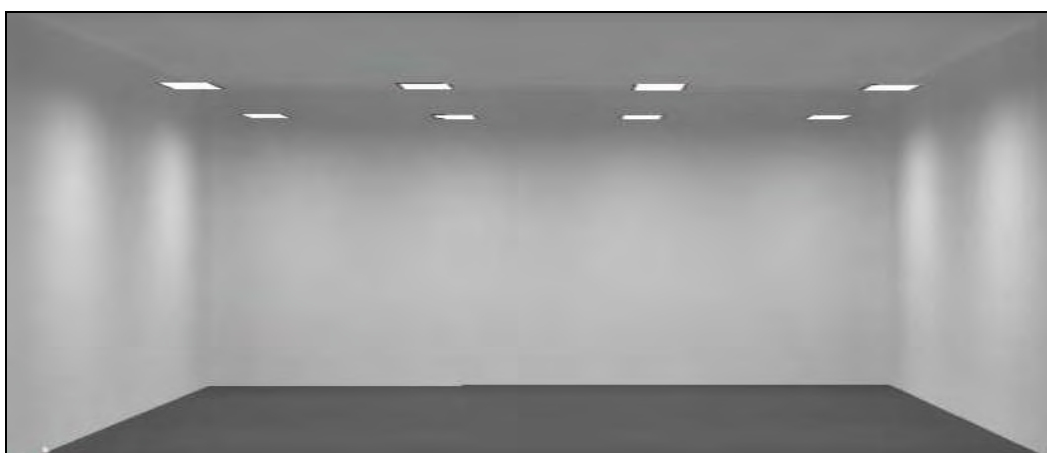
2.3.2 Ανάλυση Φωτοτεχνικής Μελέτης

Η μελέτη του φωτισμού για κάθε χώρο ξεχωριστά έγινε με την χρήση του λογισμικού Dialux. Το Dialux είναι ένα επαγγελματικό λογισμικό προγραμματισμένο για τον υπολογισμό, την αρχιτεκτονική σχεδίαση και την τεχνική μελέτη του φωτισμού για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.

Η αρχιτεκτονική σχεδίαση του χώρου, δηλαδή η γεωμετρική επεξεργασία και ο ορισμός των διαστάσεων του χώρου, είναι το πρωτεύον βήμα για την υλοποίηση μιας μελέτης του φωτισμού. Για παράδειγμα, στις Εικόνες 2.2 και 2.3 βλέπουμε την σχεδίαση της κάτοψης και την τρισδιάστατη απεικόνιση μιας από τις αίθουσες του κτηρίου και πιο συγκεκριμένα την αίθουσα της βιβλιοθήκης.



Εικόνα 2.2: Κάτοψη της αίθουσας της βιβλιοθήκης

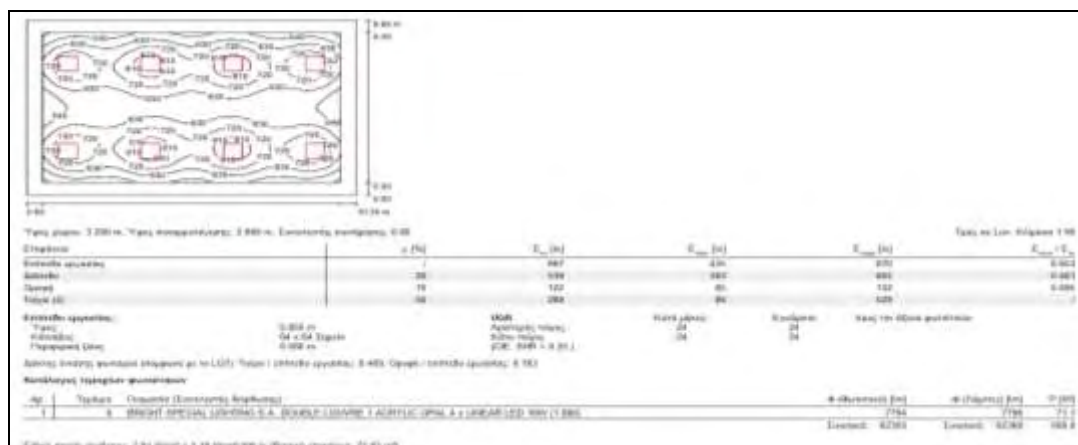


Εικόνα 2.3: Προβολή τριών διαστάσεων της αίθουσας της βιβλιοθήκης

Η αίθουσα της βιβλιοθήκης έχει μήκος 10.35 μέτρα, πλάτος 6.9 μέτρα και καθαρό ύψος 3.2 μέτρα (2.8 μέτρα ελεύθερος χώρος και 40 εκατοστά το ύψος της ψευδοροφής). Το ύψος συναρμολόγησης των φωτιστικών έγινε στα 2.8 μέτρα από το δάπεδο και ο υπολογισμός του ύψους των φωτιστικών σημείων από το δάπεδο προκύπτει εάν από το καθαρό ύψος (3.2 μέτρα) αφαιρεθεί το ύψος του επιπέδου εργασίας (βάση ΚΕΝΑΚ 0.8 ή 0.85 μέτρα) και το μήκος του εκκρεμούς. Ο αριθμός, ο τύπος και η διάταξη των φωτιστικών πεδίων επιλέχθηκαν με τέτοιον τρόπο ώστε η στάθμη, η κατανάλωση και η ομοιομορφία του φωτισμού να βρίσκονται μέσα στα επιθυμητά όρια που ορίζει ο κανονισμός του ΚΕΝΑΚ για μια αίθουσα πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, δηλαδή :

- Η στάθμη φωτισμού (E_m) να είναι μεγαλύτερη από 500 lux
- Το ειδικό φορτίο σύνδεσης για τον χώρο αναφοράς να είναι μικρότερη από 16 Watt/m²
- Και η ομοιομορφία του φωτισμού (E_{min}/E_m) να είναι μεγαλύτερη από 0.5.

Για να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα καταλήξαμε ότι στην συγκεκριμένη αίθουσα θα εγκατασταθούν δύο σειρές με τέσσερα φωτιστικά στοιχεία η καθεμία. Ο τύπος των φωτιστικών που επιλέχθηκε για λόγους εξοικονόμησης και καλύτερης ποιότητας φωτισμού είναι σκαφάκι τετραγωνικής διατομής με λαμπτήρες LED 4X16 Watt. Στην Εικόνα 2.4 βλέπουμε τα αποτελέσματα της φωτοτεχνικής μελέτης για τον συγκεκριμένο χώρο .

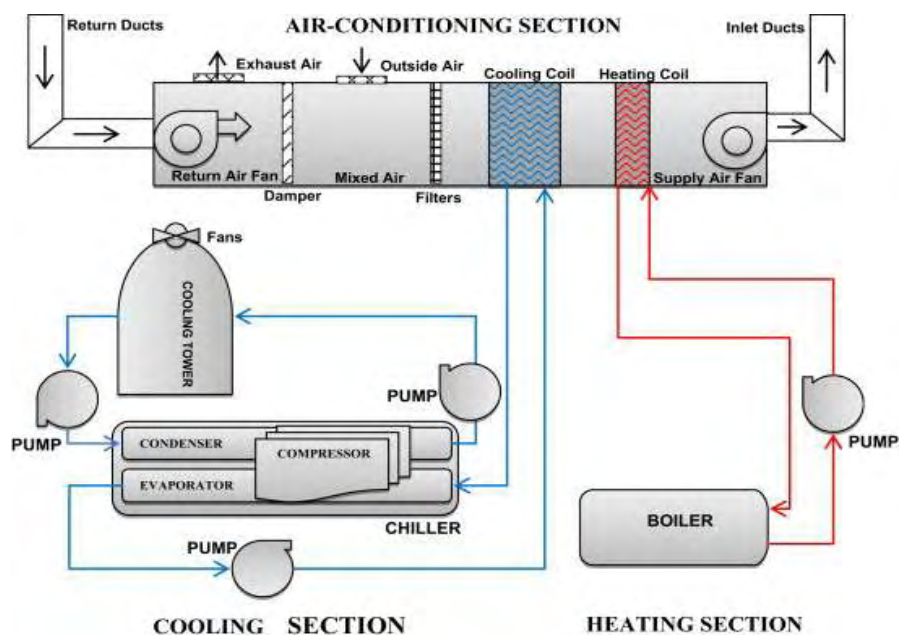


Εικόνα 2.4: Αποτελέσματα Φωτοτεχνικής μελέτης (Λογισμικό Dialux)

Τα αποτελέσματα της μελέτης της δείχνουν ότι η στάθμη του φωτισμού για τον συγκεκριμένο χώρο είναι 667 lux, η ομοιομορφία του φωτισμού στο επίπεδο εργασίας είναι περίπου 0.65 και το ειδικό φορτίο σύνδεσης για τον συγκεκριμένο χώρο είναι 7.91 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της μελέτης είναι μέσα στα επιθυμητά όρια που ορίζει ο κανονισμός του ΚΕΝΑΚ [5]. Η συνολική ισχύς για την εγκατάσταση του φωτισμού στην συγκεκριμένη αίθουσα είναι 568.8 Watt (8 τεμάχια φωτιστικών ισχύος 71.1 Watt το καθένα). [8]

2.4 Κλιματισμός-Αερισμός-Θέρμανση

Ο κλιματισμός, ο αερισμός, η θέρμανση των κτιρίων και γενικότερα των επαγγελματικών εγκαταστάσεων και βιομηχανιών είναι απαραίτητες έννοιες για την άνετη και υγιεινή διαβίωση του ανθρώπου σε κοινοχρήστους χώρους. Τα συστήματα που είναι υπεύθυνα για αυτούς τους τομείς ή και για τον συνδυασμό τους ονομάζονται HVAC Systems (Εικόνα 2.5). Στόχος τους είναι να προσφέρουν θερμική άνεση και μια συνεχώς ανανεώσιμη ποσότητα ποιοτικού αέρα στο κτίριο της εγκατάστασης.



Εικόνα 2.5:
Συνδυαστική λειτουργία συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού (HVAC Systems)

Τα HVAC Systems είναι αναγκαία σε όλους τους κτιριακούς τομείς (σπίτια, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία, γραφεία, νοσοκομεία κλπ.) αλλά και στους τομείς μεταφοράς (αυτοκίνητα, πλοία, τρένα, αεροπλάνα κλπ.). Η συνεχόμενη τεχνοοικονομική ανάπτυξη και οι γενικότερες ανάγκες της, έχουν αποτελέσει κινητήριο παράγοντα για τη δημιουργία καινοτόμων τεχνολογιών που θα καλύπτουν τις απαιτήσεις μας με έναν ασφαλή, αξιόπιστο και αποδοτικό τρόπο.

2.4.1 Ψύξη

Ο κλιματισμός του χώρου επιφέρει καλύτερες εσωτερικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα συστήματα κλιματισμού με τη χρήση τεχνολογιών ελέγχου και δικτύων μεταφοράς ενέργειας διαχειρίζονται όλους τους παράγοντες που σχετίζονται με την ποιότητα αέρα που υπάρχει στον χώρο. Παρέχουν έλεγχο της ψύξης, της υγρασίας, την κίνηση και τη διανομή του καθαρού αέρα. Η ψύξη του κτιρίου προκύπτει από την απομάκρυνση της θερμικής ενέργειας του χώρου. Οι συνηθέστερες τεχνικές απομάκρυνσης γίνονται μέσω μεταφοράς ή αγωγής της ψυκτικής-θερμικής ενέργειας. Για να επιτευχθεί η ψύξη χρησιμοποιούνται ψυκτικά μέσα και χημικές ουσίες. Ο θερμοδυναμικός κύκλος ψύξης είναι η κυρία μέθοδος λειτουργίας μιας κλιματιστικής εγκατάστασης. Επίσης, τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται και συστήματα ελεύθερης ψύξης για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος οικονομικότερα. Η ελεύθερη ψύξη χρησιμοποιεί τεχνολογίες που είναι σχεδιασμένες να εκμεταλλεύονται τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος).

Τέτοια συστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη προσαρμοστικότητα σχετικά με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες μας. Υπάρχουν πολλά συστήματα και τεχνολογίες που είναι υπεύθυνα για τον κλιματισμό της εγκατάστασης, για παράδειγμα :

- Συστήματα μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου (VRV Systems).
- Συστήματα αποθήκευσης ψύξης και μεταβαλλόμενης παροχής του αέρα.
- Κεντρικές κλιματιστικές μονάδες.
- Αερόψυκτες ψυκτικές μονάδες συμπίεσης.
- Εναλλάκτες αέρα ή νερού σε ψυκτικό ρευστό.

Συνηθώς η νυχτερινές ώρες χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος τις οποίες ένα σύστημα ελεύθερης ψύξης τις εκμεταλλεύεται αποδοτικότερα περνώντας και διοχετεύοντας ένα μέρος του ψυκτικού φορτίου του εξωτερικού αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η παραγωγή μηχανικής ψύξης και κατά συνέπεια την εξοικονόμηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. [9]

2.4.2 Εξαερισμός

Ο εξαερισμός είναι η διαδικασία αλλαγής-αντικατάστασης του αέρα με σκοπό να αφαιρεθεί οποιοσδήποτε συνδυασμός σωματιδίων υγρασίας, καπνού, οσμής, θερμότητας ακόμη και μικροβίων που υπάρχουν σε έναν κλειστό χώρο. Με αυτόν τρόπο τα συστήματα εξαερισμού μπορούν να ελέγχουν τη θερμοκρασία του χώρου και έτσι να συμβάλουν στη διαδικασία της θέρμανσης και του κλιματισμού. Τα συστήματα εξαερισμού είναι υπεύθυνα για την κυκλοφορία καθαρού και φρέσκου αέρα στα κτίρια. Υπάρχουν δυο είδη συστημάτων εξαερισμού και κατηγοριοποιούνται με βάση την μέθοδο λειτουργίας που χρησιμοποιούν:

- Μηχανικού-Καταναγκαστικού τύπου.
- Φυσικού τύπου.

Ο μηχανικός ή καταναγκαστικός εξαερισμός αναφέρεται σε συστήματα που χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα (ανεμιστήρες) για την εισαγωγή – εξαγωγή του αέρα στο κτίριο. Αντίθετα, ο φυσικός εξαερισμός του κτιρίου δεν χρειάζεται μηχανικά μέσα, αφού βασίζεται εξ ολοκλήρου σε παθητικά φυσικά φαινόμενα, όπως η διάχυση και η πίεση του ανέμου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω προγραμματισμένων ανοιγμάτων (περσίδες, πόρτες και παράθυρα). Τα συστήματα φυσικού αερισμού έχουν πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αλλά συνήθως πρέπει να συμβαδίζουν και με την αρχιτεκτονική του κτιρίου. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι μπορεί να μην μπορούν να παρέχουν πάντοτε επαρκή εξαερισμό διότι βασίζονται εξολοκλήρου στις καιρικές συνθήκες. Για αυτό τον λόγο έχουν αναπτυχθεί συστήματα εξαερισμού μικτής λειτουργίας τα οποία συνδυάζουν μηχανικές και φυσικές διεργασίες. Τέλος, μπορούν

να προγραμματιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν ταυτόχρονα ή και ξεχωριστά ανάλογα με τις ώρες της ημέρας ή και με τις εποχές του χρόνου. [9]

2.4.3 Θέρμανση

Η θέρμανση ενός χώρου είναι η διαδικασία παραγωγής και κατανομής της θερμότητας στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο ή και την διατήρηση της θερμοκρασίας του. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι κεντρικών μονάδων θέρμανσης που λειτουργούν με διάφορα είδη καυσίμων (στερεά, υγρά, αέρια αλλά και με τη χρήση ηλεκτρισμού). Διαχωρίζονται σε συστήματα καύσης και σε αντλίες θερμότητας (Εικόνα 2.6). Διαφέρουν κυρίως στον τρόπο που επιτυγχάνουν το τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 1.6: Συστήματα Κεντρικής Θέρμανσης

Υπάρχουν πολλά είδη συστημάτων κεντρικής θέρμανσης και ο διαχωρισμός τους γίνεται ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλουν ή προσλαμβάνουν την ενέργεια. Για παράδειγμα, για τα συστήματα καύσης (λέβητας, καυστήρας) η θερμική ενέργεια παράγεται από την καύση του καυσίμου με το οποίο τροφοδοτείται το σύστημα και η μεταφορά της στους χώρους της εγκατάστασης γίνεται μέσω του θερμαντικού μέσου (νερό, ατμός, αέρας). Οι αντλίες θερμότητας είναι ψυκτικά συστήματα που μπορούν να μεταφέρουν θερμότητα με φορά αντίθετη από αυτή της φυσικής ροής, δηλαδή μπορούν να απορροφήσουν θερμότητα από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας και να

την ελευθερώσουν σε μια θερμότερη περιοχή. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές και διαφορετικές περιστάσεις ανάλογα με τις σχεδιαστικές απαιτήσεις του χώρου και τις προτιμήσεις του αγοραστή. Οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλουν την παραγομένη τους ενέργεια. Για παράδειγμα, μερικά είδη αντλιών θερμότητας είναι τα εξής:

- Αντλίες θερμότητας αέρος-αέρος.
- Αντλίες θερμότητας αέρος-νερού.
- Αντλίες θερμότητας νερού-νερού.
- Γεωθερμικές αντλίες.

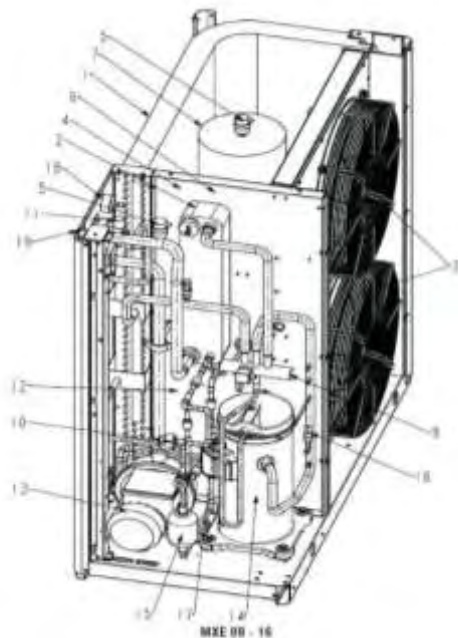
Οι τεχνικές λειτουργίες των παραπάνω συστημάτων είναι παρόμοιες και για αυτό υπάρχει μεγάλη εξάρτηση μεταξύ τους. Τα HVAC systems είναι συστήματα που διαχειρίζονται την ενέργεια και τις συνολικές λειτουργίες των συστημάτων κλιματισμού, εξαερισμού και θέρμανσης. Είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και για την κατάλληλη συνδυαστική τους λειτουργία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία διαφορετικών σεναρίων χρήσης ανάλογα πάντοτε με τα περιβαλλοντικά δεδομένα και τις ανάγκες του κτιρίου. Η επιλογή διαφορετικών προγραμμάτων και σεναρίων θα έχει διαφορετικά αποτελέσματα στον τομέα της απόδοσης και γενικότερα της οικονομικότερης τους λειτουργίας. [9,10]

2.5 Ηλεκτρολογικά Συστήματα Κλιματισμού (HVAC Systems)

Τα συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την κάλυψη των απαιτήσεων του κλιματισμού, της θέρμανσης και του αερισμού ενός κτιρίου είναι πάρα πολύ ενεργοβόρα. Ο υπολογισμός της συνολικής τους κατανάλωσης και η διαστασιολόγησή τους βασίζεται στις οδηγίες του ΚΕΝΑΚ. Ο υπολογισμός των αντίστοιχων φορτίων, η επιλογή των συστημάτων και ο σχεδιασμός του δικτύου της κλιματιστικής εγκατάστασης έχει άμεση σχέση με την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Στην συγκεκριμένη μελέτη θα εξετασθεί το σενάριο λειτουργίας του συστήματος

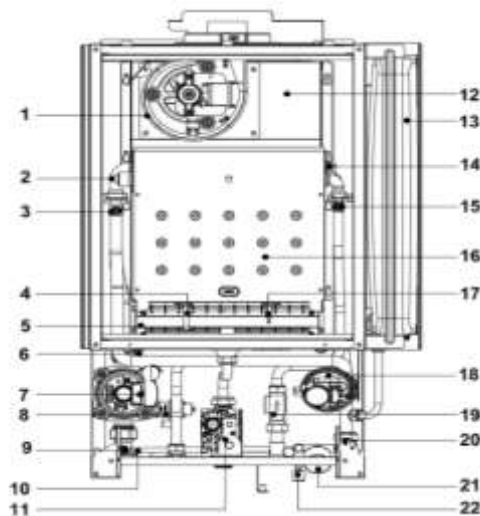
κλιματισμού μονάχα για το ισόγειο. Στο υπόγειο και στο δώμα δεν θα εγκατασταθούν τοπικά συστήματα για την κάλυψη των φορτίων ψύξης, θέρμανσης και αερισμού διότι αυτοί οι χώροι σχεδιαστήκαν για αποθηκευτική-βοηθητική χρήση.

Το κεντρικό ηλεκτρικό σύστημα του κτιρίου θα αποτελείται από έναν αερόψυκτο ηλεκτρικό ψύκτη αέρα-νερού (Εικόνα 2.7) για την ψύξη και από έναν κεντρικό λέβητα αερίου (Εικόνα 2.8) για τη θέρμανση. [10,11]



α/α	Περιγραφή
1	R410A-εναλλάκτης αέρα
2	R410A-εναλλάκτης νερού
3	Ανεμιστήρες
4	Διακόπτης ροής
5	Αυτόματο εξαρτησικό
6	Δοχείο διαστολής
7	Δοχείο αδρανείας
8	Βαλβίδα ασφαλείας R410A
9	4οση βαλβίδα
10	Ηλεκτρονική βαλβίδα
11	Βαλβίδα ασφαλείας νερού
12	Δέκτης ψυκτικού ρευστού
13	Αντλία νερού
14	Συμπιεστής
15	Φίλτρο ψυκτικού ρευστού
16	Πρεσοστάτης χαμηλής πίεσης και πλήρωση
17	Πρεσοστάτης υψηλής πίεσης και πλήρωση
18	Μανόμετρο νερού
19	Σημείο πλήρωσης νερού

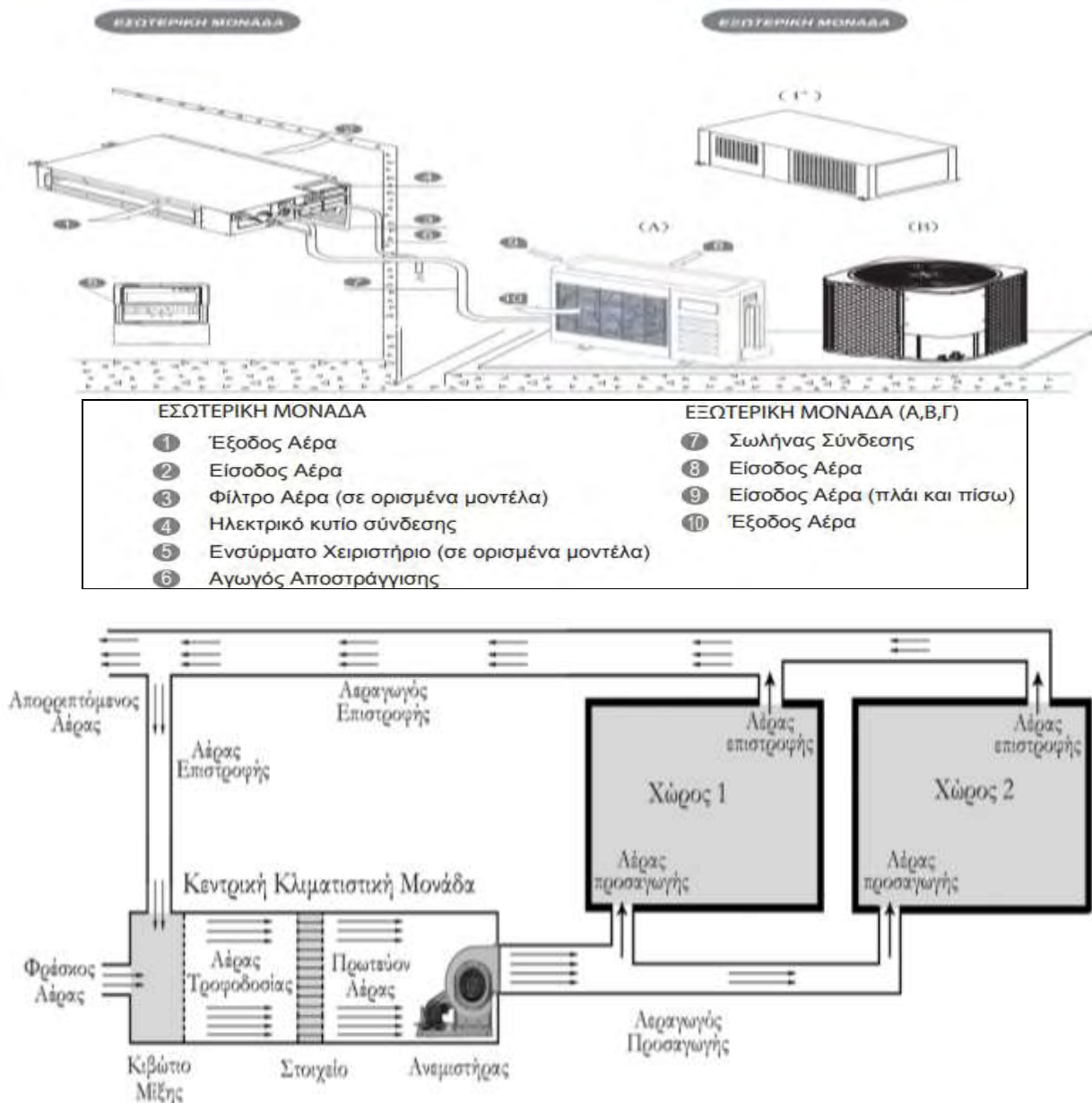
Εικόνα 2.7: Αντλία Θερμότητας Ηλεκτρική Αερόψυκτη αέρα-νερού (ΜΧΕ) .



1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ
2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
4. ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΕΝΑΥΣΗΣ
5. ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΜΙΩΝ
6. ΒΑΛΒΙΔΑ JOLLY ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΗΣ ΑΕΡΑ
7. ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ
8. ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ 3 bar
9. ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ
10. BY-PASS
11. ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΕΡΙΟΥ
12. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ
13. ΔΟΧΕΙΟ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ
14. ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ 90 °C
15. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ
16. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ
17. ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΙΟΝΙΣΜΟΥ
18. ΠΡΕΣΣΟΣΤΑΤΗΣ ΑΕΡΑ
19. ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΡΟΗΣ
20. ΠΡΕΣΣΟΣΤΑΤΗΣ ΝΕΡΟΥ
21. ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ
22. ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Εικόνα 2.8: Κεντρικός Λέβητας Αερίου (RADIANT).

Οι εσωτερικές τοπικές μονάδες κλιματισμού (μονάδα ανεμιστήρα-στοιχείου FCU) θα καλύπτουν τα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κάθε χώρου ξεχωριστά και η παροχή τους θα τροφοδοτείται από τους πλησιέστερους πίνακες. Μια κεντρική κλιματιστική μονάδα (ΚΚΜ) θα καλύπτει τις απαιτήσεις των φορτίων αερισμού των χώρων για θέρμανση και ψύξη (Εικόνα 2.9). Η κεντρική κλιματιστική μονάδα για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας θα έχει ενσωματωμένο εναλλάκτη αέρα-αέρα και θα τροφοδοτείται από έναν κεντρικό πίνακα στο υπόγειο του κτιρίου.



Εικόνα 2.9: Διασυνδεση της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας με της τοπικές μοναδες αερισμού

2.5.1 Απαιτήσεις Συστημάτων

Οι απαιτήσεις των ψυκτικών φορτίων, των φορτίων αερισμού και των θερμικών απωλειών των χώρων του κτιρίου, υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού της 4M, ακολουθώντας πιστά τις τεχνικές οδηγίες του ΚΕΝΑΚ. Πιο συγκεκριμένα :

- Ορίστηκαν τα κλιματιστικά δεδομένα της περιοχής του κτίσματος βάσει της χρήσης του και καθορίστηκαν οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες χώρων (Πίνακας 2.2). [7]

Πίνακας 2.2:
Καθορισμένες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για τον υπολογισμό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση	20	26	35	45
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αιθουσα διδασκαλίας	20	26	35	45

- Ορίστηκαν οι διαστάσεις των κουφωμάτων για τις τοιχοποιίες, τα παράθυρα, το δάπεδο και την οροφή του κελύφους ώστε να υπολογιστούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου. Οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας επιλέχθηκαν σύμφωνα με τους πίνακες του ΚΕΝΑΚ (Πίνακας 2.3) για κλιματιστική ζώνη Β. [7]

Πίνακας 2.3:
Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων του κτιρίου.

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς	2,20	2,00	1,80	1,80
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40

- Ανάλογα με τις διαστάσεις της κάθε αίθουσας και τις λειτουργίες της, καθορίστηκε η πυκνότητα του πληθυσμού των χρηστών και ο αριθμός των συσκευών που απαιτούνται (υπολογιστές, οθόνες, τηλεοράσεις, φούρνος μικροκυμάτων, φωτοτυπικό, κλπ.) για την λειτουργική χρήση της κάθε αίθουσάς. [7]
- Για την εξασφάλιση υγειών συνθηκών διαβίωσης σε κάθε αίθουσα του κτιρίου, υπολογίστηκαν για κάθε χώρο ξεχωριστά οι απαραίτητες ποσότητες εισαγωγής ανανεώσιμου αέρα από το περιβάλλον. Ο ενδεικνυόμενος νωπός αέρας των εσωτερικών χώρων (Πίνακας 2.4) καθορίζεται από τη χρήση του χώρου και τον συνολικό πληθυσμό των χρηστών. Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την ενεργειακή απόδοση των τεχνικών συστημάτων αερισμού. [7]

Πίνακας 2.4:

Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτιρίου για τον υπολογισμό της ενεργειακής του απόδοσης.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m ² επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m ³ /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m ³ /h/m ²]
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	75	30	22,50
Διάδρομοι και άλλοι κοινόχρηστοι βοηθητικοί χώροι	--	--	2,6
Λουτρό (κοινόχρηστο)	--	--	6,00
Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης**	50	22	11,00
Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας**	50	22	11,00
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	110	25	27,50
Γραφείο	10	30	3,00
Βιβλιοθήκη	22	30	6,60

2.5.2 Υπολογισμός και Διαστασιολόγηση των Συστημάτων

Για τον υπολογισμό και τη διαστασιολόγηση του συστήματος κλιματισμού που θα εγκατασταθεί στο κτίριο μας χρησιμοποιήθηκε πάλι το λογισμικό της 4M. Υπολογίσαμε ξεχωριστά για κάθε αίθουσα τις απαιτήσεις και τις απώλειες της με σκοπό να υπολογίσουμε τις μονάδες κάλυψης των ψυκτικών-θερμικών φορτίων και φορτίων αερισμού του κτιρίου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.10, το πρώτο βήμα είναι να ορίσουμε τις διαστάσεις και τον τύπο των τοίχων, των κουφωμάτων και των παραθύρων που απαρτίζουν τη συγκεκριμένη αίθουσα. Αυτό γίνεται μέσω των βιβλιοθηκών που διαθέτει το πρόγραμμα της 4M. Ακόμη για να μπορέσει το πρόγραμμα να υπολογίσει τις απαιτήσεις κλιματισμού πρέπει να ορίσουμε τον προσανατολισμό και τις διαστάσεις (μήκος, πλάτος ύψος και εμβαδόν) των χώρων του κτιρίου. Για την αίθουσα της βιβλιοθήκης επιλέχθηκαν οι εξωτερικές τοιχοποιίες, το δάπεδο, τα παράθυρα και ο προσανατολισμός των επιφανειών του χώρου (Βορειοδυτικός) που έρχονται σε άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

Εδ. Επιφ.	Προσανατολισμός	Προσανατολισμός Αφαιρούμενη	κ. (W/m ² K)	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αριθ. Επιφ.	Συν. Επιφ. (m ²)	Αποσ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)	
1 T2	0	B	0.50	7.45	3.40	25.33	1	25.33		25.33	
2 T1	270	Δ	0.50	10.6	3.40	36.04	1	36.04	24.76	11.28	
3 T2	270	Δ	A	0.50	10.6	0.40	4.24	1	4.24		4.24
4 T2	270	Δ	A	0.50	1.2	3.0	3.60	1	3.60		3.60
5 A1	270	Δ	A	3.0	3.0	1.8	5.40	1	5.40		5.40
6 A1	270	Δ	A	3.0	3.2	1.8	5.76	2	11.52		11.52
7 Δ1	E	E		1.0	7.45	10.6	78.97	1	78.97		78.97

Εικόνα 2.10: Ορισμός δομικών στοιχείων και διαστάσεων του χώρου της βιβλιοθήκης.

Επίσης οριστήκαν :

1. Το ψυκτικό-θερμικό φορτίο που προκύπτει εξαιτίας των διαφορετικών δραστηριοτήτων που ασκούνται στον χώρο (1520 Watt). Αυτό υπολογίζεται σύμφωνα με τον αριθμό των ατόμων και τον βαθμό ενεργητικότητας τους .

