

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου  
Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα *Διαχείριση και Προστασία*  
*Περιβάλλοντος*

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες  
Πηγές Ενέργειας

Μιχάλης Χριστοφή

Επιβλέπων Καθηγητής  
Σίσσυ Ευθυμιάδου

Μάϊος 2020

# Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα *Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος*

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες  
Πηγές Ενέργειας

Μιχάλης Χριστοφή

Επιβλέπων Καθηγητής

Σίσσυ Ευθυμιάδου

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των  
απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών  
στην Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος  
από την σχολή Θετικών Επιστήμων  
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάϊος 2020



## Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ο σκοπός είναι η διερεύνηση δύο τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για την εφαρμογή τους στην Κύπρο. Αποφασίστηκε όπως οι δύο τεχνολογίες που θα μελετηθούν και θα συγκριθούν είναι η ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά συστήματα) και η αιολική ενέργεια (αιολικά συστήματα). Για να μπορέσει να γίνει εφικτή η σύγκριση πρέπει να αναλυθούν δύο συστήματα ένα από την κάθε μια τεχνολογία της ίδιας εγκατεστημένης ισχύς. Επίσης για να είναι ορθή η σύγκριση των δύο πρέπει οι περιοχές όπου πρόκειται να εγκατασταθούν τα συστήματα να είναι οι βέλτιστες δηλαδή να υπάρχει το μέγιστο ηλιακό δυναμικό για το φωτοβολταϊκό σύστημα και το μέγιστο αιολικό δυναμικό για το αιολικό σύστημα. Οι δύο περιοχές που επιλέγηκαν βάση των δεδομένων είναι για το φωτοβολταϊκό σύστημα περιοχή στην Λευκωσία και για το αιολικό σύστημα περιοχή στην Πάφο. Μετά την ανάλυση των δύο συστημάτων βγήκαν οι παράμετροι οι οποίοι θα βοηθήσουν στην σύγκριση των δύο, οι παράμετροι αυτοί είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των δύο συστημάτων, ο συντελεστής χρήσης τους, το όφελος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα, το κόστος υλοποίησης – συντήρησης των δύο συστημάτων, ο χρόνος απόσβεσης των δύο συστημάτων και το κέρδος τους σε είκοσι χρόνια λειτουργίας. Τέλος αφού έγινε η σύγκριση των δύο διαφάνηκαν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας και σε ποιες περιπτώσεις είναι πιο συμφέρον να χρησιμοποιηθεί η κάθε τεχνολογία.

## Summary

In this postgraduate research, the aim is to investigate two power generation technologies from Renewable Energy Sources for their implementation in Cyprus. It was decided that the two technologies that will be studied and compared will be the solar energy (photovoltaic systems) and the wind energy (wind systems). In order to make the comparison possible, two systems must be analyzed, one from each technology of the same installed capacity. Also, in order to properly compare these technologies, the areas where the systems are going to be installed must have improved conditions. The maximum solar potential for the photovoltaic system and the maximum wind potential for the wind system. The two areas selected based on the data, the photovoltaic system placed in Nicosia area and the wind system in Paphos area. From the analyzing of those systems, the parameters that will help in the comparison were defined. These parameters are the generated electricity of the two systems, their utilization rate, the benefit in terms of the carbon footprint, the cost of implementation - maintenance of the two systems, the depreciation time of the two systems and their profit in twenty years of operation. Finally, after comparing the two, the advantages and disadvantages of each technology were revealed and in which cases it is more advantageous to use each technology.

## Ευχαριστίες

Αρχικά οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κα. Ευθυμιάδου για την εμπιστοσύνη που επέδειξε προς το πρόσωπο μου και για την προθυμία που είχε για το αίτημα μου, ως προς την εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Η πραγματοποίηση της μεταπτυχιακής μου διατριβής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την προθυμία και την πολύτιμη βοήθεια του κ. Χαράλαμπου Σκαμπαλλή διευθυντή της εταιρείας C.A.S Consulting LTD, του κ. Παντελή Προκοπίου καθηγητή του Cyprus College, του κ. Χρίστο Τσίγκη γραμματέα του συνδέσμου Αιολικής Ενέργειας Κύπρου και το προσωπικό του τμήματος Μετεωρολογίας Κύπρου για τις πληροφορίες και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφεραν.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ για την πάρα πολύ σημαντική ψυχολογική στήριξη στην οικογένεια μου, στην αρραβωνιαστικιά μου και σε όλους τους ανθρώπους που βρίσκονται δίπλα μου και πιστεύουν σε εμένα και στις δυνατότητες μου.

# Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 .....	1
Εισαγωγή .....	1
1.1 Καταγραφή Προβλήματος.....	2
1.2 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης .....	2
1.3 Σκοποί και Στόχοι.....	3
Κεφάλαιο 2 .....	4
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
2.1 Οι πηγες ενέργειας τον 21 <sup>ο</sup> αιώνα .....	4
2.2 Συμβατικές Πηγες Ενεργείας.....	4
2.2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	4
2.2.2 Ηλεκτροπαραγωγή με συμβατικά μέσα .....	6
2.2.3 Περιβαλλοντική ρύπανση.....	7
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.).....	8
2.3.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	8
2.3.1.1 Ιστορική εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών .....	8
2.3.1.2 Ηλιακή Ενέργεια.....	9
2.3.1.3 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	12
2.3.1.4 Οι βασικές προϋπόθεσης δημιουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου στους ημιαγωγούς.....	13
2.3.1.5 Χαρακτηρισμός Φωτοβολταϊκών Συσκευών .....	14
2.3.1.6 Οι σημαντικοί παράμετροι χαρακτηρισμού ενός φωτοβολταϊκού.....	15
2.3.1.7 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	15
2.3.1.8 Κλίση και Φωτοβολταϊκά.....	18
2.3.1.9 Σκίαση και φωτοβολταϊκά.....	19
2.3.1.10 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις .....	20
2.3.2 Αιολικά Συστήματα .....	21
2.3.2.1 Ιστορική εξέλιξη των Αιολικών .....	21
2.3.2.2 Αιολική Ενέργεια.....	22
2.3.2.3 Οι βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας.....	24
2.3.2.4 Τεχνολογίες Ανεμογεννητριών.....	26
2.3.2.4.1 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.....	26
2.3.2.4.2 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.....	27
2.3.2.4.3 Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας.....	28
2.3.2.4.4 Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας .....	29

2.4 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Κύπρο .....	30
2.5 Ευρωπαϊκή Ένωση και Ηλεκτρική Ενέργεια .....	31
2.5.1 Νομοθεσία Ε.Ε. για την ενέργεια .....	31
2.5.2 Εγκατεστημένη Ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	35
Κεφάλαιο 3 .....	37
Μεθοδολογία.....	37
3.1 Σκοπός - Στόχοι .....	37
3.2 Ερευνητικά ερωτήματα .....	37
3.3 Σχεδιασμός .....	37
3.4 Μέθοδος συλλογής δεδομένων.....	38
3.5 Διαδικασία .....	38
3.5.1 Ανάλυση Φωτοβολταϊκού Συστήματος 1 MW .....	38
3.5.1.1 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	39
3.5.1.2 Επιλογή Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	41
3.5.1.3 Επιλογή Μετατροπέα Τάσης .....	42
3.5.1.4 Χωροθέτηση Συστήματος.....	44
3.5.1.5 Υπολογισμός Παραγωγής του Συστήματος.....	45
3.5.1.6 Κοστολόγηση του συστήματος .....	46
3.5.1.7 Υπολογισμός Κέρδους και Χρόνου Απόσβεσης .....	47
3.5.1.8 Υπολογισμός Συντελεστή Χρήσης.....	48
3.5.2 Ανάλυση Αιολικού Συστήματος 1 MW .....	49
3.5.2.1 Αιολικό Δυναμικό.....	49
3.5.2.2 Επιλογή Ανεμογεννήτριας.....	51
3.5.2.3 Χωροθέτηση Συστήματος.....	52
3.5.2.4 Υπολογισμός Παραγωγής του Συστήματος.....	53
3.5.2.5 Κοστολόγηση του συστήματος .....	55
3.5.2.6 Υπολογισμός Κέρδους και Χρόνου Απόσβεσης.....	56
3.5.2.7 Υπολογισμός Συντελεστή Χρήσης.....	56
3.5.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	57
3.5.4 Ανθρακικό Αποτύπωμα .....	58
3.5.4.1 Υπολογισμός Οφέλους ως προς το Ανθρακικό Αποτύπωμα για το Φ/β Σύστημα 1 MW .....	58
3.5.4.1 Υπολογισμός Οφέλους ως προς το Ανθρακικό Αποτύπωμα για το Αιολικό Σύστημα 1 MW .....	59
3.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων .....	59



3.6.1 Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	59
3.6.2 Αιολικό Σύστημα.....	60
Κεφάλαιο 4 .....	61
Αποτελέσματα.....	61
4.1 Έννοιες και Θέματα.....	61
4.2 Παρουσιάσει Αποτελεσμάτων.....	62
4.2.1 Σύγκριση παραγωγής των δυο συστημάτων.....	62
4.2.2 Σύγκριση κόστους των δυο συστημάτων .....	62
4.2.3 Σύγκριση χρόνου απόσβεσης των δυο συστημάτων .....	63
4.2.4 Σύγκριση συντελεστή χρήσης των δυο συστημάτων .....	64
4.2.5 Σύγκριση ανθρακικού αποτυπώματος των δυο συστημάτων.....	64
4.2.6 Σύγκριση κέρδους των δυο συστημάτων για 20 χρόνια λειτουργίας .....	65
Κεφάλαιο 5 .....	66
Συζήτηση-Συμπεράσματα-Εισηγήσεις.....	66
5.1 Συζήτηση .....	66
5.2 Περιορισμοί της μελέτης .....	67
5.3 Συμπεράσματα.....	68
5.4 Εισηγήσεις.....	69
Βιβλιογραφία .....	71



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Η ενέργεια ήταν και είναι αναπόσπαστο κομμάτι τις καθημερινότητας των ανθρώπων, κυρίως μέσω της ηλεκτρικής ενεργείας όπου ο άνθρωπος μπορεί να αναπτυχθεί, να μορφωθεί, να τραφεί, να γιατρευτεί, να μετακινηθεί με λίγα λόγια αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Σ' όλη την διαδρομή της ανθρωπότητας, ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε με εφευρετικότητα τις δυνατότητες που του έδωσε απλόχερα η φύση, την φωτιά, το νερό, τον άνεμο και την ήλιο με αποτέλεσμα την βελτίωση των συνθήκων διαβίωσης του (Φραγκιαδάκης 2009).

Στο πρόσφατο παρελθόν ο άνθρωπος, χρησιμοποίησε την ενέργεια από την καύση του κάρβουνου και κυρίως του πετρελαίου στις διάφορες μορφές του ούτως ώστε να την μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια. Όμως παρόλα όσα του πρόσφερε τόσο το κάρβουνο όσο και το πετρέλαιο, ο άνθρωπος γνωρίζει ότι τα αποθέματα πετρελαίου δεν είναι αστείρευτα και κάποτε θα εξαντληθούν αφού η παραγωγή τους είναι εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία. Επίσης γνωρίζει ότι η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία, εξάπλωση και την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στα μέσα του 20ου αιώνα ένας νέος και υποσχόμενος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήρθε και έδωσε ελπίδα και λύση ως προς το ενεργειακό πρόβλημα αλλά και μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η λύση αυτή αναφαίρετε στην πυρηνική ενέργεια, όπου πολύ γρήγορα η ανθρωπότητα έδειξε ανικανότητα στο να διασφάλιση την ελεγχόμενη παραγωγή της προκαλώντας ακόμη μεγαλύτερα προβλήματα. Παράλληλα άρχισαν να βγαίνουν στην επιφάνεια και άλλα προβλήματα καθώς ξεκίνησαν να επιβεβαιώνονται με επιστημονικά αποδεδειγμένο τρόπο οι προβλέψεις για τις σημαντικά επιβαρυντικές συνέπειες της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας από τον άνθρωπο τόσο στο οικοσύστημα όσο και στους έμβιους οργανισμούς (Φραγκιαδάκης 2009).

Ως λύση στα πιο πάνω προβλήματα ο άνθρωπος πλέον καλείτε να ανατρέξει σε νέες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον, να είναι πιο οικονομικές και να είναι αειφόρες ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη τους για πάντα.