2. Το ψυκτικό-θερμικό φορτίο που προκύπτει από τα διαφορετικά είδη συσκευών που λειτουργούν στον χώρο (1005 Watt).
3. Το ψυκτικό-θερμικό φορτίο φωτισμού της αίθουσας, υπολογίζεται μέσω των πινάκων του KENAK από τον πολλαπλασιασμό του εμβαδού της αίθουσας με την εγκατεστημένη ισχύ φωτισμού ($80 \text{ m}^2 * 16 \text{ Watt/m}^2 = 1280 \text{ Watt}$)
4. Το ψυκτικό-θερμικό φορτίο από την διείσδυση του αέρα στον χώρο, το οποίο υπολογίζεται μέσω του λογισμικού(4060 Watt). Απαιτείται να οριστούν το εμβαδόν του χώρου (80 m^2), ο απαιτούμενος νωπός αέρας από KENAK (για βιβλιοθήκη $6.60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) και ο αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα (2L/h).

Τα αποτελέσματα από την εισαγωγή των παραπάνω παραμέτρων είναι τα εξής. Για την αίθουσα της βιβλιοθήκης βάσει των απαιτήσεων του KENAK, υπολογίσθηκε ότι χρειαζόμαστε συνολικό φορτίο αερισμού ίσο με 4660 Watt από τα οποία το αισθητό φορτίο αερισμού είναι 1380 Watt και το λανθάνον 3280 Watt. Ακόμη υπολογίστηκε ότι το συνολικό ψυκτικό φορτίο της αίθουσας είναι 13870 Watt, από τα οποία το μέγιστο λανθάνον είναι 480 Watt και το μέγιστο αισθητό 13990 Watt.

Τέλος, με αυτούς τους αριθμούς μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ισχύ που χρειάζονται οι εσωτερικές τοπικές μονάδες κάλυψης φορτίων για κάθε χώρο. Οι ανάγκες του αερισμού, όπως έχει προαναφερθεί, θα καλύπτονται από μια Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα. Ενώ η ψύξη και η θέρμανση του κτιρίου θα καλύπτεται από έναν ηλεκτρικό αερόψυκτο ψύκτη αέρα – νερού και έναν κεντρικό λέβητα αντίστοιχα. Ο υπολογισμός του μεγέθους ή της ηλεκτρικής ισχύος που χρειάζονται αυτές οι κεντρικές μονάδες για να λειτουργήσουν και να καλύψουν αποδοτικά όλες τις ανάγκες μας, υπολογίζεται από τις συνολικές απαιτήσεις του κτιρίου, δηλαδή το άθροισμα των ψυκτικών-θερμικών φορτίων και των φορτίων αερισμού του κάθε κλιματιζόμενου χώρου. Βάσει των συνολικών απαιτήσεων του κτιρίου, οι κεντρικές μονάδες διαστασιολογήθηκαν ως εξής:

- Αερόψυκτη ηλεκτρική αντλία θερμότητας ηλεκτρικής ισχύος 30 kWatt.
- Κεντρικός Λέβητας αερίου ηλεκτρικής ισχύος 0.3 kWatt.
- Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα ηλεκτρικής ισχύος 3 kWatt.

2.6 Σχεδιασμός Ηλεκτρικών Δικτύων του Κτιρίου

Ο τελικός σχεδιασμός του ηλεκτρικού δικτύου (υπολογισμός διατομής καλωδίων, μέσων προστασίας, πτώσης τάσης κλπ.) και ο υπολογισμός της συνολικής κατανάλωσης ισχύος του κτιρίου προκύπτει από την καταμέτρηση των επιμέρους κυκλωμάτων. Κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση αποτελείται από πολλά μικρά ανεξάρτητα μεταξύ τους ηλεκτρικά δίκτυα, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν οι επιμέρους χώροι του κτιρίου.

Στην παρούσα εργασία κάθε όροφος τροφοδοτείται από έναν γενικό υποπίνακα. Αυτοί οι γενικοί υποπίνακες τροφοδοτούν τις ανάγκες των αιθουσών ξεχωριστά μέσω μικρότερων πινάκων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο γενικός ηλεκτρικός πίνακας που τροφοδοτεί όλα τα κυκλώματα αυτά βρίσκεται στο ηλεκτροστάσιο. Με τον διαχωρισμό της διανομής σε μικρότερους υποπίνακες εξασφαλίζεται η απομόνωση σφαλμάτων μόνο σε ένα μέρος της εγκατάστασης χωρίς να επηρεάζει τη συνολική της λειτουργία.

Μετά τη μελέτη του φωτισμού και τον υπολογισμό των φορτίων του κλιματισμού ακολουθεί η καταμέτρηση της ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών της εγκατάστασης (Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οθόνες, ηλεκτρικός θερμοσίφωνα, τηλεοράσεις κλπ.) και ο καθορισμός των γραμμών τροφοδότησης. Τέλος πραγματοποιείται και πρόβλεψη για μελλοντικές επεκτάσεις των επιμέρους δικτύων.

Για κάθε αίθουσα ξεχωριστά υπάρχει ένας πίνακας που τροφοδοτεί τις συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια στον χώρο. Οι πίνακες αυτοί είναι τριφασικοί. Σε οποιαδήποτε ηλεκτρολογική εγκατάσταση πρέπει να καθοριστούν τα μετρά προστασίας για κάθε πίνακα διανομής και οι ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές των καλωδίων. Για παράδειγμα για την ασφάλεια των πινάκων της κάθε αίθουσας εγκαθίστανται ραγοδιακόπτες και για τους γενικούς πίνακες αυτόματοι διακόπτες ισχύος. Μικροαυτόματοι διακόπτες και ρελέ ισχύος εγκαθίστανται για την προστασία των φορτίων φωτισμού, ρευματοδοτών, τοπικών εσωτερικών μονάδων κλιματισμού και γενικά όλων των διαφορετικών τύπων φορτίων.[6]

2.7 Υπολογισμός Ενεργειακών Καταναλώσεων

Για τη σωστή διαστασιολόγηση των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής θα πρέπει πρώτα να υπολογισθεί η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Η μελέτη αυτή αναφέρεται σε ένα κτίριο του τριτογενούς τομέα και πιο συγκεκριμένα σε ένα νηπιαγωγείο. Κατά τη διάρκεια του έτους τα κτίρια της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης βρίσκονται σε λειτουργία για περίπου οχτώ με δέκα μήνες, καθώς παραμένουν κλειστά τους καλοκαιρινούς μήνες, τις εβδομάδες των εθνικών εορτών (Χριστούγεννα και Πάσχα), τις αργίες αλλά και τα Σαββατοκύριακα. Για αυτόν τον λόγο θα υπολογιστούν 2 σενάρια ετήσιας λειτουργίας.

Για τον υπολογισμό των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων αρχικά πρέπει να καταγραφούν όλες οι ηλεκτρικές καταναλώσεις ισχύος των συσκευών και των λοιπών παροχών στην χρονική περίοδο της μιας ημέρας. Δεν πρέπει να παραλειφθεί η πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας πολλών διαφορετικών συσκευών. Για τον υπολογισμό της συνολικής καταναλωμένης ενέργειας πρέπει να υπολογισθεί η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση της εγκατάστασης. Αυτό επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας αρχικά την ηλεκτρική ισχύ όλων των παροχών επί του συντελεστή ετεροχρονισμού και στη συνέχεια επί του συνολικού χρόνου λειτουργίας τους.

2.7.1 Ετεροχρονισμός- Ταυτοχρονισμός

Η συνολική κατανάλωση ισχύος της κτιριακής εγκατάστασης υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος της 4M/ADAPT, όπου καταγράφηκε η κατανάλωση ισχύος της κάθε γραμμής ξεχωριστά αλλά και η συνολική απαιτούμενη παροχή από τη ΔΕΗ. Όλα τα φορτία του φωτισμού του κλιματισμού και των λοιπών παροχών χαρακτηρίζονται από έναν συντελεστή ισχύος και έναν συντελεστή ετεροχρονισμού.

Ο συντελεστής ισχύος εκφράζει το ποσοστό προσφερόμενης ισχύος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή έργου. Η χρήση ηλεκτρικών συσκευών με χαμηλό συντελεστή ισχύος επηρεάζει αρνητικά τη σωστή λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Ο κατάλληλος συντελεστής ισχύος για κάθε συσκευή επιλέχθηκε μέσω των ενημερωμένων βιβλιοθηκών του λογισμικού της 4M. [6]

Ο συντελεστής ετεροχρονισμού είναι διαφορετικός για κάθε ομαδοποιημένο κύκλωμα και συσχετίζεται κατά πολύ με τη χρήση του κάθε κτιρίου. Αυτός ο συντελεστής εκφράζει το ποσοστό των φορτιών που λειτουργούν ταυτόχρονα με αλλά φορτία την ίδια χρονική στιγμή [6]. Η ένταση μιας γραμμής είναι ίση με το άθροισμα των εντάσεων όλων των κυκλωμάτων που έχουν πολλαπλασιαστεί με τον κατάλληλο συντελεστή ετεροχρονισμού. Η επιλογή του συντελεστή ετεροχρονισμού για την λειτουργία των ηλεκτρικών παροχών έγινε ως εξής :

- Για τον φωτισμό των αιθουσών συχνής χρήσης, όπως οι αίθουσες διδασκαλίας, τα εργαστήρια, τα γραφεία καθηγητών, η βιβλιοθήκη, το εστιατόριο, το κυλικείο και η κουζίνα επιλέχθηκε ο συντελεστής να είναι ίσος με το 1.
- Για τον φωτισμό των μεγάλων αιθουσών, όπως το αμφιθέατρο και η αίθουσα πολλαπλών χρήσεων που δεν χρειάζεται πάντοτε να λειτουργούν όλα τα κυκλώματα φωτισμού ταυτόχρονα, επιλέχθηκε συντελεστής ίσος με το 0.8.
- Για τον φωτισμό των διάδρομων, του κλιμακοστάσιου και των αποθηκευτικών χώρων επιλέχθηκε συντελεστής ίσος με το 0.4.

Για τα κυκλώματα των ρευματοδοτών οι συντελεστές ετεροχρονισμού των ηλεκτρικών συσκευών που εξοπλίζουν τον κάθε χώρο επιλέχθηκαν ως εξής:

- Οι ρευματοδότες των εργαστηρίων πληροφορικής έχουν συντελεστή ετεροχρονισμού ίσο με το 1, διότι όλοι οι Η/Υ και οι οθόνες που εξοπλίζουν το εργαστήριο θα λειτουργούν ταυτόχρονα.
- Οι ρευματοδότες που τροφοδοτούν τις ηλεκτρικές συσκευές της κουζίνας και του εστιατορίου επιλέχθηκαν να έχουν συντελεστή ίσο με 0.7-0.8
- Οι ρευματοδότες που τροφοδοτούν τις ανάγκες των αιθουσών διδασκαλίας, των γραφείων, της βιβλιοθήκης, της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων και του αμφιθέατρου έχουν ως συντελεστή ισχύος το 0.4-0.5.
- Τέλος, για τους ρευματοδότες των διαδρόμων και των αποθηκευτικών χώρων επιλέχθηκε συντελεστής ίσος με το 0.2.

2.7.2 Καταμέτρηση Ενεργειακών Καταναλώσεων

Στο συγκεκριμένη ενότητα ακολουθεί η καταγραφή του χρόνου λειτουργίας και της κατανάλωσης ισχύος όλων των ηλεκτρικών δικτύων της εγκατάστασης. Στόχος της μελέτης αυτής είναι ο υπολογισμός των ενεργειακών καταναλώσεων του κτιρίου ώστε στη συνέχεια να μπορέσουμε να διαστασιολογήσουμε τα συστήματα παραγωγής ενέργειας τα οποία θα καλύπτουν μέρος των ενεργειακών αναγκών του νηπιαγωγείου.

Για τον φωτισμό της εγκατάστασης (Πίνακας 2.5) ανάλογα με τη γεωμετρία της αίθουσας χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι φωτιστικών. Πιο συγκεκριμένα, για τον φωτισμό των αιθουσών και των διαδρόμων χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά τετραγωνικής ή ορθογώνιας διατομής με λαμπτήρες LED ισχύος 71.1 Watt και για τον φωτισμό των λουτρών χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά Downlight με λαμπτήρες LED ισχύος 29Watt.

Πίνακας 2.5 : Καταμέτρηση ενεργειακών καταναλώσεων των ηλεκτρικών δικτύων του φωτισμού.

ΙΣΟΓΕΙΟ	Συνολική Ισχύς (KWATT)	Ετεροχρονισμός	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Ώρες λειτουργίας ανά μήνα	Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας
Φωτισμός Αιθουσών Διδασκαλίας	0.7 kWatt	0.9	8 ώρες	240 ώρες	151 kWh
Φωτισμός Αιθουσών Πολλαπλών Χρήσεων	2 kWatt	0.8	4 ώρες	120 ώρες	192 kWh
Φωτισμός Διαδρομών και κλιμακοστάσιων	2 kWatt	0.4	3 ώρες	90 ώρες	72 kWh
Φωτισμός Λουτρών	1.4 kWatt	0.5	3 ώρες	90 ώρες	63 kWh
Φωτισμός Βιβλιοθήκης	0.57 kWatt	0.6	8 ώρες	180 ώρες	61.5 kWh
Φωτισμός Αποθηκευτικών Χώρων	0.13 kWatt	0.4	2 ώρες	60 ώρες	3.12 kWh
ΥΠΟΓΕΙΟ					
Φωτισμός Αποθηκευτικών Χώρων	2.2 kWatt	0.5	2 ώρες	60 ώρες	66 kWh
Φωτισμός Διαδρόμων	1 kWatt	0.5	1 ώρα	30 ώρες	15 kWh
ΣΥΝΟΛΙΚΑ					624 kWh

Στον Πίνακα 2.6 καταγράφονται οι καταναλώσεις ισχύος και ο χρόνος λειτουργίας όλων των ομαδοποιημένων ηλεκτρικών δικτύων τα οποία τροφοδοτούνται από της τοπικούς πίνακες για κάθε αίθουσα της εγκατάστασης ξεχωριστά .

Πίνακας 2.6:
Καταμέτρηση ενεργειακών καταναλώσεων των ηλεκτρικών δικτύων των αιθουσών του κτιρίου

ΙΣΟΓΕΙΟ	Συνολική Ισχύς (KWATT)	Ετεροχρονισμός	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Ώρες λειτουργίας ανά μήνα	Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας
Αίθουσες διδασκαλίας	2.4 kWatt	0.5	6 ώρες	180 ώρες	216 kWh
Πολυδύναμος Χώρος	6.5 kWatt	0.6	7 ώρες	210 ώρες	819 kWh
Βιβλιοθήκη	6.5 kWatt	0.5	5 ώρες	150 ώρες	487.5 kWh
Γραφεία Προσωπικού	1.5 kWatt	0.4	4 ώρες	120 ώρες	72 kWh
Κουζίνα	8 kWatt	0.7	3 ώρες	90 ώρες	504 kWh
Κυλικείο	7 kWatt	0.8	4 ώρες	120 ώρες	672 kWh
Αμφιθέατρο και Αίθουσα πολλών χρήσεων	5 kWatt	0.4	5 ώρες	150 ώρες	300 kWh
Λουτρά	6 kWatt	0.7	2 ώρες	60 ώρες	252 kWh
Ρευματοδότες Διαδρόμων	1 kWatt	0.2	2 ώρες	60 ώρες	12 kWh
Ψυγεία και καταψύκτες	0.6 kWatt	1	24 ώρες	720 ώρες	432 kWh
ΥΠΟΓΕΙΟ					
Ρευματοδότες	1 kWatt	0.1	1 ώρα	30 ώρες	3 kWh
ΣΥΝΟΛΙΚΑ					3770 kWh

Οι ηλεκτρικές συσκευές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών των χώρων είναι οι εξής :

- Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές (200 Watt), Οθόνες Ηλεκτρικών Υπολογιστών (100 Watt), Τηλεοράσεις (300 Watt) και Συστήματα Ήχου (500 Watt).
- Εκτυπωτές (600 Watt), Projectors (300 Watt) και Φωτοτυπικά (800 Watt).
- Καφετιέρα (350 Watt), Φούρνος Μικροκυμάτων(1500 Watt), Mixer (500 Watt), Τοστιέρα (650 Watt), Κουζίνα (2000 Watt) και Πλυντήριο πιάτων (1050 Watt).
- Ψυγεία (90 Watt) και Καταψύκτες (110 Watt).
- Μικροί Θερμοσίφωνες (2000Watt).

Τέλος, απομένει να αναλυθούν οι καταναλώσεις ισχύος των ηλεκτρικών δικτύων αερισμού, θέρμανσης, ψύξης και των λοιπών παροχών (Πίνακες 2.7 και 2.8). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι απαιτήσεις ισχύος και κατά συνέπεια οι καταναλώσεις ενέργειας της ηλεκτρικής αερόψυκτης αντλίας είναι αρκετά υψηλές λόγω του μεγέθους της και κατά συνέπεια μια τέτοια μονάδα έχει τεράστιο αντίκτυπο στην συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας.

Πίνακας 2.7:
Καταμέτρηση ενεργειακών καταναλώσεων των δικτύων αερισμού και των λοιπών παροχών.

	<i>Συνολική Ισχύς (KWATT)</i>	<i>Ετεροχρονισμός</i>	<i>Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα</i>	<i>Ώρες λειτουργίας ανά μήνα</i>	<i>Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας</i>
Εναλλάκτες Αέρα-Αέρα	2.5 kWatt	0.7	8 ώρες	240 ώρες	420 kWh
Αντλία πυροσβεστικού συγκροτήματος	10 kWatt	0.1	30 λεπτά	15 ώρες	15 kWh
Αντλία πιεστικού ύδρευσης	10 kWatt	0.1	30 λεπτά	15 ώρες	15 kWh
Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα	3 kWatt	0.9	8 ώρες	240 ώρες	648 kWh
ΣΥΝΟΛΙΚΑ					1100 kWh

Πίνακας 2.8:
Καταμέτρηση ενεργειακών καταναλώσεων των δικτύων ψύξης και θέρμανσης.

	<i>Συνολική Ισχύς (KWATT)</i>	<i>Ετεροχρονισμός</i>	<i>Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα</i>	<i>Ώρες λειτουργίας ανά μήνα</i>	<i>Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας</i>
Τοπικές Μονάδες FCOIL	6 kWatt	0.7	8 ώρες	240 ώρες	1008 kWh
Λέβητας	0.3 kWatt	0.8	8 ώρες	240 ώρες	58 kWh
Ηλεκτρική αερόψυκτη αντλία	30 kWatt	0.8	8 ώρες	240 ώρες	5760 kWh
Κυκλοφορητές Τοπικών Μονάδων	0.3 kWatt	0.9	8 ώρες	240 ώρες	65 kWh
ΣΥΝΟΛΙΚΑ					6891 kWh

Βάσει των πληροφοριών που έχουν καταγραφεί στους παραπάνω πίνακες υπολογίσθηκαν οι καταναλώσεις ενέργειας των ηλεκτρικών δικτύων για το ετήσιο χρονικό διάστημα λειτουργίας του νηπιαγωγείου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Σενάριο πρώτο: Οκτάμηνη λειτουργία του κτιρίου.

1. Τα ηλεκτρικά δίκτυα φωτισμού της εγκατάστασης καταναλώνουν 4992 kWh.
2. Τα ηλεκτρικά δίκτυα που καλύπτουν τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών συσκευών της εγκατάστασης καταναλώνουν 30160 kWh.
3. Τα ηλεκτρικά δίκτυα που καλύπτουν τις απαιτήσεις των λοιπών παροχών αλλά και των κεντρικών και τοπικών μονάδων κλιματισμού καταναλώνουν 8800 kWh.
1. Οι μονάδες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ψύξη και την θέρμανση του κτιρίου θα λειτουργούν από τέσσερις μήνες (θερινή και χειμερινή περίοδος αντίστοιχα). Τα δίκτυα θέρμανσης και ψύξης θα καταναλώνουν συνολικά 27564 kWh.

Συνολικά η εγκατάσταση καταναλώνει 71.6 MWh.

Σενάριο δεύτερο : Δεκάμηνη λειτουργία του κτιρίου.

2. Τα ηλεκτρικά δίκτυα φωτισμού της εγκατάστασης καταναλώνουν 6240 kWh.
3. Τα ηλεκτρικά δίκτυα που καλύπτουν τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών συσκευών της εγκατάστασης καταναλώνουν 37700 kWh.
4. Τα ηλεκτρικά δίκτυα που καλύπτουν τις απαιτήσεις των λοιπών παροχών αλλά και των κεντρικών και τοπικών μονάδων κλιματισμού καταναλώνουν 11000 kWh
5. Οι μονάδες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ψύξη και την θέρμανση του κτιρίου θα λειτουργούν από πέντε μήνες (θερινή και χειμερινή περίοδος αντίστοιχα). Τα δίκτυα θέρμανσης και ψύξης θα καταναλώνουν συνολικά 34455 kWh

Συνολικά οι εγκατάσταση καταναλώνει 89.4 MWh.

3^ο Κεφάλαιο: Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται ως το σύνολο διάφορων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Αντίθετα με τα απολιθωμένα καύσιμα θεωρείται ανεξάντλητη διότι δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Είναι ελεύθερη και ανεπηρέαστη από τις αυξανόμενες τιμές ενέργειας. Την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε με διάφορους τρόπους:

- Θέρμανση
- Φωτισμό
- Παραγωγή Μηχανικής και Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών (Εικόνα 3.1). Τα παθητικά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.



Εικόνα 3.1: Τύποι Ηλιακών Συστημάτων.

Παθητικά ηλιακά συστήματα χαρακτηρίζονται τα συστήματα που μέσω των δομικών στοιχείων του κτιρίου αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση και τον φωτισμό των χώρων. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα στον εγκλωβισμό της θερμότητας που προκύπτει από την ηλιακή ακτινοβολία. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής των κτιρίων (ηλιακοί τοίχοι, θερμοκήπια κλπ.) και μπορούν να εφαρμοστούν για όλους της τύπους κτιρίων.

Τα ενεργειακά Ηλιακά συστήματα μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας την απορροφημένη ηλιακή ενέργεια σε κάποιο ρευστό (συνήθως νερό). Η τεχνολογίες που εφαρμόζονται είναι αρκετά απλές και η πλέον πιο διαδεδομένη μορφή της είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες. Η απορρόφηση της ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή καλά προσανατολισμένων επιφανειών ως προς τον ήλιο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα και έτσι μπορούν να τροφοδοτήσουν ηλεκτρικές συσκευές, να αποθηκεύσουν ενέργεια ακόμη και να διοχετεύσουν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Στην παρούσα εργασία θα αναλυθεί η δομή μιας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η εγκατάσταση αυτή θα είναι διασυνδεδεμένη με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ (On-grid) και ο κύριος στόχος της είναι να συμβάλλει βοηθητικά στην κάλυψη ενός μέρους των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

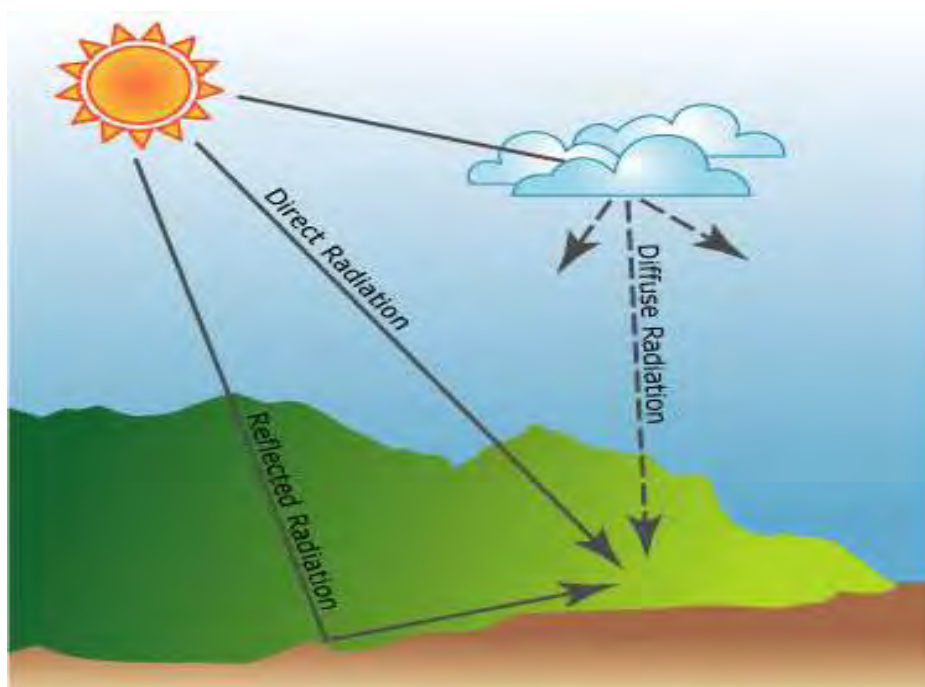
Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την ιδανική πηγή για μια οικολογική, ιδιωτική αποκεντρωμένη και διαθέσιμη παντού ηλεκτρική τροφοδοσία. Μπορεί να χαρακτηριστεί ικανή στο να συμβάλλει σημαντικά στην αντικατάσταση μέρους της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα και να καταλήξει να αποτελεί κύρια συνιστώσα για τις μελλοντικές μας ενεργειακές ανάγκες. Τέλος αποτελεί μια οικολογική λύση για το οξυμμένο ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε τη σημερινή εποχή.

3.2 Διακύμανση Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένα μέγεθος που μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της μέρας, για αυτό και χαρακτηρίζεται από μεγάλες διακυμάνσεις. Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη είναι η θέση του ηλίου σε σχέση με αυτή. Η απόσταση της γης από τον ήλιο μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τιμή της έντασης της να μεγιστοποιείται, όταν ο ήλιος βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση σε σχέση με αυτή.

Η ισχύς της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από την κλίση πρόσκρουσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν κάθετα σε μια επίπεδη επιφάνεια τότε μεγιστοποιείται και η τιμή της έντασης τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεγιστοποίηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της πορείας του.

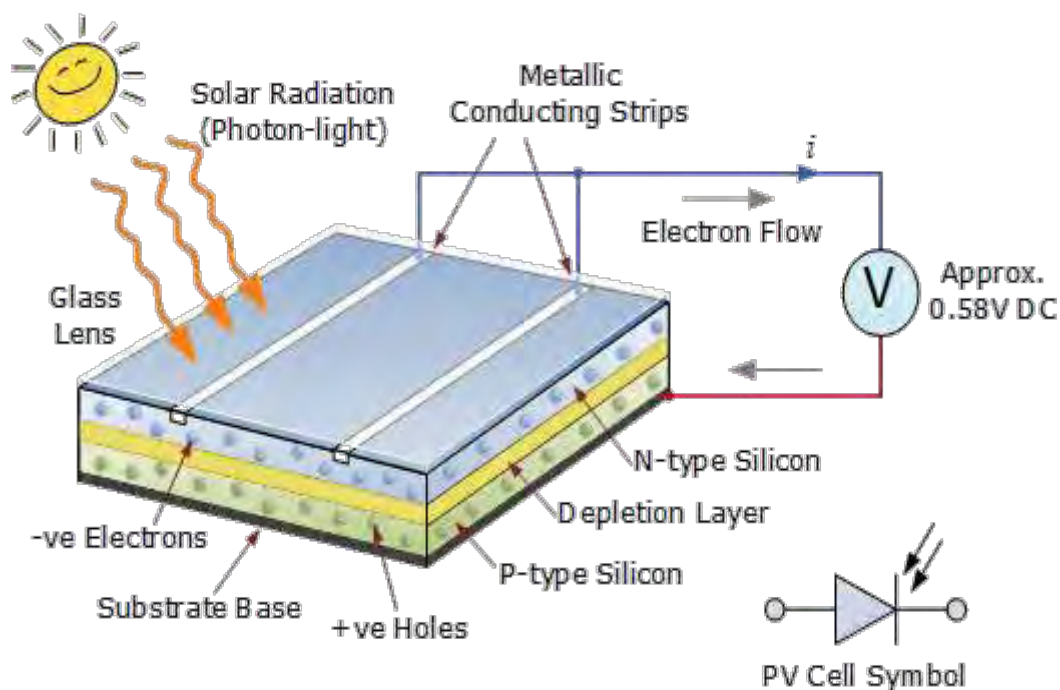
Τέλος, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια μπορεί να εξασθενήσει λόγω του φαινομένου της σκέδασης. Η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα της γης ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία (Diffuse radiation). Η πυκνότητα της και ο ρυθμός με τον οποίο προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της παρεμβολής εμποδίων στην αρχικά προκαθορισμένη πορεία της (σύνεφα, σκιασμένες περιοχές κλπ.). Όπως μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 3.2, η συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας (Total Solar Radiation) που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι το άθροισμα της άμεσης (Direct radiation), της διάχυτης (Diffuse Radiation) και της ανακλώμενης από το έδαφος (Reflected Radiation) ηλιακής ακτινοβολίας. [13]



Εικόνα 3.2: Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης.

3.3 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

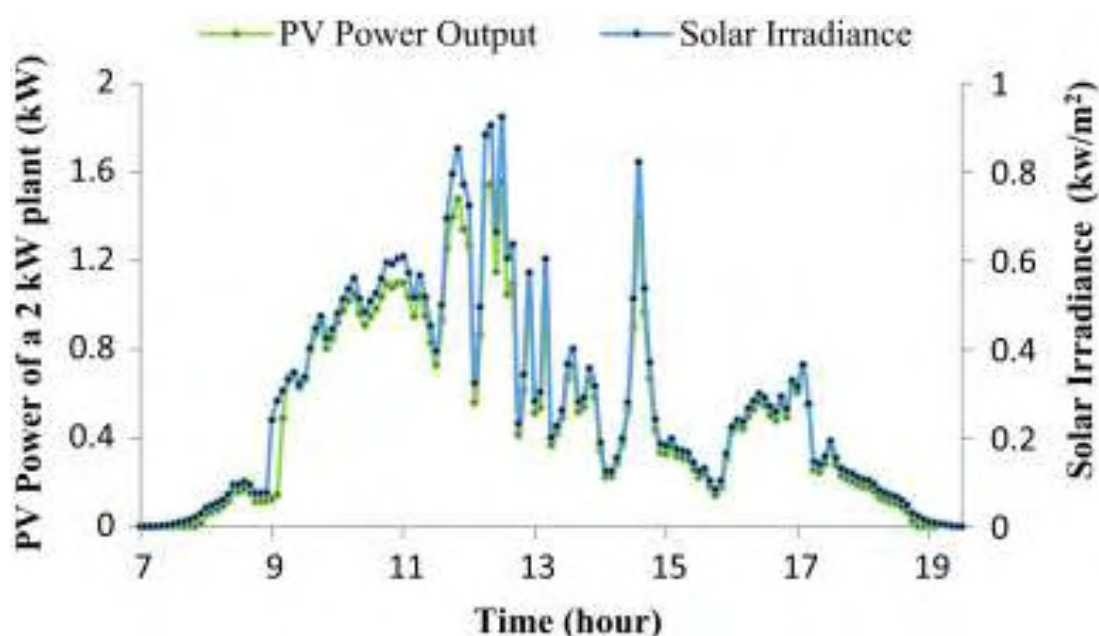
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα (Εικόνα 3.3). Περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων, που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά, όταν εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία. Φυσικά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών στοιχείων, όπως το πυρίτιο και ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός, χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτόν.



Εικόνα 3.3 : Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσκρούει πάνω στο φωτοβολταϊκό κύτταρο θερμαίνει το υλικό και έτσι ενισχύει την κίνηση των ατόμων του. Όσο διαρκεί αυτό, δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίου (electrons) και οπής (holes). Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κατευθύνονται στο τμήμα τύπου N (N-type Silicon) και οι οπές στο τμήμα τύπου P (P-type silicon). Η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων μεταφράζεται σε διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δυο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή η διάταξη αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μια υποτυπώδης ηλεκτρική γεννήτρια. Η ύπαρξη διαφοράς δυναμικού στους ακροδέκτες του πλαισίου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστοιχιών στηρίζεται στην εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Ο ήλιος παρέχει πάνω από 1.000 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Έτσι, ένα φωτοβολταϊκό με διαστάσεις ενός τετραγωνικού μέτρου και ανάλογα με το υλικό κατασκευής του θα παράγει 80-170 Watt ισχύ εξόδου. Δηλαδή ένα ηλιακό στοιχείο με ονομαστική μέγιστη ισχύ 100 Wp θα μπορεί να δώσει στην έξοδο 20 Volt και 5 Ampere. Για να πετύχουμε τον κατάλληλο συνδυασμό τάσης και ρεύματος με συνέπεια την επίτευξη την επιθυμητής συνολικής ισχύος, μπορούμε να συνδέσουμε όσα φωτοβολταϊκά πάνελ θέλουμε σε σειρά ή και παράλληλα. Στην Εικόνα 3.4 βλέπουμε την παραγωγή ενέργειας του συστήματος των 2 kWatt κατά τη διάρκεια μιας τυχαίας μέρας. [12]



Εικόνα 3.4:

Γραφική Παράσταση της Ημερήσιας Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας της ΦΒ συστήματος.

3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

Οι νέες εξελιγμένες τεχνολογίες και η λειτουργικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων τα καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικά στη νέα, απελευθερωμένη και διαρκώς εξελίξιμη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι τα εξής :

- Λειτουργούν αθόρυβα με πλήρη απουσία αποβλήτων, αποφεύγοντας την μόλυνση του περιβάλλοντος.
- Λειτουργούν χωρίς κινητά μέρη και χρειάζονται ελάχιστη επίβλεψη και συντήρηση .
- Δεν χρειάζονται κάποιο είδος υγρού ή αέριου καύσιμου (σε αντίθεση με τα θερμικά συστήματα) και μπορούν να λειτουργήσουν και με νεφελώδη ουρανό (διάχυτη ακτινοβολία)
- Έχουν αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής .
- Πλέον είναι αποδοτικά και σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών, όσον αφορά την ισχύ (από μερικά Watt έως και μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας MW.)
- Δυνατότητα αποκεντροποίησης και ανεξαρτησίας από τα μεγάλα ηλεκτρικά δίκτυα διανομής (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα).
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες.
- Μπορούν ακόμη και να ενσωματωθούν ως δομικά στοιχεία στο κέλυφος του κτιρίου.

Από την άλλη πλευρά τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα εξής:

- Το αρχικό κόστος επένδυσης θεωρείται υψηλό. Αυτό οφείλεται στο υψηλό κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων και όχι τόσο στο κόστος εγκατάστασης .
- Υπάρχει μια προφανής εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή από ότι τους χειμερινούς).
- Δεν είναι εφικτή η εκτίμηση παραγωγής για μικρά χρονικά διαστήματα.
- Τέλος, προκύπτουν πολλές δυσκολίες σε εφαρμογές που απαιτείται η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αυτό γίνεται με μη αποδοτικό τρόπο.

3.5 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Η απόδοση των φ-β πλαισίων εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Όσο πιο ιδανικές είναι οι συνθήκες λειτουργίας, τόσο πιο αποδοτικά αποτελέσματα δίνουν.

Υπάρχουν πολλοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων και χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες :

1. Φ-Β στοιχεία Κρυσταλλικού Πυριτίου: Σε αυτήν την κατηγορία είναι τα Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου(m-Si), τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου(p-Si) και το άμορφο πυρίτιο(a-Si)
2. Φ-Β στοιχεία Λεπτού Υμενίου : Σε αυτήν την κατηγορία βρίσκονται τα στοιχεία λεπτών μεμβρανών Χαλκοπυρίτιου

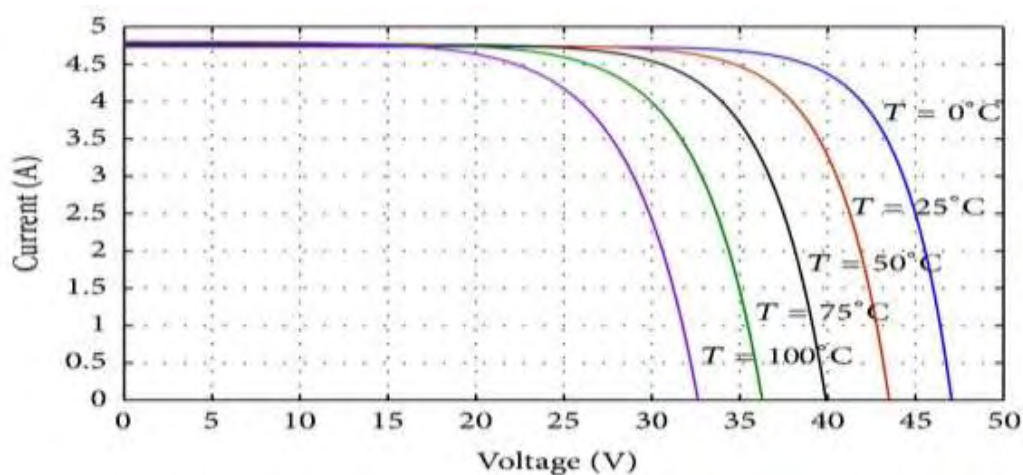
Όπως μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 3.5 ανάλογα με το υλικό της κατασκευής του κυττάρου προκύπτουν διαφορετικά ποσοστά απόδοσης. Συνήθως, τα πλαίσια με τα μεγαλύτερα ποσοστά απόδοσης χαρακτηρίζονται και από υψηλότερο κόστος κατασκευής.

ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΥΤΤΑΡΟΥ-ΠΛΑΙΣΙΟΥ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (ΚΥΤΤΑΡΟ)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (ΚΥΤΤΑΡΟ)	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (ΠΛΑΙΣΙΟ)
1^{ης} Γενιάς: ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ:			
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο (m-Si)	29%	21-24%	13-16%
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο (p-Si)	25%	17-20%	11-14%
Άμορφο Πυρίτιο (a-Si)	27%	12-13%	6-8%
2^{ης} Γενιάς: ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ:			
Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)	31%	25-26%	26-28%
Κράματα Πυριτίου (a-SiGe, a-SiC)	27%	13%	9-11%
Δισεληνιοειδίουχο Χαλκός (CIS)	27%	16-17%	12-14%
Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)	31%	10-16%	7-10%
Ετεροένωση (Cu2S/CdS)	-	10%	-
3^{ης} Γενιάς: ΟΡΓΑΝΙΚΑ, ΠΟΛΥΜΕΡΗ & ΥΒΡΙΔΙΚΑ:			
Οργανική ουσία & TiO ₂	30%	10%	-
Οργανικές βόφεις	-	10,4%	-
Πολυμερή στοιχεία	10%	2,5%	-
Υβριδικά (CdSe)	6,8-10%	1,7%	-

Εικόνα 3.5: Ποσοστά απόδοσης ανάλογα με το υλικό κατασκευής του ΦΒ πλαισίου

3.5.1 Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης

Η θερμοκρασία λειτουργίας των φ-β στοιχείων έχει άμεση συσχέτιση με την συνολική απόδοση της εγκατάστασής της. Όσο αυτή αυξάνεται τόσο η φ-β τάση εξόδου μειώνεται, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην γίνεται τόσο αποδοτικά η διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Στην Εικόνα 3.6, παρατίθεται η γραφική παράσταση εξόδου της τάσης (Voltage) - ρεύματος (Current) του φωτοβολταϊκού στοιχείου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια, με την αύξησή της προκύπτει χαμηλότερη ισχύς εξόδου ($P_{max} = I_{sc} * V_{oc}$).



Εικόνα 3.6: Γραφική παράσταση τάσης-ρεύματος ΦΒ πλαισίου για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας.

Ο πιο λογικός και αποτελεσματικός τρόπος για την αποφυγή τέτοιου είδους απωλειών, επιτυγχάνεται με την ψύξη των πάνελ ώστε να μειωθεί η θερμότητα που αποθηκεύεται στην επιφάνειά της. Με την εγκατάσταση μικρών συστημάτων ψύξης της εξωτερικής επιφάνειας παρατηρείται αύξηση ως και 15% της συνολικής της απόδοσης.

Ένας ακόμη παράγοντας που επιδρά σημαντικά στην αποδοτικότητα των πλαισίων είναι η ρύπανση των επιφανειών. Η σκόνη, τα βρώμικα σωματίδια, τα φύλλα και το χιόνι που συσσωρεύονται πάνω στις επιφάνειες των πλαισίων μπλοκάρουν ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια των πλαισίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό συμβαίνει κυρίως στα φ-β συστήματα που έχουν εγκατασταθεί σε περιοχές πόλεων.

Η ρύθμιση της κατάλληλης κλίσης των φ-β πλαισίων (συνήθως από 15° και πάνω) βοηθά στην απομάκρυνση των ανεπιθύμητων σωματιδίων από τις επιφάνειες μέσω της βροχής. Οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν κατά πολύ την συνολική απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για αυτόν τον λόγο οι υπεύθυνοι μηχανικοί θα πρέπει να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης με το πέρασμα του χρόνου . [14]

3.5.2 Σκίαση Πλαισίων

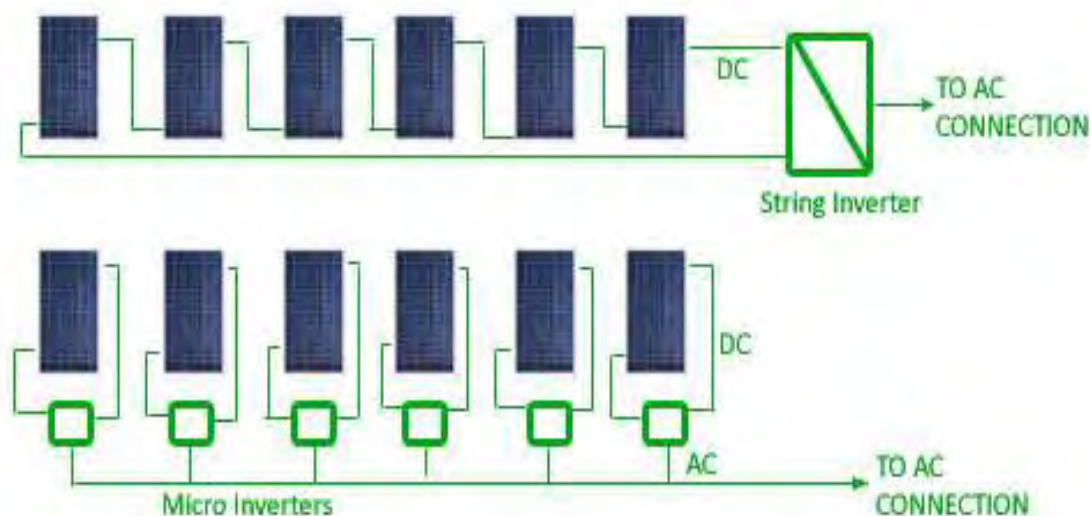
Κάθε ένα φ-β στοιχείο έχει ένα σημείο λειτουργίας στο οποίο μεγιστοποιείται η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς του (Maximum Power Point – MPP). Η ισχύς αυτή έχει κατά κύριο λόγο μεγάλη εξάρτηση με τα ποσοστά πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλαισίου. Σκιάσεις μπορούν να δημιουργηθούν από διάφορα φυσικά εμπόδια όπως τα γειτονικά κτίρια, τα δένδρα, στύλοι ακόμη και βουνά.

Οι σκιάσεις των επιφανειών επηρεάζουν κατά πολύ την αποδοτική παραγωγικότητα μιας φ-β εγκατάστασης. Η σκίαση μεμονωμένων πλαισίων ή αλλιώς και μερική σκίαση πέρα από την υποβάθμιση των χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης γεννήτριας, επηρεάζει σημαντικά και τη συνολική ισχύ εξόδου ολόκληρης της εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει, διότι, αν ένα από τα στοιχεία της εγκατάστασης παράγει λιγότερο ρεύμα λόγω έλλειψης της ηλιακής ακτινοβολίας, τότε το παραγόμενο ρεύμα αυτό περνάει μέσα από όλα τα διασυνδεδεμένα σε σειρά στοιχεία μιας εγκατάστασης, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του συνολικού ρεύματος εξόδου.

Βασική προτεραιότητα του κάθε μηχανικού για τη σχεδίαση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, είναι η επιλογή του κατάλληλου χώρου και η τήρηση κάποιων κανόνων ώστε να μπορέσουν να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες απόδοσης λόγω σκιάσεων . Μια συνηθισμένη λύση για την καταπολέμηση της μερικής σκίασης είναι οι δίοδοι παράκαμψης (Bypass Diodes) . Οι δίοδοι αυτές είναι διασυνδεδεμένες παράλληλα με τις σειρές των πάνελ στα οποία υπάρχει πιθανότητα να υπάρχουν απώλειες λόγω σκίασης. Οι δίοδοι παράκαμψης σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας λειτουργούν σαν

ανοιχτός διακόπτης χωρίς να επιδρούν στην συνολική παραγωγή. Ενώ στην περίπτωση μερικής σκίασης, η διόδος παράκαμψης λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης και έτσι το ρεύμα της σκιασμένης σειράς παρακάμπτεται μέσω της διόδου, διατηρώντας την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης. [14,15]

Όπως προαναφέρθηκε, η σκίαση των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιδρά στην συνολική παραγωγή ισχύος παραμορφώνοντας τις χαρακτηριστικές καμπύλες Ρεύματος-Τάσης (I-V) και Ισχύος-Τάσης (P-V). Όλοι οι μετατροπείς (Inverters) διαθέτουν τη δυνατότητα εντοπισμού του σημείου λειτουργίας στο οποίο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παράγουν την μέγιστη ισχύ (MPP-Tracker). Σε περίπτωση σκίασης, το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό για όλη την εγκατάσταση και έτσι οι σειρές των στοιχείων λειτουργούν κάτω από τις μέγιστες ικανότητες τους. Στην Εικόνα 3.7 παρατίθεται μια αποδοτική λύση, αλλά όχι και τόσο οικονομική, στο πρόβλημα υποβάθμισης της συνολικής παραγομένης ισχύος λόγω των μεμονωμένων σκιάσεων. Η αντικατάσταση των συνηθισμένων μετατροπέων σειράς (Central Inverters) με τοπικούς μικρούς μετατροπείς (Micro-Inverters) δίνουν την δυνατότητα μεγιστοποίησης της παραγωγής για κάθε πάνελ ξεχωριστά, χωρίς να επηρεάζουν τη συνολική παραγωγή της εγκατάστασης.



Εικόνα 3.7: Τρόποι διασύνδεσης αντιστροφών με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

3.5.3 Γήρανση Πλαισίων

Ο χρόνος ζωής των φ-β πλαισίων συνήθως κυμαίνεται στα 20-25 χρόνια μέσα στα οποία οι κατασκευαστές εγγυώνται ότι θα παράγουν τουλάχιστον το 80% της ονομαστικής ισχύς τους. Παρατηρείται μια αρκετά σημαντική μείωση της απόδοσης τους με το πέρασμα των χρόνων. Αυτό οφείλεται στην αλλοίωση των δομικών υλικών του κρυσταλλικού πυριτίου των φωτοβολταϊκών πλαισίων λόγω της έκθεσης τους σε έντονες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, σε εγκαταστάσεις που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, σε πολύ μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και γενικότερα σε έντονες καιρικές συνθήκες (βροχές, χιονοπτώσεις, χαλάζι) παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσής τους κοντά στο 1% ετησίως.

Τα ποσοστά υποβάθμισης και οι απώλειες μιας εγκατάστασης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην συνολική εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας. Ο υπολογισμός της απόδοσης μιας χρόνιας επένδυσης και η περίοδος αποπληρωμής της βασίζεται πάνω σε σωστά και ρεαλιστικά δεδομένα τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους επενδυτές αλλά και από τους ιδίους τους μηχανικούς. [16]

3.6 Εισαγωγή στο Λογισμικό της PVsyst

Στο 2^ο Κεφάλαιο αναλύθηκε συνοπτικά ένας ενεργειακά αποδοτικός σχεδιασμός όλων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων του κτιρίου. Βασιζόμενοι πάνω στις οδηγίες του KENAK υπολογίσθηκαν ξεχωριστά οι ενεργειακές απαιτήσεις των παροχών και η συνολική κατανάλωση ισχύος του κτίσματος.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη και η διαστασιολόγηση μιας φ-β εγκατάστασης, η οποία θα καλύπτει ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου. Η ενεργειακή μελέτη αυτή βασίζεται πάνω στην προσομοίωση που γίνεται μέσω του λογισμικού PVSYST. Το λογισμικό αυτό παρέχει στους χρήστες του πάρα πολλές λειτουργίες και δυνατότητες. Είναι ένα λογισμικό κατάλληλα σχεδιασμένο για αρχιτέκτονες, μηχανικούς αλλά και για ερευνητές. Διαθέτει ενημερωμένες βιβλιοθήκες και καταλόγους κατασκευαστών με πάρα πολλές

επιλογές εξοπλισμού. Ακόμη, το λογισμικό της PVSYST διαθέτει μια τεράστια βάση μετεωρολογικών δεδομένων η οποία βοηθά στην προσομοίωση και μετέπειτα στην υλοποίηση μιας μελέτης με αληθοφανή αποτελέσματα.

Στην Εικόνα 3.8, βλέπουμε την αρχική σελίδα του λογισμικού, στην οποία δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε 2 στάδια μελέτης. Στο πρώτο στάδιο γίνεται ο πρωταρχικός σχεδιασμός (Preliminary Design) της έργου. Αυτή η επιλογή δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να διαμορφώσει πολύ γρηγορά μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.



Εικόνα 3.8: Απεικόνιση του περιβάλλοντος PVSyst.

Με την επιλογή του πρωταρχικού σχεδιασμού, η εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος που προκύπτει δεν είναι τόσο περιεκτική και λεπτομερής. Οι αρχικά ορισμένες από το πρόγραμμα παράμετροι και η ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων σε μηνιαία βάση δίνουν μια πρόχειρη εκτίμηση για την ενεργειακή συμπεριφορά της εγκατάστασης. Αυτού του είδους η μελέτη είναι κατάλληλα σχεδιασμένη για έναν γρήγορο οικονομικό προϋπολογισμό και για μια γενική αξιολόγηση της τοποθεσίας .

Η δεύτερη επιλογή που δίνεται από το πρόγραμμα (Project Design) στους χρήστες είναι ο λεπτομερής σχεδιασμός μιας φ-β εγκατάστασης. Μέσω αυτής της επιλογής μπορούμε να διεξαγάγουμε μια ολοκληρωμένη μελέτη βασισμένη σε ωριαίες προσομοιώσεις. Αρχικά ο χρήστης καλείται να επιλέξει την κατηγορία του δικτύου της

φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που θέλει να σχεδιάσει (Grid Connected System ή Stand-alone system ή Pumping system ή Dc-grid system). Ανάλογα με την έκταση της εγκατάστασης, την τοποθεσία της και τις απαιτήσεις του πελάτη, επιλέγουμε τον κατάλληλο τύπο δικτύου. Έπειτα, πρέπει να καθοριστεί η ακριβής τοποθεσία της εγκατάστασης, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, ο προσανατολισμός των φ-β στοιχείων και να επιλεγεί με προσοχή ο απαραίτητος εξοπλισμός για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης. Μέσω του προγράμματος της PVSYST, οι χρήστες μπορούν να διεξάγουν πολλές και διαφορετικές μελέτες για ένα συγκεκριμένο έργο και στην συνέχεια να τις συγκρίνουν μεταξύ τους με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης.

3.7 Τύποι Φωτοβολταϊκών Δικτύων.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών. Το εύρος αυτό αναφέρεται στην κάλυψη ηλεκτρικής ισχύος για μεγέθη πολύ χαμηλής ισχύος έως και για την τροφοδοσία μεγάλων κτιριακών συστημάτων ή ακόμη και μικρών πόλεων. Οι δυο βασικές κατηγορίες στις οποίες ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί είναι οι εξής :

1. Τα απομονωμένα ή αλλιώς εκτός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα (Stand alone – Off grid).
2. Συστήματα συνδεδεμένα σε δίκτυο (On grid).

Τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα σε κάποιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα αυτόνομα και τα υβριδικά συστήματα. Ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος για την κάλυψη μερικής ή ολικής καταναλωμένης ενέργειας στην εγκατάσταση, επιλέγεται και το κατάλληλο φωτοβολταϊκό σύστημα. Ακόμη χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η μεταφορά ενέργειας σε κάποιο σημείο από κάποιο τοπικό η εθνικό δίκτυο.

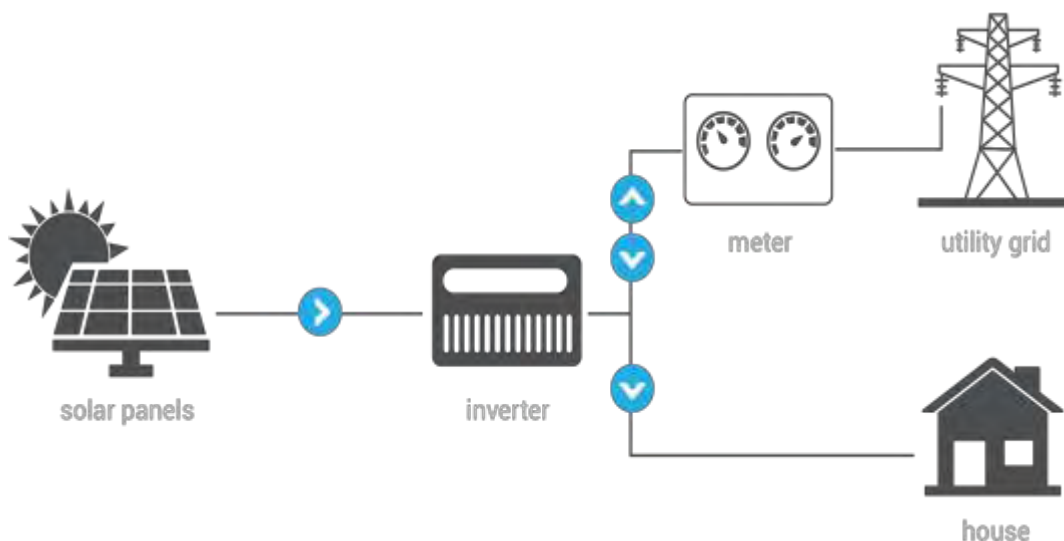
Στην παρούσα εργασία θα εξετασθεί η εγκατάσταση μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας η οποία θα είναι διασυνδεδεμένη με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Οι απαιτήσεις ενέργειας ενός κτιρίου του τριτογενούς τομέα είναι πολύ

μεγάλες. Σκοπός της εγκατάστασης αυτής είναι η βοηθητική συνεισφορά της στις συνολικές ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Η παραγόμενη ενέργεια θα είναι άμεσα διαθέσιμη στο κεντρικό δίκτυο διανομής και το ποσοστό απορρόφησής της θα είναι πάντοτε το μέγιστο, διότι πάντα θα υπάρχει ζήτηση.

3.7.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Διασυνδεδεμένα στο Ηλεκτρικό Δίκτυο

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συστήματα που διαθέτουν μια φυσική διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφέρεται συνήθως στα συστήματα ισχύος 10 kWp και πάνω. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα αυτά, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο κεντρικό δίκτυο διανομής. Ο ιδιοκτήτης του συστήματός έχει την δυνατότητα να καταναλώσει όση παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρειάζεται ή ακόμη και να πουλήσει στο κεντρικό δίκτυο. Για την αποδοτική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κτιριακής μας εγκατάστασης, αντλείται ένα ποσοστό ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο ηλεκτρικής παροχής και σε συνδυασμό με την παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας επιτυγχάνεται συνολικά η ομαλή της λειτουργία.

Τα φ-β συστήματα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ατομικών μας αναγκών (Εικόνα 3.9) είναι πολύ μικρής κλίμακας και έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις μηνιαίες μας ενεργειακές ανάγκες.



Εικόνα 3.9: Φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Οπώς έχει αναφερθεί και παραπάνω όταν υπάρχει έλλειψη ενέργειας (π.χ. τις νυχτερινές ώρες), το σύστημα καταναλώνει ενέργεια από το δίκτυο, ενώ όταν υπάρχει πλεόνασμα, η ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο αντίστοιχα. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας.

Υπάρχουν ωστόσο και τα φωτοβολταϊκά συστήματα εμπορικής κλίμακας – σταθμοί παραγωγής, δηλαδή συστήματα μεγάλου πεδίου συστοιχιών, τα οποία διαχειρίζονται οι μεγάλες εταιρείες ηλεκτρισμού. Παράγουν συνεχές ρεύμα της τάξεως των MW με σκοπό τη μετατροπή του σε εναλλασσόμενο ρεύμα και στην συνέχεια τη διανομή του μέσω του δικτύου στους πελάτες. Ένα σύστημα τέτοιας κλίμακας λειτουργεί σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο και σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες. Τα οφέλη του είναι πολλαπλά, δίνοντάς μας κυρίως τη δυνατότητα αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες.

Τέτοιου είδους συστήματα καθιστούν μη απαραίτητη την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές ή την ύπαρξη γεννήτριας. Το δίκτυο καθαυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει και έπειτα να διανεμίει την ενέργεια στους πελάτες χωρίς κάποιο περιορισμό χωρητικότητας. Επομένως η αποδοτικότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι πολύ καλύτερη από ότι ενός αυτόνομου συστήματος. Αυτά τα συστήματα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο μέσω ενός κατάλληλου αντιστροφέα (inverter). Ακόμη και για τα τοπικά φορτία που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, πάλι είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση αντιστροφένων. Μια εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος θεωρείται ολοκληρωμένη, όταν διαθέτει αυτόματους διακόπτες, ασφάλειες και κύκλωμα γείωσης .

Τέλος παρατηρείται ότι το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων τα τελευταία χρόνια μειώνεται διαρκώς και σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση ενέργειας που χαρακτηρίζει τη σημερινή εποχή, οδηγεί στη ραγδαία ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών. Το αποτέλεσμα είναι να γίνονται όλο και πιο έντονες προσπάθειες για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων με στόχο τη βέλτιστη και αξιόπιστη λειτουργία τους. [17,18]

3.8 Τοποθεσία Εγκατάστασης

Η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στοιχείων και η συλλογή-εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής στο λογισμικό του PVSYST είναι ένα από τα σημαντικότερα βήματα για την υλοποίηση μιας επιτυχημένης ανάλυσης. Τα κλιματιστικά δεδομένα, το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής και η διαθέσιμη ελεύθερη έκταση του κτήματος έχουν άμεση σχέση με την παραγωγική αποδοτικότητα του έργου.

Στην Εικόνα 3.10 βλέπουμε το οικόπεδο στο οποίο θα εγκατασταθεί η συστοιχία του φωτοβολταϊκού συστήματος. Το συνολικό εμβαδόν του οικοπέδου είναι 3.610 τετραγωνικά μέτρα. Το οικόπεδο θεωρείται ευρύχωρο και βρίσκεται αρκετά κοντά σε τοπικό υποσταθμό διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εδαφολογική διάταξη του οικοπέδου είναι ομαλή και περιμετρικά της περιοχής δεν υπάρχουν πολλά εμπόδια τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την συνολική απόδοση του συστήματος. Ο μόνος παράγοντας που θα μπορούσε να επηρεάσει την συνολική επίδοση του συστήματος είναι η σκίαση των δέντρων και για αυτόν τον λόγο η τοποθέτηση των πάνελ θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται από αυτή.

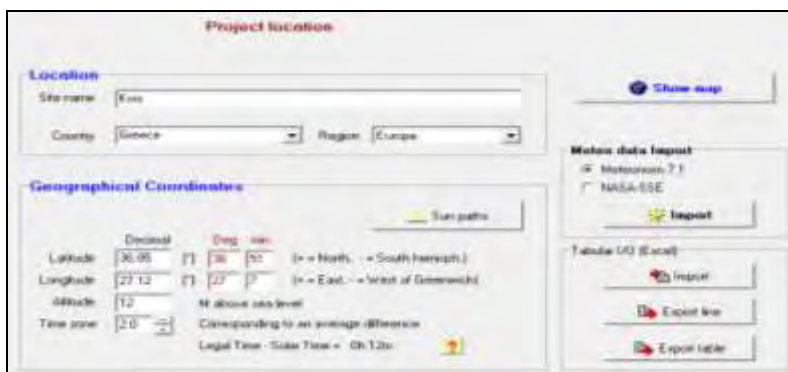


3.10: Απεικόνιση του οικοπέδου όπου θα εγκατασταθεί η φ-β της εγκατάσταση.

Το λογισμικό της PVSYST διαθέτει στους χρήστες του μια τεράστια βάση μετεωρολογικών δεδομένων ανά γεωγραφική περιοχή και χώρα. Επίσης, ένα από τα πολλά εργαλεία του λογισμικού μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε

μετεωρολογικά δεδομένα από μια μεγάλη γκάμα εξωτερικών πηγών. Για παράδειγμα, κλιματιστικά δεδομένα από εξωτερικές ιστοσελίδες και εφαρμογές όπως αυτές της NASA-SSE, ASRHAE, PVGIS, RETSCREEN, METEONORM κλπ. Μέσω του λογισμικού μπορούμε να συγκρίνουμε και να επιλέξουμε τα επιθυμητά κλιματιστικά δεδομένα.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες που έχουμε επιλέξει για την προσομοίωση της μελέτης μας, αφορούν την γεωγραφική περιοχή της Κω και πιο συγκεκριμένα την περιοχή του διεθνούς αεροδρομίου του νησιού (Εικόνα 3.11).



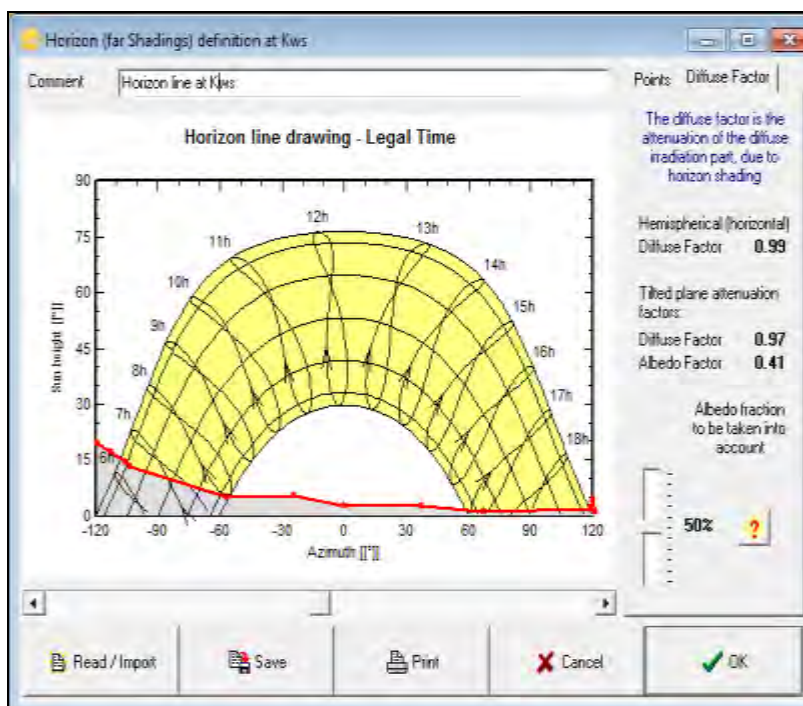
Εικόνα 3.11: Γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

Μέσω του μετεωρολογικού σταθμού Meteonorm και τις γεωγραφικές συντεταγμένες που έχουμε ορίσει, μπορούμε να εισάγουμε από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού στην μελέτη τα κλιματιστικά δεδομένα της περιοχής (Εικόνα 3.12). Τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία μας ενδιαφέρουν για την εκπόνηση της μελέτης είναι η θερμοκρασία, η διαχυτική και η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε μηνά ξεχωριστά.

Site Kws (Greece)			
Data source	Meteonorm 7.1 (1994-2015)		
	Global Irrad.	Diffuse	Temper.
	kWh/m ² .mth	kWh/m ² .mth	°C
January	77.5	32.5	14.1
February	92.1	38.7	14.1
March	163.4	62.1	14.9
April	191.7	59.4	16.6
May	233.7	63.1	19.6
June	252.0	50.4	23.1
July	257.9	49.0	25.0
August	233.1	44.3	26.2
September	183.9	42.3	24.5
October	139.2	43.1	21.4
November	89.4	32.2	19.0
December	67.6	29.7	15.9
Year	1981.5	546.8	19.5

Εικόνα 3.12 Κλιματιστικά δεδομένα της περιοχής.

Εφόσον έχουν ορισθεί σωστά τα κλιματικά δεδομένα και οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής, το αμέσως επόμενο βασικό βήμα είναι να εισάγουμε στην μελέτη μας την γραφική παράσταση του ηλιακού ορίζοντα. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.13, ο οριζόντιος άξονας ορίζεται από τις αζιμουθιακές μοίρες, δηλαδή τις οριζόντιες συντεταγμένες της γης (Βορράς 0° , Ανατολή 90° , Νότος 180° , Δύση 270°). Ενώ ο κατακόρυφος άξονας ορίζεται από το ύψος του ηλίου για κάθε ώρα της ημέρας περιμετρικά από το σημείο της εγκατάστασης.



Εικόνα 3.13: Απεικόνιση της γραφικής παράστασης του ηλιακού ορίζοντα.

Η γκριζα περιοχή που αναγράφεται πάνω στην γραφική παράσταση του ηλιακού ορίζοντα είναι ο απλούστερος τρόπος ορισμού των σκιάσεων της περιοχής. Οι κόκκινες κουκίδες συμβολίζουν τα πιθανά εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν γύρω από την εγκατάσταση, όπως για παράδειγμα οι σκιάσεις που προκύπτουν από γειτονικά κτίρια, δέντρα, ή ακόμη και τα βουνά της περιοχής.

Τέλος, για να υλοποιηθεί μια μελέτη με ρεαλιστικά αποτελέσματα, ορίσαμε στο 97% το ποσοστό εξασθένησης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της διάχυσής της μέσα από σκιάσεις (Diffuse factor) και στο 41% το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος σε ένα κεκλιμένο επίπεδο (Albedo Factor).