## 1.1 Καταγραφή Προβλήματος

Όπως είναι ευρέως γνωστό, στον 21<sup>ο</sup> αιώνα ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του πλανήτη είναι η ρύπανση, από τα καυσαέρια και η δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ένα μεγάλο ποσοστό ρύπανσης του περιβάλλοντος προέρχεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές ενέργειας αφού κατά την παραγωγή δημιουργούνται καυσαέρια. Μέσα από τα χρόνια ο άνθρωπος προσπάθησε να μειώσει αυτή την ρύπανση χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα για να φιλτράρει τα καυσαέρια που εκπέμπουν οι συμβατικές πηγές ενέργειας αλλά και πάλι δεν ήταν αρκετό για να καλυτερέψει η κατάσταση αφού η παραγωγή ενέργειας με τις ίδιες συνέπειες συνεχιζόταν. Έτσι πλέον ο άνθρωπος τα τελευταία χρόνια κλήθηκε να στραφεί προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Όσον αφορά την Ευρώπη σε αυτό σύμβαιε σε μεγάλο βαθμό η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτοντας στόχους στα κράτη μέλη της καθώς και σε περίπτωση μη συμμόρφωσης τους τους υποχρεώνει σε βαριά πρόστιμα. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι ποια τεχνολογία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι η καταλληλότερη για την κάθε χώρα ούτως ώστε να επένδυση σε αυτήν την τεχνολογία και να έχει πετύχει τους στόχους της με την πιο αποδοτική και οικονομική λύση. Στην Κύπρο οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι τα Φωτοβολταϊκά συστήματα (ηλιακή ενέργεια) και τα Αιολικά συστήματα (αιολική ενέργεια). Άρα ο προβληματισμός που προκύπτει είναι, ποια από τις δύο τεχνολογίες είναι η πλέον συμφέρουσα λύση για τα δεδομένα της Κύπρου.

## 1.2 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης

Η σημασία και αναγκαιότητα της παρούσας μελέτης είναι τεράστια γιατί μόνο μέσω της μελέτης και της έρευνας των πιο πάνω τεχνολογιών μπορούν να εξαχθούν ασφαλείς συμπεράσματα και να παρθούν σωστές αποφάσεις για το πλάνο που θα πρέπει να ακολουθηθεί

ώστε να επιτευχθεί η όσον το δυνατό καλύτερη και συμφέρουσα λύση με βάση της συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Η συγκεκριμένη μελέτη αποσκοπεί στην διερεύνηση του προβληματισμού που προκύπτει από την χρήση δυο τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο. Το ερώτημα που προκύπτει είναι, αφού η Κύπρος αποτελεί μια τοποθεσία όπου τους περισσότερους μήνες έχει ηλιοφάνεια το πιο συμφέρων θα ήταν η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ή των αιολικών συστημάτων αφού κατέχει μέτριο αιολικό δυναμικό που καθιστά εφικτή την εγκατάσταση τους. Οπότε θα πρέπει να μελετηθούν τα δεδομένα των δυο αυτών τεχνολογιών και να συγκριθούν με τα δεδομένα της Κύπρου ούτως ώστε να επιλεγθεί η βέλτιστη και πιο συμφέρουσα λύση.

### 1.3 Σκοποί και Στόχοι

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η σύγκριση των συμβατικών πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην Κύπρο με τις δύο πιο διαδεδομένες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Κύπρο και στη συνέχεια η σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών τεχνολογιών. Η σύγκριση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί θα βασίζεται σε τρεις άξονες οι οποίοι είναι:

- A. Ο οικονομικός, δηλαδή ποια τεχνολογία είναι η πιο οικονομική στην εφαρμογή και συντήρηση της.
- B. Ο περιβαλλοντικός, δηλαδή ποια τεχνολογία είναι η πιο φιλική προς το περιβάλλον σε όλα τα στάδια από την δημιουργία μέχρι την λειτουργίας της.
- Γ. Ο χωροταξικός, δηλαδή πόση έκταση χρειάζεται η κάθε τεχνολογία για να εφαρμοστεί και να έχει την ίδια εγκατεστημένη ισχύ.

Οπότε ο στόχος είναι η ανάλυση και η απόδοση των πιο πάνω αξόνων για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων ούτως ώστε να προταθεί η βέλτιστη λύση για τα δεδομένα της Κύπρου.

# Κεφάλαιο 2

## Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Οι πηγές ενέργειας τον 21<sup>ο</sup> αιώνα

Οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας του σήμερα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες οι οποίες είναι:

- Οι συμβατικές πηγές ενέργειας όπως είναι οι ηλεκτρογεννήτριες που παράγουν ενέργεια με την χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο, το κάρβουνο και το αέριο καθώς και η πυρηνική ενέργεια κ.α..
- Η Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) όπως είναι τα Φωτοβολταϊκά συστήματα, τα Αιολικά συστήματα, τα Γεωθερμικά, η Βιομάζα κ.α. τα οποία παράγουν ενέργεια μέσω αειφόρων πηγών όπως για παράδειγμα τον ήλιο, τον άνεμο, το έδαφος κ.α..

### 2.2 Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

#### 2.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Πριν το 1800, η μοναδική γνώση και επαφή που είχε ο άνθρωπος με τον ηλεκτρισμό ήταν η μελέτη των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που έγινε από κάποιους πρωτοπόρους ερευνητές. Με το πέρας των χρόνων νέες ανακαλύψεις έδιναν καινούργιες γνώσεις όσον αφορά τον ηλεκτρισμό. Παρ' όλα αυτά οι εφαρμογές που αξιοποιούσαν τις γνώσεις οι οποίες αποκτήθηκαν αργήσαν να εμφανιστούν (Γιαννακόπουλος & Βοβός 2008).

Το 1882 ο ιστορικός σταθμός της Pearl Street τίθεται σε λειτουργία, χάρις των Thomas Edison όπου είχε εγκαταστήσει το πρώτο ολοκληρωμένο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα, το οποίο αποτελείτο από γεννήτρια, καλώδιο, ασφάλεια, μετρητή και φορτία από λαμπτήρες πυρακτώσεως. Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν συνεχούς ρεύματος (DC) και αποτελείτο από μια ατμομηχανή η οποία κινούσε την γεννήτρια συνεχούς ρεύματος και έτσι τροφοδοτούσε

μια περιοχή έκτασης 1.5 km αποτελούμενη από 59 καταναλωτές. Αυτό το σύστημα παρουσίαζε ένα τεχνικό πρόβλημα, το οποίο ήταν ότι, κατά την μεγαλύτερη διάρκεια της μέρας το σύστημα υπολειπορούσε κάτι που οφειλόταν στην έλλειψη ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό αφού τα μοναδικά φορτία του συστήματος ήταν οι λαμπτήρες (Γιαννακόπουλος & Βοβός 2008).

Ένα ακόμα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετώπιζε ένα δίκτυο συνεχούς ρεύματος (DC) ήταν το ότι δεν ήταν δυνατή η μεταφορά της ισχύς σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό οφειλόταν στο ότι για να μεταφερθεί η ισχύς πρέπει οι απώλειες μεταφοράς και η πτώση τάσης να κρατηθεί σε συγκεκριμένα επίπεδα που το επιτρέπουν. Κάτι που για να επιτευχθεί απαιτείτο υψηλής έντασης τάση. Όμως τα υψηλά επίπεδα τάσης δεν είναι αποδεκτά ούτε για την παράγωγη ούτε για την κατανάλωση. Η λύση ήταν να παράγεται η τάση σε επιτρεπτά επίπεδα χαμηλής τάσης, στο δίκτυο μεταφοράς η τάση να αυξάνεται πράγμα που θα καθιστούσε την μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις και στο τέλος όταν φτάνει στην κατανάλωση και πάλι να μειώνεται στα επιτρεπτά επίπεδα. Κάτι το οποίο δημιούργησε την ανάγκη για την εφεύρεση του μετασχηματιστή (Γιαννακόπουλος & Βοβός 2008).

Η ανακάλυψη του μετασχηματιστή οδήγησε στην ανάπτυξη του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), τα δίκτυα με την χρήση αυτής της μορφής ρεύματος έγιναν πιο ελκυστικά με τα πολυφασικά συστήματα από τον Nikola Tesla. Οι εφευρέσεις του Nikola Tesla οι οποίες ήταν οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές και τα δίκτυα μεταφοράς θεωρούνταν πρωτοποριακές για την εποχή και αποτέλεσαν την βάση για τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (Γιαννακόπουλος & Βοβός 2008).

Μέχρι την επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) ξέσπασε διαμάχη ανάμεσα στους οπαδούς του συνεχούς ρεύματος (DC) και αυτούς του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) για το πιο σύστημα έπρεπε να επικρατήσει. Ο νικητής της διαμάχης ήταν το εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο και επικράτησε για τους πιο κάτω λόγους:

- Ο μετασχηματιστής έδινε δυνατότητα να μεταβάλλονται εύκολα τα επίπεδα τάσης που έδινε την δυνατότητα να υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα τάσης στην παραγωγή, στην μεταφορά και την κατανάλωση με αποτέλεσμα την ευκολότερη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι AC γεννήτριες ήταν πιο απλές από τις DC.

- Οι AC κινητήρες ήταν απλούστεροι και πιο οικονομικοί έναντι στους DC.
- Το AC ρεύμα μπορούσε να διαδοθεί σε μεγαλύτερη απόσταση από το DC.

Στη συνέχεια άρχισε η ανάπτυξη των τοπικών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία αποτελούνταν από τους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς, το σύστημα μεταφοράς και διανομής και τους καταναλωτές. Σύντομα άρχισαν να διασυνδέονται και γειτονικά δίκτυα ούτως ώστε να ανταλλάσσουν ενέργεια και να αλληλοκαλύπτουν φόρτια σε περιόδους αιχμής. Για να συνδεθούν μεταξύ τους τα διάφορα δίκτυα έπρεπε να λυθεί ένα τεχνικό πρόβλημα το οποίο αφορούσε την συχνότητα λειτουργείας των συστημάτων, έπρεπε να τυποποιηθεί μια κοινή συχνότητα. Στην Ευρώπη η συχνότητα τυποποιήθηκε στα 50 Hz, και στα 60 Hz στις Η.Π.Α., στον Καναδά, στη Βραζιλία και σε μέρος της Ιαπωνίας (Γιαννακόπουλος & Βοβός 2008).

## 2.2.2 Ηλεκτροπαραγωγή με συμβατικά μέσα

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά μέσα ονομάζονται θερμικοί σταθμοί. Τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους θερμικούς σταθμούς παγκόσμιος είναι ο λιγνίτης, η τύρφη, οι λιθάνθρακες, το πετρέλαιο, το μαζούτ και το φυσικό αέριο. Επίσης χρησιμοποιούνται και πυρηνικά καύσιμα τα οποία είναι κυρίως μίγμα σχάσιμου ουράνιου U235 (Ισμαηλίδης 2005).

Οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την τεχνολογία της μηχανής που χρησιμοποιούν για τον θερμοδυναμικό τους κύκλο. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν ατμοστρόβιλους.
- Αεριοστροβιλικό σταθμοί που χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλους.
- Ντηζελοηλεκτρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν εμβολοφόρες μηχανές (μηχανές εσωτερικής καύσης).

Το πλήθος των θερμικών σταθμών αποτελείται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, οι αεριοστροβιλικό σταθμοί χρησιμοποιούνται για ειδικές περιπτώσεις όπως κάλυψη αιχμής, και τέλος οι ντηζελοηλεκτρικοί σταθμοί για την τροφοδότηση μικρών αυτονόμων δικτύων.



Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί παράγουν την μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια ενός δικτύου γιατί έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους άλλους σταθμούς, ο βαθμός απόδοσης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού είναι 30-40%. Έχουν επίσης μικρό συνολικό κόστος ανά παραγόμενη kWh καθώς και μικρή ρύπανση ανά παραγόμενη μονάδα. Το μειονέκτημα τους όμως είναι ότι η εκκίνηση τους είναι χρονοβόρα και άρα απαιτούνται πολλές ώρες καθώς είναι μια δύσκολη διαδικασία. Επίσης η ρύθμιση ισχύος τους είναι πολύπλοκη και πιο αργή σε σχέση με της άλλες μονάδες (Ισμαηλίδης 2005).

Οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης και μικρότερο βαθμό απόδοσης της τάξεως του 20-27%, αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που δεν είναι σε συνεχή λειτουργία στα διασυνδεδεμένα δίκτυα. Το πλεονέκτημα τους όμως είναι η γρήγορη εκκίνηση τους που γίνεται μέσα σε 3-5 λεπτά και η πιο εύκολη ρύθμιση της ισχύος τους. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται κυρίως για την κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης σε περιόδους αιχμής (Ισμαηλίδης 2005).