3.9 Διαστασιολόγηση Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

Εφόσον έχουν ορισθεί σωστά τα κλιματικά δεδομένα και η τοποθεσία της περιοχής, το επόμενο βήμα που ακολουθούμε βάση του λογισμικού της PVSYST είναι η επιλογή του εξοπλισμού και η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης μας. Εάν ο χρήστης εξαρχής γνωρίζει την διαθέσιμη επιφάνεια χώρου (m^2) ή την συνολική μέγιστη ονομαστική ισχύ (kWp) της φ-β συστοιχίας που θέλουμε να εγκατασταθεί, το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να προϋπολογίσει και να προτείνει τον αριθμό και το μέγεθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων (PV module), των μετατροπέων (inverters) αλλά και τον τρόπο διασύνδεσης μεταξύ τους ώστε να καλύπτουν το μέγεθος της εγκατάστασης που ορίσαμε.

Στο 2^ο Κεφάλαιο, σχεδιάστηκαν όλα τα ηλεκτρικά δίκτυα ενός κτιρίου του τριτογενούς τομέα. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίσαμε την τελική απαιτούμενη παροχή από την ΔΕΗ και στην συνέχεια όλες της ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου. Με βάση την συνολική κατανάλωση του κτιρίου και τη διαθέσιμη ελεύθερη έκταση του οικοπέδου, επιλέξαμε να διεξάγουμε μελέτη για μια φ-β εγκατάσταση ονομαστικής ισχύος των 30 kWp. Το σύστημα αυτό, όπως έχει προαναφερθεί, θα είναι διασυνδεδεμένο στο κεντρικό δίκτυο διανομής και ο κύριος στόχος του είναι να συμβάλει παραγωγικά στην κάλυψη ενός μέρους των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

Στην καταμέτρηση των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων (71.5 MWh/Year) συμπεριλάβαμε τις ηλεκτρικές απαιτήσεις που αφορούν τον φωτισμού, τη θέρμανση τις τοπικές μονάδες και τις λοιπές παροχές. Βάση αυτών διαστασιολογήθηκε και το μέγεθος του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο θα μελετήσουμε. Στη μελέτη αυτή συμπεριλήφθηκαν και οι ενεργειακές καταναλώσεις του κλιματισμού και της ψύξης των κεντρικών μονάδων, καθώς χαρακτηρίζονται από μεγάλα φορτία ισχύος τα οποία σε ετήσια κλίμακα υπολογίσθηκε ότι καταναλώνουν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Η διαθέσιμη επιφάνεια του οικοπέδου στο οποίο θα τοποθετηθούν τα φ/β πάνελ είναι περιορισμένη, οπότε για την αποφυγή απωλειών λόγω σκιάσεων μεταξύ των πάνελ επιλέξαμε να μελετήσουμε μια φ/β εγκατάσταση ονομαστικής ισχύος των 30 kWp.

Συνοψίζοντας τα βασικά κριτήρια που μας οδήγησαν στην επιλογή του μεγέθους της ισχύος της φ-β εγκατάστασης είναι τα εξής:

1. Οικονομοτεχνικά κριτήρια. Δηλαδή οι απαιτήσεις του επενδυτή και το μέγεθος της επένδυσης .
2. Η διαθέσιμη επιφάνεια του οικοπέδου στο οποίο θα τοποθετηθούν τα φ-β πλαίσια.
3. Και τέλος, η καταμέτρηση των απαιτήσεων ισχύος και των ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων του κτιριακού εξοπλισμού.

3.9.1 Εξοπλισμός Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

Η επιλογή του εξοπλισμού της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι μια διαδικασία που απαιτεί χρόνο, εμπειρία και διεξοδική μελέτη. Το λογισμικό της PVSYST συμπεριλαμβάνει μια τεράστια βιβλιοθήκη με πληθώρα επιλογών εξοπλισμού από διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες.

Επιλογή φ-β πλαισίων

Τα βασικότερα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία επιλέξαμε την εταιρία και το μοντέλο των πλαισίων της εγκατάστασης είναι η αξιοπιστία τους, η αποδοτικότητα, η παραγωγικότητα, η ανθεκτικότητα, το κόστος αλλά και το μέγεθος της ονομαστικής τους ισχύος.

Μετά από έρευνα και σύγκριση πολλών μοντέλων και διαφορετικών εταιριών μεταξύ τους, καταλήξαμε στην επιλογή των μονοκρυσταλικών γεννητριών, καθώς χαρακτηρίζονται από μικρές απώλειες παραγωγής και η απόδοσή τους είναι αρκετά υψηλή (13%-17%) σε σχέση με την απόδοση των υπολοίπων στοιχείων του εμπορίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι για αυτούς λόγους έχουν και υψηλότερο κόστος παραγωγής.

Η εταιρία που επιλέξαμε ονομάζεται Luxor Solar και στεγάζεται σε μία βιομηχανική πόλη δυτικά της Γερμανίας . Η συγκεκριμένη εταιρία διαθέτει πολλές και διαφορετικές σειρές μοντέλων. Τα μοντέλα που επιλέχθηκαν είναι της σειράς Eco Line και πιο συγκεκριμένα το Luxor-LX 300 Wp GG Full Black (Εικόνα 3.14) μοντέλο.



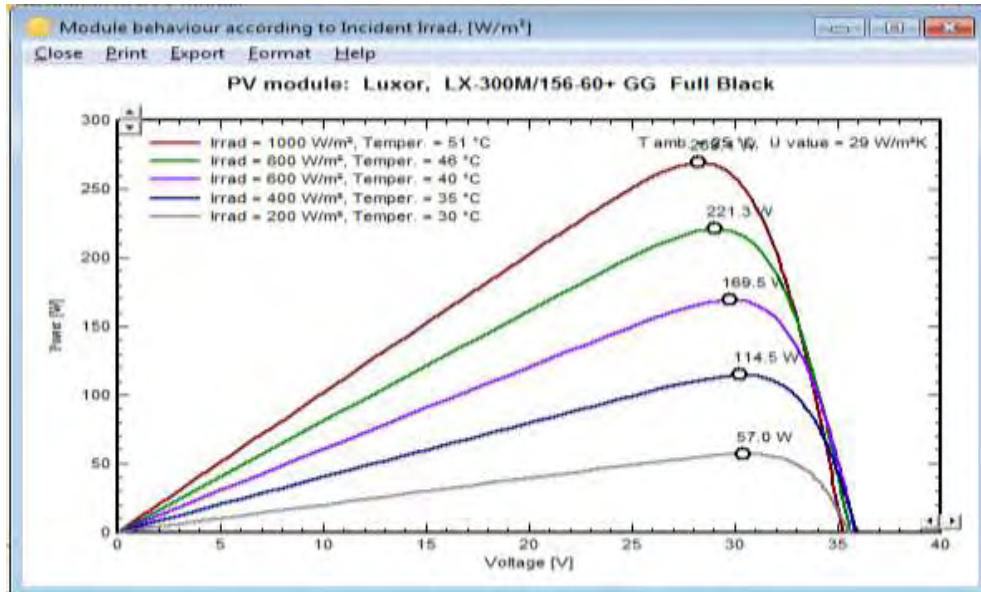
Εικόνα 3.14 : Φ-Β πλαίσιο – Μονοκρυσταλλικό μοντέλο Luxor Glass/Glass Full Black 300 Wp.

Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει υψηλής ποιότητας ηλιακά κύτταρα τα οποία εξασφαλίζουν ακόμη και σε χαμηλά ποσοστά πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το μέγεθος της ονομαστικής ισχύος των πλαισίων που επιλέξαμε (300 Wp) είναι αρκετά μεγάλο και κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά ενεργειακής παραγωγής. Θεωρήσαμε προτιμότερο τα φ-β πλαίσια μεγάλης ισχύος αντί πολλών πλαισίων μικρής ισχύος, διότι έτσι θα μειωθεί το κόστος εγκατάστασης και μεταφοράς. Στην Εικόνα 3.15 αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου τα οποία είναι αποθηκευμένα μέσα σε μια από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού PVSYST.

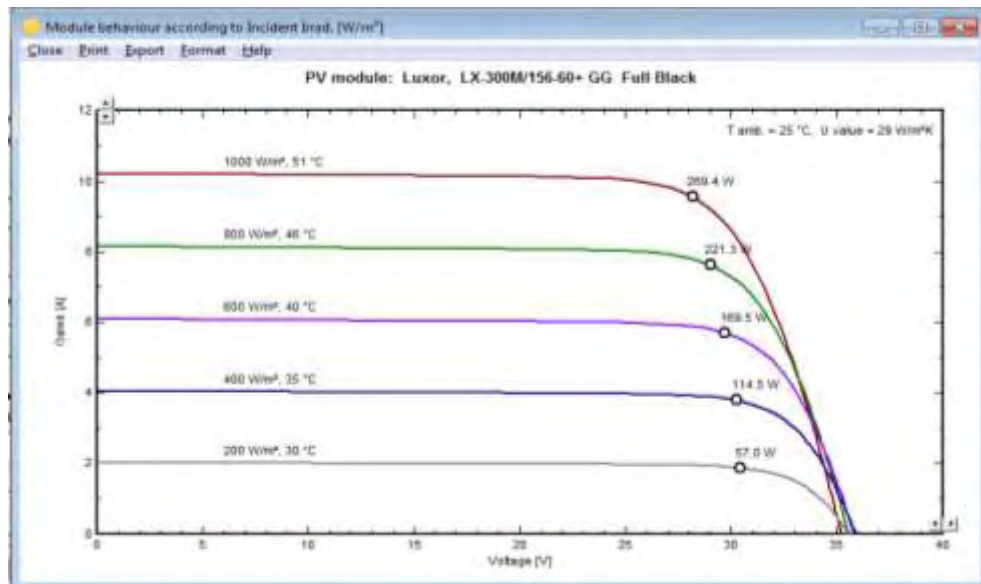
Model	LX-300M/156-60+ GG Full Black		Manufacturer	Luxor	
File name	Luxor_LX_300M_156_60_GG_F		Data source	Manufacturer 2017	
	Original PVsyst database		Prod. from	2017	
Nom. Power (at STC)	300.0 Wp	Tol. +/-	0.0	2.2	%
		Technology	Si-mono		
Manufacturer specifications or other Measurements					
Reference conditions:	GRef	1000	W/m ²	TRef	25 °C
Short-circuit current	Isc	10.060	A	Open circuit Voc	38.60 V
Max Power Point:	Impp	9.480	A	Vmpp	31.66 V
Temperature coefficient	mulsc	6.0	mA/°C	Nb cells	60 in series
	or mulsc	0.060	%/°C		
Internal model result tool					
Operating conditions	GOper	1000	W/m ²	TOper	25 °C
Max Power Point:	Pmpp	300.1	W	Temper. coeff.	-0.38 %/°C
	Current Impp	9.49	A	Voltage Vmpp	31.6 V
	Short-circuit current Isc	10.06	A	Open circuit Voc	38.6 V
Efficiency	/ Cells area	20.55	%	/ Module area	17.84 %
Model summary					
Main parameters					
R shunt	250 ohm				
Rsh(G=0)	1000 ohm				
R serie model	0.26 ohm				
R serie max.	0.28 ohm				
R serie apparent	0.41 ohm				
Model parameters					
Gamma	0.940				
IoRef	0.03 nA				
muVoc	-128 mV/°C				
muPMmax fixed	-0.39 /°C				

Εικόνα 3.15 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Μονοκρυσταλλικού μοντέλου Luxor GG Full Black 300 Wp.

Μέσω του λογισμικού της PVSYST ο χρήστης έχει την δυνατότητα να παραγάγει γεωγραφικές παραστάσεις που σχετίζονται με τη συμπεριφορά και απόδοση των μοντέλων σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας. Στις Εικόνες 3.16 και 3.17 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις της παραγόμενης ισχύος και της έντασης ρεύματος σε σχέση με την τάση για διαφορετικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στις ανάλογες θερμοκρασίες λειτουργίας της γεννήτριας.



Εικόνα 3.16. Γραφική παράσταση Ισχύος – Τάσης (P-V).



Εικόνα 3.17. Γραφική παράσταση Ρεύματος – Τάσης (I-V).

Επιλογή Αντιστροφέα (Inverter)

Ο αντιστροφέας είναι μια ηλεκτρολογική συσκευή η οποία μετατρέπει το παραγόμενο συνεχές ρεύμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε εναλλασσόμενο, ώστε να μπορέσει να διοχετευθεί στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτρισμού της ΔΕΗ. Η τάση εισόδου των αντιστροφέων είναι συνήθως 12 Volt, 24 Volt ή 48 Volt και η τάση εξόδου της (για το Ελληνικό δίκτυο) είναι 220 ή 380 Volt συχνότητας 50 Hz (Δίκτυο χαμηλής τάσης).

Το βασικότερο κριτήριο επιλογής ενός αντιστροφέα είναι ο βαθμός απόδοσής του, δηλαδή ο λόγος της ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο προς την παραγόμενη ενέργεια της φωτοβολταϊκής συστοιχίας που είναι διασυνδεδεμένη σε αυτόν. Η ονομαστική ισχύς εξόδου της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι προτιμότερο να είναι λίγο μεγαλύτερη της συνολικής ισχύς εξόδου των αντιστροφέων. Αυτό συμβαίνει, διότι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του συστήματος διαθέτουν την μέγιστη ποσότητα ενέργειας εξόδου μόνο σε ιδανικές κλιματικές συνθήκες, φαινόμενο που τυχαίνει συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες και για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας στην επιλογή του αντιστροφέα είναι το πόσο αξιόπιστος είναι. Είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση όλου του συστήματος και σε περίπτωση βλάβης ή μη αποδοτικής λειτουργίας επηρεάζει ολόκληρη την εγκατάσταση.

Ο αντιστροφέας που επιλέξαμε είναι της γνωστής εταιρίας GESolar η οποία έχει αφήσει το βιομηχανικό της αποτύπωμα παγκοσμίως. Το συγκεκριμένο μοντέλο ονομάζεται GES-15KTL (Εικόνα 3.18) και είναι συμβατός με πάρα μοντέλα φ-β γεννητριών .



Εικόνα 3.18: Αντιστροφέας 15 kW – GESolar GES-15KTL.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τριφασικού αντιστροφέα καταγράφονται στον Πίνακα 3.1:

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Αντιστροφέα

Τεχνικά Χαρακτηριστικά 3φ Αντιστροφέα GES-15TKL	
Δεδομένα Εισόδου (DC) Input Data	
<u>Ονομαστική Ισχύς Εισόδου</u> (Nominal Input power)	15.75 kWatt
<u>Μέγιστη Ισχύς Εισόδου</u> (Maximum Input power)	17.3 kWatt
<u>Αριθμός σημείων MPPT</u> (Number of MPPT)	2 σημεία
<u>Εύρος Τάσης Λειτουργίας</u> (Operating Voltage)	400-850 Volt
<u>Μέγιστη ένταση ρεύματος εισόδου</u> (Maximum Input Current)	43.2 A
Δεδομένα Εξόδου (AC) Output Data	
<u>Ονομαστική Ισχύς Εξόδου</u> (Nominal Output Power)	15 kWatt
<u>Μέγιστη Ισχύς Εξόδου</u> (Maximum Output Power)	16.5 kWatt
<u>Ονομαστική ένταση ρεύματος εξόδου</u> (Nominal Output Current)	21.8 A
<u>Μέγιστη ένταση ρεύματος εξόδου</u> (Maximum Output Current)	28.2 A
<u>Ονομαστική AC τάση εξόδου</u> (Main Voltage/Range)	3/N/PE 230 V/400 V
<u>Συχνότητα Δικτύου</u> Grid Frequency	50 Hz/ 60 Hz
Αποδοτικότητα Efficiency	
<u>Μέγιστη Απόδοση</u> (Maximum Efficiency)	96.5%
<u>Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης</u> (Euro Efficiency)	95.5%

3.10 Τρόποι Διασύνδεσης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Στις περισσότερες περιπτώσεις ανάλογα με τους επιδιωκόμενους στόχους ορίζεται και ο τρόπος διασύνδεσης των φ/β πλαισίων. Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτεί μια εγκατάσταση παρέχεται συνήθως από ένα συνεργαζόμενο σύνολο φωτοβολταϊκών συστοιχιών.

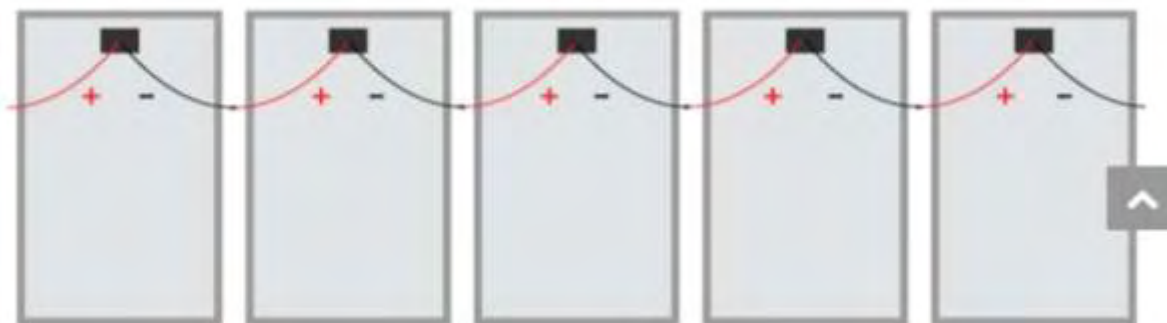
Υπάρχουν οι εξής διαφορετικοί τρόποι διασύνδεσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων:

1. Η σύνδεση φ/β πλαισίων σε σειρά
2. Η σύνδεση φ/β πλαισίων παράλληλα
3. Μεικτή σύνδεση φ/β πλαισίων

Η σημαντική διαφορά στον τρόπο καλωδίωσης των πλαισίων είναι ότι επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την συνολική τάση και ένταση του προκύπτοντος κυκλώματος.

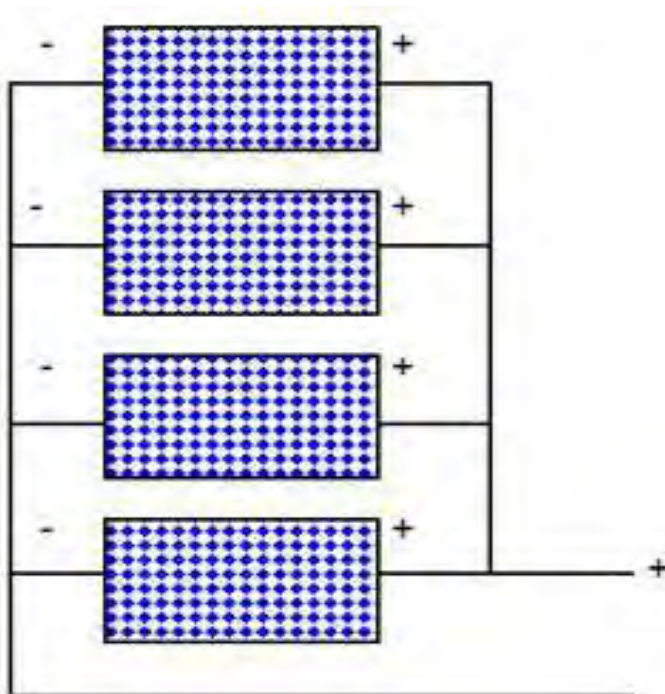
[19]

Η σύνδεση φ/β πλαισίων σε σειρά χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να αυξήσουμε τη συνολική τάση του κυκλώματος. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.19, η σύνδεση αυτή επιτυγχάνετε συνδέοντας τον αρνητικό ακροδέκτη της πλαισίου με τον θετικό ακροδέκτη του επόμενου και έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών στοιχείων συνδεδεμένη σε σειρά. Η συνολική τάση του κυκλώματος προκύπτει από το άθροισμα των τάσεων του κάθε πλαισίου ενώ η συνολική ένταση του κυκλώματος παραμένει η ίδια. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σύνδεση των πλαισίων σε σειρά είναι να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος.



Εικόνα 3.19: Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά.

Η σύνδεση φ/β πλαισίων παράλληλα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής έντασης ρεύματος του κυκλώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση δυο καλωδίων. Ένα καλώδιο συνδέει όλους τους θετικούς ακροδέκτες μεταξύ τους και ένα δεύτερο συνδέει όλους τους αρνητικούς (Εικόνα 3.20). Η συνολική ένταση ρεύματος της συστοιχίας προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε πλαισίου. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες εντάσεις ρεύματος απαιτούν και μεγαλύτερες διατομές αγωγών .



Εικόνα 3.20: Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα.

Η μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων: είναι ο συνδυασμός της παράλληλης σύνδεσης και της σύνδεσης σε σειρά. Με αυτόν τον τρόπο, η συνολική τάση του κυκλώματος καθορίζεται από τα στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε σειρά και το συνολικό ρεύμα του κυκλώματος από τις παράλληλες ομάδες.

Τα φ/β πλαίσια μιας συστοιχίας συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες μεταφοράς. Δηλαδή ο στόχος είναι να πετύχουμε χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη τάση εξόδου.

3.10.1 Συνδεσμολογία Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Η συνολική ονομαστική ισχύς μιας εγκατάστασης προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που την απαρτίζουν. Ο τρόπος με τον οποίο θα καλωδιωθούν τα πάνελ, ώστε να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα, έχει υπολογισθεί μέσω του λογισμικού της PVSYST. Η διαστασιολόγηση της συνδεσμολογίας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι μια σημαντική υπόθεση και απαιτεί προσοχή, διότι είναι πολύ εύκολο να προκύψουν μεγάλες ενεργειακές απώλειες λόγω υπερφόρτωσης του αντιστροφέα.

Η μέγιστη ονομαστική ισχύς της εγκατάστασης θα φτάνει τα 32.4 kWp και θα απαρτίζεται συνολικά από 108 πάνελ τα οποία συλλογικά θα καταλαμβάνουν 182 τετραγωνικά μέτρα. Στο παρακάτω παράθυρο απεικονίζεται ένα από τα εργαλεία του λογισμικού της PVSYST (Εικόνα 3.21), το οποίο μας βοήθησε να διαστασιολογήσουμε κατάλληλα την εγκατάσταση και να διασυνδέσουμε σωστά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μεταξύ τους.

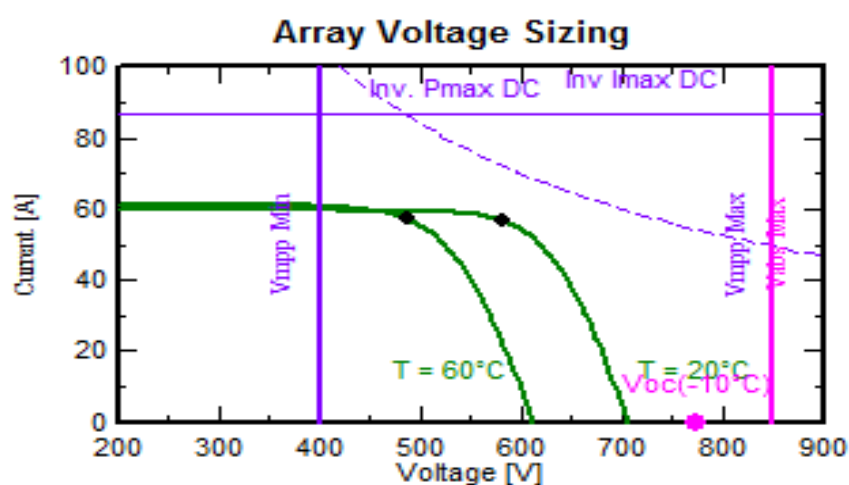


Εικόνα 3.21: Εισαγωγή εξοπλισμού και συνολική διαστασιολόγηση της φ/β εγκατάστασης

Για να αποφύγουμε τις μεγάλες απώλειες υπερφόρτωσης (Overload Losses) που οφείλονται στους αντιστροφείς λόγω της λανθασμένης διασύνδεσης των πλαισίων, προσπαθήσαμε να μείνουμε μέσα στα επιθυμητά όρια που ορίζει το λογισμικό της PVSYST. Η μεικτή σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα αποτελείται από 6

διαφορετικές σειρές (PV-Strings) των 18 πλαισίων και η απόδοσή τους θα ελέγχεται από 2 αντιστροφείς των 15 KW ο καθένας. Ο λόγος της ονομαστικής ισχύος εξόδου των πλαισίων προς αυτήν των αντιστροφέων είναι 1.08, αριθμός που δείχνει ότι η εγκατάσταση λειτουργεί αποδοτικά χωρίς απώλειες. Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις μπορούμε να παρατηρήσουμε και να ελέγξουμε πιο λεπτομερώς τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος. Παρακάτω, στην Εικόνα 3.22 καταγράφονται τα όρια λειτουργίας ($V_{mpv} \text{ Min}$, $V_{mpv} \text{ Max}$) των αντιστροφέων σε σχέση με την χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου της τάσης – έντασης του συνόλου των φωτοβολταϊκών πλαισίων της εγκατάστασης. Για να θεωρείται μια φωτοβολταϊκή συστοιχία σωστά οριοθετημένη απαιτείται:

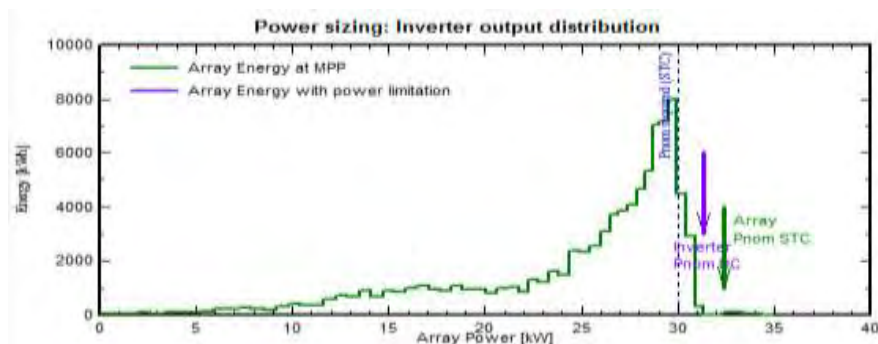
- Η μικρότερη τάση λειτουργίας της συστοιχίας να είναι μεγαλύτερη από την μικρότερη τάση λειτουργίας του αντιστροφέα ($V_{mpv} \text{ Min}$).
- Η μέγιστη τάση λειτουργίας της συστοιχίας να είναι μικρότερη από την μέγιστη τάση λειτουργίας του αντιστροφέα ($V_{mpv} \text{ Max}$).
- Η τάση ανοικτού κυκλώματος για την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας (δηλαδή $V_{oc} -10^{\circ}\text{C}$) δεν θα πρέπει να ξεπεράσει την μέγιστη τάση λειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 3.22: Απεικόνιση των ορίων λειτουργίας του φωτοβολταϊκού της συστήματος

Το σύστημα αυτό έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί σωστά μέσα στα απαιτούμενα όρια λειτουργίας. Ένα τέτοιο σύστημα χαρακτηρίζεται ως ορθά διαστασιοποιημένο.

Τέλος, στην Εικόνα 3.23 βλέπουμε μια γραφική παράσταση η οποία απεικονίζει την ποσότητα ενέργειας που διοχετεύεται από τους αντιστροφείς στο κεντρικό δίκτυο σε σχέση με την παραγόμενη ενέργεια που προέρχεται από την συνεχή λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

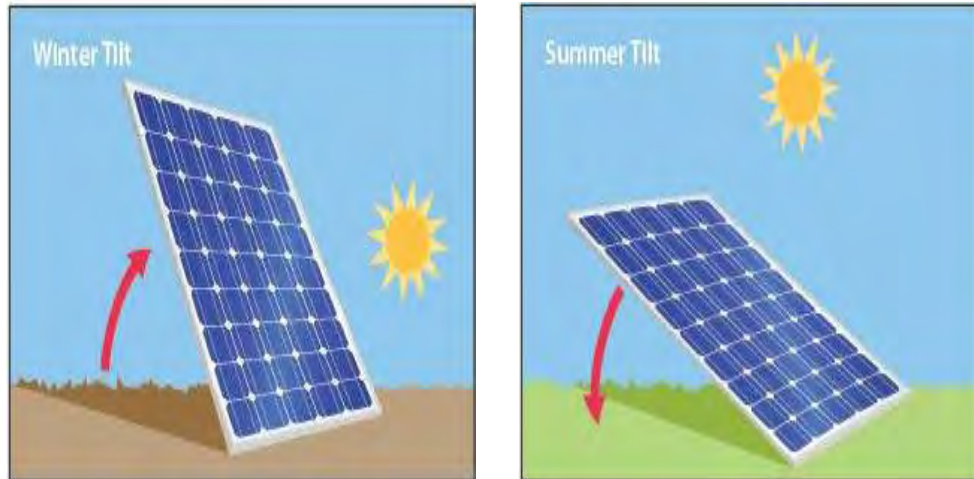


Εικόνα 3.23: Γραφική παράσταση της διοχετευόμενης ενέργειας από τους αντιστροφείς στο δίκτυο.

3.11 Προσανατολισμός Πλαισίων

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στις επιφάνειες των πάνελ μεταβάλλεται συνεχώς, καθώς η θέση του ήλιου αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη, θα πρέπει η ακτινοβολία του ήλιου να προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του. Συνηθώς τα πάνελ τοποθετούνται πάνω σε ειδικές βάσεις, οι οποίες παρέχουν δομική στήριξη και ένα είδος ασφάλειας από φυσικές φθορές. Υπάρχουν πολλά είδη βάσεων για τα φωτοβολταϊκά πάνελ, των οποίων η κλίση μπορεί είναι είτε σταθερή είτε να ρυθμίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις, την εποχή του χρόνου και τη φυσική πορεία του ήλιου (Εικόνα 3.24). Οι σταθερές βάσεις πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση των πλαισίων να μεγιστοποιεί τη συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας της εγκατάστασης.

Η κλίση του πλαισίου εκφράζει την γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας του πλαισίου και του οριζόντιου άξονα τοποθέτησης. Η βέλτιστη σταθερή κλίση και ο προσανατολισμός των πλαισίων υπολογίζεται μελετώντας την ετήσια πορεία του ήλιου για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Στην περίπτωση της Ελλάδας η μέγιστη συνολικά ετήσια παραγωγή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των πλαισίων προσανατολισμένα στον νότο και με σταθερή κλίση γωνίας 30° έως 35°. [12]



Εικόνα 3.24 : Γωνία τοποθέτησης σταθερών βάσεων ανάλογα με την εποχή του χρόνου.

3.11.1 Ηλιακά Συστήματα Προσανατολισμού

Τα ηλιακά συστήματα προσανατολισμού (solar tracking systems) είναι υπεύθυνα για την πρόβλεψη και την ανίχνευση της πορείας του ηλίου. Τα συστήματα αυτά έχουν δημιουργηθεί με σκοπό να μεγιστοποιήσουν την παραγωγικότητα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Έχουν αναπτυχθεί πολλές νέες και διαφορετικές τεχνολογίες των οποίων η κύρια λειτουργία είναι να αλλάζουν τον προσανατολισμό και την κλίση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών κατά την διάρκεια της μέρας (Εικόνα 3.25). Τα συστήματα προσανατολισμού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση των τρόπο κίνησης τους και διαχωρίζονται στα συστήματα περιστροφής ενός άξονα και στα συστήματα περιστροφής δυο αξόνων.

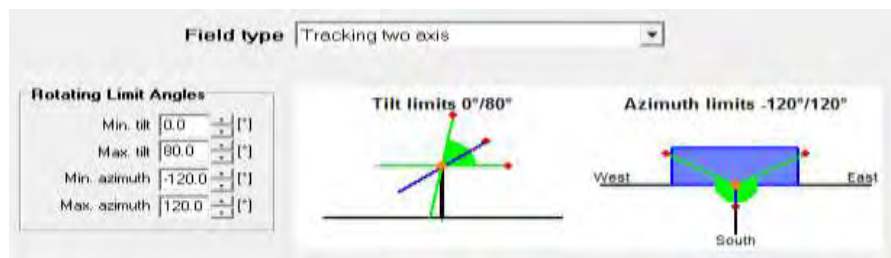


Εικόνα 3.25: Προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με την πορεία του ηλίου.

Τα συστήματα προσανατολισμού ενός άξονα (single axis tracking systems) έχουν περιορισμένες δυνατότητες και μπορούν να περιστρέψουν τους ηλιακούς συλλέκτες μόνο ως προς μια κατεύθυνση αλλάζοντας την κλίση τους. Οι πιο συνηθισμένες επιλογές είναι η παρακολούθηση της κατεύθυνσης από τον βορά προς τον νότο ή από την ανατολή προς την δύση.

Τα συστήματα προσανατολισμού δύο αξόνων είναι τα πιο αποδοτικά, καθώς πετυχαίνουν τον ακριβέστερο προσανατολισμό των συλλεκτών σε σχέση με τον ήλιο. Στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες στις οποίες μετέπειτα εγκαταστάθηκαν συστήματα προσανατολισμού δύο αξόνων, έχει παρατηρηθεί έως και 40% αύξηση στη συνολική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι πολύ πιο πολύπλοκη και δαπανηρή από αυτή των συστημάτων του ενός άξονα. [12]

Για να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε ρυθμιζόμενες βάσεις κάτω από κάθε πάνελ. Οι βάσεις αυτές θα ελέγχονται από ένα κεντρικό σύστημα και θα προσανατολίζονται πάντοτε ανάλογα με την πορεία του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας. Μέσα από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει το κατάλληλο για τις ανάγκες του σύστημα προσανατολισμού. Ο εξοπλισμός που επιλέξαμε κινείται γύρω από 2 άξονες περιστροφής μέσα σε κάποια ορισμένα πλαίσια. Παρακάτω, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.26 ορίσαμε τα όρια περιστροφής των βάσεων ώστε να συμπεριληφθούν και αυτά τα δεδομένα στην μελέτη μας. Η κλίση των πάνελ θα αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας από 0° έως 80° μοίρες, ενώ η επιφάνεια τους θα περιστρέφεται με βάση την αζιμούθια γωνία από τις -120° (Νοτιοδυτικά) έως και τις 120° μοίρες (Νοτιοανατολικά) ώστε να σαρωθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια της πορείας του ηλίου.



Εικόνα 3.26: Ορισμός των ορίων περιστροφής του φωτοβολταϊκού συστήματος προσανατολισμού.

Ο τρόπος με τον οποίο τα φ-β πάνελ θα ακολουθούν την ηλιακή χρόνο-σειρά θα ελέγχεται και θα προσαρμόζεται μέσα από το σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου (Tracking Solar System) του κεντρικού συστήματος. Το σύστημα προσανατολισμού που επιλέξαμε δεν θεωρείται και από τα πιο οικονομικά, καθώς απαιτεί συχνή συντήρηση. Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μελέτες που υλοποιήθηκαν πάνω στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας παρατηρήσαμε αύξηση της συνολικής παραγόμενης ενέργειας έως και 25% παραπάνω. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που μας έκανε να καταλήξουμε στο συγκεκριμένο σύστημα προσανατολισμού είναι ότι καταφέραμε να μειώσουμε το συνολικό μέγεθος του συστήματος που χρειαζόμαστε ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του νηπιαγωγείου.

3.12 Απώλειες Συστήματος

Για την εξαγωγή αληθοφανών αποτελεσμάτων και στην συνέχεια την υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης μελέτης θα πρέπει να συμπεριληφθούν σε αυτήν οι διάφορες απώλειες συστήματος που μπορούν να προκύψουν. Μέχρι στιγμής μέσω του λογισμικού της PVSyst έχουν εισαχθεί αποτελεσματικά οι παράμετροι και ο εξοπλισμός του φωτοβολταϊκού συστήματος. Το μόνο που απομένει είναι να οριστούν και οι συνολικές απώλειες του συστήματος. Γενικότερα ως απώλειες εννοούμε όλα τα φαινόμενα τα οποία μπορούν να μειώσουν την συνολική ενέργεια εξόδου μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Για παράδειγμα :

Οι Θερμικές απώλειες: Η μεταβολή της θερμοκρασίας της λειτουργίας του στοιχείου επιφέρει και τις ανάλογες επιπτώσεις στην τελική του ηλεκτρική επίδοση . Η θερμική συμπεριφορά των πάνελ καθορίζεται από την γενική θερμοκρασία της περιοχής αλλά και την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των πάνελ λόγω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμική συμπεριφορά των πλαισίων χαρακτηρίζεται από έναν συντελεστή θερμικών απωλειών, την παράμετρο U . Οι επιπτώσεις που προκύπτουν λόγω της παραμέτρου U υπολογίσθηκαν μέσω του λογισμικού (Εικόνα 3.27). Ο σταθερός συντελεστής U_c είναι η προκαθορισμένη επιλογή του προγράμματός με βάση τα χαρακτηριστικά του συστήματος μας, ενώ ο

συντελεστής απωλειών λόγω των ανεμών U_v υπολογίσθηκε με βάση το αιολικό δυναμικό της περιοχής. [14,20]

Field Thermal Loss Factor

Thermal Loss factor $U = U_c + U_v * \text{Wind vel}$

Constant loss factor U_c W/m²k

Wind loss factor U_v W/m²k / m/s

3.27: Ορισμός του συντελεστή θερμικών απωλειών του φωτοβολταϊκού συστήματος

Ωμικές απώλειες (Ohmic Losses): Η ωμικές απώλειες οφείλονται κατά κύριο λόγο στις καλωδιώσεις της εγκατάστασης και εκφράζουν την ενέργεια που χάνεται κατά την μεταφορά της από το αρχικό σημείο παραγωγής (τα φ-β πλαίσια) μέχρι το τελικό σημείο της συστοιχίας. Οι συνολικές απώλειες του κυκλώματος της φωτοβολταϊκής παράταξης χωρίζονται σε δυο μέρη. Οι ωμικές απώλειες του κυκλώματος συνεχούς ρεύματος (DC-Circuit) φτάνουν κοντά στο 3% σε σχέση με τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας των ηλεκτρικών του στοιχείων, ενώ η πτώση τάσης αυτής της σειράς φτάνει περίπου τα 0.7 Volt. Από το σημείο των αντιστροφέν μέχρι το σημείο στο οποίο η ενέργεια διαχέεται στο κεντρικό δίκτυο οι ωμικές απώλειες του κυκλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος αυξάνονται ανάλογα με τα μετρά της μεταξύ τους απόστασης και μειώνονται ανάλογα με την διατομή του καλωδίου μεταφοράς. Στην Εικόνα 3.28 βλέπουμε πώς ορίσαμε τις απαραίτητες παραμέτρους ώστε να συμπεριληφθούν οι ωμικές απώλειες στην μελέτη της. Οι τιμές που επιλέξαμε, προέκυψαν από την υπόθεση ότι η απόσταση μεταξύ των inverters και του σημείου διοχέτευσης (injection point) θα απέχουν 100μετρα. Το λογισμικό, εφόσον ορίστηκαν κάποιες τιμές, μας βοήθησε ενδεικτικά να ορίσουμε και τις υπόλοιπες. [21]

DC circuit: ohmic losses for the array

Specified by

Global wiring resistance mOhm Calculated

Loss fraction at STC % Default

Voltage Drop across series diode V Default

AC circuit: inverter to injection point

Significant length, to be accounted for

Length Inverter to injection m

Loss fraction at STC %

STC: Pac = 31 kW, Vac = 230 V, I₁ = 78 A

Voltage drop at STC V (4.4 %)

Between inverter and transfo

From transfo to injection

External transformer

External transformer present default

Iron loss (constant value) % kW

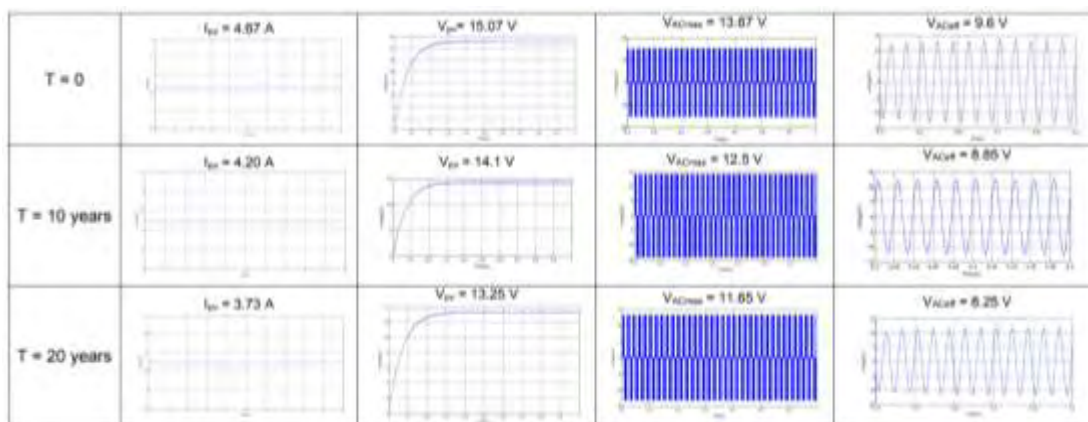
Resistive/Inductive losses % at STC

(quadratic, R² ∙ P, R_l = 17.0 mOhm)

Night disconnect

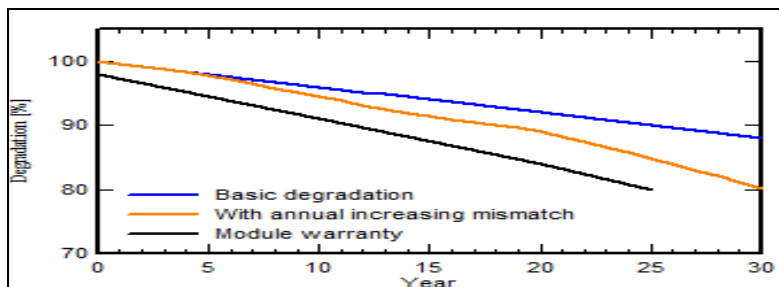
Εικόνα 3.28: Ορισμός ωμικών απωλειών του φωτοβολταϊκού συστήματος

Γήρανση των πλαισίων (Ageing Losses): Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενη ενότητα, η γήρανση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος μειώνει αισθητά τη συνολική απόδοση του συστήματος. Μέσω της χρόνιας και συνεχούς έκθεσης τους σε έντονες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες προκύπτουν αρμονικές παραμορφώσεις οι οποίες υποβιβάζουν την ποιότητα του ρεύματος εξόδου αλλά και την χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος-τάσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στην Εικόνα 3.29 μπορούμε να δούμε τις επιπτώσεις που προκαλεί η γήρανση των πλαισίων στην ενεργειακή παραγωγικότητα του συστήματος. [14]



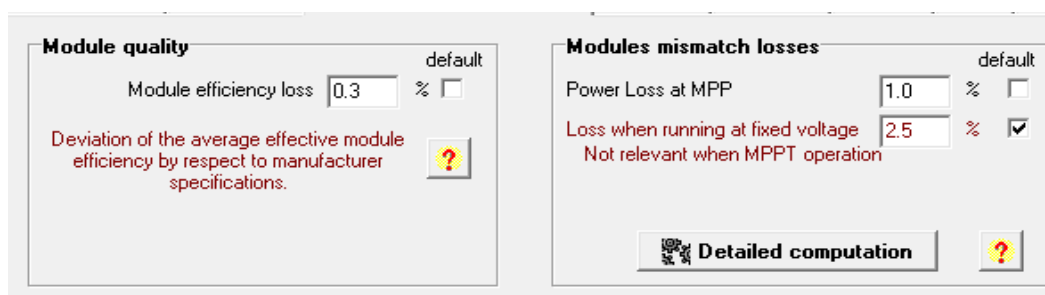
Εικόνα 3.29: Οι καμπύλες τάσεις και ρεύματος του φ-β συστήματος στην πάροδο του χρόνου

Η γραφική παράσταση του συνολικού χρόνου ζωής σε σχέση με τον υποβιβασμό της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται στην Εικόνα 3.30. Μέσω αυτής της γραφικής παράστασης το λογισμικό της PVSYST υπολογίζει τις ενεργειακές απώλειες του συστήματος και έπειτα τις συμπεριλαμβάνει στην τελική προσομοίωση του συστήματος.



Εικόνα 3.30: Η καμπύλη υποβιβασμού σε σχέση με τον χρόνο λειτουργίας.

Ποιότητα Εξοπλισμού και ασυμβατότητα εγκατάστασης (Module Quality and Mismatch): Η πραγματική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σύγκριση με της κατασκευαστικές-ονομαστικές της προδιαγραφές, χαρακτηρίζονται από ένα βαθμό απόκλισης. Αυτού του είδους η ασυμβατότητα μεταξύ ονομαστικών και πραγματικών συμπεριφορών των πλαισίων στην παραγωγή ενέργειας του συστήματος προκαλούν απώλειες ηλεκτρικής ισχύος. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.31 το λογισμικό μας δίνει την δυνατότητα να συμπεριλάβουμε αυτού του είδους τις απώλειες, εάν πρώτα ορισθεί το ποσοστό απόκλισης της απόδοσης των στοιχείων (Module Efficiency Loss) και έπειτα το ποσοστό απωλειών ισχύος στο μέγιστο σημείο λειτουργίας ή αλλιώς και MPP (Maximum Power Point). [22]



Εικόνα 3.31: Ορισμός απωλειών ποιότητας εξοπλισμού και απωλειών ασυμβατότητας.

Απώλειες λόγω ρύπανσης των πλαισίων (Soiling Losses): Με τον όρο ρύπανση των πλαισίων περιγράφουμε τη συσσώρευση φύλλων, χιονιού, βρωμιάς και σωματιδίων σκόνης πάνω στις επιφάνειες των πλαισίων. Η απόδοση των πάνελ μειώνεται αισθητά εξαιτίας της ρύπανσης τους και για αυτό, αυτός ο παράγοντας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην μελέτη μας. Οι απώλειες αυτές ορίζονται μέσω του λογισμικού από έναν συντελεστή απωλειών ρύπανσης (Yearly Soiling Loss Factor) και συμπεριλαμβάνονται στην μελέτη ως απώλειες ακτινοβολίας με ποσοστό 1%. [14,15]

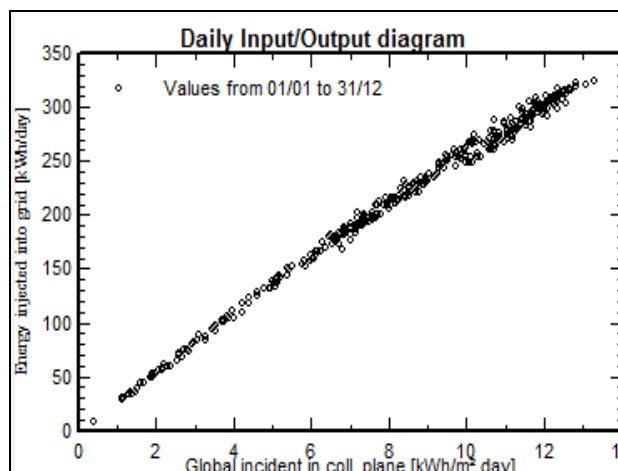
3.13 Αποτελέσματα Μελέτης

Εφόσον έχουν ορισθεί σωστά όλες οι παράμετροι και όλα τα απαραίτητα στοιχεία του συστήματος, το μόνο που απομένει είναι να ολοκληρώσουμε την μελέτη ελέγχοντας τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης. Μια σύντομη περιγραφή των

αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του συστήματος δείχνει ότι η ετήσια παραγωγή ενέργειας θα φτάνει τις 78.8MWh/yr. Πιο αναλυτικά τα βασικότερα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στην Εικόνα 3.32. Η συνολική απόδοση του συστήματος (Performance Ratio) φτάνει κοντά στο 80%. Ο αριθμός προκύπτει από το πηλίκο του αποδιδόμενου ρεύματος στο δίκτυο και της ονομαστικής τιμής του. Εκ πρώτης όψews το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό ποσοστό απόδοσης και η συνολική παραγωγή του καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις της κτιριακής μας εγκατάστασης .

Main results			
System Production	78.8 MWh/yr	Normalized prod.	6.67 kWh/kWp/day
Specific prod.	2434 kWh/kWp/yr	Array losses	1.43 kWh/kWp/day
Performance Ratio	0.796	System losses	0.28 kWh/kWp/day

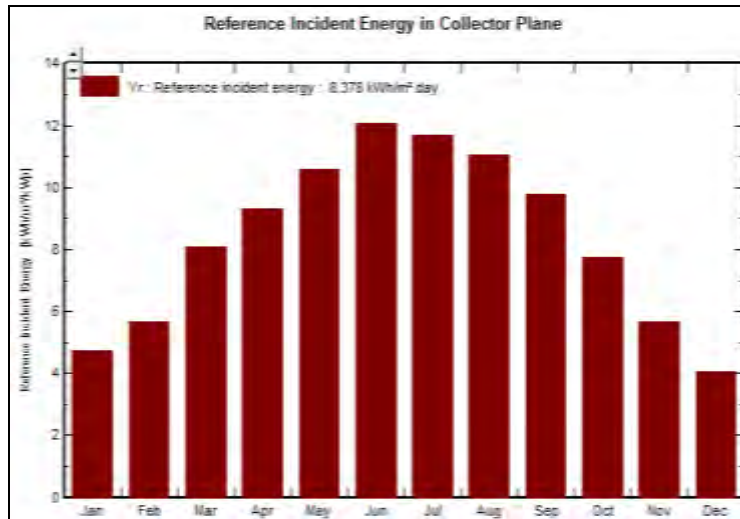
Εικόνα 3.32: Τα βασικότερα αποτελέσματα της ετήσιας προσομοίωσης της φ-β εγκατάστασης.
 Πιο συγκεκριμένα η παρακάτω γραφική παράσταση (Εικόνα 3.33) εκφράζει την ημερήσια προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια του συστήματος (kWh/m².day) σε σχέση με την ενέργεια η οποία εν τέλει θα διοχετευθεί στο κεντρικό δίκτυο(kWh/day), για την συνολική χρονική περίοδο του ενός έτους.



Εικόνα 3.33:

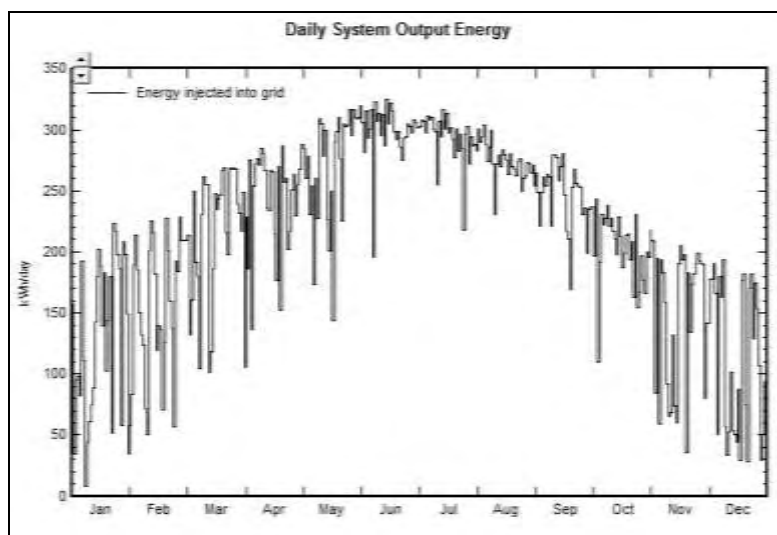
Η καμπύλη της ημερήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με την ενέργεια εξόδου.

Στην Εικόνα 3.34 φαίνεται η μηνιαία συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην ολική επιφάνεια του συστήματος. Ο μέσος όρος της ημερήσιας προσπίπτουσας ενέργειας είναι 8.378 kWh/m².day.



Εικόνα 3.34: Γραφική παράσταση της μηνιαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιος, Ιούνιος και Αύγουστος) είναι το λογικότερο η φωτοβολταϊκή μας εγκατάσταση να διοχετεύει τις μεγαλύτερες δυνατές ποσότητες ενέργειας στο δίκτυο από ότι όλο τον υπόλοιπο χρόνο, λόγω της έντονης ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε την προσομοίωση της ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής του συστήματος διαχωρισμένη σε μήνες (Εικόνα 3.35), της ωριαίας παραγωγής ενέργειας για κάθε μήνα ξεχωριστά (Εικόνα 3.36) και της συνολικής μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος (Εικόνα 3.37) .



Εικόνα 3.35: Γραφική παράσταση της μηνιαίας παραγόμενης ενέργειας του φ-β συστήματος.

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
January	0	0	0	0	0	0	0	0	286	472	515	527	525	534	460	480	280	0	0	0	0	0	0	0
February	0	0	0	0	0	0	0	0	58	353	489	515	519	527	504	450	324	16	0	0	0	0	0	0
March	0	0	0	0	0	0	0	0	246	565	685	788	795	745	727	725	685	580	298	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	172	540	632	701	739	747	746	719	677	657	594	388	2	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	10	321	638	717	762	772	776	774	763	741	704	653	535	289	0	0	0	0
June	0	0	0	0	0	0	79	425	686	736	764	775	776	773	760	756	735	682	618	386	0	0	0	0
July	0	0	0	0	0	0	3	316	609	700	788	880	903	902	797	780	766	725	643	406	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	0	324	656	742	775	752	738	737	709	700	752	701	528	169	0	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0	0	102	549	636	706	752	757	752	745	733	680	576	318	0	0	0	0	0
October	0	0	0	0	0	0	0	337	632	707	732	753	729	717	682	639	586	0	0	0	0	0	0	0
November	0	0	0	0	0	0	0	126	374	527	613	636	590	535	527	413	123	0	0	0	0	0	0	0
December	0	0	0	0	0	0	0	0	272	421	460	477	474	465	454	330	10	0	0	0	0	0	0	0
Year	0	0	0	0	0	0	32	1572	4644	6768	7775	8198	8293	8236	8107	7822	7198	5818	3316	1263	0	0	0	0

Εικόνα 3.36:

Γραφική παράσταση της ωριαίας παραγωγής ενέργειας διαχωρισμένη για όλους της μήνες ενός έτους.

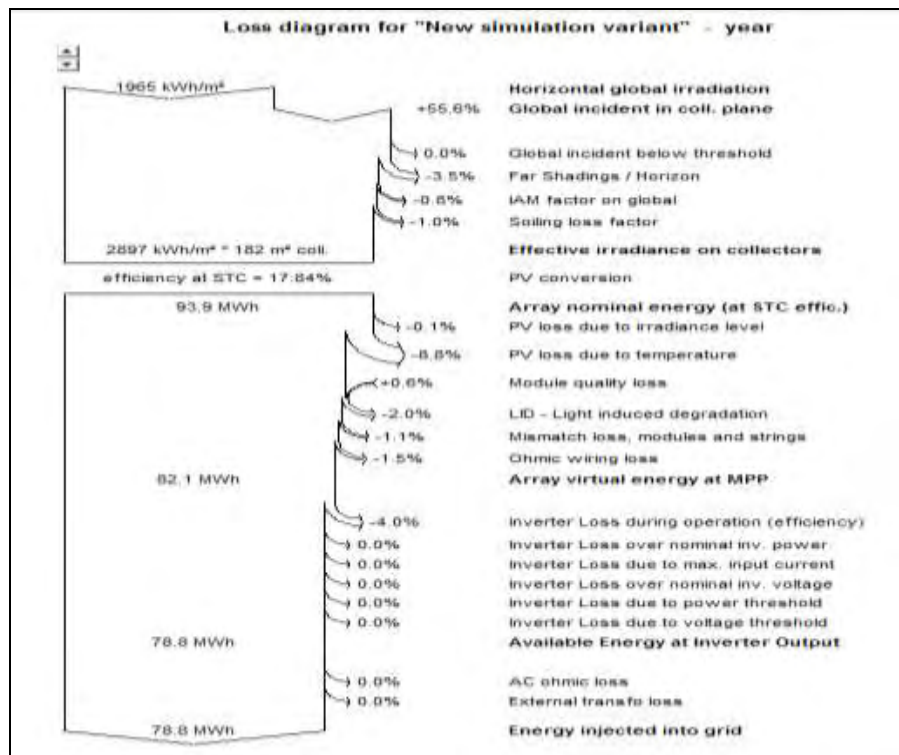
	E_Grid
	kWh
January	4026
February	4263
March	6666
April	7315
May	8463
June	8963
July	9095
August	8496
September	7377
October	6254
November	4457
December	3391
Year	78766

Εικόνα 3.37:

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σχετικά με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για κάθε μήνα του έτους.

Μια συνολικότερη εικόνα από την λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (Εικόνα 3.38). Το πάνω μέρος του σχεδιαγράμματος αναφέρεται στη συνολική οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει (Horizontal global irradiation) πάνω στην επιφάνεια των πάνελ και όσο κατεβαίνουμε, τα βελάκια δεξιά του σχεδιαγράμματος συμβολίζουν τα ποσοστά απωλειών του συστήματος (απώλειες σκίασης, ρύπανσης κ.λπ.). Το κάτω μέρος του σχεδιαγράμματος αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αρχική ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (2987 kWh/m²) στις επιφάνειες των πάνελ αντιστοιχεί σε 93.3 MWh παραγόμενης ενέργειας. Κατά τη διαδικασία μετατροπής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στο κεντρικό δίκτυο μεσολαβούν διάφοροι παράγοντες απωλειών οι οποίοι μειώνουν κατά πολύ την τελική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι θερμικές απώλειες, οι απώλειες γήρανσης, οι ωμικές απώλειες, οι απώλειες του αντιστροφέα και οι απώλειες των

συστοιχιών που προκύπτουν λόγω κακής αντιστοιχίας μειώνουν κατά πολύ την ηλεκτροπαραγωγή του συστήματος. Η τελική ποσότητα ενέργειας που διοχετεύεται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο λαμβάνοντας υπόψη όλων των ειδών τις απώλειες της φ-β εγκατάστασης φτάνει τις 78.8 MWh/year.



Εικόνα 3.38:

Σχεδιάγραμμα το οποίο αναπαριστά τη συνολική λειτουργία της φ-β εγκατάστασης.

Τέλος, στην Εικόνα 3.39 το λογισμικό της PVSYST μας δίνει μια λεπτομερή πληροφόρηση σχετικά με τις ενεργειακές απώλειες της φωτοβολταϊκής εγκατάστασής για κάθε έναν μήνα του έτους ξεχωριστά.

	ModQual	MisLoss	OhmLoss	EArrMPP	InvLoss
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	-23.953	47.2	50.5	4194	168.0
February	-25.383	50.0	54.9	4443	180.2
March	-39.764	78.4	102.1	6944	277.5
April	-43.642	86.0	114.2	7619	303.4
May	-50.536	99.6	139.9	8814	351.9
June	-53.583	105.6	157.1	9337	374.0
July	-54.400	107.2	165.1	9474	378.7
August	-50.806	100.1	153.7	8849	352.8
September	-44.081	86.9	127.5	7683	306.4
October	-37.278	73.5	97.4	6508	254.0
November	-26.594	52.4	64.8	4648	190.1
December	-20.225	39.9	43.8	3540	149.0
Year	-470.244	926.7	1271.3	82051	3285.8

Εικόνα 3.39: Λεπτομερής μηνιαία αναφορά ενεργειακών απωλειών του φ/β συστήματος.

4^ο Κεφάλαιο: Αιολικά Συστήματα

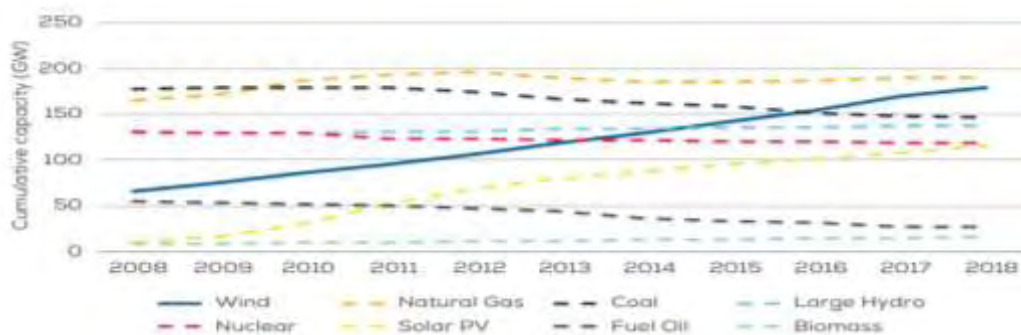
4.1 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που προκύπτει από την εκμετάλλευση της δύναμης των ανέμων. Οι μετακινήσεις του αέρα προκύπτουν από τις διαφορετικές τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης που υπάρχουν στο περιβάλλον. Αυτές οι διαφορετικές τιμές δημιουργούνται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία και την ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης. Οι άνθρωποι από την αρχαιότητα χρησιμοποιούν την κινητική δύναμη των ανέμων για τη διευκόλυνση τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι οι ανεμόμυλοι και τα ιστιοφόρα.

Σήμερα, για την αξιοποίηση της ο άνθρωπος χρησιμοποιεί τις ανεμογεννήτριες. Αυτές οι μηχανές μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και αποτελούν μια πολύ ενδιαφέρουσα λύση για την αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες είναι από τις πιο σημαντικές και αποδοτικές τεχνολογίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με έναν τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Αρχικά, η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική μέσω της περιστροφής του άξονα των πτερυγίων και έπειτα με τη βοήθεια της γεννήτριας μετατρέπεται τη μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγόμενη ενέργεια που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την κάλυψη-συμπλήρωση των ενεργειακών μας αναγκών ή μπορεί και να διοχετευθεί στο τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να καταναλωθεί σε κάποιο άλλο σημείο του δικτύου.

Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (κυρίως Δανία, Γερμανία, Σουηδία, Αγγλία και Γαλλία) η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας βρίσκεται πολύ υψηλά στην συνολική συμβολή των ΑΠΕ (συνολικά 189 GW) στο ενεργειακό ισοζύγιο. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι πολύ αποδοτικές για αυτό και εξελίσσονται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται ξεκάθαρα η αυξανόμενη συμβολή της αιολικής ενέργειας στην συνολική παραγωγή ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η χώρα μας και κυρίως οι νησιώτικες περιοχές της, διαθέτουν

ένα πολύ μεγάλο ποσοστό εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού και έτσι η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών συστημάτων πλέον φτάνει τις 2.650MW.



Εικόνα 4.1:

Η χωρητική ικανότητα των εγκατεστημένων ενεργειακών πηγών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Αιολική Ενέργεια και οι υπόλοιπες ΑΠΕ είναι πρακτικά ανεξάντλητες και πολύ φιλικές προς το περιβάλλον. Η συνεχόμενη ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών και η σχεδίαση-κατασκευή αποδοτικών και οικονομικών ανεμογεννητριών έχουν τεράστια σημασία για τη βιωσιμότητα του πλανήτη, την ανάπτυξη της οικονομίας και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Όλα τα παραπάνω καθιστούν απαραίτητη την εισαγωγή του αιολικού δυναμικού στην συνολική παραγωγή ενέργειας.

4.2 Χαρακτηριστικά Ανέμου

Η παραγόμενη ενέργεια μιας ανεμογεννήτριας συσχετίζεται με τα φυσικά χαρακτηριστικά του ανέμου. Όπως έχει προαναφερθεί, η κινητική δύναμη η οποία περιέχεται στους ανέμους μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των ανεμογεννητριών. Όσο πιο έντονη και συνεχής είναι η ποσότητα του ανέμου η οποία διέρχεται κατάλληλα στα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τόσο πιο μεγάλη ποσότητα ηλεκτρισμού παράγεται από αυτήν.

Η ενέργεια του ανέμου είναι ανάλογη με την πυκνότητα και την ταχύτητα του. Η πυκνότητα του αέρα υπολογίζεται βάση της ταχύτητας μεταφοράς του, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος αλλά και της επιφάνειας που διαπερνά κάθετα μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Αν έχουμε τα απαραίτητα δεδομένα μπορεί να υπολογισθεί η παραγόμενη ισχύς του ανέμου κατά τη διέλευση του μέσα από μια

επιφάνεια ($P_{wind}=1/2\rho Av^3$). Η ισχύς του ανέμου αυξάνεται ανάλογα με την υψομετρική διαφορά της από το έδαφος. Η κινητική ενέργεια των ανέμων επιβραδύνεται εξαιτίας της τραχύτητας του εδάφους και αλλοιώνεται από την επίδραση διάφορων επιφανειακών εμποδίων. Η σχέση της ταχύτητας του ανέμου και του ύψους είναι λογαριθμική. Ορεινές περιοχές χαρακτηρίζονται από πλούσιο αιολικό δυναμικό, για αυτό και είναι η συνηθέστερη επιλογή των μηχανικών για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις.

4.3 Είδη Ανεμογεννητριών Βάσει των Αξόνων Περιστροφής

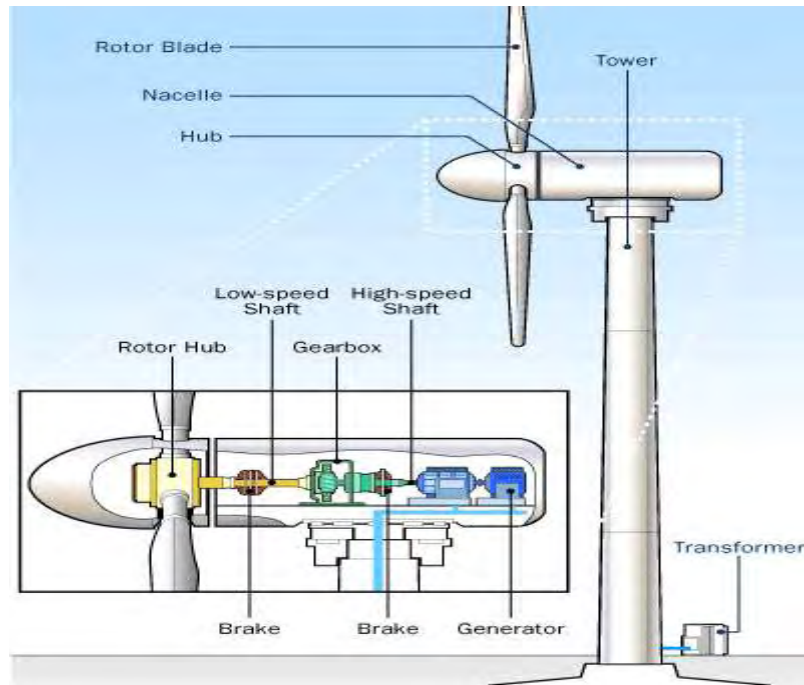
Υπάρχουν διάφορα είδη ανεμογεννητριών και κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικές κατηγορίες. Ο βασικότερος διαχωρισμός τους βασίζεται στον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με την ροή του ανέμου.