Ο βαθμός απόδοσης των θερμικών σταθμών εξαρτάτε από την ειδική κατανάλωση η οποία υπολογίζεται από την μάζα του καυσίμου ανά την παραγόμενη kWh. Συνήθως δίνεται μια μέση ετήσια ειδική κατανάλωση η οποία για τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι 250 kg/kWh έχοντας ως καύσιμο πετρέλαιο και 2 kg/kWh για τον λιγνίτη (Ισμαηλίδης 2005).

### 2.2.3 Περιβαλλοντική ρύπανση

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενεργείας είναι η εκπομπή ρυπογόνων ουσιών που μολύνουν την ατμόσφαιρα και συμβάλουν στην επιδείνωση του προβλήματος της εξάπλωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι από την χρήση των θερμικών σταθμών είναι (Γεντενάκης 1999):

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Τα οξειδιά του αζώτου (NO<sub>x</sub>)
- Το οξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)
- Σωματιδιακοί ρύποι (PM-10)
- Οι υδρογονάνθρακες (HCs)

Για την καταπολέμηση των ρύπων πολλοί σταθμοί χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες όπως:

- Μηχανικούς συλλέκτες
- Υγρούς συλλέκτες ή υγρά φίλτρα
- Υφασμάτινα φίλτρα
- Ηλεκτροστατικούς συλλέκτες

## 2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

### 2.3.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία το οποία είναι η βασική μονάδα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Κατασκευάζονται από ημιαγωγούς και λειτουργούν ως δίοδοι. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως, μονοκρυσταλλικού πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου, λεπτών ημενίων κ.α. (Markvart 1998).

#### 2.3.1.1 Ιστορική εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών

Το 1839 ο Γάλλος φυσικός Alexandre Edmond Becquerel ανακάλυψε πρώτος το ηλεκτρικό φαινόμενο, καθώς εξέτασε την επίδραση του φωτός πάνω στην ύλη και είχε αναφέρει την ύπαρξη φωτορεύματος σε ένα ηλεκτρόδιο που βρισκόταν σε υδατικό διάλυμα. Μετά από σχεδόν 40 χρόνια το 1873 και το 1876, οι Smith και Adams αντίστοιχα ανέφεραν πρώτοι πειράματα για φωτοβολταϊκές διατάξεις με κυρίαρχο υλικό το σελήνιο. Το 1906 και το 1913, ο Rochetino και ο Volmer αντίστοιχα, ανακάλυψαν την φωτοαγωγιμότητα στο ανθρακένιο. Προς το τέλος της δεκαετίας του 50 και της δεκαετίας του 60 διερευνήθηκε πιθανή χρήση των οργανικών υλικών ως φωτοδέκτες σε συστήματα απεικόνισης (Green 2005).

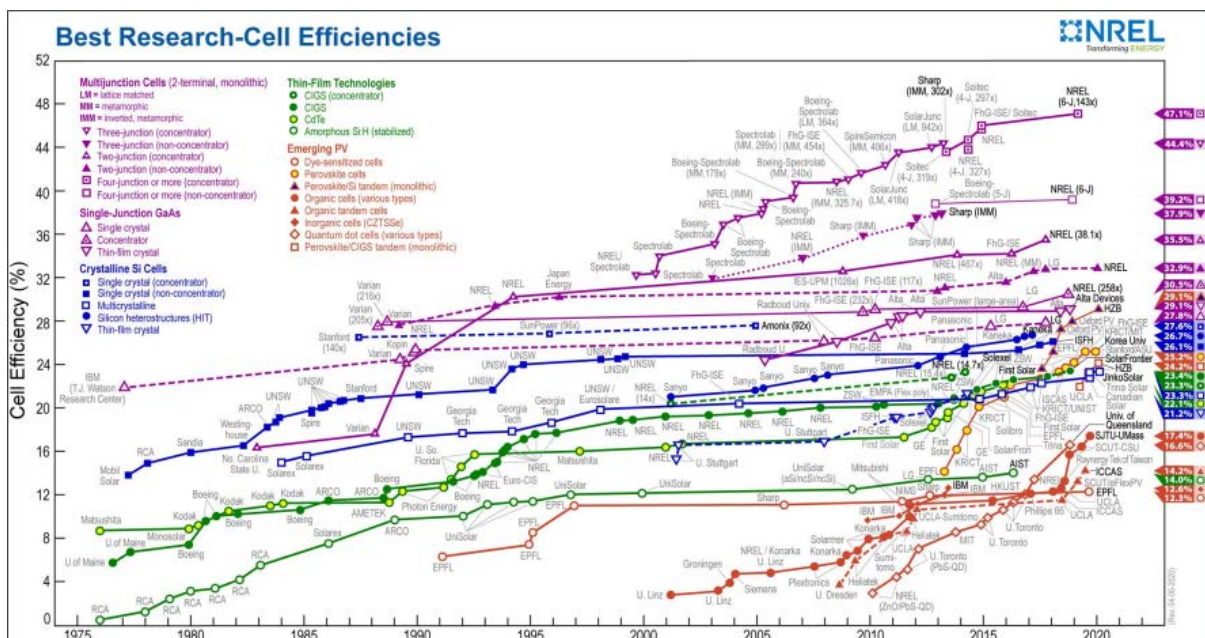
Το μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον και η εμπορική ζήτηση οδήγησαν σε αύξηση της έρευνας για την φωτοαγωγιμότητα των υλικών. Το πρώτο κατασκευασμένο ανόργανο ηλιακό κύτταρο κατασκευάστηκε το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson στα εργαστήρια της Bell. Ήταν ένα κύτταρο κρυσταλλικού πυριτίου, που μετέτρεπε το φως του ήλιου σε ηλεκτρικό ρεύμα και είχε απόδοση 6%, η οποία ήταν έξι φορές υψηλότερη από το καλύτερο μέχρι τότε φωτοβολταϊκό κύτταρο (Green 2005).

Με το πέρασ των χρονών τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου έφτασαν σε απόδοση πάνω από το 24%, με προοπτικές για περαιτέρω αύξηση.

Τα φωτοβολταϊκά που ανακαλυφθηκαν μέχρι σήμερα χωρίζονται σε 3 γενιές.

1. Η πρώτη γενιά αφορά στα φωτοβολταϊκά πυριτίου μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά.
2. Η δεύτερη γενιά αφορά τα φωτοβολταϊκά λεπτών ημενίων.
3. Τέλος η τρίτη γενιά αφορά τα οργανικά και υβριδικά φωτοβολταϊκά.

Πιο κάτω θα δούμε την πορεία και την εξέλιξη όλων των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών που υπάρχουν.

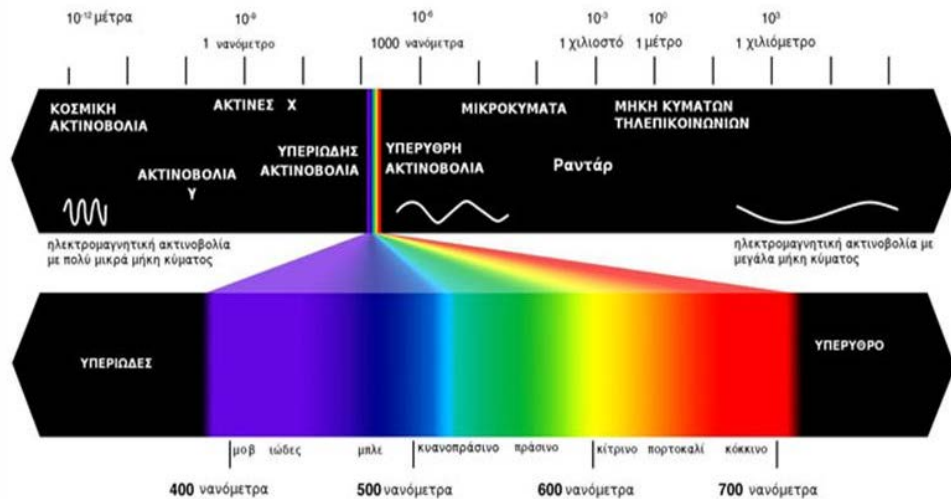


**Εικόνα 2.1:** Η εξέλιξη των διαφόρων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών (Πηγή: National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2020 )

### 2.3.1.2 Ηλιακή Ενέργεια

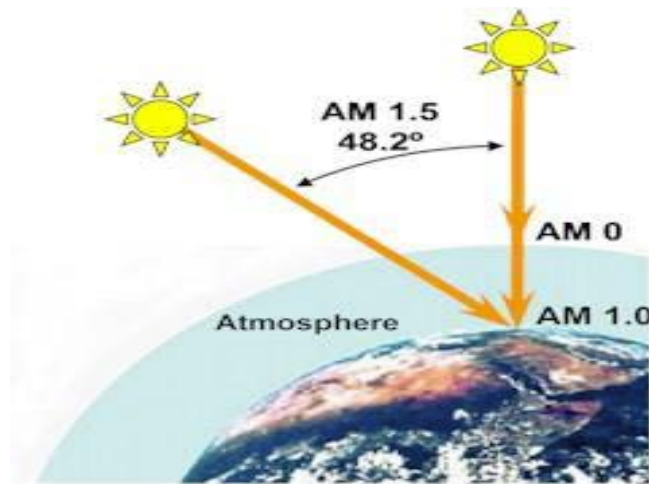
Ο ήλιος απελευθερώνει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας κάθε δευτερόλεπτο στο ηλιακό σύστημα. Η ενέργεια αυτή είναι το αποτέλεσμα της πυρηνικής δραστηριότητας στο ουράνιο σώμα και είναι υπεύθυνη και για την αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο του Ήλιου πάνω από  $14 \times 10^6$  °C και στην επιφάνεια του περίπου 6000 °C. Ένα μέρος της ενέργειας αυτής εκπέμπεται από

τον ήλιο με την μορφή της ακτινοβολίας και διαχέεται στο συμπάν, έτσι εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα και αποτελεί την κυρία πηγή ενέργειας για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη (Πατεράκης 2015).



**Εικόνα 2.2** Ανάλυση ηλιακού φάσματος (Πηγή: <http://slideplayer.gr/slide/2551798/>)

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης δεν είναι σταθερή, καθώς εξασθενεί από τα στρώματα της ατμοσφαιράς τα οποία δεν έχουν παντού την ίδια σύσταση, και από την άλλη λόγω του σχήματος της γης δεν έχουμε την ίδια γωνιά πρόσπτωσης σε κάθε σημείο της επιφάνειάς της, επίσης η απόσταση ήλιου γης δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από την τροχιά της γης γύρω από αυτόν. Για το λόγο αυτό έχει οριστεί ως ηλιακή σταθερά, η ενέργεια που αναφέρετε, ανά μονάδα χρόνου που δέχεται επιφάνεια  $1 \text{ m}^2$ , η οποία είναι καθετή στην διεύθυνση διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας και βρίσκεται στην μέση απόσταση ήλιου-γης. Η τιμή της ηλιακής σταθερά είναι ίση με  $G_{STC}=1000 \text{ W/m}^2$  (Πατεράκης 2015).

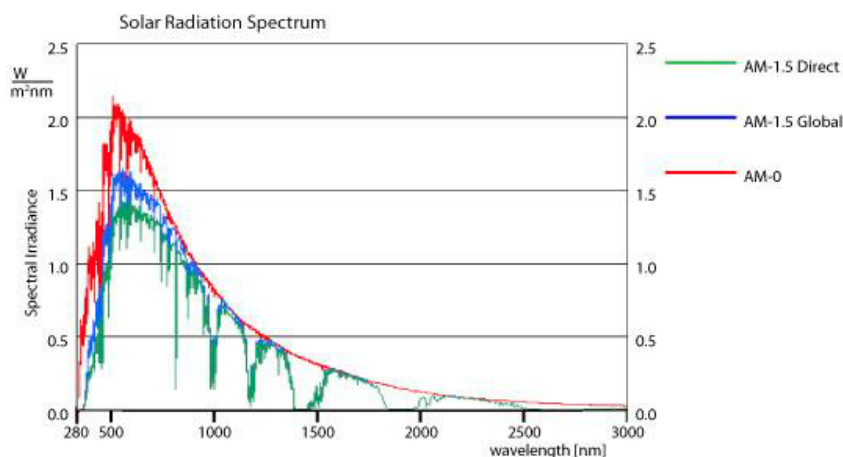


**Εικόνα 2.3:** Ετήσια μέση γωνία πρόσπτωσης του ηλίου για όλα τα γεωγραφικά πλάτη της γης (Πηγή: Σημειώσεις Εργαστηρίου Προηγμένων Υλικών και Μικροηλεκτρονικής 2016)

Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται και από τον βαθμό εξασθένησης της δέσμης, ανάλογα με την γωνιά πρόσπτωσης στην επιφάνεια της γης αλλά και από την απορρόφηση της ατμοσφαιράς. Ο βαθμός εξασθένησης δεν είναι σταθερός. Η απόσταση που πρέπει να διανύσει το φως του ήλιου μέσα στην ατμόσφαιρα είναι η πιο σημαντική παράμετρος που καθορίζει την ηλιακή ακτινοβολία κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού. Όταν ο ήλιος βρίσκεται κάθετα πάνω από τη γη, δηλαδή στο ζενίθ τότε η απόσταση αυτή είναι η ελάχιστη (Εικόνα 2.2). Η αναλογία του πραγματικού μήκους διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτή την ελάχιστη απόσταση είναι γνωστή ως αέρια μάζα (air mass). Όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ, ονομάζεται AM 1 (air mass 1) και αναφέρεται στον ήλιο που βρίσκεται ακριβώς κατακόρυφα στο επίπεδο του γήινου παρατηρητή. Όταν ο ήλιος βρίσκεται σε γωνιά  $\theta$  ως προς το ζενίθ, τότε η αέρια μάζα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$AM = (\cos\theta)^{-1} \quad (1.1)$$

Αρά εάν έχουμε γωνιά  $\theta=60^\circ$  από το ζενίθ, τότε έχουμε AM 2 (Πατεράκης 2015).