4.3.1 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες **οριζόντιου άξονα** (horizontal-axis wind turbines) είναι οι πιο συνηθισμένη επιλογή της σύγχρονης εποχής στον τομέα της παραγωγής αιολικής ενέργειας. Ο άξονας περιστροφής τους είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου και θυμίζουν τους κλασικούς παραδοσιακούς ανεμόμυλους. Απαιτείται ο σωστός σχεδιασμός της λειτουργίας τους με στόχο τη βέλτιστη απόδοσή τους.

Το κυριότερο πρόβλημα μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα έχει να κάνει με τον δρομέα (rotor). Η συμπεριφορά του δρομέα κατά την εκκίνηση, την επιτάχυνση-επιβράδυνση και τη διακοπή λειτουργίας επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της μηχανής.[23,24]

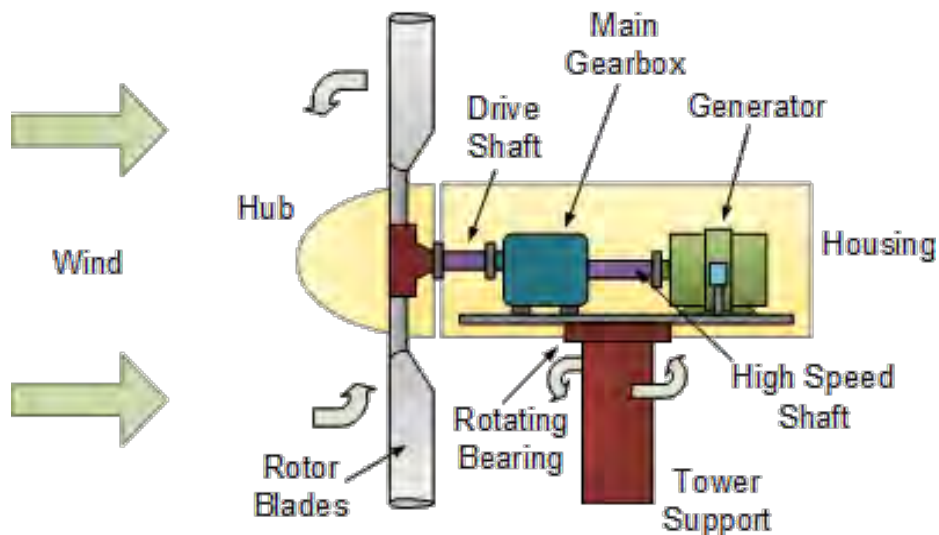
Η δομή μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα χωρίζεται σε 2 συστήματα. Το πρωτεύον σύστημα είναι υπεύθυνο για την μετατροπή της κινητικής δύναμης του ανέμου σε μηχανική ενέργεια (Ανεμοκινητήρας) και το δεύτερο σύστημα μετατρέπει την μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια (Ηλεκτρογεννήτρια). Τα βασικά μέρη που απαρτίζουν μια ανεμογεννήτρια, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 4.2, είναι τα εξής :



Εικόνα 4.2 :
Η εσωτερική και η εξωτερική δομή μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

1. **Δρομέας (rotor):** Είναι το στρεφόμενο μέρος της μηχανής. Συνήθως οι ανεμογεννήτριες έχουν από 1 έως 3 πτερύγια. Η περιστροφική ροπή των πτερυγίων του δρομέα προκαλείται από την κινητική δύναμη των ανέμων. Τα πτερύγια του δρομέα είναι πολύ ανθεκτικά και είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούν βέλτιστα τον αέρα που προσπίπτει πάνω τους. Απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός στη μορφή της, στην κλίση της και στο συνολικό της βάρος. Συνήθως, το υλικό από το οποίο σχεδιάζονται είναι ενισχυμένος πολυεστέρας.
2. **Πλήμνη (Hub):** Η πλήμνη του δρομέα είναι το μηχανικό εξάρτημα στο οποίο στηρίζονται τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας και συνδέεται με τον κεντρικό άξονα .
3. **Κέλυφος (Nacelle):** Το κέλυφος τοποθετείται στην κορυφή του πύργου και μέσα σε αυτό εμπεριέχονται όλα τα βασικά στοιχεία μιας ανεμογεννήτριας. Δηλαδή μέσα σε αυτό βρίσκονται το κιβώτιο ταχυτήτων, η ηλεκτρογεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων αλλά και το δισκόφρενο.

4. **Άξονας της ανεμογεννήτριας (Shaft)** : Είναι διασυνδεδεμένος με τον δρομέα (rotor) και περιστρέφεται ταυτόχρονα με αυτόν. Ο άξονας χαμηλής ταχύτητας (low-speed Shaft ή drive shaft) διασυνδέει την πλήμνη του δρομέα με το κιβώτιο ταχυτήτων. Ενώ ο άξονας υψηλής ταχύτητας (high-speed shaft) συνδέει το κιβώτιο ταχυτήτων με την ηλεκτρογεννήτρια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3. Με αυτόν τον τρόπο ο δρομέας μεταφέρει την περιστροφική δύναμη του δρομέα στη γεννήτρια.



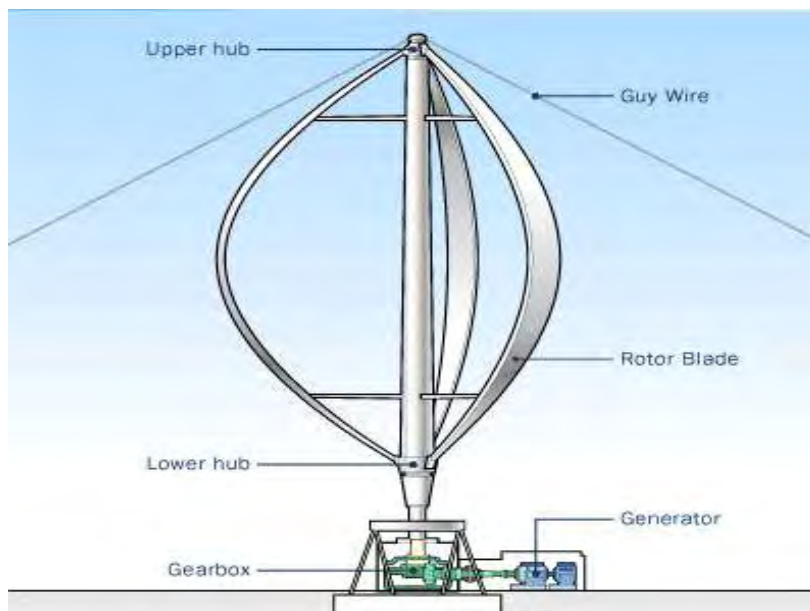
Εικόνα 4.3. Η διασύνδεση των στοιχείων πάνω στον άξονα της ανεμογεννήτριας.

5. **Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear Box)** : Συνδέει τον άξονα χαμηλής και υψηλής ταχύτητας με σκοπό να αυξήσει την χαμηλή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (50-60 περιστροφές το λεπτό (rpm)) σε 1200 με 1800 rpm (δηλαδή την απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής για τη λειτουργία της γεννήτριας) .
6. **Δισκόφρενο (Brake)**: Τοποθετείται στους άξονες της ανεμογεννήτριας και αποτελεί το σύστημα που είναι υπεύθυνο για τη διακοπή του κινητήρα με έναν μηχανικό τρόπο σε περίπτωση ανάγκης ή κάποιας βλάβης .
7. **Ηλεκτρογεννήτρια**: Είναι μια κλασική μηχανή παραγωγής εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 4.4). Συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου ταχυτήτων και χρησιμοποιεί τις ιδιότητες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής τάσης.

10. **Ανεμόμετρο και Ανεμοδείκτης:** Είναι δύο πολύ βασικά όργανα μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία υπολογίζουν και καταγράφουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων. Είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους και επικοινωνούν ταυτόχρονα μέσω του ηλεκτρικού δικτύου με τα συστήματα προσανατολισμού και ελέγχου. Μέσω της επικοινωνίας του ανεμομέτρου με το σύστημα ελέγχου, επιτυγχάνεται η εκκίνηση και η διακοπή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας την κατάλληλη στιγμή (ταχύτητα ανέμου 5 m/s και 25m/s αντίστοιχα). Ο ανεμοδείκτης και το σύστημα προσανατολισμού είναι υπεύθυνα για την βέλτιστη τοποθέτηση της κεφαλής της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την κατεύθυνση του ανέμου.
11. **Πύργος ανεμογεννήτριας :** Είναι το σημαντικότερο στοιχείο στην δομή μιας ανεμογεννήτριας. Ο πύργος είναι η βάση στήριξης όλων των ηλεκτρικών στοιχείων της και συσχετίζεται άμεσα με την συνολική απόδοση της εγκατάστασης. Η γεωμετρία και ο σχεδιασμός της κατασκευής του πρέπει να ικανοποιούν ορισμένα δομικά κριτήρια τα οποία θα εξασφαλίζουν την ασφαλή και ελεγχόμενη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ο συμβατικός χάλυβας κυλινδρικής μορφής, το σπλισμένο σκυρόδεμα ή και ο υβριδικός συνδυασμός τους. Το ύψος του πύργου επηρεάζει σημαντικά την συνολική παραγωγή. Το αιολικό δυναμικό και η προσπίπτουσα ποσότητα ανέμου στα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας αυξάνεται σε σχέση με το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται η ηλεκτρολογική εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Ανάλογα με τον τύπο και τις απαιτήσεις της εγκατάστασης επιλέγεται και το κατάλληλο ύψος του πύργου.

4.3.2 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (Vertical-axis wind turbines) διαθέτουν πτερύγια που περιστρέφονται κατακόρυφα με τον σταθερό άξονα περιστροφής (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα.

Η κατακόρυφη συμμετρία των ανεμογεννητριών αυτών έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, δεν χρειάζεται να υλοποιηθεί κάποια ενέργεια προσανατολισμού του δρομέα σε περίπτωση αλλαγής της κατεύθυνσης του ανέμου. Η απλή κατασκευή τους είναι κατάλληλη για πολλές και διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Τα σημαντικότερα μέρη που αποτελούν μια ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα βρίσκονται κοντά στο έδαφος, για αυτόν τον λόγο η συντήρηση των μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών συστημάτων της (ηλεκτρογεννήτρια, κιβώτιο ταχυτήτων κλπ.) θεωρείται πιο προσβάσιμη και ασφαλής.

Οι αιολικές μηχανές αυτού του τύπου είναι πολύ αποδοτικές, έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και ο σχεδιασμός τους κλιμακώνεται σε διαφορετικά μεγέθη ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. [24]

4.3.3 Σύγκριση Ανεμογεννητριών Οριζόντιου και Κάθετου Άξονα

Υπάρχουν πολλά πλεονέκτημα και μειονεκτήματα και για τις δυο κατηγορίες των ανεμογεννητριών αυτών. Η επιλογή του τύπου των ανεμογεννητριών έχει να κάνει άμεσα με τα κλιματικά δεδομένα του χώρου της εγκατάστασης, τις απαιτήσεις ηλεκτροπαραγωγής και τον χρηματικό προϋπολογισμό που διατίθεται.

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν πολύ μεγαλύτερα ποσοστά απόδοσης από αυτές του κάθετου άξονα. Είναι αρκετά αποδοτικές και δεν χρειάζονται πολύ μεγάλη ευχέρεια χώρου. Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα δεν απαιτούν υψηλές ταχύτητες ανέμου για την εκκίνηση τους, συνεπώς είναι καταλληλότερες για την παραγωγή ενέργειας σε περιοχές με χαμηλό αιολικό δυναμικό. Όσο περισσότερα πτερύγια έχουν, η περιστροφική ταχύτητα τους μειώνεται και παρουσιάζουν χαμηλότερες συχνότητες (ιδανικό για την φόρτιση μπαταριών), ενώ οι ανεμογεννήτριες με 2-3 πτερύγια παρουσιάζουν μικρότερη αδράνεια και είναι καταλληλότερες για την παραγωγή ισχύος .

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι φθηνότερες στην κατασκευή και την συντήρησή τους από αυτές του οριζόντιου άξονα. Είναι ασφαλέστερες και χαρακτηρίζονται από μικρότερες πιθανότητες βλάβης. Η τοποθέτηση τους δεν περιορίζεται σε περιοχές με σταθερούς ανέμους. Η κατασκευή τους δεν απαιτεί να εγκατασταθεί κάποιο σύστημα προσανατολισμού, για αυτό τον λόγο είναι ιδανικότερες σε περιοχές όπου η κατεύθυνση του αέρα είναι μεταβαλλόμενη. [23,24]

Οι ανεμογεννήτριες και των δυο τύπων πέρα από τα μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά συστήματα που τις απαρτίζουν (πύργος, πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, σύστημα ελέγχου κλπ.) διαθέτουν και τα εξής : [25]

- **Σταθεροποιητές τάσης:** Είναι σχεδιασμένοι να ρυθμίζουν και να παρέχουν σταθερή παραγόμενη τάση μέσα σε κάποια συγκεκριμένα όρια.
- **Μετατροπéας AC-DC:** Είναι οι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη ή και αντίστροφα. Ο μετατροπéας AC-DC μετατρέπει την συνεχή τάση που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια σε εναλλασσόμενη ώστε να μπορέσει να διοχετευθεί μέσα στο δίκτυο μετά την ανύψωσή της.
- **Μπαταρίες:** Είναι απαραίτητες για τις εγκαταστάσεις στις οποίες οι ανεμογεννήτριες δεν είναι διασυνδεδεμένες σε κάποιο κεντρικό δίκτυο (off-grid wind turbines).

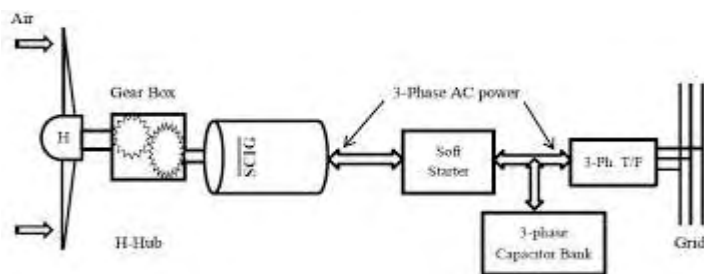
4.4 Τύποι Ανεμογεννητριών

Σύμφωνα με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

1. Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητάς.
2. Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας.

4.4.1 Ανεμογεννήτριες Σταθερής Ταχύτητας

Ο δρομέας των **ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας** (fixed-speed wind turbines) περιστρέφεται σταθερά και ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών συνήθως είναι εξοπλισμένες με μια επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (Εικόνα 4.6). Η διασύνδεση της με το κεντρικό δίκτυο γίνεται απευθείας μέσω ενός τριφασικού μετασχηματιστή AC-DC, μιας συστοιχίας πυκνωτών, η οποία συμβάλει στην αντιστάθμιση της άεργου ισχύος (η οποία καταναλώνεται από την ασύγχρονη γεννήτρια) και ενός ελεγκτή εκκίνησης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση και την αποσύνδεση της ανεμογεννήτριας ανάλογα με τις ταχύτητες του ανέμου. [26]



Εικόνα 4.6: Ανεμογεννήτρια σταθερών στροφών.

Βάσει της συχνότητας του δικτύου και του σχεδιασμού της γεννήτριας ορίζεται ανάλογα και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της ανεμογεννήτριας. Η απλή τους σχεδίαση τις κάνει να είναι αρκετά οικονομικές, ανθεκτικές και αξιόπιστες. Για αυτούς τους λόγους είναι και η πιο διαδεδομένη επιλογή παγκοσμίως.

Συμφώνα με τα παραπάνω, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι οι ανεμογεννήτριες αυτές αποδίδουν καλύτερα για μια συγκεκριμένη τιμή της ταχύτητας του ανέμου. Ο άνεμος είναι μια ποσότητα μεταβλητή και αυτό μεταφράζεται σε ανεπιθύμητες

διακυμάνσεις της ηλεκτρικής ισχύος η οποία διαχέεται στο κεντρικό δίκτυο. Αυτές οι διαταραχές προκαλούν μεταβολές στην τάση λειτουργίας των ανεμογεννητριών και κατά συνέπεια αυξάνουν τις απώλειες γραμμών.

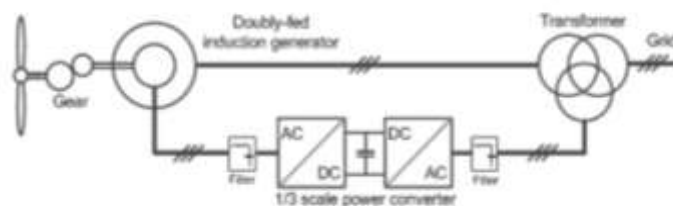
4.4.2 Ανεμογεννήτριες Μεταβλητής Ταχύτητας

Στην σημερινή εποχή η αιολική ενέργεια θεωρείται μια από τις πιο πολλά υποσχόμενες και αποδοτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να είναι πλέον αισθητό το αντίκτυπο της στο κεντρικό δίκτυο ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί πολλές νέες και καινοτόμες τεχνολογίες ανεμογεννητριών. Οι **ανεμογεννήτριες μεταβλητών στρόφων** κυριαρχούν πλέον μεταξύ των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών. Η διαμόρφωση αυτών των ανεμογεννητριών δεν διαφέρει κατά πολύ από αυτή των ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν αποδοτικά μέσα σε ένα φάσμα διαφορετικών ταχυτήτων ανέμου. Με τον όρο “μεταβλητών στροφών” αναφερόμαστε στη δυνατότητα προσαρμογής και επιλογής της αποδοτικότερης ταχύτητας περιστροφής του δρομέα σύμφωνα με την υπάρχουσα ταχύτητα του ανέμου. Η ταχύτητα του δρομέα ρυθμίζεται από μια εξωτερική αντίσταση η οποία διαχειρίζεται έξυπνα την ροπή της γεννήτριας. Ο αεροδυναμικός έλεγχος (stall control) και ο έλεγχος της γωνίας βήματος των πτερύγιων είναι οι δυο πιο βασικές μέθοδοι ρύθμισης της μηχανικής ισχύος των ανεμογεννητριών αυτού του τύπου.

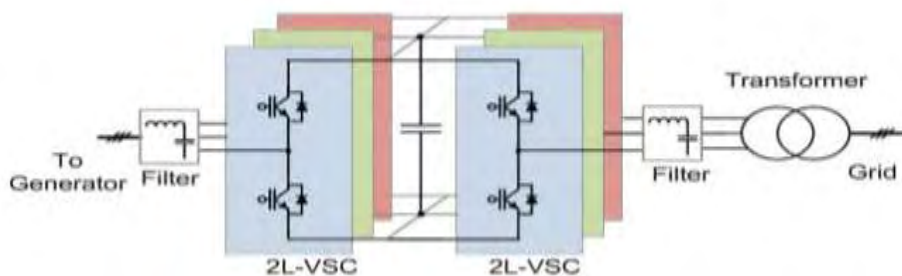
Ανάλογα με τα ηλεκτρονικά ισχύος, την ηλεκτρογεννήτρια, τους στόχους και τον τρόπο λειτουργίας της, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διαφορετικού τύπου τεχνολογίες. Οι **ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFIG)** (Εικόνα 4.7) είναι παγκοσμίως μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες ανεμογεννητριών. Ο μετατροπέας (inverter) αυτών των ανεμογεννητριών είναι μερικής ισχύος-μικρής κλίμακας (Partial-Scale Power Convert) και για αυτόν τον λόγο διασυνδέεται παράλληλα με την γεννήτρια και

με το σημείο διοχέτευσης της ενέργειας στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Λόγω της εξωτερικής αντίστασης του δρομέα δημιουργούνται απώλειες θερμότητας. Ένας από τους βασικούς ρόλους του μετατροπέα είναι να διοχετεύσει τις απώλειες πίσω στο κεντρικό δίκτυο μειώνοντας έτσι τις μηχανικές καταπονήσεις της γεννήτριας. Η ονομαστική ισχύς του Partial-Scale Power Convert είναι έως και 30% μικρότερη από αυτή της ηλεκτρογεννήτριας DFIG και το εύρος ταχύτητας της περιστροφής του δρομέα κυμαίνεται στο 30% σε σχέση με το εύρος ταχύτητας μιας σύγχρονης γεννήτριας. Επομένως η ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτριας μεγιστοποιείται μέσα σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα ταχυτήτων ανέμου. [27]



Εικόνα 4.7 Ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών με μερικό μετατροπέα ισχύος (DFIG)

Για την ακόμη πιο αποδοτική και αξιόπιστη συμβολή της στην ρύθμιση των μελλοντικών απαιτήσεων της ενεργού και άεργου ισχύος, η προτεινόμενη τοπολογία που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις ανεμογεννήτριες DFIG είναι ο μετατροπέας 2L-BTB. Ο μετατροπέας ισχύος δύο τάσεων εξόδου (2L-BTB) έχει αρκετά απλή δομή (Εικόνα 4.8) και το κυριότερο χαρακτηριστικό πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να ελέγχει πλήρως τις απαιτήσεις της ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος της γεννήτριας. Οι μετασχηματιστές 2L-BTB είναι μια επιλογή αρκετά αποδοτική για ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας. [28]

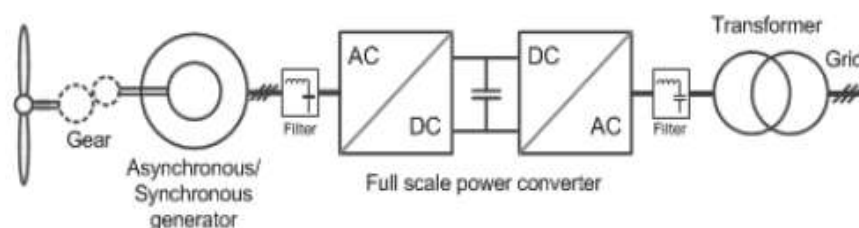


Εικόνα 4.8: Δομή του μετατροπέα ισχύος δύο τάσεων εξόδου (2L- BTB).

Τέλος, ο τελευταίος τύπος ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας είναι οι ανεμογεννήτριες που διαθέτουν έναν πλήρη μετατροπέα ισχύος ο οποίος διασυνδέει απευθείας τον στάτη της ανεμογεννήτριας με το κεντρικό δίκτυο. Ο μετατροπέας πλήρους ισχύος ελέγχει καλύτερα την παραγόμενη ισχύ η οποία διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Αυτός ο σχεδιασμός θεωρείται αρκετά ευέλικτος και διαμορφώνεται ανάλογα με το είδος της γεννήτριας που χρησιμοποιείται. Τα είδη γεννητριών τα οποία είναι συμβατά με αυτού του είδους την τοπολογία είναι τα εξής :

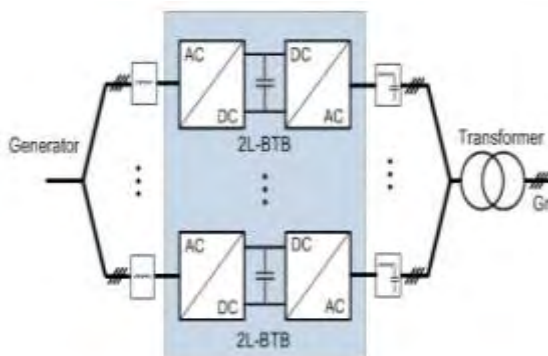
1. Στην περίπτωση της ασύγχρονης γεννήτριας η τοπολογία διαθέτει ένα κιβώτιο ταχυτήτων το οποίο εγκαθίσταται πάνω στον άξονα μετάδοσης της κίνησης μεταξύ του δρομέα και της γεννήτριας. Απαιτείται ένας μετατροπέας από την πλευρά της γεννήτριας για την κάλυψη της καταναλωμένης άεργου ισχύος. [29]
2. Στην περίπτωση της σύγχρονης γεννήτριας με ηλεκτρική διέγερση, ο περιστρεφόμενος ρότορας (WRSG) ή οι μόνιμοι μαγνήτες (PMSG) είναι απαραίτητα στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο δεν υπάρχει πλέον επιτακτική ανάγκη να συμπεριληφθεί κάποιο κιβώτιο ταχυτήτων, διότι η διέγερση του πεδίου προκαλείται από τους μόνιμους μαγνήτες που υπάρχουν στον δρομέα. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται ένας πλήρης μετατροπέας μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τοπολογίας είναι ότι μπορούμε να ελέγχουμε πλήρως την ισχύ και την ταχύτητα της γεννήτριας και κατά συνέπεια την καλύτερη αλληλεπίδραση της με το κεντρικό δίκτυο. [28,29]

Η γενικότερη τοπολογία ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας με πλήρη μετατροπέα ισχύος φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9 : Ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών με πλήρη μετατροπέα ισχύος.

Ο αντιστροφέας αυτής της διάταξης πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί όλη την παραγόμενη ενέργεια της ανεμογεννήτριας και για αυτόν τον λόγο δεν είναι δυνατό να έχει πολύ μικρό μέγεθος. Μια ενδιαφέρουσα λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να συνδεθούν παράλληλα πολλοί αντιστροφέες 2L-BTB (Εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.10: Παράλληλη διασύνδεση αντιστροφέων 2L-BTB.

Με την παράλληλη διασύνδεση πολλών αντιστροφέων μεταξύ τους μπορούν να καλυφθούν υψηλότερα επίπεδα απαιτήσεων τάσης και ισχύος. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες είναι αρκετά ακριβές αλλά και αρκετά αποδοτικές. Χαρακτηρίζονται από υψηλή αξιοπιστία και συνήθως επιλέγονται για μεγάλα συστήματα ενεργειακής παραγωγής.

4.5 Η Τοποθεσία της Εγκατάστασης

Η μελέτη και η επιλογή της τοποθεσίας που θα εγκατασταθούν οι ανεμογεννήτριες, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην συνολική τους απόδοση. Ο συντελεστής απόδοσης της παραγωγικότητας των ανεμογεννητριών εξαρτάται άμεσα από το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό της περιοχής στην οποία θα εγκατασταθούν. Το τοπογραφικό ανάγλυφο και η μορφολογία της περιοχής πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην περιλαμβάνει εδαφολογικές ιδιομορφίες και εμπόδια τα οποία θα επηρεάζουν την αποδοτική λειτουργία των ανεμογεννητριών. Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογής της τοποθεσίας έχουν να κάνουν με την εξασφάλιση της ανάλογης έκτασης της περιοχής, η οποία θα πρέπει είναι επαρκής για την κάλυψη της επιθυμητής ονομαστικής ισχύος της εγκατάστασης.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα οπτικό-ακουστικά προβλήματα που προκύπτουν με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών δεν διευκολύνουν τη διαδικασία επιλογής μιας τοποθεσίας. Σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι τα θέματα ιδιοκτησίας και οι περιορισμοί σύμφωνα με τα Εθνικά νομικά πλαίσια. Οι περιορισμοί αυτοί προκύπτουν, διότι οι κατάλληλες εκτάσεις είναι νομικά προστατευμένες λόγω των περιβαλλοντικών τους χαρακτηριστικών. Οι περιοχές αυτές διαφυλάσσονται από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας λόγω της πλούσιας χλωρίδας και πανίδας που διαθέτουν. Για αυτό τον λόγο για να θεωρηθεί μια περιοχή κατάλληλη απαιτείται η σύμφωνη γνώμη του κοινωνικού συνόλου.

Όσον αφορά την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας το βασικότερο κριτήριο είναι το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό της περιοχής. Οι ορεινές απομακρυσμένες περιοχές χαρακτηρίζονται από ισχυρούς ανέμους υψηλής ποιότητας και κατά συνέπεια η αποδοτικότητα των αιολικών συστημάτων υπό αυτές τις συνθήκες μεγιστοποιείται. Από την άλλη, η τοποθεσία της εγκατάστασης θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή κοντά στο οδικό δίκτυο και κατά κύριο λόγο να είναι προσπελάσιμη από τα συνήθη μεταφορικά μέσα. Η μεταφορά, η εγκατάσταση και η συντήρηση των ανεμογεννητριών λόγω του μεγέθους τους είναι δύσκολη υπόθεση και για αυτό απαιτείται η εύκολη πρόσβαση σε αυτές από συγκοινωνιακούς κόμβους. Τέλος, στις περιπτώσεις που οι ανεμογεννήτριες θα διοχετεύουν την παραγόμενη τους ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο διανομής, τότε θα πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση με κάποιο δίκτυο ή με κάποιον τοπικό υποσταθμό της ΔΕΗ .

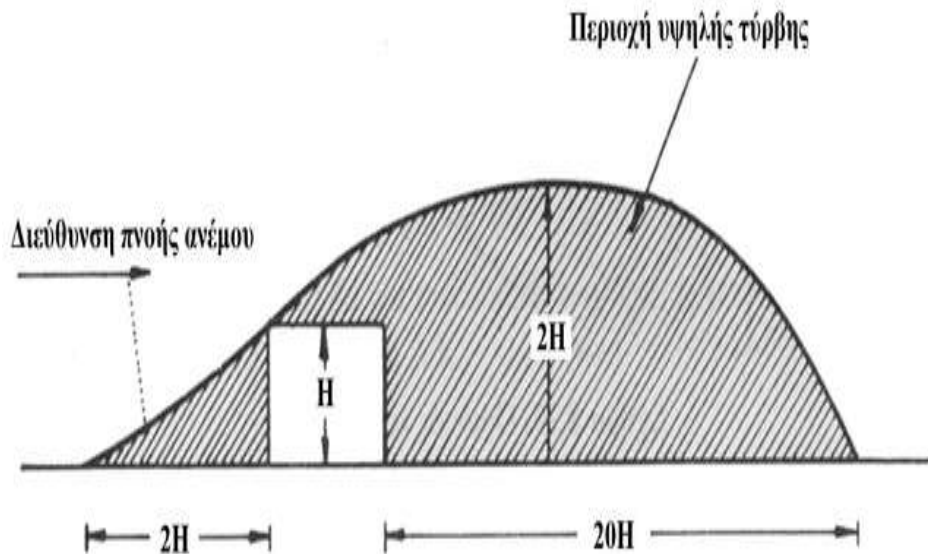
4.6 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Απόδοση της Εγκατάστασης

Η σταθερότητα των ανέμων: Η σταθερότητα των ανέμων επηρεάζει σημαντικά την συνολική παραγωγή μιας εγκατάστασης ανεμογεννητριών. Ο άνεμος και ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι μια ποσότητα σταθερή ως προς τον χρόνο και χαρακτηρίζεται από συχνές εναλλαγές πορείας. Αυτού του είδους οι εναλλαγές επηρεάζουν την λειτουργία της μηχανής και κατά συνέπεια την παραγωγικότητα της. Η απόδοση και η διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών αυξάνεται σε περιοχές με σταθερότερους

μετωπικούς ανέμους, καθώς σε τέτοιες περιοχές η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει με έναν συνεχή και σταθερό ρυθμό, ελαχιστοποιώντας έτσι τυχόν απώλειες. Οι συχνές εναλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου οδήγησαν στην ανάπτυξη συστημάτων προσανατολισμού με κύριο στόχο να καταφέρουμε να εκμεταλλευτούμε με έναν βέλτιστο δυνατό τρόπο τη δύναμη των ανέμων.

Τα καιρικά φαινόμενα: Τα έντονα καιρικά φαινόμενα μιας περιοχής μπορεί να προκαλέσουν βλάβες και κατά συνέπεια να επιδράσουν αρνητικά στην αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης. Για να επιλεγθεί η κατάλληλη τοποθεσία απαιτείται μελέτη των μετεωρολογικών συνθηκών της περιοχής. Οι υπερβολικά ισχυροί άνεμοι κάποιων περιοχών μπορούν να δημιουργήσουν βλάβες η ακόμη και να καταστρέψουν τα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Ανάλογα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής επιλέγουμε και τον κατάλληλο τύπο ανεμογεννήτριας με στόχο να αντέχει και να αποδίδει κατάλληλα στα ανάλογα καιρικά φαινόμενα. Ακόμη, παρατηρείται ότι οι περιοχές με μεγάλο υψόμετρο χαρακτηρίζονται και από χαμηλές θερμοκρασίες. Η χιονόπτωση και η δημιουργία παγετού πάνω στα πτερύγια των ανεμογεννητριών επιδρούν αρνητικά στην ομαλή περιστροφή των πτερυγίων με αποτέλεσμα να απαιτείται ο συχνός καθαρισμός τους. Οι μετεωρολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής διαφέρουν. Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται τα κόστη λειτουργίας και η συντήρηση των ανεμογεννητριών.

Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Η τραχύτητα του εδάφους και τα εδαφικά εμπόδια μιας περιοχής μπορούν να μειώσουν σημαντικά το αιολικό δυναμικό το οποίο προσπίπτει πάνω στα πτερύγια μιας ανεμογεννήτρια. Η φορά των ανέμων πρέπει να είναι σταθερή προς μια πορεία και να μην προκύπτουν διακυμάνσεις λόγω των εδαφολογικών ιδιομορφιών. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται τύρβη (Εικόνα 4.11) και αναπτύσσεται λόγω των ανωμαλιών του εδάφους πάνω στο οποίο υποχρεώνεται να κινηθεί η αέρια μάζα.



Εικόνα 4.11 Περιοχή υψηλής τύρβης του αέρα.