**Διάγραμμα 2.4:** Φάσμα εκπομπής ηλιακού προσομοιωτή χωρίς και με τη χρήση φίλτρων (Πηγή: Σημειώσεις Εργαστηρίου Προηγμένων Υλικών και Μικροηλεκτρονικής 2016)

Η συνάρτηση της αέριας μάζας αποτελείται και από το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα φάσματα πυκνότητας ισχύος ανά μήκος κύματος των AM 0 και AM 1.5 φαίνονται στο Σχήμα 1.2. Η ακτινοβολία σε μηδενική ατμόσφαιρα ή στο διάστημα ορίζεται ως AM 0. Για την μέτρηση διατάξεων όπως τα φωτοβολταϊκά και για να καθίστανται συγκρίσιμα τα αποτελέσματα μεταξύ τους πρέπει να καθοριστεί μια παράμετρος που ονομάζεται πρότυπη ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή ορίστηκε ως AM 1.5 και αποτελεί ένα τυπικό ηλιακό φάσμα στην επιφάνεια της γης, σε μια ηλιόλουστη μέρα, και χρησιμοποιείται κατά των χαρακτηρισμό των Φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αντιστοιχεί σε γωνιά  $48,2^\circ$  μεταξύ του ηλίου και του ζενίθ. Η ακτινοβολία στο AM 1.5, στα 500 nm, έχει πραγματική τιμή  $827 \text{ W/m}^2$ , όμως για λόγους απλοποίησης η τιμή που χρησιμοποιείται στο πρότυπο είναι  $1000 \text{ W/m}^2$ . Η τιμή της ακτινοβολίας AM 1.5 είναι αρκετά κοντινή στην μέγιστη τιμή η οποία λαμβάνεται στην επιφάνεια της γης. Αν συγκρίνουμε τα φάσματα της ακτινοβολίας AM 0 και AM 1.5 με το φάσμα ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος σε θερμοκρασία  $T=6000 \text{ K}$ , τότε θα παρατηρήσουμε ότι οι ακτινοβολίες είναι όμοιες σε μεγάλο βαθμό (Πατεράκης 2015).

### 2.3.1.3 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των φορέων του ρεύματος, η οποία συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά αφού πρώτα αυτά εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία. Τα συγκεκριμένα αυτά υλικά ανήκουν στην κατηγορία των ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί αυτοί έχουν την ιδιότητα όταν εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία (φωτιστούν) να απορροφούν φωτόνια

και έτσι τότε οι φορείς ρεύματος (τα ηλεκτρόνια στην ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στην ζώνη σθένους) να αυξάνονται, συνεπώς αυξάνεται και η αγωγιμότητα τους. Η αύξηση της αγωγιμότητας με την επίδραση του φωτός ονομάζεται φωτοαγωγιμότητα (Φραγκιαδάκης 2009).

#### 2.3.1.4 Οι βασικές προϋπόθεσης δημιουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου στους ημιαγωγούς

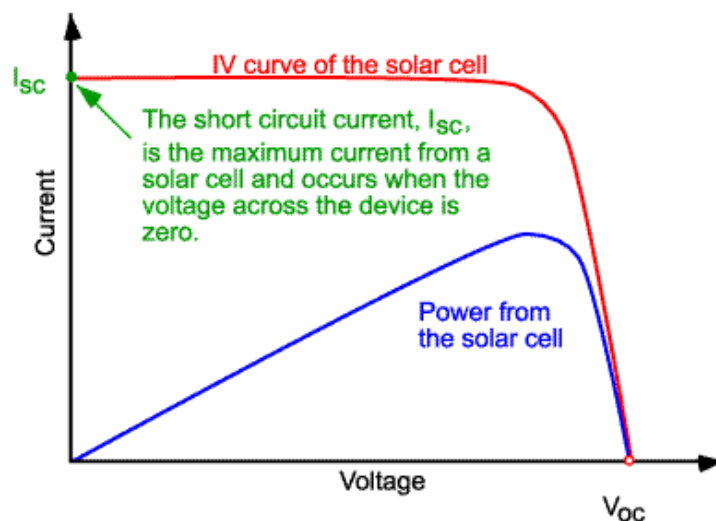
Όταν ένας ημιαγωγός φωτίζεται, άγει με πολλές τάξεις ισχυρότερο ρεύμα απ' ότι όταν βρίσκεται στο σκοτάδι. Το αποτέλεσμα αυτό εξαρτάται από το ημιαγωγικό υλικό και τη συχνότητα (το μήκος κύματος ή την ενέργεια φωτονίου) της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Φραγκιαδάκης 2009).

Η υψηλή φωτοαγωγιμότητα ενός ημιαγωγού, παρότι αποτελεί βασικότατη προϋπόθεση για να δημιουργηθεί αξιόλογο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δεν αρκεί. Οι ευκίνητοι φορείς που παράγονται στο εσωτερικό του, πρέπει να τεθούν σε κίνηση, μέσω μηχανισμού που δεν θα απαιτεί, προφανώς, ενέργεια από εξωτερική ηλεκτρική πηγή. Ευτυχώς ο μηχανισμός αυτός προσφέρεται από την ίδια την φύση. Ο μηχανισμός αυτός είναι το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείτε από την επαφή δυο διαφορετικών ημιαγωγικών υλικών. Το εύρος της περιοχής του, καθορίζει ως ένα βαθμό την απόδοση του απορροφούμενου φωτός και κατά συνέπεια το ποσοστό των φορέων που δημιουργήθηκαν από το φως που θα δώσουν το φωτοβολταϊκό ηλεκτρικό ρεύμα (Φραγκιαδάκης 2009).

Με λίγα λόγια, το φως παράγει ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές, σε όλη την έκταση των δυο ημιαγωγών που βρίσκονται σε επαφή. Όσα από αυτά δημιουργούνται μέσα και στην επαφή των υλικών, προωθούνται από το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της επαφής, στα δυο άκρα της διάταξης αντίστοιχα. Ο ρυθμός που παράγονται, οι ελεύθεροι φορείς (ηλεκτρόνια και οπές) είναι τέτοιος ώστε, το ρεύμα και η τάση στα άκρα του στοιχείου να διατηρούνται περίπου στα ίδια επίπεδα, όσον αφορά την αποδιδόμενη ισχύ (Φραγκιαδάκης 2009).

### 2.3.1.5 Χαρακτηρισμός Φωτοβολταϊκών Συσκευών

Ο βασικός χαρακτηρισμός των ηλιακών κελίων περιλαμβάνει την μέτρηση του ρεύματος σε συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης της διάταξης σε συνθήκες σκότους και φωτός. Για την εφαρμογή της τάσης χρησιμοποιείτε μια πηγή τάσης και το ρεύμα μετράτε με ένα ψηφιακό πολύμετρο. Εργαστηριακά για την διεκπεραίωση των μετρήσεων τα όργανα ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού προγράμματος. Για την μέτρηση χρειάζεται μια πηγή φωτός. Η πηγή φωτός είναι μια συσκευή προσομοίωσης ηλίου με φάσμα εκπομπής ίσο με AM 1.5, αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση δυο φίλτρων. Το πρώτο φίλτρο κόβει μερικώς υπεριώδη ακτινοβολία UV δηλαδή ότι κάνει το όζον στην ατμόσφαιρα και το δεύτερο φίλτρο προσομοιάζει την ηλιακή ακτινοβολία με γωνιά πρόσπτωσης στο ζενίθ=48,25° σε σχέση με την επιφάνεια της γης (ετήσια γωνιά πρόσπτωσης για όλα τα γεωγραφικά πλάτη της γης). Το ειδικό λογισμικό πρόγραμμα μέσω ενός αλγορίθμου υπολογίζει κάποια σημαντικά μεγέθη που είναι χρήσιμα για τον χαρακτηρισμό ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, αυτά τα μεγέθη είναι η πυκνότητα ρεύματος, η τάση ανοιχτού κυκλώματος, η μέγιστη ισχύς, ο συντελεστής πλήρωσης, η αποδοτικότητα της διάταξης, επίσης σχηματίζει τις καμπύλες I - V και P - V (Σημειώσεις Εργαστηρίου Προηγμένων Υλικών και Μικροηλεκτρονικής 2016).



**Διάγραμμα 2.5:** Χαρακτηριστική καμπύλη I - V (Πηγή: Σημειώσεις Εργαστηρίου Προηγμένων Υλικών και Μικροηλεκτρονικής 2016)



### 2.3.1.6 Οι σημαντικοί παράμετροι χαρακτηρισμού ενός φωτοβολταϊκού

- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ) που αντιστοιχεί στην τάση σε μηδενικό ρεύμα.
- Το ρεύμα βραχυκυκλώματος ( $I_{sc}$ ) που αντιστοιχεί στο ρεύμα σε μηδενική τάση.
- Η πυκνότητα ρεύματος βραχυκυκλώματος ( $J_{sc}$ ) που αντιστοιχεί στην πυκνότητα ρεύματος, δηλαδή το ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας, σε μηδενική τάση.
- Ο συντελεστής Πλήρωσης ( $FF$ ) που αντιστοιχεί στον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύς προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης και της ανοιχτής τάσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, παίρνει τιμές από 0 έως 1.

$$FF = \frac{I_{max} * V_{max}}{I_{sc} * V_{oc}}$$

- Η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου ( $PCE\%$ ) που αντιστοιχεί στον λόγο της εξερχομένης ηλεκτρικής ισχύς προς την εισερχομένη ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του στοιχείου, καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής του φωτοβολταϊκού στοιχείου (Markvart 1998).

$$PCE\% = \eta = \frac{I_{sc} * V_{oc} * FF}{P_{in}}$$

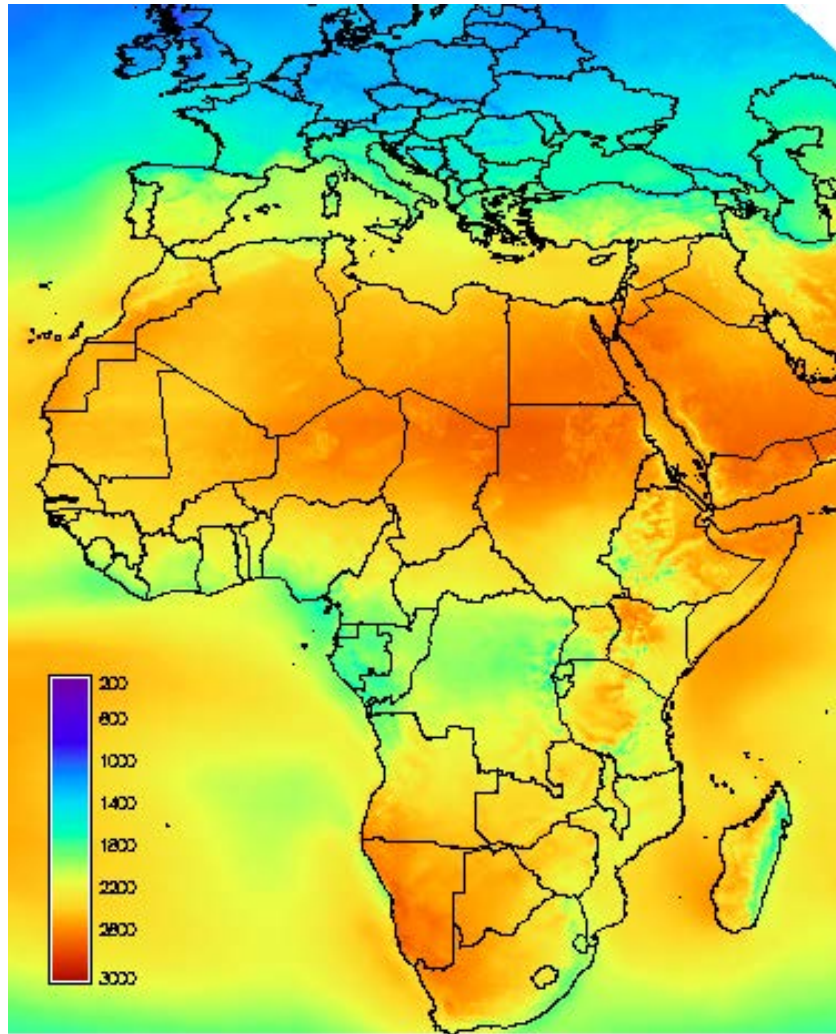
### 2.3.1.7 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο πιο βασικός παράγοντας που καθορίζει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών PnGIS παρέχει μια βάση ηλιακών δεδομένων με μηνιαίες και ετήσιες μέσες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Η τιμές που δίνονται αφορούν οριζόντιες και κεκλιμένες επιφάνειες καθώς και κλιματολογικές παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητες για την εκτίμηση, της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Μια άλλη εφαρμογή που παρέχετε μέσω του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών είναι η προσομοίωση προφίλ ακτινοβολίας για συγκεκριμένο μήνα του έτους και συγκεκριμένη κλίση καθώς και προσανατολισμό. Τέλος, το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών της Ευρωπαϊκής Ένωσης δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να υπολογίσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για συγκεκριμένο σύστημα, επίσης υπολογίζει την βέλτιστη κλίση και τον βέλτιστο προσανατολισμό για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (Suri 2005).

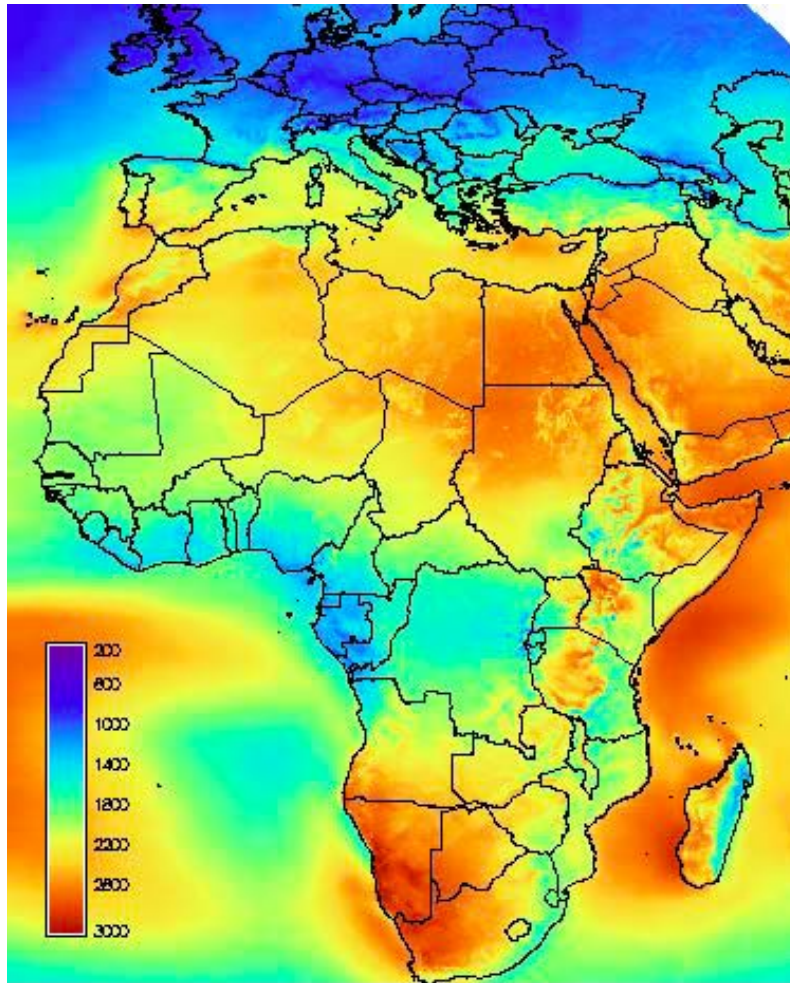
Κατά την διέλευση των ηλιακών ακτινών, στην γήινη ατμόσφαιρα η ακτινοβολία διασπάτε σε δύο συνιστώσες, στην απευθείας ακτινοβολία η οποία είναι αυτή που καταφέρνει να φτάσει στην επιφάνεια της γης χωρίς να χρειαστεί να διαπεράσει οποιοδήποτε εμπόδιο στην πορεία της, και ονομάζετε άμεση ακτινοβολία (BNI: Beam Normal Irradiation), και στην διάχυτη ακτινοβολία (DHI : Diffuse Horizontal Irradiation), η οποία είναι αυτή που καταφέρνει να διαπεράσει την ατμόσφαιρα και τα οποιαδήποτε εμπόδια συναντά στην πορεία της, όπως τα σύννεφα. Οι δύο αυτές συνιστώσες αποτελούν την ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στην άμεση (GNI : Global Normal Irradiation). Επίσης υπάρχει και η διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία η οποία προέρχεται από την διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία στο έδαφος και σε ότι το καλύπτει η οποία εξαρτάται από την μορφολογία και το χρώμα του εδάφους. Οι ολική, απευθείας και η διάχυτη εξαρτώνται από κάποιους παράγοντες όπως τη σύσταση – κατάσταση της ατμόσφαιρας την δεδομένη στιγμή, την ημέρα και την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια του συλλέκτη – φωτοβολταϊκού πλαισίου (Φραγκιαδάκης 2009).

Από της ωριαίες τιμές της πυκνότητας ισχύος των συνιστωσών ακτινοβολιών ολική ακτινοβολία, απευθείας ακτινοβολία και διάχυτη ακτινοβολία, προκύπτουν οι μέσες ημερήσιες τιμές, οι μέσες μηνιαίες τιμές και μέσες ετήσιες τιμές. Αξιοποιώντας τις πιο πάνω τιμές μπορεί να γίνουν οι ενεργειακοί υπολογισμοί για μια περιοχή, για τους υπολογισμούς συλλέγονται δεδομένα αρκετών ετών συνήθως 15 ετών και άνω. Έτσι μελετώντας αυτά τα δεδομένα δίνεται το τυπικό μετεωρολογικό έτος για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Για να καθοριστεί το μέγεθος της διάχυτα ανακλώμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη – φωτοβολταϊκού πλαισίου υπάρχουν κάποιοι συντελεστές διάχυσης που προκύπτουν από την φύση της επιφάνειας που γίνεται η ανάκλαση. Η επιφάνειες που μπορεί να ανακλαστεί η ακτινοβολία είναι το γυμνό έδαφος, τα φυτά, το νερό, το χιόνι και διάφορες κατασκευές του ανθρώπου. Οι τιμές των συντελεστών διάχυτης ανάκλασης είναι για την επιφάνεια της θάλασσας - νερού 0,05, για την ασφάλτο 0,07, για τα φυτά με σκοτεινό χρώμα 0,08, για τα φυτά με πράσινο χρώμα 0,15, για τις βραχώδης επιφάνειες 0,20, για τις επιφάνειες τσιμέντου 0,24 -0,30 και το χιόνι 0,60.



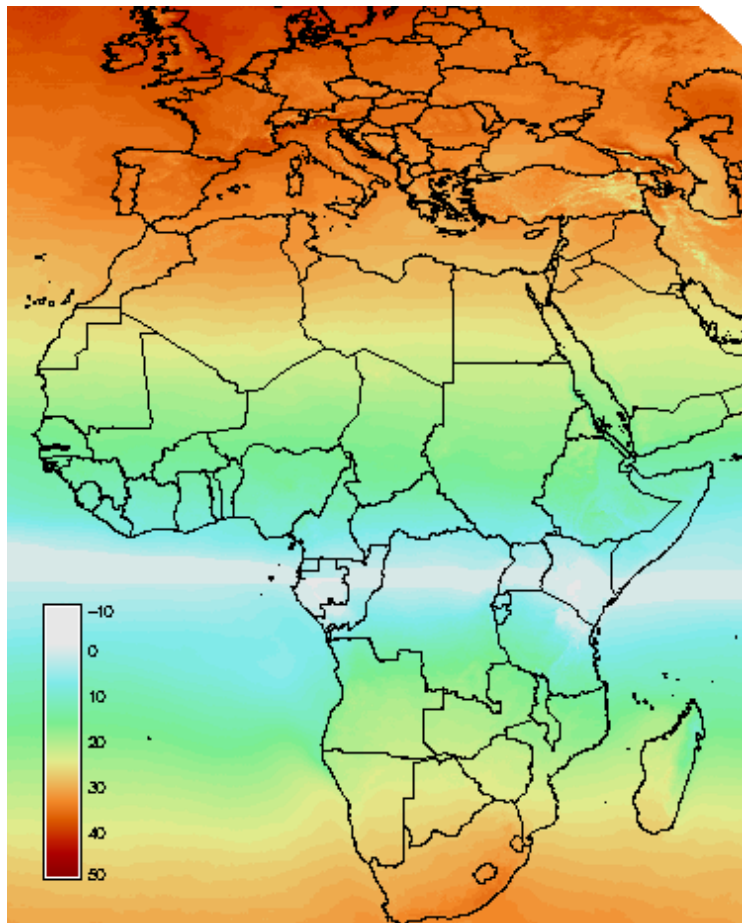
**Εικόνα 2.6:** Η ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στην άμεση ακτινοβολία για τις χώρες τις Ευρώπης και της Αφρικής. (Πηγή: Huld 2012)



**Εικόνα 2.7:** Η άμεση ακτινοβολία για τις χώρες τις Ευρώπης και της Αφρικής (Πηγή: Huld 2012)

### 2.3.1.8 Κλίση και Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπαίνουν στην ζωή των ανθρώπων όλο και περισσότερο λόγω του ότι έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Παράλληλα η απόδοση τους παίζει σημαντικό ρόλο ούτως ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες ενός συστήματος με χαμηλότερο κόστος. Δύο από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών είναι ο προσανατολισμός και η κλίση του συστήματος. Οι δύο προαναφερθέντες παράγοντες ανάλογα με την γεωγραφική θέση που πρόκειται να εγκατασταθεί ένα σύστημα επηρεάζουν την απόδοση και κατ' επέκταση την παραγωγή του συστήματος (Shareef 2017). Ο βέλτιστος προσανατολισμός για την Κύπρο είναι με κατεύθυνση προς τον Νότο. Αντίστοιχα η βέλτιστη κλίση στην Κύπρο είναι  $20^{\circ}$  τον χειμώνα και  $50^{\circ}$  το καλοκαίρι οπότε η ιδανική κλίση για ένα σύστημα εγκατεστημένο στην Κύπρο είναι από  $28^{\circ}$  έως  $30^{\circ}$  (Abdulsalam 2019).



**Εικόνα 2.8:** Η βέλτιστη κλίση για τις χώρες της Ευρώπης και της Αφρικής (Πηγή: Huld 2012)

### 2.3.1.9 Σκίαση και φωτοβολταϊκά

Ένας άλλος παράγοντας που αυτή τη φορά επηρεάζει αρνητικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών και κατ' επέκταση την παραγωγή τους είναι ο παράγοντας σκίαση. Η σκίαση σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να προκύψει είτε από φυσικά εμπόδια όπως ένα δέντρο, ένα λόφο είτε από τεχνητά εμπόδια όπως ένα κτίριο, μια κατασκευή κ.α., επίσης σκίαση μπορεί να προκληθεί και μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων αν δεν τηρηθούν οι απαραίτητες αποστάσεις μεταξύ των σειρών (Kazem 2017, Al Mamun 2016).

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά. Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών στοιχείων κάθε πλαισίου διαφέρει από τον κάθε ένα κατασκευαστή. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι

συνδεδεμένα παράλληλα. Στην συνδεσμολογία σε σειρά αν ένα στοιχείο βγει εκτός για οποιοδήποτε λόγο τότε βγαίνει όλο το πλαίσιο εκτός, σε αντίθεση με την παράλληλη συνδεσμολογία όπου αν βγει ένα πλαίσιο εκτός δεν επηρεάζει τα άλλα πλαίσια. Οπότε αν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο του πλαισίου σκεδαστεί τότε λόγω της συνδεσμολογίας των στοιχείων μειώνεται η απόδοση όλου του πλαισίου αλλά όχι όλου του συστήματος (El Shenawy 2017).