Αυτές οι συχνές διακυμάνσεις παρουσιάζουν φθορές στον μηχανισμό του δρομέα και κατά συνέπεια επηρεάζουν την συνολική του απόδοση αλλά και τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για να εγκατασταθούν οι ανεμογεννήτριες απαιτεί μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου και του αεροδυναμικού της περιοχής ώστε να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα.

Η διάταξη των ανεμογεννητριών. Κάθε δρομέας κατά την λειτουργία του δεσμεύει ένα ποσοστό ενέργειας από τον διερχόμενο προς αυτόν άνεμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας του ανέμου και την αύξηση των επίπεδων της τύρβης στο κάτω μέρος της ανεμογεννήτριας. Η περιοχή αυτή επηρεάζει σταδιακά την λειτουργία των γειτονικών μηχανών. Για αυτό τον λόγο η ακριβής τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανές αποτελεί ένα σημαντικό σχεδιαστικό πρόβλημα. Το πεδίο ταχύτητας ανάμεσα σε μια διάταξη ανεμογεννητριών αποκτά μια έντονη μεταβολή εξαιτίας της πολλαπλής επίδρασης των όμορων ανεμογεννητριών. Ο κύριος στόχος μιας επιτυχημένης μελέτης είναι να μειωθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών και κατά συνέπεια να μεγιστοποιηθεί η παραγόμενη ενέργεια της συνολικής εγκατάστασης.

4.7 Ανάλυση Αιολικού Δυναμικού

Το βασικότερο κριτήριο επιλογής της κατάλληλης τοποθεσίας για την εγκατάσταση ενός συστήματος ανεμογεννητριών είναι το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Απαιτείται η καταμέτρηση των χαρακτηριστικών του ανέμου, προτού γίνει κάποια ενέργεια υλοποίησης.

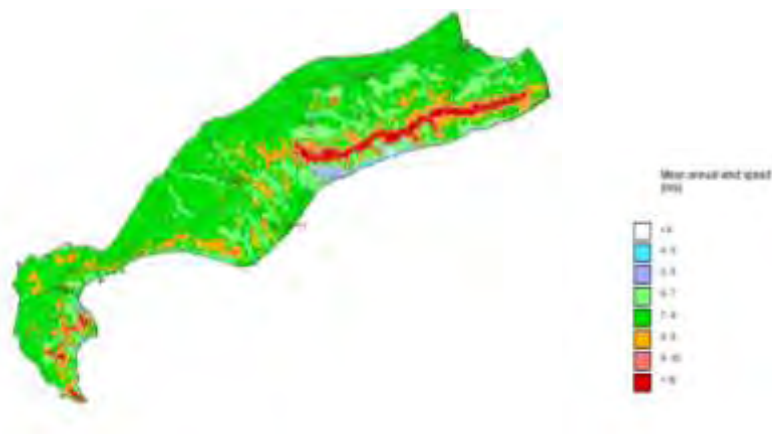
Τα πρακτικότερα στοιχεία τα οποία μας βοηθούν στην αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι τα όργανα μέτρησης της ταχύτητας, της κατεύθυνσης και της έντασης του ανέμου. Χρησιμοποιώντας όργανα, όπως τα ανεμόμετρα και οι ανεμοδείκτες, μπορούμε να συλλέξουμε τα απαραίτητα κλιματιστικά δεδομένα για μια περιοχή. Η καταμέτρηση και η δειγματοληψία σε βάθος χρόνου θα μας δώσουν μια πλήρη εικόνα, η οποία θα μας βοηθήσει να σχεδιάσουμε αποδοτικότερα το σύστημα μας.

Οι εθνικοί χάρτες αιολικού δυναμικού και οι μετεωρολογικοί σταθμοί είναι οι πιο προσιτοί και βασικότεροι τρόποι πληροφόρησης για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Ο εθνικός αιολικός χάρτης (Εικόνα 4.12) ο οποίος μας δείχνει το τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό της αιολικής ενέργειας για την χώρας μας, διατίθεται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ 1992-2019). [30]



Εικόνα 4.12: Εθνικός Χάρτης Αιολικού Δυναμικού.

Η τοποθεσία της κτιριακής εγκατάστασης βρίσκεται στο νησί της Κω. Η Κως είναι ένα ελληνικό νησί του Αιγαίου το οποίο χαρακτηρίζεται από αρκετά πλούσιο αιολικό δυναμικό. Όπως φαίνεται στον αιολικό χάρτη της Κω (Εικόνα 4.13), η μέση τιμή της ετήσιας ταχύτητας των ανέμων του νησιού φτάνει περίπου τα 7-9 m/s. [ΚΑΠΕ-CRES]



Εικόνα 4.13: Χάρτης αιολικού δυναμικού της Κω.

Λόγω των υψηλών ταχυτήτων των ανέμων, στην ευρύτερη περιοχή του νησιού έχουν εγκατασταθεί παρά πολλοί αιολικοί σταθμοί. Οι εγκατεστημένοι αιολικοί σταθμοί της Κω φαίνονται στον γεωπληροφοριακό χάρτη της ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) (Εικόνα 4.14). [30]



Εικόνα 4.14: Γεωπληροφοριακός χάρτης – ΡΑΕ.

Η μελέτη αυτή έχει ως σκοπό τη συλλογή πληροφοριών για την εκτίμηση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών και του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Η ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου θα καλυφθούν από μια εγκατάσταση ανεμογεννητριών μικρής κλίμακας, οι οποίες θα τοποθετηθούν σχετικά κοντά στο κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Οι εισροές που θα προκύπτουν από την παραγόμενη ενέργεια των ανεμογεννητριών θα συμψηφίζονται με τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου.

4.7.1 Επιλογή Τοποθεσίας και Συλλογή Δεδομένων

Για τη συλλογή των απαραίτητων κλιματιστικών δεδομένων και την εκπόνηση της μελέτης των ανεμογεννητριών θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό της RetScreen. Το λογισμικό της RetScreen διαθέτει στους χρήστες του έναν παγκόσμιο χάρτη, μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να διαλέξει την περιοχή από την οποία θα αντλήσει τα κλιματιστικά δεδομένα και την περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 4.15 τα κλιματιστικά δεδομένα θα παρθούν από τη μετεωρολογική βάση δεδομένων της Nasa για το αεροδρόμιο του νησιού στο ύψος των 10 μέτρων. Η περιοχή της εγκατάστασης βρίσκεται μακριά από την πόλη της Αντιμάχειας και έτσι θα μπορέσουμε να εξαλείψουμε τυχόν προβλήματα θορύβου.



Εικόνα 4.15: Κλιματιστικά δεδομένα από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού της RetScreen.

Η περιοχή της τοποθέτησης βρίσκεται κοντά στο κεντρικό δίκτυο και είναι εύκολα προσβάσιμη από τους τριγύρω συγκοινωνιακούς κόμβους. Το υψόμετρο της περιοχής είναι 130 μέτρα και χαρακτηρίζεται από αιολικό δυναμικό ταχυτήτων άνω των 7 m/s και ενεργειακής πυκνότητας 614 Watt/m², μετρημένο σε ύψος των 100 m. Πληροφορίες για το αιολικό δυναμικό της συγκεκριμένης τοποθεσίας πάρθηκαν από τον παγκόσμιο αιολικό Άτλα (Global Wind Atlas). Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις (Εικόνα 4.16) περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την διεύθυνση των ανέμων και τη συχνότητα ύπαρξης υψηλών ταχυτήτων στην γύρω περιοχή.



Εικόνα 4.16: Γραφικές παραστάσεις ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου της περιοχής .

4.8 Μελέτη Εγκατάστασης Αιολικών Συστημάτων

Ο μηχανικός ο οποίος θα αναλάβει τη μελέτη και τη συνολική διαστασιολόγηση της εγκατάστασης είναι υπεύθυνος και για την επιλογή του εξοπλισμού του αιολικού συστήματος. Είναι επιτακτική ανάγκη να λάβει υπόψη του τις συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτιρίου, τις απαιτήσεις του επενδυτή-πελάτη, το τοπογραφικό ανάγλυφο και το αιολικό δυναμικό της περιοχής, όπου θα εγκατασταθούν οι ανεμογεννήτριες. Έχοντας στην κατοχή του όλα τα παραπάνω δεδομένα καλείται πλέον να επιλέξει μέσα από μια πολύ μεγάλη γκάμα τεχνολογιών το καταλληλότερο και αποδοτικότερο αιολικό σύστημα το οποίο θα καλύπτει ικανοποιητικά τις απαιτήσεις του επενδυτή.

Η ενέργεια που θα παράγουν οι τοπικές ανεμογεννήτριες θα συμπηφίζεται με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου. Το αιολικό σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Με τη χρήση μερικών ηλεκτρικών μετατροπών ισχύος και στο τέλος με τη διασύνδεση τους στον κεντρικό μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης, η παραγόμενη ενέργεια θα μπορεί πλέον να διοχετεύεται απευθείας στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Η ονομαστική ισχύς του αιολικού

συστήματος καλείται να καλύψει ένα μεγάλο ποσοστό από τις ενεργειακές απαιτήσεις του νηπιαγωγείου. Στην περίπτωση όπου η παραγόμενη ενέργεια υπερβαίνει τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις, τότε η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια θα διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο επιφέροντας ένα οικονομικό κέρδος στον επενδυτή. [25]

Ο κυριότερος στόχος μιας τέτοιας μελέτης είναι η επιλογή ενός αιολικού συστήματος το οποίο σε σχέση με την επιλεγμένη τοποθεσία εγκατάστασης και το αιολικό δυναμικό της περιοχής, θα χαρακτηρίζεται από έναν μεγάλο συντελεστή απόδοσης ισχύος (C_p). Ο συντελεστής C_p είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύος, η οποία παράγεται στον άξονα του δρομέα της ανεμογεννήτριας με τη συνολική αιολική ισχύ των ανέμων της περιοχής. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής ισχύος των αιολικών συστημάτων, τόσο και πιο ενεργειακά παραγωγική θα χαρακτηρίζεται η εγκατάσταση της.

Στο 2^ο Κεφάλαιο υπολογίσαμε αναλυτικά τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου, ενώ στο 3^ο Κεφάλαιο διαστασιολογήσαμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ονομαστικής ισχύος 30 kWatt για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτίσματος. Με βάση τα συνολικά αιολικά και κλιματικά δεδομένα που έχουμε συλλέξει, τις απαιτήσεις ισχύος και τα γενικότερα οικονομοτεχνικά κριτήρια, το αιολικό σύστημα που θα μελετήσουμε θα είναι μικρής κλίμακας ονομαστικής ισχύος των 30 kWatt. Συνεπώς, στο 5^ο Κεφάλαιο θα μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα δύο χωρητικά ισοδύναμα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής μεταξύ τους.

Οι ανεμογεννήτριες οι οποίες θα μπορέσουν να εκμεταλλευτούν αποδοτικότερα το αιολικό δυναμικό της K_w για την συγκεκριμένη περιοχή είναι τύπου οριζόντιου άξονα τριών πτερυγίων μεταβλητής ταχύτητας. Επιλέξαμε ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας ονομαστικής ισχύος των 10 kWatt η καθεμία, διότι με αυτό τον τρόπο θα μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε πλήρως το αιολικό δυναμικό της περιοχής, χωρίς να προκύπτουν μεγάλες απώλειες κατά την μεταφορά της ενέργειας (αυτό το αιολικό σύστημα είναι ιδανικό για την λειτουργία του σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, οι οποίες βρίσκονται αρκετά κοντά στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο) και διάφορα προβλήματα θορύβου.

4.8.1 Ανάλυση Τεχνικών Χαρακτηριστικών του Εξοπλισμού

Το μοντέλο των ανεμογεννητριών που επιλέξαμε για την υλοποίηση της μελέτη μας προέρχεται από την Αμερικανική κατασκευαστική εταιρία Bergey Windpower Company η οποία ιδρύθηκε το 1977. Η Bergey Windpower είναι μια από τις πιο έμπειρες και παλιές εταιρείες κατασκευής ανεμογεννητριών οικιακού μεγέθους σε όλο τον κόσμο. Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που επιλέξαμε ονομάζεται Excel 10, ονομαστικής ισχύος 10 kWatt (Εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.17: Μοντέλο ανεμογεννήτριας – Bergey Windpower Excel 10.

Το προαναφερόμενο μοντέλο είναι ιδανικό για σπίτια, φάρμες και μικρές επιχειρήσεις, καθώς λειτουργεί αθόρυβα και πάρα πολύ αποδοτικά σε ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων ανέμου. Τα τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά που συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα της εγκατάστασης είναι τα εξής :

- Αναφερόμαστε σε μια ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών οριζόντιου άξονα
- Συμπεριλαμβάνει σύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια μονίμων μαγνητών (Permanent Magnet Synchronous Generator)
- Το βάρος της φτάνει τα 545 κιλά
- Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν διαθέτει κιβώτιο ταχυτήτων (Gearbox) και κατά συνέπεια λειτουργεί μέσω ενός συστήματος άμεσης οδήγησης (Direct Drive System)
- Διαθέτει τρεις ανθεκτικές λεπίδες από υαλοβάμβακα και η τοποθέτηση της πλήμνης του δρομέα θα πρέπει να είναι κάθετη στην κατεύθυνση του ανέμου (3-Blade Upwind Type).

- Η συνηθέστερη επιλογή του πύργου της εγκατάστασης είναι πύργος πλέγματος χάλυβα και είναι διαθέσιμος σε διαφορετικά ύψη (18.3 m, 24.4 m, 30.5 m και 36.6 m)
- Η διάμετρος των πτερυγίων της γεννήτριας είναι 7 μέτρα και η περιοχή σάρωσής της έχει εμβαδόν 38.48 m².
- Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει διασυνδεδεμένη μια ουρά στο πίσω μέρος του κελύφους της ανεμογεννήτριας, η οποία διατηρεί ευθυγραμμισμένη την κεφαλή της ανεμογεννήτριας με τη φορά των ανέμων για ταχύτητες ανέμου έως και 16m/s.
- Στην περίπτωση υψηλών περιοδικών ανέμων (ταχύτητας άνω των 16 m/s) το σύστημα προστασίας "AutoFurl" δρα αυτόματα στρέφοντας την ανεμογεννήτρια μακριά από τους μετωπικούς ισχυρούς ανέμους. Η ανεμογεννήτρια ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις συνεχίζει να λειτουργεί αποδοτικά μέσα σε κάποια ασφαλή πλαίσια.
- Συμπεριλαμβάνει αντικεραυνική προστασία μέσω του συστήματος AutoFurl Storm Protection.
- Απαιτείται η χρήση αντιστροφέα ονομαστικής ισχύος 10 ή 12 kWatt για την κάλυψη των συνολικών απαιτήσεων ισχύος της γεννήτριας .
- Τέλος, η εταιρία ARPS World LLC σε συνεργασία με την Bergey Windpower παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να ελέγχουν τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας τους από απόσταση, μέσω του διαδικτύου ή ακόμη και του κινητού τους .

Τέλος, για να έχει το αιολικό μας σύστημα συνολικά ονομαστική ισχύ 30 Kwatt, θα χρειαστεί να εγκαταστήσουμε τρεις μικρές ανεμογεννήτριες Excel 10 των 10 Kwatt. Για την κάλυψη των απαιτήσεων ισχύος του συστήματος θα χρησιμοποιηθούν τρεις Inverters Powersync II των 10 kWatt, οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για τη σωστή λειτουργία της κάθε ανεμογεννήτριας ξεχωριστά.

4.8.2 Ανάλυση της Επίδοσης των Ανεμογεννητριών

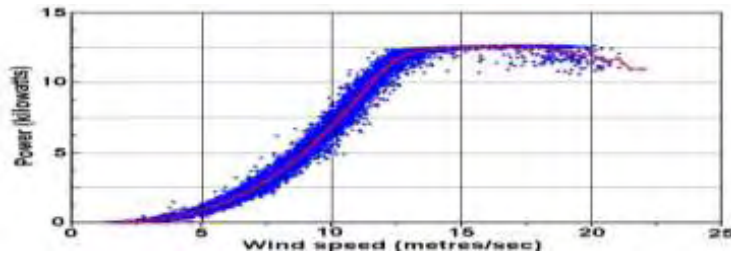
Ο συγκεκριμένος τύπος ανεμογεννητριών είναι αρκετά διαδεδομένος παγκοσμίως και χρησιμοποιείται ευρέως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παρόμοιων εγκαταστάσεων. Στο διαδίκτυο υπάρχουν αρκετές έγκυρες πληροφορίες σχετικά με την επίδοση του μοντέλου Bergey Excel 10. Το συμβούλιο της SWCC (Small Wind Certification Council) είναι ένα από τα μέλη της παγκόσμιας γνωστής εταιρίας ICC Evaluation Service. Μέσω του συμβουλίου αυτού πραγματοποιούνται διάφορες δοκιμές σχετικά με τη λειτουργία του συγκεκριμένου μοντέλου με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών και την καταγραφή αποτελεσμάτων. Το μοντέλο αυτό, όπως και πολλά άλλα μοντέλα ανεμογεννητριών, είναι το πλέον πιστοποιημένο σύμφωνα με το πρότυπο της AWEA (American Wind Energy Association). Τα αποτελέσματα των δοκιμών αναφέρονται στην ετήσια επίδοση μόνο μιας ανεμογεννήτριας, δίνοντας μας μια πλήρη εικόνα σχετικά με την απόδοση της σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Τα εργοστασιακά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος Excel 10, είναι τα εξής (Πίνακας 4.1):

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά λειτουργίας της ανεμογεννήτριας Excel 10.

Χαρακτηριστικά λειτουργίας της ανεμογεννήτριας Excel 10	
Ονομαστική ισχύς (Nominal Power)	10 kWatt
Μέγιστη Ισχύς	12.6 kWatt
Ελάχιστη ταχύτητα εκκίνησης (Cut-in Wind Speed)	2.5 m/s (5 mph)
Ταχύτητα απόκλισης της παραγωγής (Furling Wind Speed)	15.6 m/s (35 mph)
Μέγιστη ταχύτητα αντοχής (Maximum Design Wind Speed)	60 m/s (134 mph)
Χαρακτηριστικά Εξόδου (Output Form)	Phase AC 240 V και 60 Hz ή 220 V και 50 Hz
Ηλεκτρική Τάση λειτουργίας	DC 12/24/48 Volt
Διάρκεια Ζωής (Design Operation Life)	30 με 50 χρόνια
Εύρος Θερμοκρασίας (Temperature Range)	-40°C με 60°C

Η ηλεκτρικής ισχύς εξόδου που προκύπτει ανάλογα με τις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος (Εικόνα 4.18).



Εικόνα 4.18: Καμπύλη ισχύος του μοντέλου Bergey Excel 10 kWatt.

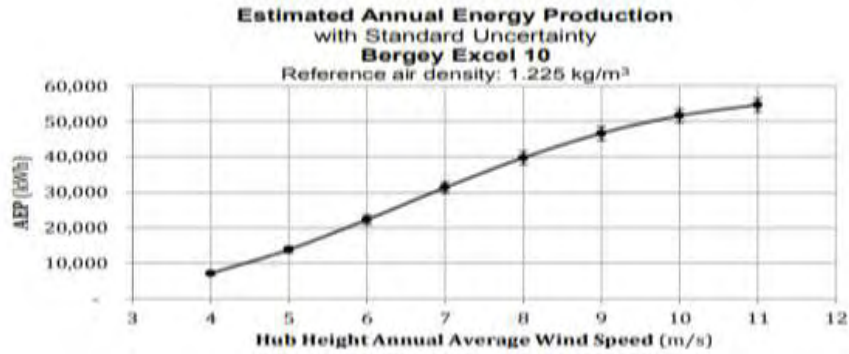
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην παραπάνω γραφική παράσταση, η ισχύς εξόδου μεγιστοποιείται για την ταχύτητα ανέμου των 15 m/s. Για μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτές των 15.6 m/s, η ισχύς εξόδου αρχίζει σιγά σιγά και αποκλίνει εξαιτίας της εξαναγκαστικής απομάκρυνσης των πτερυγίων (AutoFurl Protection System) της ανεμογεννήτριας από τη μετωπική κατεύθυνση των ανέμων προς αυτή για λόγους ασφάλειας.

Η βαθμολογημένη ετήσια παραγωγή ενέργειας της ανεμογεννήτριας Excel 10 για ταχύτητες ανέμου των 5 m/s είναι η 13.8 kWh, ενώ η μέση τιμή των επίπεδων θορύβου κυμαίνεται κοντά στα 50 dB. Πιο συγκεκριμένα παρακάτω παραθέτουμε τη μέση τιμή της ετήσιας παραγωγής ενέργειας για διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας (Εικόνα 4.19). Όσο πιο μεγάλες είναι οι ταχύτητες ανέμου, τόσο πιο μεγάλη είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια μας.

Hub Height Annual Average Wind Speed (m/s)	AEP Measured (kWh)
4	7,135
5	13,842
6	22,300
7	31,342
8	39,755
9	46,652
10	51,626
11	54,685

Εικόνα 4.19: Μέση τιμή της ετήσιας παραγωγής ενέργειας για διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

Βάσει των τιμών στην Εικόνα 4.19 προκύπτει η χαρακτηριστική καμπύλη της παραγόμενης ενέργειας (Εικόνα 4.20).

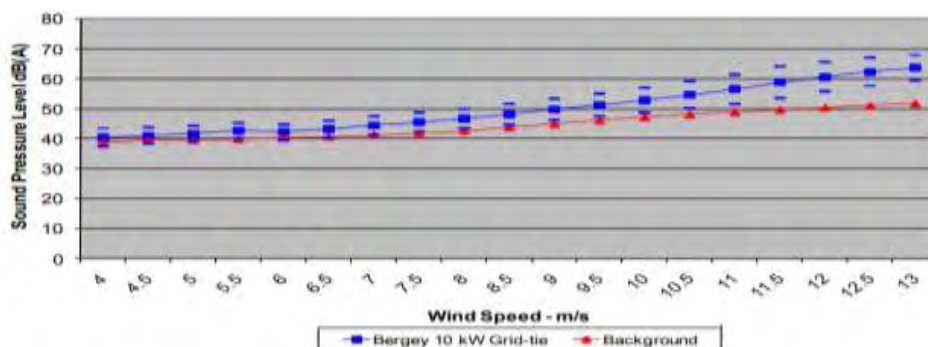


Εικόνα 4.20:

Γραφική παράσταση ισχύος - μέσω των τιμών ταχύτητας ανέμου στο ύψος της ανεμογεννήτριας.

Έχοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα σχετικά με την επίδοση των ανεμογεννητριών που μελετήσαμε, καταφέραμε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την συνολική λειτουργία τους. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής, όπου θα γίνει η τοποθέτηση του αιολικού συστήματος είναι αρκετά πλούσιο και η λειτουργία του μοντέλου των ανεμογεννητριών αυτών παράγει ικανοποιητικά ποσά ενέργειας υπό αυτές τις συνθήκες. [32]

Τέλος, τα επίπεδα θορύβου που προκαλούνται από τη συνεχόμενη λειτουργία του συγκεκριμένου μοντέλου σε σχέση με τις διάφορες ταχύτητες ανέμου δίνονται στην παρακάτω γραφική παράσταση (Εικόνα 4.21). Σημαντικό χαρακτηριστικό στοιχείο που μας έκανε να επιλέξουμε το μοντέλο αυτό είναι ότι λειτουργεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα θορύβου. Η τοποθεσία της εγκατάστασης μας βρίσκεται κοντά στο αεροδρόμιο της πόλης ενώ απέχει περίπου 300 μετρά από αυτήν. Έχοντας αυτές τις πληροφορίες γνωρίζουμε ότι η εγκατάσταση μας δεν θα προκαλέσει κάποιο κοινωνικό πρόβλημα. [32]



Εικόνα 4.21: Επίπεδα θορύβου της EXCEL 10 σε σχέση με τις ταχύτητες ανέμου.

4.9 Υπολογισμός Ενεργειακής Παραγωγής Αιολικού Συστήματος

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη συνολική παραγόμενη ενέργεια του αιολικού μας συστήματος, το σημαντικότερο στοιχείο που θα πρέπει να έχουμε στην κατοχή μας είναι πληροφορίες σχετικές με τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου για κάθε μήνα του χρόνου ξεχωριστά. Η ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει από την συνεχόμενη λειτουργία ενός αιολικού συστήματος έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα και με την χρονική διάρκεια πρόσπτωσης των ανέμων πάνω στην ανεμογεννήτρια. Για έναν ολοκληρωμένο και σωστό υπολογισμό της συνολικής ενεργειακής παραγωγής, θα πρέπει να συμπεριληφθούν και η συνολικές ενεργειακές απώλειες του αιολικού μας συστήματος.

4.9.1 Απώλειες Συστήματος

Οι απώλειες του συστήματος έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική παραγωγή των ανεμογεννητριών. Οι υπερβολικά υψηλές ταχύτητες ανέμων δεν αξιοποιούνται πάντοτε με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Οι ανεμογεννήτριες επιδιώκουν να λειτουργούν με σταθερό ρυθμό ισχύος, ρυθμίζοντας την κλίση των πτερυγίων ή ακόμη και τη θέση του δρομέα για λόγους ασφάλειας. Μέσα από αυτήν τη διαδικασία υπάρχει αρκετό αιολικό δυναμικό το οποίο μένει ανεκμετάλλευτο. Η χειρότερη περίπτωση είναι, όταν το σύστημα μας διακόπτει την λειτουργία του δρομέα λόγω των υπερβολικά δυνατών ανέμων.

Αεροδυναμικές απώλειες παραγωγής προκύπτουν κυρίως από τη ρύπανση των πτερυγίων των ανεμογεννητριών (airfoil losses). Η δημιουργία παγετού και η συσσώρευση αποβλήτων μπορούν να ελαττώσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Με τη συχνή συντήρηση και τον καθαρισμό των λεπίδων επιλύεται εύκολα αυτό το πρόβλημα. Οι απώλειες κενού φορτίου μπορούν να φτάσουν μέχρι και 10% της συνολικής παραγωγής. Εξαρτώνται άμεσα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα επίπεδα υγρασίας, το υψόμετρο στο οποίο είναι εγκατεστημένο το μηχάνημα και τον γενικότερο σχεδιασμό του συστήματος.

Στο μηχανικό κομμάτι του συστήματος οι μεικτές απώλειες (Miscellaneous losses) αντιπροσωπεύουν τις απώλειες ενέργειας που προκύπτουν από τις αναγκαστικές παύσεις και εξαναγκαστικές εκκινήσεις του συστήματος λόγω των διαφόρων δυσλειτουργιών που μπορούν να προκύψουν. Κατά κύριο λόγο ένα κομμάτι των απωλειών αυτών αναφέρεται στις μηχανικές απώλειες του άξονα περιστροφής και του δρομέα. Μέσα στις απώλειες αυτές συμπεριλαμβάνονται και οι απώλειες των γραμμών μεταφοράς από το σημείο της εγκατάστασης μέχρι το σημείο στο οποίο διοχετεύεται η ηλεκτρική ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο. Συνολικά οι τυπικές τιμές που χαρακτηρίζουν όλες αυτές τις απώλειες είναι μεταξύ του 1% με 6% της συνολικής παραγωγής.

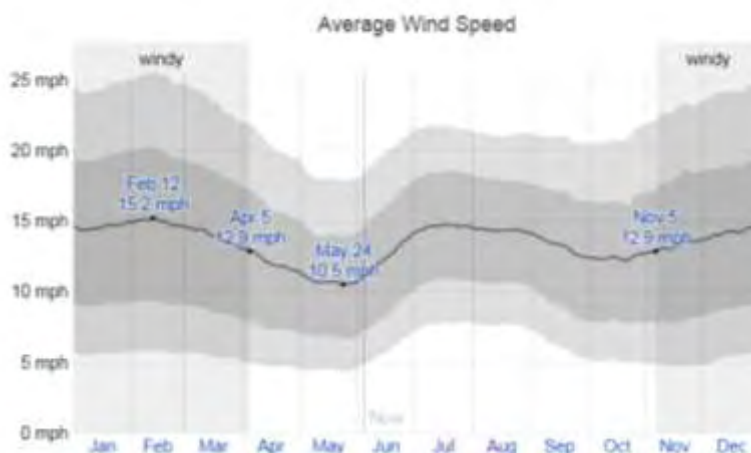
Τέλος, ένα αιολικό σύστημα συνήθως διαστασιολογείται με παραπάνω από μια ανεμογεννήτριες. Ο τρόπος με τον οποίο οι ανεμογεννήτριες θα διαταχθούν στην περιοχή της εγκατάστασης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη συνολική απόδοση του συστήματος. Όλες οι ανεμογεννήτριες της εγκατάστασης δεν εκμεταλλεύονται εξίσου καλά το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Οι ανεμογεννήτριες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Οι απώλειες συστοιχιών (Array Losses) εξαρτώνται από την μεταξύ τους απόσταση, τον προσανατολισμό και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Οι απώλειες συστοιχιών για μονάχα μια ανεμογεννήτρια είναι 0%. Ενώ για μια ομάδα ανεμογεννητριών οι απώλειες τους μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 20%. Ένα αιολικό σύστημα το οποίο θεωρείται σωστά σχεδιασμένο θα πρέπει να έχει λιγότερες απώλειες του 5% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής. [24]

4.10 Εισαγωγή Δεδομένων στο Πρόγραμμα της Retscreen

Για να ολοκληρώσουμε την μελέτη μας πρέπει πρώτα να εισάγουμε όλες τις πληροφορίες και τα δεδομένα του αιολικού συστήματος στο λογισμικό της RetScreen. Το Retscreen είναι ένα λογισμικό διαχείρισης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσω του οποίου μπορούμε να ελέγξουμε την ενεργειακή αποδοτικότητα και να αναλύσουμε την ενεργειακή επίδοση του συστήματός μας.

4.10.1 Εισαγωγή Κλιματιστικών Δεδομένων

Το πρώτο βήμα που καλούμαστε να κάνουμε, είναι να εισάγουμε τα σχετικά δεδομένα με την τοποθεσία της εγκατάστασης στο λογισμικό. Στην παραπάνω ενότητα αναλύσαμε το αιολικό δυναμικό της περιοχής και πιο συγκεκριμένα επιλέξαμε την τοποθεσία της εγκατάστασης με σκοπό να αντλήσουμε τα κλιματιστικά δεδομένα της περιοχής. Στην παρακάτω γραφική παράσταση (Εικόνα 4.22) βλέπουμε τις μηνιαίες μέσες τιμές των ταχυτήτων ανέμων στα 10 μέτρα από το έδαφος για την τριγύρω περιοχή του αεροδρομίου της Κω. Αυτά τα μετεωρολογικά δεδομένα τα έχουμε αντλήσει από έναν έγκυρα πληροφορημένο μετεωρολογικό σταθμό. Όπως φαίνεται και παρακάτω, το λογισμικό της Retscreen μας δίνει την δυνατότητα να διεξαγάγουμε μελέτη τριών επιπέδων. Το πρώτο επίπεδο μελέτης αναλύει μονάχα τα δεδομένα που έχουμε αντλήσει από τον χάρτη του λογισμικού. Ενώ στο δεύτερο και τρίτο επίπεδο ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει χειροκίνητα περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τα κλιματιστικά δεδομένα της περιοχής.



Εικόνα 4.22: Μηνιαίες μέσες τιμές των ταχυτήτων ανέμων στα 10m για την υπό μελέτη περιοχή.

Η μελέτη που επιλέξαμε να υλοποιήσουμε είναι τρίτου επιπέδου (Εικόνα 4.23). Το λογισμικό της RetScreen μας ζητάει να ορίσουμε τις μέσες ταχύτητες ανέμου για κάθε μήνα του έτους ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να διαθέσει στο πρόγραμμα πιο πολλά δεδομένα, ώστε τα αποτελέσματα της μελέτης του να είναι πιο έγκυρα.

Month	Wind speed	Atmospheric pressure		Air temperature		Climate Data		Electricity export rate €/MWh	Electricity exported to grid MWh
	m/s	kPa	kPa	°C	°C	m/s	kPa		
January	6.7	101.4	101.4	11.1	11.1	4.7	101.4	91	2,882
February	6.8	101.2	101.2	10.6	10.6	5.3	101.2	91	2,482
March	6.6	101.1	101.1	12.3	12.3	4.7	101.1	91	2,599
April	5.7	100.9	100.9	15.4	15.4	4.5	100.9	91	1,894
May	4.8	100.9	100.9	19.4	19.4	4.4	100.8	91	1,400
June	3.3	100.7	100.7	23.7	23.7	5.1	100.7	91	1,394
July	4.5	100.4	100.4	25.8	25.8	5.7	100.4	91	2,419
August	4.3	100.5	100.5	25.8	25.8	5.4	100.5	91	2,311
September	4.0	100.9	100.9	23.3	23.3	4.8	100.9	91	2,040
October	5.5	101.2	101.2	19.6	19.6	4.3	101.2	91	1,780
November	5.7	101.4	101.4	15.4	15.4	4.3	101.4	91	1,818
December	6.5	101.4	101.4	12.4	12.4	4.7	101.4	91	2,441
Annual	6.0	101.0	101.0	17.9	17.9	4.8	101.0	91	25,546

Measured at: m, 10
Wind shear exponent: 0.14

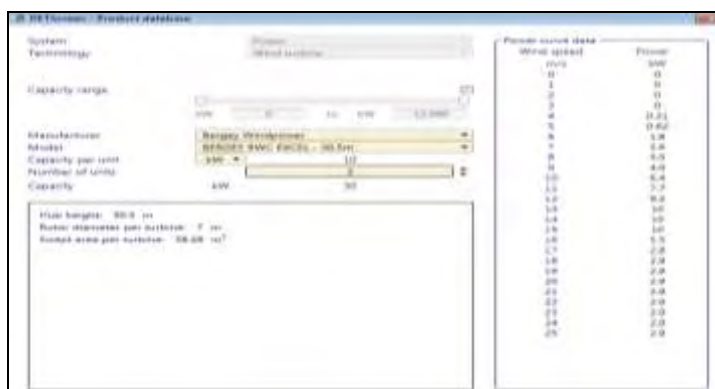
Εικόνα 4.23: Ορισμός κλιματιστικών δεδομένων στο λογισμικό της Retscreen .