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω πέραν των σκιάσεων που δημιουργούνται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια από τα φυσικά και τα τεχνητά εμπόδια, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες σκίασης είναι, η σκίαση μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Για την αποφυγή των σκιάσεων από τα άλλα πλαίσια πρέπει να υπάρχουν αποστάσεις μεταξύ των γραμμών των φωτοβολταϊκών πλαισίων περίπου διπλάσιες του ύψους της φωτοβολταϊκής συστοιχίας που προπορεύεται και υπάρχει το ενδεχόμενο να προκαλέσει σκίαση (Xiu-Shui Ma 2015).

Ο υπολογισμός των απωλειών που προκύπτουν από τις σκιάσεις γίνεται μέσω εξειδικευμένου υπολογιστικού προγράμματος το οποίο υπολογίζει την παραγωγή του συστήματος δίνοντας του όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως, η κλίση, η κατεύθυνση, τα πλαίσια και τον αριθμό τους, τον μετατροπέα τάσης και σχεδιάζοντας τα εμπόδια που υπάρχουν και επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Μετά τον υπολογισμό μπορεί να μελετηθεί κατά πόσων το σύστημα είναι συμφέρων να υλοποιηθεί (Kumar 2017, Gajjar 2015).

#### 2.3.1.10 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Όπως αναφέρεται πιο πάνω για τις συμβατικές πηγές ενέργειας υπάρχουν αρκετές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπτώσεις λοιπόν στο περιβάλλον έχουν και τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρόλο που ανήκουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών εμφανίζονται κατά την παραγωγή καθώς και κατά την απόρριψη των στοιχείων και κατ' επέκταση των πλαισίων. Η μόλυνση που προκύπτει από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών αφορά το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα. Το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα κατά την παραγωγή διαφέρει ανάλογα με την κλίμακα παραγωγής, για παράδειγμα μια παραγωγή μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκών πυριτίου εκπέμπει 400.000 τόνους ανά παραγόμενο GW τον χρόνο ενώ μια παραγωγή μεγάλης κλίμακας εκπέμπει 150.000 τόνους ανά παραγόμενο GW τον χρόνο (Markvart 1998).

### 2.3.2 Αιολικά Συστήματα

Τα αιολικά συστήματα αποτελούνται από ανεμογεννήτριες υπάρχουν διαφόρων ειδών ανεμογεννήτριες όπως κάθετου άξονα, οριζοντίου άξονα, με δύο πτερύγια, με τρία πτερύγια κ.α.. Η ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται την κίνηση του ανέμου δίνοντας κίνηση σε μια γεννήτρια που βρίσκεται στο εσωτερικό της με αποτέλεσμα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια (Walker & Jenkins 2007).

#### 2.3.2.1 Ιστορική εξέλιξη των Αιολικών

Ο άνθρωπος ξεκίνησε να εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια από αιώνες πριν, χρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε στους ανεμόμυλους για το άλεσμα δημητριακών αλλά και για την άντληση νερού. Η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο εμφανίζεται κατά τον 9<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. σε έργα Αράβων συγγραφέων (Πελοποννήσιος Ε. 2020).

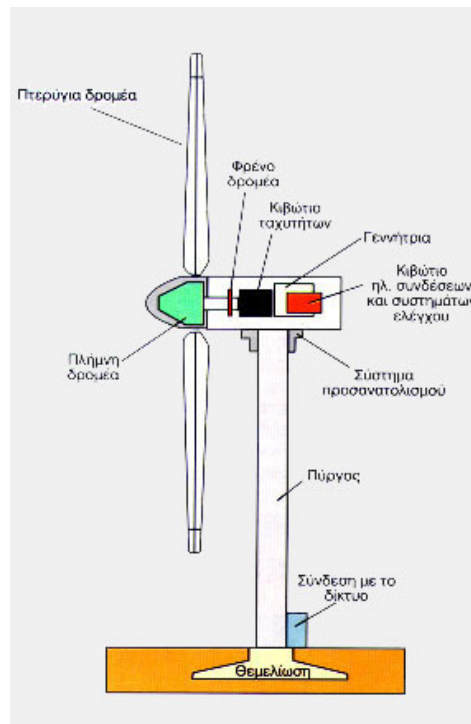
Το 1890 ο Πολ Λα Κουρ εγκατέστησε τον πρώτο ανεμόμυλο που χρησιμοποιήθηκε ως ανεμογεννήτρια. Έπειτα το 1931 εγκαταστάθηκε στην Κριμαία μια ανεμογεννήτρια με ισχία αεροτομής όπου η παραγομένη ηλεκτρική ενέργεια διοχετευόταν στο τοπικό δίκτυο χαμηλής ισχύος. Το 1950 στη Δανία αναπτύχθηκε η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια με τρία πτερύγια από τον J. Juul. Ο ίδιος μηχανικός κατά την ίδια χρονική περίοδο του 1950 κατασκεύασε επίσης την πρώτη ανεμογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) (Πελοποννήσιος Ε. 2020). Στην Ολλανδία επιχειρήθηκε να μετατραπούν οι παλαιοί ανεμόμυλοι σε ανεμογεννήτριες ούτως ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Για την επίτευξη του πιο πάνω χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος κινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο σε περίοδο άπνοιας ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια σε περίοδο ανέμου. Για να εκτελεί μόνο ωφέλιμο έργο ο μηχανισμός μετάδοσης της κίνησης, περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης (Πελοποννήσιος Ε. 2020).

Μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου αρκετοί ήταν αυτοί που περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά κάτι τέτοιο δεν έγινε και οι προσπάθειες εγκαταλείφθηκαν μέχρι της αρχές της δεκαετίας του 70. Το 1973 αφού είχε επέλθει η πρώτη πετρελαϊκή κρίση οι προσπάθειες ξανάρχισαν και στηρίχθηκαν κατά κύριο

λόγο στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι στις αρχές του 1980 διατέθηκαν στην αγορά συστήματα μικρής ισχύος της τάξεως των 20-25 kW ενώ παράλληλα είχαν κατασκευαστεί και συστήματα μεγαλύτερης κλίμακας τάξεως των 3-4 MW (Πελοποννήσιος Ε. 2020).

Οι ανεμογεννήτριες προηγμένης τεχνολογίας χωρίζονται κατά κύριο λόγο σε δυο κατηγορίες:

- Τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, οι οποίες είναι η πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες και έχουν συνήθως 2-3 πτερύγια και η ισχύς τους φτάνει έως και μερικά MW.
- Τις ανεμογεννήτριες Darrieus, οι οποίες είναι απλούστερες και είναι μικρότερης ισχύος της τάξεως των kW.



**Εικόνα 2.9:** Δομή Ανεμογεννήτριας (Πηγή: Σχεδιασμός και Κατασκευή Ανεμογεννητριών 2010)

### 2.3.2.2 Αιολική Ενέργεια

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί στην δημιουργία των ανέμων. Ο άνθρωπος από την αρχαιότητα εκμεταλλεύεται την ενέργεια του ανέμου. Παράδειγμα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο είναι τα ιστιοφόρα που για να κινηθούν εκμεταλλεύονται την κίνηση του ανέμου και ένα άλλο



παράδειγμα είναι οι ανεμόμυλοι που δουλεύαν με την βοήθεια του ανέμου. Σήμερα τα σύγχρονα συστήματα που αξιοποιούν την αιολική ενέργεια είναι κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια με τον εξής τρόπο, η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική, θέτοντας σε κίνηση την πτερωτή της ανεμογεννήτριας, στη συνέχεια η πτερωτή μεταφέρει μέσω ενός άξονα την κίνηση σε μια γεννήτρια όπου εκεί γίνεται η μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική ενέργεια. Αν με τη σημερινή τεχνολογία υπήρχε η δυνατότητα ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα χρόνο θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα (Κ.Α.Π.Ε. 2020). Εκτιμάτε ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας μεγαλύτερη από 5,1 m/s, σε ύψος δέκα μέτρων πάνω από το έδαφος, κάτι που σημαίνει ότι το αιολικό δυναμικό θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και μια εγκατάσταση αιολικού πάρκου μπορεί να καταστεί οικονομικά βιώσιμη. Το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, κάτι που μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την «πρώτη» περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας (Γαλανού Ζ. Α. 2012).

Η πιο σημαντική από οικονομικής πλευράς εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η διασύνδεση τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Σε αυτήν την περίπτωση ένα μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, δηλαδή ένα αιολικό πάρκο εγκαθίσταται σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διαθέτει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο μετατρέποντας την στις απαιτήσεις του δικτύου. Υπάρχει, βέβαια, και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που παράγεται σε αυτού του είδους εφαρμογές είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία (Γαλανού Ζ. Α. 2012).

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται είτε για την πλήρη κάλυψη ενεργειακών αναγκών είτε για τη συμπλήρωσή τους. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες είτε καταναλώνεται για της ανάγκες του σημείου που βρίσκεται (αυτόνομο σύστημα), είτε διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο (διασυνδεδεμένο σύστημα). Όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται ούτως ώστε να χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Υπάρχουν δυο οικονομικά βιώσιμοι τρόποι για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με το μέγεθος της. Ο πρώτος τρόπος είναι οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες), η οποία είναι και η πλέον διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας μη διασυνδεδεμένα συστήματα. Ο δεύτερος τρόπος είναι η άντληση υδάτων και η διοχέτευση τους σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο να μπορεί τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό ούτως ώστε με την σειρά του αυτός να μπορεί να παράξει ηλεκτρική ενέργεια όταν χρειαστεί (Γαλανού Ζ. Α. 2012).

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας (Global Wind Energy Council – GWEC), η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας το 2019 αυξήθηκε κατά 10%, με το ένα δεύτερο της αύξησης να έχει γίνει στη Κίνα. Σήμερα, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς από αιολική ενέργεια είναι της τάξης των 651GW. Σύμφωνα με τη ίδια πηγή, περισσότεροι από 2.000.000 άνθρωποι εργάζονται στη βιομηχανία της αιολικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Μόνο στην Ευρώπη το 2019, οι επενδύσεις στον τομέα των αιολικών έφτασαν τα δώδεκα δισεκατομμύρια ευρώ. Η Ισπανία, η Γερμανία, η Σουηδία, η Γαλλία και η Αγγλία, που προηγούνται στην Ευρώπη, αλλά και άλλες χώρες με λιγότερη εγκατεστημένη ισχύ, έχουν οδηγήσει την Ευρωπαϊκή ένωση στο να παράγει το 2019 περί τις 2900 TWh, το 15% των συνολικών της αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια (GWEC 2020).

Η αιολική ενέργεια είναι πρακτικά μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνουν οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες, έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

### 2.3.2.3 Οι βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας

Η κινητική ενέργεια μιας μάζας  $m$  (kg), που κινείται με ταχύτητα  $u$  (m/sec) θα είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} m u^2$$

Όπου  $m$ : η μάζα του αέρα,

$u$ : η ταχύτητα του αέρα

Η ισχύς του ανέμου είναι:

$$P = \frac{dEk}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} u^2 = \frac{1}{2} \rho A u^3$$

Όπου  $\rho$ : η πυκνότητα του αέρα,

A: η επιφάνεια ροής

Η ισχύς που δεσμεύεται από τον ανεμοκινητήρα δίνεται από τη σχέση:

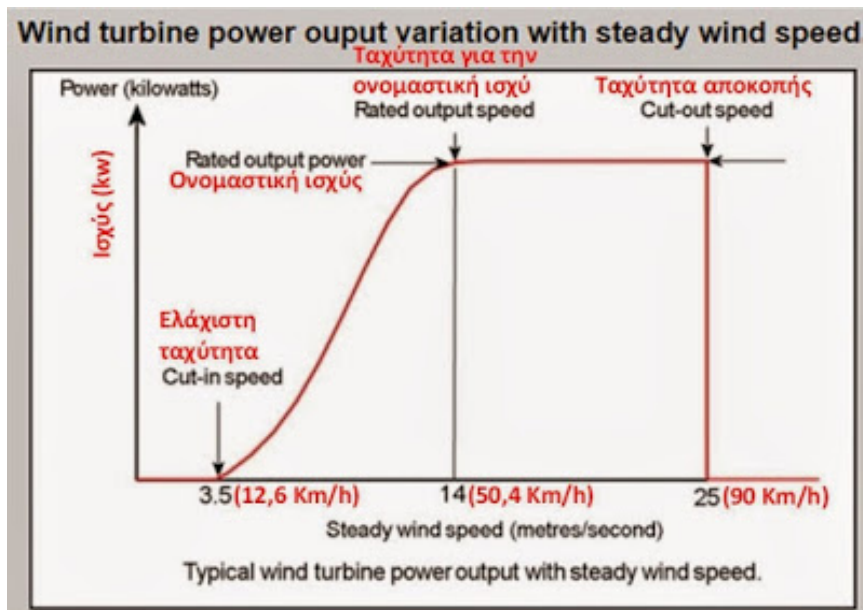
$$P_{ΑΓ} = \frac{1}{2} \rho A \tau C_p u^3$$

Όπου  $\rho$ : η πυκνότητα του αέρα,

A $\tau$ : η επιφάνεια προσβολής ανεμοκινητήρα,

C $_p$ : συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης  $< \frac{16}{27}$  (όριο Betz),

u: η ταχύτητα του αέρα.