Εφόσον έχουν ορισθεί οι μηνιαίες τιμές της αιολικής ταχύτητας και το ύψος καταμέτρησής τους, μένει να ορισθεί και ο συντελεστής διάτμησης του ανέμου λόγω των τυρβών (Wind Shear Exponent) από το έδαφος. Ένας χαμηλός συντελεστής διάτμησης αναφέρεται σε ένα ομαλό έδαφος, ενώ ένας μεγαλύτερος χαρακτηρίζει ένα τραχύτερο έδαφος με αρκετές ιδιομορφίες. Μέσω αυτού του συντελεστή το πρόγραμμα υπολογίζει τη μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των ανεμογεννητριών. Οι τιμές του συντελεστή αυτού κυμαίνονται συνήθως μεταξύ του 0.1 και 0.4. Η τιμή του συντελεστή διάτμησης που επιλέξαμε είναι το 0.14, μια αρκετά καλή προσέγγιση για τα εδαφολογικά δεδομένα της περιοχής.

4.10.2 Εισαγωγή των Χαρακτηριστικών του Εξοπλισμού

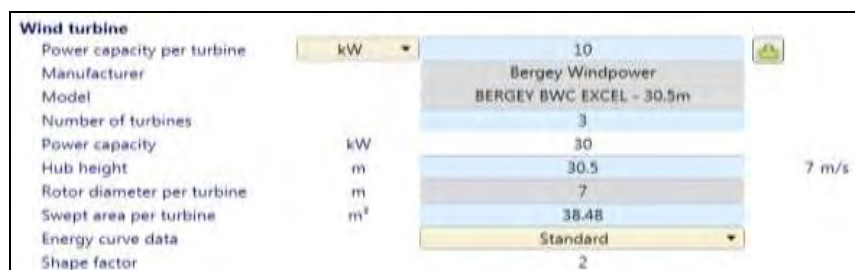
Τα αμέσως επόμενα δεδομένα που απαιτεί το λογισμικό να ορισθούν από τον χρήστη, είναι οι σχετικές πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού του αιολικού μας συστήματος. Το λογισμικό της Retscreen διαθέτει μια τεράστια και πλήρως ενημερωμένη βιβλιοθήκη με πάρα πολλά μοντέλα ανεμογεννητριών τα οποία είναι διαθέσιμα αυτή την στιγμή στην παγκόσμια αγορά. Στο παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 4.24) βλέπουμε κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου που επιλέξαμε καθώς και τον αριθμό των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν. Πιο συγκεκριμένα έχουμε επιλέξει από την κατασκευαστική εταιρία της Bergey Windpower το μοντέλο τον 10 kWatt (Excel 10) με

ύψος πύργου 30.5 μέτρα. Οι μονάδες που θα εγκατασταθούν θα είναι συνολικά τρεις, οπότε η συνολική ονομαστική ισχύς του αιολικού μας συστήματος θα φτάνει τα 30KW. Στα δεξιά του παραθύρου το λογισμικό παραθέτει δεδομένα σχετικά με την ονομαστική ισχύ λειτουργίας της ανεμογεννήτριας για διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου.



Εικόνα 4.24: Η επιλογή του μοντέλου και του συνολικού αριθμού των ανεμογεννητριών.

Εφόσον έχουμε ορίσει όλα τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με τον εξοπλισμό του συστήματος (Εικόνα 4.24), το λογισμικό στη συνέχεια από μόνο του υπολογίζει την μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα των ανεμογεννητριών. Για την συγκεκριμένη μελέτη έχει υπολογισθεί στα 7 m/s και μέσω αυτής της τιμή θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την ακριβή παραγόμενη ενέργεια του συστήματος.



Εικόνα 4.24: Διαστασιολόγηση και εισαγωγή δεδομένων του αιολικού συστήματος.

4.10.3 Συμπεριλαμβάνοντας τις Ενεργειακές Απώλειες στη Μελέτη

Το λογισμικό της Retscreen για να μπορέσει να υπολογίσει σωστά τη συνολική παραγόμενη ενέργεια, θα πρέπει να συμπεριλάβει στη μελέτη τα ποσοστά ενεργειακών απωλειών. Αρχικά ορίσαμε με 0.5% τις απώλειες συστοιχιών (array

losses) καθώς έχουμε στη διάθεση μας άπλετο χώρο για την τοποθέτηση των τριών ανεμογεννητριών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είμαστε σε θέση να διαλέξουμε τις καλύτερες δυνατές θέσεις τοποθέτησης δίχως οι ανεμογεννήτριες να αλληλοεπιδρούν αρνητικά μεταξύ τους.

Σχετικά με τις μηχανικές απώλειες συστήματος (Airfoil losses) που προκύπτουν λόγω της κακής αεροδυναμικής λειτουργίας των πτερυγίων, το ποσοστό απωλειών που επιλέξαμε είναι το 2.2%, μια προτεινόμενη τιμή από το λογισμικό της Retscreen για το συγκεκριμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας.

Όλα τα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής χαρακτηρίζονται από διαφορών ειδών ενεργειακές απώλειες. Οι μη προκαθορισμένες απώλειες λόγω δυσλειτουργίας του συστήματος και οι απώλειες των γραμμών μεταφοράς (miscellaneous losses) έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική ενεργειακή παραγωγή του συστήματος. Το ποσοστό αυτών των απωλειών που επιλέξαμε να συμπεριληφθούν στην μελέτη μας είναι ίσο με το 2% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής.

Για να μπορέσει το λογισμικό να υπολογίσει τη συνολική μέση τιμή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας είναι απαραίτητο να ορισθεί και το κατά ποσό το αιολικό μας σύστημα θα είναι λειτουργικά ενεργό κατά τη διάρκεια του ενός έτους. Πρέπει ο υπεύθυνος μηχανικός να συμπεριλάβει στη μελέτη του και τη διαθεσιμότητα του συστήματος (System Availability). Ένα αιολικό σύστημα απαιτεί για την αποδοτική του λειτουργία να συντηρείται και να ελέγχεται συχνά. Σφάλματα λειτουργιών μπορούν να προκαλέσουν τη διακοπή λειτουργίας του σταθμού, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής. Το αιολικό μας σύστημα με βάση τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής θεωρούμε ότι θα είναι διαθέσιμο για το 97% του συνολικού χρόνου λειτουργίας του.

Παρακάτω βλέπουμε τα υπολογισμένα ποσοστά ενεργειακών απωλειών τα οποία έχουμε εισάγει χειροκίνητα στο λογισμικό (Εικόνα 4.25). Το λογισμικό με την σειρά του θα συμπεριλάβει όλες τις πληροφορίες τις οποίες έχουμε εισαγάγει σε αυτό και στην συνέχεια αυτόματα θα μας δώσει μια ικανοποιητική εικόνα σχετικά με την ενεργειακή επίδοση του αιολικού μας συστήματος .

Losses		
Array losses	%	0.5%
Airfoil losses	%	2.2%
Miscellaneous losses	%	2%
Availability	%	97%

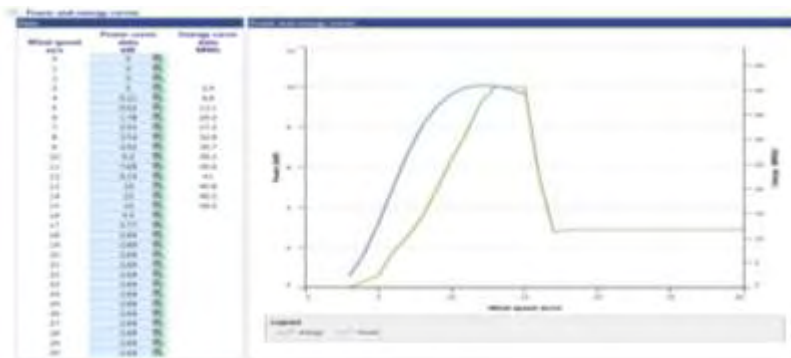
Εικόνα 4.25: Τα ποσοστά των συνολικών απωλειών του αιολικού συστήματος.

4.10.4 Αποτελέσματα Μελέτης

Έχοντας εισαγάγει όλα τα απαραίτητα δεδομένα, το λογισμικό πλέον μπορεί να μας δώσει αρκετές πληροφορίες σχετικά με την εκτιμώμενη απόδοση του αιολικού μας συστήματος. Ο συντελεστής χωρητικότητας (capacity factor) ενός συστήματος είναι ο λόγος της ετήσιας πραγματικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την ετήσια μέγιστη θεωρητική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.[24] Μέσω αυτού μπορεί να εκτιμηθεί η ενεργειακή παραγωγή ενός αιολικού συστήματος για μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Ο τυπικός συντελεστής χωρητικότητας ενός αιολικού συστήματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των τιμών 20% και 40%. Με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την τοποθεσία του αιολικού μας συστήματος, το λογισμικό της Retscreen έχει διαστασιολογήσει το σύστημα μας με έναν συντελεστή χωρητικότητας 28.2%. Αυτή η τιμή είναι αρκετά ρεαλιστική και έτσι το αιολικό μας σύστημα χαρακτηρίζεται ως τεχνικοοικονομικά αποδοτικό.

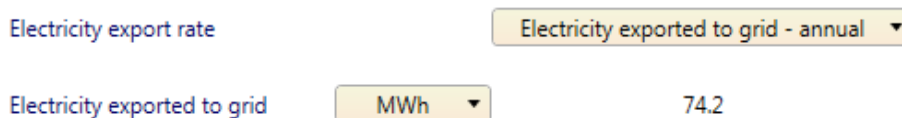
Η ενέργεια εξόδου ενός αιολικού συστήματος έχει άμεση σχέση με τις ταχύτητες ανέμου της περιοχής. Έχοντας στη διάθεση μας όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των ανεμογεννητριών, τις απώλειες παραγωγής και τις ανάλογες ταχύτητες ανέμου στο ύψος των ανεμογεννητριών, μπορούμε να υπολογίσουμε την ετήσια ενεργειακή παραγωγή του συστήματος. Έχοντας ολοκληρώσει τη μελέτη μας, το λογισμικό με τη σειρά του προσομοιώνει τη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Στην παρακάτω γραφική παράσταση με μπλε χρώμα δίνεται η καμπύλη ενέργειας και με πράσινο η καμπύλη ισχύος της μιας από τις τρεις ανεμογεννήτριες του αιολικού μας συστήματος. Η πράσινη καμπύλη υποδηλώνει το πόσο μεγάλη θα είναι η ηλεκτρική ισχύς (kWatt) του δρομέα εν λειτουργία, ενώ η μπλε την ετήσια ηλεκτρική ενέργεια (MWh) που διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο για τις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

Στα αριστερά της γραφικής παράστασης βλέπουμε τα δεδομένα με τα οποία έχει ορισθεί η γραφική μας παράσταση. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το αιολικό μας σύστημα ξεκινά να παράγει ενέργεια για ταχύτητες ανέμου άνω των 3 m/s, ενώ για υψηλές ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 15 m/s παρατηρείται μια σταθερή μείωση της παραγωγής λόγω της ενεργοποίησης του συστήματος προστασίας και στην συνέχεια της απομάκρυνσης του δρομέα από τους επικίνδυνους μετωπικούς ανέμους.



Εικόνα 4.26: Οι καμπύλες ενέργειας και ισχύος από το λογισμικό της Retscreen.

Η εκτιμώμενη από το πρόγραμμα ετήσια διοχέτευση ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο (Electricity exported to grid- annual) φτάνει τις 74.2 MWh/year (Εικόνα 4.27).



Εικόνα 4.27: Η συνολική παραγόμενη ενέργεια της αιολικής εγκατάστασης.

Τέλος, μια γενικότερη σύνοψη των αποτελεσμάτων λειτουργίας της κάθε μια ανεμογεννήτριας ξεχωριστά (Εικόνα 4.28). Στις ιδανικότερες κλιματιστικές συνθήκες (Unadjusted energy production) το μοντέλο των ανεμογεννητριών μας θα μπορούσε να διοχετεύει ετήσια 27.1 MWh ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Στα αποτελέσματα της μελέτης μας συμπεριλαμβάνονται όλων των ειδών οι ενεργειακές απώλειες, οι επιδράσεις των ατμοσφαιρικών πιέσεων (Pressure Coefficient) αλλά και οι συνθήκες θερμοκρασίας (Temperature coefficient) στην περιοχή της εγκατάστασης. Μέσω των παραπάνω συντελεστών το λογισμικό υπολογίζει την πραγματική ετήσια παραγωγή ενέργειας (Gross Energy Production) της κάθε ανεμογεννήτριας. Ο συντελεστής

απωλειών (Losses Coefficient) του αιολικού μας συστήματος χαρακτηρίζεται από την τιμή 0.93. Αν πολλαπλασιάσουμε την πραγματική ετήσια παραγωγή και των τριών ανεμογεννητριών επί του συντελεστή απωλειών του συστήματος θα καταλήξουμε κοντά στην εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή του αιολικού μας συστήματος ($3 \cdot 26.7 \cdot 0.93 = 74.493$ MWh/year). Ως πορίσμα, το λογισμικό της Retscreen βαθμολογεί την ειδική απόδοση (Specific Yield) του μοντέλου των ανεμογεννητριών που επιλέξαμε με την τιμή των 643 kWh/m².

Other information		Per turbine
Unadjusted energy production	MWh	27.1
Pressure coefficient		0.997
Temperature coefficient		0.990
Gross energy production	MWh	26.7
Losses coefficient		0.93
Specific yield	kWh/m ²	643

Εικόνα 4.28: Αποτελέσματα της λειτουργίας των ανεμογεννητριών από το λογισμικό της Retscreen.

5^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη

Στο 1^ο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας αναφερθήκαμε στην αναγκαιότητα της ύπαρξης και της ένταξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται αρκετά ευέλικτες και έχουν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον αλλά και στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας μας. Η ενεργειακή και οικολογική κρίση της εποχής μας είναι πλέον αισθητή σε ολόκληρο τον πλανήτη. Σύμφωνα με το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας μας, τα κτίρια του βιομηχανικού και του οικιακού τομέα αποτελούν σημαντικούς καταναλωτές ενέργειας. Τα οικολογικά και οικονομικά προβλήματα που προκύπτουν λόγω της βιομηχανικής επανάστασης, της έλλειψης των διαθέσιμων ορυκτών πόρων και της αύξησης των ενεργειακών αναγκών της εποχής μας, έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία καθοδηγητικών οδηγιών (KENAK) από την Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό την εξοικονόμηση και τη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων. Η ενεργειακά αποδοτική σχεδίαση του κελύφους και η κατάλληλη διαστασιολόγηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων του κτιρίου (συστήματα θέρμανσης, αερισμού, ψύξης, φωτισμού και λοιπών παροχών), είναι πλέον ο πιο αποδοτικός τρόπος οριοθέτησης και μείωσης των περιττών καταναλώσεων ενέργειας στην εποχή μας.

Στο 2^ο Κεφάλαιο βάσει των αρχιτεκτονικών σχεδίων και των βοηθητικών οδηγιών του κανονισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (KENAK), υπολογίσαμε όλες τις ενεργειακές απαιτήσεις των ηλεκτρολογικών συστημάτων και στη συνέχεια σχεδιάσαμε ένα ηλεκτρολογικό δίκτυο το οποίο θα καλύπτει αποδοτικά όλες τις ενεργειακές ανάγκες του νηπιαγωγείου. Η καταγραφή όλων των ηλεκτρολογικών συσκευών και ο συμψηφισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων τους βάσει του ταυτοχρονισμού και των μηνιαίων ωρών λειτουργίας τους μας έδωσε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τις συνολικές ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτίσματος .

Πριν τον υπολογισμό των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων και για λόγους σύγκρισης, υπολογίσαμε δυο διαφορετικά σενάρια λειτουργίας. Ένα κέντρο προσχολικής αγωγής δεν λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου καθώς μεσολαβούν οι θερινές διακοπές αλλά και πολλές σχολικές αργίες. Τα σενάρια λειτουργίας και οι ενεργειακές καταναλώσεις βάσει αυτών είναι τα εξής :

1. Κατά την οχτάμηνη λειτουργία του νηπιαγωγείου υπολογίσαμε ότι θα καταναλωθούν συνολικά 71,5 MWh
2. Κατά την δεκάμηνη λειτουργία του νηπιαγωγείου υπολογίσαμε ότι θα καταναλωθούν συνολικά 89.4 MWh

Τέλος, στο 3^ο και στο 4^ο Κεφάλαιο αναφερθήκαμε στα φωτοβολταϊκά και στα αιολικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η χώρα μας και πιο συγκεκριμένα η τοποθεσία της εγκατάστασης (το νησί της Κω) διαθέτει πλούσιο ηλιακό και αιολικό δυναμικό. Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την αποδοτική σχεδίαση της εγκατάστασης θα προσφέρουν πολλά περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά οφέλη στους επενδυτές της επιχείρησης. Για την υλοποίηση της μελέτης συλλέχθηκαν έγκυρες μετεωρολογικές πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία εγκατάστασης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής. Στη συνέχεια επιλέχθηκε και διαστασιολογήθηκε κατάλληλα ο απαραίτητος εξοπλισμός βάση των πληροφοριών αυτών.

5.2 Σύγκριση Ηλεκτροπαραγωγής και Ζήτησης

Η παραγόμενη ενέργεια που προκύπτει από την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και της κινητικής δύναμης των ανέμων υπολογίσθηκε με τη βοήθεια λογισμικών προσομοίωσης (του PVSyst και του Retscreen). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και της εγκατάστασης των ανεμογεννητριών είναι από 30 kWatt η καθεμία. Οι προαναφερόμενες μελέτες υλοποιήθηκαν ξεχωριστά με σκοπό τη μεμονωμένη τους λειτουργία και την απευθείας διοχέτευση της παραγόμενης ενέργειας στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο (δίχως την παρεμβολή

συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας). Η συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια των συστημάτων είναι η εξής:

- Η προσομοίωση της λειτουργίας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης έδειξε ότι θα παράγει ετησίως 78.8 MWh/year.
- Η προσομοίωση της λειτουργίας των αιολικών συστημάτων έδειξε ότι θα παράγει ετησίως 74.2 MWh/year.

Η παραγόμενη ενέργεια των συστημάτων θα διοχετεύεται απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ μέσω των ηλεκτρικών μετατροπών ισχύος. Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος και των ανεμογεννητριών μπορούν να καλύψουν πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις του νηπιαγωγείου για την οχτάμηνη του λειτουργία (σενάριο 1^ο). Το πλεόνασμα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει τις 7.3MWh/year για τα φωτοβολταϊκά και τις 2.7 MWh/year για τις ανεμογεννήτριες. Σε αντίθετη περίπτωση με το πρώτο σενάριο, στο σενάριο της δεκάμηνης λειτουργίας (σενάριο 2^ο) η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των συστημάτων δεν θα αρκεί από μόνη της για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου (έλλειψη 10.6 MWh/year για τα φωτοβολταϊκά και 15.2 MWh/year για τις ανεμογεννήτριες). Η υπολειπόμενη απαιτούμενη ενέργεια θα διοχετεύεται σταθερά από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ και θα κοστολογείται ανάλογα.

Τέλος, ο ενεργειακός συμψηφισμός (net metering) συνήθως πραγματοποιείται σε ετήσια βάση. Τυχόν πλεόνασμα παραγόμενης ενέργειας αποζημιώνεται ανάλογα με την υπογεγραμμένη συμφωνία που έχει γίνει μεταξύ του ιδιώτη παραγωγού και του ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας).

5.3 Αξιολόγηση Μελέτης

Για τη σωστή αξιολόγηση της συνολικής μελέτης, την ανάλυση της λειτουργίας και την επιλογή των κατάλληλων ηλεκτρολογικών συστημάτων της εγκατάστασης πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Οι βασικότεροι παράγοντες από αυτούς είναι οι εξής:

- Τα Οικονομικά κριτήρια

- Απαιτήσεις υγιεινής διαβίωσης (θέρμανση, ψύξη, εξαερισμός)
- Διαθεσιμότητα χώρου και χρόνου για την υλοποίηση του έργου
- Αποδοτικότητα συστημάτων

Για παράδειγμα, για τον φωτισμό του κτιρίου εγκαταστήσαμε λάμπες LED. Το αρχικό κόστος αγοράς τους είναι πολύ πιο μεγάλο από τις λάμπες φθορισμού. Από την άλλη πλευρά η ενεργειακή τους κατανάλωση είναι πιο οικονομική, αν συγκριθούν με τις κλασικές λάμπες οικονομίας, γεγονός το οποίο θα επιφέρει μακροχρόνια εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και εξοικονόμηση χρημάτων. Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 5 έως 10 χρόνια επιφέροντας στον χρήστη υψηλή φωτιστική απόδοση δίχως μεγάλες απώλειες θέρμανσης.

Στον κτιριακό τομέα τα συστήματα κλιματισμού απαιτούν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος για την κάλυψη όλων των αναγκών του κτιρίου. Ο αερισμός, η θέρμανση και η ψύξη των χώρων ενός κτιρίου μπορούν να καλυφθούν από πολλά και διαφορετικά συστήματα. Στην παρούσα εργασία συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την εκπόνηση μελέτης των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων του κτιρίου. Επιλέχθηκαν τα εξής συστήματα :

1. Για την κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης επιλέξαμε έναν κεντρικό λέβητα αερίου (Ονομαστικής ισχύος 0.5 kWatt).
2. Για την κάλυψη των απαιτήσεων ψύξης επιλέξαμε μια ηλεκτρική αερόψυκτη αντλία θερμότητας αέρα-νερού (Ονομαστικής ισχύος 30 kWatt).
3. Για την κάλυψη των απαιτήσεων αερισμού μια Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (Ονομαστικής ισχύος 3 kWatt).

Βάσει του συνολικού κόστους και του συντελεστή απόδοσης των συστημάτων κλιματισμού επιλέγουμε και το κατάλληλο σύστημα. Ο συντελεστής απόδοσης των συστημάτων κλιματισμού (COP) χαρακτηρίζει τη γενικότερη λειτουργία του συστήματος και κατά συνέπεια προσδιορίζει την κατανάλωση ρεύματος και ενέργειας. Ο συντελεστής αυτός προσδιορίζεται από τον λόγο της αποδιδόμενης ψυκτικής ή θερμικής ισχύος του συστήματος κλιματισμού προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφάται από το δίκτυο της ΔΕΗ. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1, ο συντελεστής

απόδοσης της ηλεκτρικής αερόψυκτης αντλίας θερμότητας που επιλέξαμε για την ψύξη των χώρων κυμαίνεται από τα 2.8 έως και τα 3.2.

ΤΥΠΟΣ ΨΥΚΤΗ-ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΨΥΞΗΣ COP _{cool} - EER
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΕΡΑ-ΝΕΡΟΥ	2.8 - 3.2
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΣ - SPLIT TYPE	3.00 - 3.80
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΣ ΤΥΠΟΥ VRV - VRF	3.10 - 4.30
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	4.00 - 5.00
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΤΥΠΟΥ VRV	4.10 - 4.90
ΤΥΠΟΣ ΨΥΚΤΗ-ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ COP _{heat}
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΕΡΑ-ΝΕΡΟΥ	2.8 - 3.2
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΣ - SPLIT TYPE	3.30 - 4.00
ΑΕΡΟΨΥΚΤΗ ΑΜΕΣΟΥ ΕΚΤΟΝΩΣΕΩΣ ΤΥΠΟΥ VRV - VRF	3.70 - 4.55
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	4.30 - 5.50
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΤΥΠΟΥ VRV	5.10 - 5.80

Εικόνα 5.1: Συντελεστές απόδοσης των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης.

Ένα πολύ αποδοτικό σύστημα για την ψύξη αλλά και για την θέρμανση των χώρων ενός κτιρίου είναι η αερόψυκτη αντλία άμεσης εκτόνωσης τύπου VRV-VRF (Variable Refrigerant Volume- Variable Refrigerant Flow). Οι αντλίες άμεσης εκτόνωσης χαρακτηρίζονται από συντελεστή απόδοσης ο οποίος κυμαίνεται από τα 3.1 έως και τα 4.3. Για παράδειγμα οι απαιτήσεις των ψυκτικών φορτίων ολοκλήρου του κτιρίου υπολογίστηκαν ότι είναι συνολικά 88 kWatt. Από αυτά, τα ψυκτικά φορτία αερισμού φτάνουν τα 14.2 kWatt (με την χρήση εναλλάκτη αέρα-αέρα για εξοικονόμηση ενέργειας μέσω ανάκτησης 50% του φορτίου αερισμού) και τα υπόλοιπα 73.8 kWatt είναι τα ψυκτικά φορτία χώρου. Αν συγκρίνουμε τα δύο συστήματα μεταξύ τους σχετικά με τις απαιτήσεις της ηλεκτρικής τους ισχύος παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

- Για την κάλυψη του ψυκτικού φορτίου του νηπιαγωγείου με την χρήση μιας ηλεκτρικής αερόψυκτης αντλίας θερμότητας (με συντελεστή απόδοσης COP=3), χρειαζόμαστε ένα σύστημα ονομαστικής ισχύος τουλάχιστον των 29.3 kWatt.
- Για την κάλυψη του ψυκτικού φορτίου του νηπιαγωγείου με την χρήση μιας αντλίας άμεσης εκτόνωσης τύπου VRV-VRF (με συντελεστή απόδοσης COP=3.7), χρειαζόμαστε ένα σύστημα ονομαστικής ισχύος τουλάχιστον των 23.8 kWatt.

Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής απόδοσης ενός συστήματος, τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικό θα είναι το σύστημα αυτό. Στην παρούσα εργασία δεν επιλέξαμε ένα σύστημα άμεσης εκτόνωσης τύπου VRV-VRF, διότι χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλό κόστος αγοράς και κόστος εγκατάστασης. Για την επιλογή των καταλληλότερων ηλεκτρολογικών συστημάτων μιας κτιριακής εγκατάστασης απαιτείται η έμπειρη γνώμη ενός μηχανικού και η ετήσια ανάλυση λειτουργίας του κτιρίου.

Τέλος, τα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής που επιλέξαμε για την υλοποίηση της μελέτης μας (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες), διαστασιολογήθηκαν με τέτοιον τρόπο, ώστε να καλύπτουν αποδοτικά ένα μεγάλο ποσοστό (τουλάχιστον το 80%) των ενεργειακών αναγκών του νηπιαγωγείου. Ξεχωριστά αλλά και για τις δύο μελέτες η περιορισμένη διαθέσιμη έκταση της εγκατάστασης μας περιόρισε στην τοποθέτηση 108 φωτοβολταϊκών πάνελ για την πρώτη μελέτη και 3 ανεμογεννητριών για την δεύτερη. Η επέκταση του εγκατεστημένου εξοπλισμού με στόχο να καλυφθούν πλήρως οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου θα επηρέαζε αρνητικά την συνολική αποδοτική λειτουργία των συστημάτων. Τα φυσικά εμπόδια, ο περιορισμένος χώρος της εγκατάστασης και η ανάγκη υλοποίησης ενός έργου οικονομικά προσιτού στο μέγεθος της επιχείρησης, μας έκανε να καταλήξουμε σε αυτές τις επιλογές.

Βιβλιογραφία

1. N.L. Panwar, S.C. Kaushik and Surenda K. (2011) “Role of renewable energy sources in enviromental protection”. University of Technology, Maharana Pratap Engineering College.
2. U.S Energy Information Administration, “Energy And Enviroment-Effect on the Climate”. Τελευταία Ενημέρωση στις 20 Ιουλίου 2018. Διαθέσιμο στο: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=environment_how_ghg_affect_climate.
3. Χάτζη Κ. (2008) “ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ” : Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
4. Οδηγεία 2009/2008/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009, σχετικά με την σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ
5. Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, Νόμος 3851/2010 “Εθνικό σχέδιο Δράσης για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”.
6. Ντοκόπουλος Πέτρος, (2005) “Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών: Συμφώνα με τον νέο κανονισμό ΕΛΟΤ HD 384”, Εκδόσεις Ζήτη.
7. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τεχνική Οδηγεία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 “ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ” Συμφώνα με την αναθεώρηση του Κ.Ε.Ν.Α.Κ.
8. Μάρκου Μάριος “Τεχνοοικονομική Μελέτη Αναβάθμισης Συστήματος Φωτισμού Κεντρικής Βιβλιοθήκης ΑΠΘ”: Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
9. Β.Η Σελλούντος (2005) “ΘΕΡΜΑΝΣΗ & ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ” Γ’ Έκδοση, Εκδόσεις “ΣΕΛΚΑ-4Μ”.

10. MXE “Τεχνικό εγχειρίδιο Υψηλής απόδοσης Αντλιών θερμότητας” Διαθέσιμο στο: <http://www.dboumis.gr/Galletti/Source/MXE.pdf> .
11. RADIANT BRUCIATORI S.p.A. “Εγχειρίδιο Οδηγιών Λειτουργίας Συντήρησης και Εγκατάστασης-Επιτοίχιος λέβητας συμπύκνωσης με καυστήρα προαναμίξεως”.
12. Ε. Φραγκιαδάκης (2009) “Φωτοβολταϊκά Συστήματα” 3^η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη.
13. Σ. Ν. Καπλάνης (2004) “Ηλιακή Μηχανική” 2^η Έκδοση, Εκδόσεις “ΙΩΝ” Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε.
14. Dr K.V. Vidyanandam (2017) “An overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems” Senior Member, IEEE. Power Magnet Institute NTPC Ltd., NOIDA, India.
15. Furkan Dincer and Mehmet Emin Meral (2010) “Critical Factors that Affecting Efficiency of Solar Cells” University of Yuzuncu Yil, Department of Electrical and Electronics Engineering, Van, Turkey.
16. P.O. Logerais, A. Omeiri και A. Amiar (2018) “Impact of the aging of a photovoltaic module on the performance of a grid-connected system” Article in Solar Energy. Laboratoire d'Électrotechnique d'Annaba, Université Badji Mokhtar.
17. Samir Kouro, Jose I. Leon and Leopoldo G. Franquelo (2015) “Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology” Article published in IEEE Industrial Electronics Magazine.
18. E. Romero-Cadaval, G. Spagnuolo, L. Franquelo, C. Ramos-Paja, T. Suntio and W. Xiao (2013) “Grid Connected Photovoltaic Generation Plants.” Article in IEEE Industrial Electronics Magazine.
19. International Finance Corporation (2015) “Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants” Washington, DC.
20. Δαμιανίδης Μ. Κατσαρός Γ. Τόλης Μ. Στεργιόπουλος Φ. (2011) “Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων” Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας.

21. Sami Ekici (2017) "Investigation Of PV System Cable Losses" Article in International Journal of Renewable Energy Research.
22. S. Silvestre (2009) "Analysis Model of Mismatch Power Losses in PV Systems" Departament D'Enginyeria Electrónica,UPC, Barchelona, Spain.
23. Ιορδάνης Ν. Κιοσκερίδης (2017) "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Ισχύος" Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
24. Jha A.R. (2010) "Wind Turbine Technology" CRC press, Taylor and Francis Group.
25. Σωκράτης Παστρωμάς και Αθανάσιος Σαφάκας (2006) "ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΜΕ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ" Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.
26. Datkhile S. C. and Prof. C. Veeresh (2016) "A Comparative Study of Constant Speed and Variable Speed Wind Energy Conversion Systems" Department of Electrical Engineering SND COE and RC, Nashik.
27. Frede Blaabjerg and Ke MA members of IEEE (2013) "Future on Power Electronics for Wind Turbine Systems". Article for IEEE JOURNAL OF EMERGING AND SELECTED TOPICS IN POWER ELECTRONICS, VOL. 1.
28. Frede Blaabjerg, Marco Liserre and Ke ma members of IEEE(2012) "Power Electronics Converters For Wind Turbine Systems". Article for IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 48, NO. 2.
29. Ms. Rinku Varghese & Mr. Sankaran N. K. (2016) "A Review on Power Electronic Application on Wind Turbines". Department of Electrical & Electronics Engineering, Sree Buddha College, Pathanamthitta, Kerala.
30. ΚΑΠΕ-CRES (1992-2019) "Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας" Διαθέσιμο στο : http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm.
31. ΔΕΣΜΗΕ (Διαχείριση Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας).

32. ICC-SWCC. Small Wind Certification Council (2009) "Independent Certification of Wind Turbines. Organization based in North America.