**Διάγραμμα 2.10:** Θεωρητική τυπική καμπύλη απόδοσης τυχαίας ανεμογεννήτριας

#### 2.3.2.4 Τεχνολογίες Ανεμογεννητριών

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω μια ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύομενη την κινητική ενέργεια του ανέμου παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για να μετατραπεί η κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε μηχανική και τέλος η μηχανική να μετατραπεί σε ηλεκτρική (Αλεξανδρίδης 2013). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφορετικές τεχνολογίες ανεμογεννητριών, οι νέες τεχνολογίες αυξήσαν την απόδοση και μείωσαν το κόστος των ανεμογεννητριών. Για την επίτευξη της μεγαλύτερης απόδοσης και της ισχύς των ανεμογεννητριών αυξήθηκε σημαντικά και το μέγεθος τους.

Με το πέρας των χρόνων ανακαλύφθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πολλοί τύποι ανεμογεννητριών, οι κύριες διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τύπων ανεμογεννητριών είναι ως προς τον αριθμό των πτερυγίων, τον προσανατολισμό του άξονα και την ταχύτητα περιστροφής (Αλεξανδρίδης 2013). Η βασική κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών των ανεμογεννητριών άφορα την κατεύθυνση του άξονα, οι δύο κατηγορίες είναι οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα. Επίσης υπάρχουν και άλλες κατηγορίες όπως οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητα και οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητα (Wu 2011).

##### 2.3.2.4.1 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (vertical-axis) η οποίες ονομάζονται έτσι λόγω κάθετου άξονα περιστροφής τους χωρίζονται σε διάφορους τύπους. Οι δύο πιο γνωστοί τύποι ανεμογεννητριών αυτής της κατηγορίας είναι οι ανεμογεννήτριες τύπου Darrieus, οι οποίες εκμεταλλεύονται την άνωση σαν κινητήρια δύναμη, και τύπου Savonius, οι οποίες εκμεταλλεύονται την αντίσταση του ανέμου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας ανεμογεννητριών είναι ότι δεν απαιτείται μηχανισμός προσανατολισμού, καθώς ο άνεμος μπορεί να περιστρέψει την ανεμογεννήτρια από όποια κατεύθυνση και να φυσάει, με αποτέλεσμα να μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στο έδαφος. Η μη χρήση μηχανισμού προσανατολισμού και η μη χρήση πυλώνων κάνουν την συγκεκριμένη τεχνολογία πιο

οικονομική. Όμως η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας δεν είναι τόσο διαδεδομένη όπως αυτήν του οριζόντιου άξονα λόγω των σημαντικών μειονεκτημάτων που έχει. Τα μειονεκτήματα της πιο πάνω τεχνολογίας είναι η υψηλή ροπή εκκίνησης, με αποτέλεσμα να απαιτείται εξωτερική παρέμβαση για εκκινήσει. Οπότε μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα αρχικά λειτουργεί σαν κινητήρας καθώς απορροφά ενέργεια από το δίκτυο για να εκκινήσει και στην συνέχεια αφού έχει ξεκινήσει λειτουργεί σαν γεννήτρια (Αλεξανδρίδης 2013). Ένα ακόμα μεγάλο μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η χαμηλή απόδοση τους καθώς οι ταχύτητες στο ύψος του ρότορα είναι χαμηλές. Τέλος αναπτύσσονται φυγόκεντρες δυνάμεις με αποτέλεσμα να καταπονούνται τα πτερύγια, επίσης συχνά χρειάζεται στήριξη στο πάνω μέρος του ρότορα για να ελαχιστοποιηθούν οι μηχανικές ταλαντώσεις (Wu 2011).

#### 2.3.2.4.2 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (horizontal-axis) είναι οι ανεμογεννήτριες οι οποίες έχουν τον άξονα περιστροφής τους οριζόντιο ως προς το έδαφος και σχεδόν παράλληλο στη διεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες αυτής της κατηγορίας είναι οι πιο διαδεδομένες και κατέχουν το συντριπτικό μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς. Το μεγαλύτερο τους πλεονέκτημά είναι ότι μπορούν να εκκινήσουν να περιστρέφονται σε χαμηλές ταχύτητες του ανέμου. Επίσης, διαθέτουν μεγάλο συντελεστή ισχύος και έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε δυνατούς ανέμους, οπότε γίνεται εφικτή η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε μεγάλης κλίμακας συστήματα. Όπως όλες οι τεχνολογίες έτσι και αυτή έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα είναι ότι στη συγκεκριμένη τεχνολογία το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να τοποθετείται πάνω στον πύργο στήριξης, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος ενώ παράλληλα γίνεται και πιο δύσκολη η συντήρηση. Επίσης ένα ακόμα μειονέκτημα είναι η χρήση του μηχανισμού προσανατολισμού που χρειάζεται μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Αλεξανδρίδης 2013, Wu 2011).

Ένας παράγοντας που διαχωρίζει την συγκεκριμένη κατηγορία ανεμογεννητριών σε υποκατηγορίες είναι ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων. Οι υποκατηγορίες αυτές διακρίνονται στις μονοπτέρυγες, τις διπτέρυγες, τις τριπτέρυγες και τις πολυπτέρυγες. Οι μονοπτέρυγες ανεμογεννήτριες είναι οικονομικές και η εγκατάσταση τους είναι εύκολη, εντούτοις δεν είναι τόσο διαδεδομένες. Οι μονοπτέρυγες ανεμογεννήτριες έχουν ένα μεγάλο

μειονέκτημα το οποίο είναι, ότι για να δεσμεύσουν την ίδια ποσότητα ανέμου με μια ανεμογεννήτρια με περισσότερα πτερύγια πρέπει να περιστρέφονται σε μεγάλες ταχύτητες με αποτέλεσμα να δημιουργούν επιπρόσθετο θόρυβο. Επίσης παρουσιάζουν προβλήματα εξισορρόπησης δυνάμεων με αποτέλεσμα η τοποθέτηση αντίβαρου στην πλήμνη να κρίνεται απαραίτητη. Τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με της μονοπτέρυγες ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν και οι διπτέρυγες ανεμογεννήτριες παρόλο που μπορούν να αξιοποιήσουν μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας ανέμου καθώς και η χρήση αντίβαρου δεν είναι απαραίτητη. Οι τριπτέρυγες είναι οι πιο διαδομένες καθώς το αεροδυναμικό τους φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα και υπάρχει ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων. Επίσης οι τριπτέρυγες ανεμογεννήτριες διαθέτουν μεγαλύτερο συντελεστή ισχύος και από τις πολυπτέρυγες γι' αυτό το λόγο είναι οι πιο διαδομένες (Αλεξανδρίδης 2013).

#### 2.3.2.4.3 Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας

Μια άλλη κατηγοριοποίηση στις ανεμογεννήτριες όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι οι ανεμογεννήτριες σταθερής και μεταβλητής ταχύτητας. Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (fixed-speed) έχουν την εξής ιδιαιτερότητα, η ταχύτητα του δρομέα δεν ταυτίζεται με την ταχύτητα του ανέμου αλλά καθορίζεται από το κιβώτιο ταχυτήτων, από τον αριθμό των πόλων και από τον τύπο της μηχανής. Η μέγιστη απόδοση των ανεμογεννητριών αυτής της κατηγορίας επιτυγχάνεται ως συνήθως σε ταχύτητες της τάξεως των 12 με 15 m/s. Η ταχύτητα του ανέμου στην οποία επιτυγχάνεται η ονομαστική ισχύς ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας δεν λειτουργούν σε αρκετά χαμηλές ταχύτητες ανέμου καθώς η αιολική ενέργεια είναι ελάχιστη. Σε υψηλές ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της ονομαστικής γίνεται αεροδυναμικός έλεγχος των πτερυγίων έτσι ώστε να μην προκύψουν ζημίες στην ανεμογεννήτρια. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η απλή κατασκευή τους, το χαμηλό κόστος και η μεγάλη αξιοπιστία τους. Από την άλλη τα μειονεκτήματα τους είναι το ότι δεν διαθέτουν έλεγχο της ενέργεια που παράγεται και της άεργου ισχύς που καταναλώνεται, δέχονται μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις στις απότομες αλλαγές του ανέμου και τέλος οι αναταράξεις του ανέμου προκαλούν διαταραχές στη μηχανική ροπή με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η τάση του δικτύου (Αλεξανδρίδης 2013, Wu 2011).

#### 2.3.2.4.4 Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας

Οι τελευταία κατηγορία είναι οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (variable-speed), οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων του ανέμου με αποτέλεσμα την μέγιστη αεροδυναμική απόδοση. Σε αντίθεση με της ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητα οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας έχουν την ιδιαιτερότητα η ταχύτητα του δρομέα να προσαρμόζεται στην ταχύτητα του ανέμου. Για να επιτευχθεί η προσαρμογή της ταχύτητας του δρομέα χρειάζονται ηλεκτρονικά μετατροπής ισχύος. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η βελτιωμένη ποιότητα ισχύος και η δυνατότητα ρύθμισης της άεργου ισχύς. Τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι το υψηλό κόστος που προκύπτει από την εφαρμογή των ηλεκτρονικών μετατροπής ισχύος. Η ταχύτητα του ανέμου καθορίζει την μέγιστη παραγόμενη ισχύ. Η εξάρτηση της παραγόμενης ισχύς από την ταχύτητα του ανέμου αποτυπώνεται στην χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος - ταχύτητας η οποία διαφέρει για κάθε ανεμογεννήτρια (Αλεξανδρίδης 2013, Wu 2011).

Αν κάποιος μελετήσει την χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος - ταχύτητας μπορεί να διακρίνει την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας  $P_N$ , η οποία αντιστοιχεί στην ονομαστική ταχύτητα του ανέμου  $V_N$ . Επίσης, μπορεί να διακρίνει την ταχύτητα έναρξης  $V_{cut-in}$ , που είναι η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου για την οποία η γεννήτρια αποδίδει ωφέλιμη ισχύ, και την ταχύτητα απόξευξης  $V_{cut-out}$ , η οποία είναι η ταχύτητα του ανέμου για την οποία διακόπτεται η παραγωγή ενέργειας για να προστατευθεί η ανεμογεννήτρια και κατ' επέκταση το σύστημα. Για χαμηλότερες ταχύτητες από την  $V_{cut-in}$ , οι μηχανικές απώλειες είναι απαγορευτικές για την απόδοση ωφέλιμης ισχύος. Στην περίπτωση χαμηλότερων ταχυτήτων από την  $V_{cut-in}$  οι ανεμογεννήτριες αυτής της τεχνολογίας χρησιμοποιούν μηχανικό σύστημα πέδησης ώστε να μην υπάρχει άσκοπη λειτουργία η οποία θα οδηγήσει σε μηχανικές φθορές. Ο έλεγχος για την προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας στην ταχύτητα του ανέμου γίνεται στην περιοχή μεταξύ  $V_{cut-in}$  και  $V_N$  και είναι μεγάλης σημασίας για τη λειτουργία της τεχνολογίας της μεταβλητής ταχύτητας. Για ταχύτητες μεταξύ  $V_N$  και  $V_{cut-out}$ , η ανεμογεννήτρια περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, που είναι ίση με την ονομαστική, προκειμένου να λειτουργεί με ασφάλεια στο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο. Για τον περιορισμό της εξόδου και την απόρριψη της ισχύος χρειάζεται να γίνει έλεγχος της γωνίας βήματος των πτερυγίων (Αλεξανδρίδης 2013, Wu 2011).

## 2.4 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Κύπρο

Η ηλεκτροπαραγωγή στην Κύπρο λειτουργεί απομονωμένα και είναι πλήρως εξαρτημένη από τη εισαγωγή καυσίμων από άλλες χώρες, καθώς είναι ένα νησί χωρίς πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Τα κύρια εισαγόμενα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή είναι το μαζούτ και το ακάθαρτο πετρέλαιο. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου αποτελείται από τρεις θερμικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς με εγκατεστημένη συνολική ισχύ 1478 MW. Οι τρεις ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί είναι οι ακόλουθοι (Α.Η.Κ. 2020):

1. Ο σταθμός του Βασιλικού με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 880 MW και αποτελείται από τρεις ατμοηλεκτρικές μονάδες των 130 MW η μια, από ένα Αεριοστρόβιλο 38 MW και από δύο μονάδες συνδυασμένου κύκλου των 220 MW η κάθε μια.
2. Ο σταθμός της Δεκέλειας με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 460 MW και αποτελείται από έξι ατμοηλεκτρικές μονάδες των 60 MW η μια και από δύο μηχανές εσωτερικής καύσης των 50 MW η κάθε μια.
3. Ο σταθμός της Μονής με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 150 MW και αποτελείται από τέσσερις Αεριοστρόβιλους των 37.5 MW ο κάθε ένας.

Οι τρεις ατμοηλεκτρικές μονάδες του Βασιλικού χρησιμοποιούνται για το βασικό φορτίο ηλεκτροπαραγωγής, ενώ οι έξι ατμοηλεκτρικές μονάδες της Δεκέλειας χρησιμοποιούνται για το ενδιάμεσο φορτίο ηλεκτροπαραγωγής. Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται κυρίως για το φορτίο αιχμής του συστήματος. Όλοι οι σταθμοί χρησιμοποιούν μαζούτ για τις ατμοηλεκτρικές μονάδες και ακάθαρτο πετρέλαιο για τους αεριοστρόβιλους. Οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου χρησιμοποιούν ακάθαρτο πετρέλαιο ως καύσιμο με τη δυνατότητα να μετατραπούν και να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο στη θέση του μαζούτ (Α.Η.Κ 2020).

Επίσης στην Κύπρο χρησιμοποιούνται και τρεις τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, οι οποίες είναι (ΠΑΕΚ 2020):

1. Τα φωτοβολταϊκά με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 88.2 MW.
2. Τα αιολικά με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 157.5 MW.
3. Η βιομάζα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 9.7 MW.





**Εικόνα 2.11:** Ο ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός Βασιλικού (Πηγή: Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου 2020)

## 2.5 Ευρωπαϊκή Ένωση και Ηλεκτρική Ενέργεια

### 2.5.1 Νομοθεσία Ε.Ε. για την ενέργεια

Όσον αφορά την ενέργεια ο βασικός στόχος και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι η ριζική αλλαγή του τομέα της ενέργειας, σε τομέα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με κύριο στόχο την ασφάλεια. Για την υλοποίηση του στόχου αυτού, πρέπει να γίνει αξιοποίηση των σημερινών χαμηλών τιμών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου σε συνδυασμό με τις ήδη χαμηλές τιμές των καθαρότερων μορφών ενέργειας αναφερόμενοι στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης η ισχυρή πολιτική βούληση της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά το κλίμα καθώς και η εμφάνιση νεών τεχνολογιών χαρακτηρίζονται ως ιστορική ευκαιρία για τον επαναπροσδιορισμό της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για να καταστήσει την ένωση ως Ενεργειακή Ένωση (Σύνοψη της Νομοθεσίας της Ε.Ε. 2016).

Η Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Στρατηγική, πέρα από τη διασφάλιση της ορθής λειτουργία της ενεργειακής αγοράς, έχει ως απώτερο στόχο ακόμη, τη μέγιστη αξιοποίηση του εγχωρίου

δυναμικού για παραγωγή ενέργειας που αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος, και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση. Ο κύριος στρατηγικός ενεργειακός στόχος ο οποίος δηλώνεται από την οδηγία 2009/28/EC, αναφέρεται στο ότι τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναγκάζονται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1995. Ο πιο πάνω στρατηγικός στόχος αποτελεί τον πυρήνα της νέας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής (Επιτροπή Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού 2012, Καρακώστας & Νικάς 1998).

Για την υλοποίηση των πιο πάνω οι βασικοί άξονες της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής είναι οι εξής:

- **Η ενεργειακή ασφάλεια, αλληλεγγύη και εμπιστοσύνη.** Βασικοί παράγοντες της ενεργειακής ασφάλειας είναι η ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας και η αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας. Αυτό προϋποθέτει περισσότερη διαφάνεια καθώς και μεγαλύτερη αλληλεγγύη και εμπιστοσύνη μεταξύ των κρατών. Για την ενεργειακή της ασφάλεια, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξαρτάται στενά από τα γειτονικά της κράτη και γι' αυτό, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η διαφοροποίηση της προσφοράς ενέργειας από πηγες, προμηθευτές και οδούς εφοδιασμού ώστε να εξασφαλιστούν ασφαλέστερες και ανθεκτικότερες ενεργειακές προμήθειες στους ευρωπαίους πολίτες και στις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις, οι οποίοι προσδοκούν να έχουν πρόσβαση ανά πασα στιγμή στην ενέργεια σε προσιτές και ανταγωνιστικές τιμές. Προς την κατεύθυνση αυτή, γίνονται προσπάθειες διαφοροποίησης του εφοδιασμού με φυσικό αέριο και μείωσης της κατανάλωσης του πετρελαίου. Εδώ αξίζει να σημειωθεί, πως στη μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από εισαγωγές ενέργειας, συμβάλλει και η εσωτερικά παραγομένη ενέργεια η οποία προέρχεται ως επί το πλείστον από ανανεώσιμες πηγες ενέργειας καθώς και από συμβατικούς ορυκτούς πόρους (Καρακώστας & Νικάς 1998).

- **Η πλήρως ενοποιημένη ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας.** Σήμερα, κρίνεται αναγκαία μια νέα πολιτική ώθηση στην ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα ευρωπαϊκά συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, και κυρίως οι διασυνοριακές συνδέσεις, δεν επαρκούν έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύρυθμη λειτουργία της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις υποδομές της εσωτερικής αγοράς. Έργα υποδομών (που αποτελούν προτεραιότητα στην ευρωπαϊκή ατζέντα) έχουν επισπευσθεί τα τελευταία χρόνια στα ανατολικά σύνορα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπό

το πρίσμα των προσφάτων γεγονότων. Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, έχει τεθεί ειδικός ελάχιστος στόχος διασύνδεσης του 10% των εγκατεστημένων υποδομών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των κρατών μελών, ο οποίος θα πρέπει να επιτευχθεί έως το 2020 (ανάγκη ενός διασυνδεδεμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας). Ειδικότερα, μέχρι το 2020, απαιτούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση επενδύσεις ενός τρισεκατομμυρίου ευρώ, για τη διασφάλιση της ασφάλειας του εφοδιασμού, τη διαφοροποίηση των πηγών από καθαρότερες πηγές ενέργειας, ο οποίες να έχουν και ανταγωνιστικές τιμές εντός μιας ολοκληρωμένης ενεργειακής αγοράς. Επιπλέον η εφαρμογή και αναβάθμιση του λογισμικού της εσωτερικής αγοράς ενέργειας μπορεί να συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό προς αυτήν την κατεύθυνση: Τα ευρωπαϊκά δίκτυα διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, που συσταθήκαν βάσει της 3ης δέσμης μέτρων για την εσωτερική αγορά ενέργειας, πρέπει να αναβαθμιστούν για να επιτελέσουν τον ρόλο τους. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να δημιουργηθούν περιφερειακά επιχειρησιακά κέντρα, τα οποία θα είναι σε θέση να προγραμματίζουν και να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τις διασυνοριακές ροές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Για την πλήρη ενοποίηση της αγοράς σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, σημαντική είναι η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η τεχνική υλοποίηση των διαφορών στοιχείων της στρατηγικής σε περιφερειακό επίπεδο (όπως οι νέες ρυθμίσεις της αγοράς για τις βραχυπρόθεσμες αγορές φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας ή η ενοποίηση των δραστηριοτήτων των διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς) (Καρακώστας & Νικάς 1998).

- **Η ενεργειακή απόδοση που συμβάλλει στον μετριασμό της ζήτησης.** Πέρα από τον μετριασμό της ζήτησης, η ενεργειακή απόδοση μειώνει την εισαγωγή ενέργειας, επίσης περιορίζει τη ρύπανση και αποτελεί μια μακροπρόθεσμη λύση στο πρόβλημα της ενεργειακής ενδείας και των υψηλών τιμών ενέργειας. Το 2018 Ευρωπαϊκό Συμβούλιο έθεσε ως στόχο τουλάχιστον το 32% για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέχρι το 2030 (Καρακώστας & Νικάς 1998).

- **Η απαλλαγή της οικονομίας από τις εκπομπές άνθρακα.** Αναπόσπαστο μέρος της Ενεργειακής Ένωσης αποτελεί μια πολιτική για το κλίμα. Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα βασίζεται σε μια πανευρωπαϊκή αγορά εκπομπών άνθρακα (το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης), σε φιλόδοξους αλλά δίκαιους εθνικούς στόχους μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκήπιου για τους τομείς που δεν υπάγονται στο σύστημα εμπορίας εκπομπών και σε ενεργειακή πολιτική με στόχο να κατακτήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση

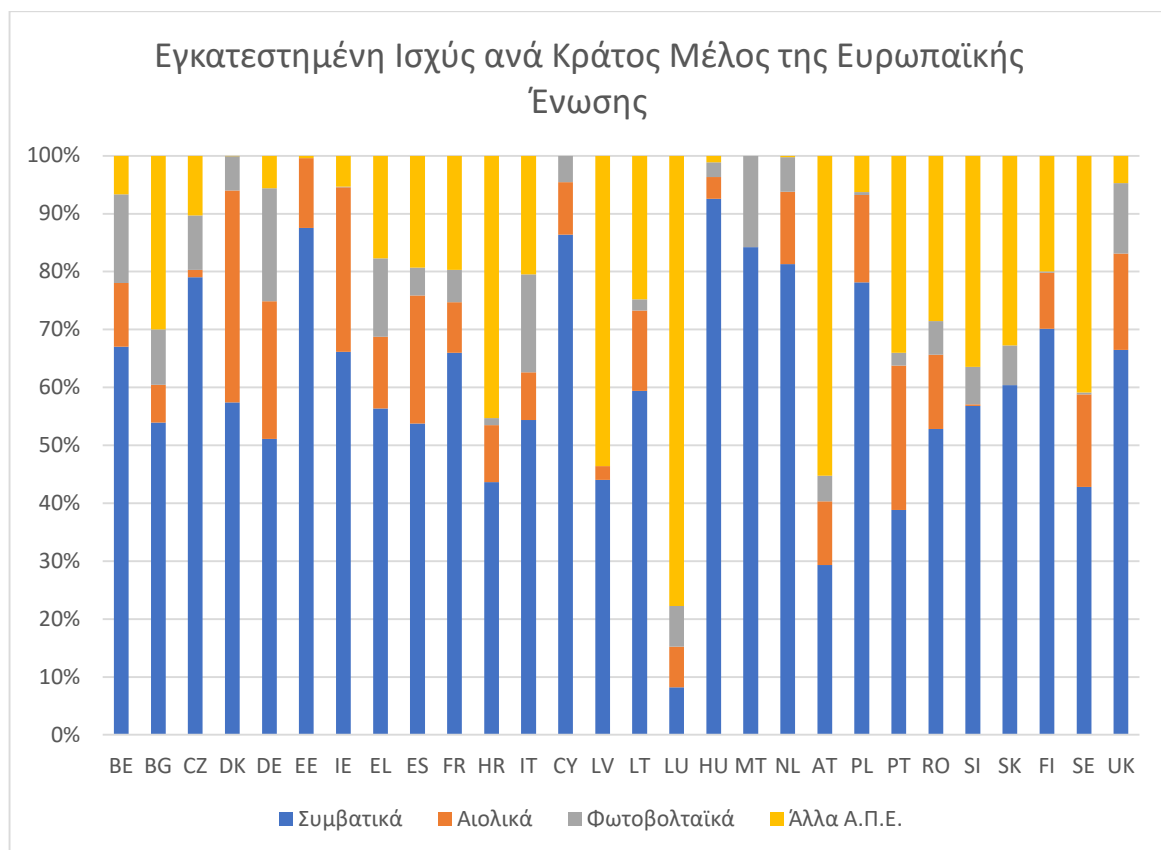
την πρώτη θέση όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδικότερα, με χρόνο αναφοράς το 2030, προβλέπεται η δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στο έδαφος της κατά τουλάχιστον 40 % σε σύγκριση με το 1990 και αναφορικά με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που θα καταναλώνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2030, να ανέρχεται στο 32% έναντι του 27% που έθεσε ο οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών στην συμφωνία του Παρισιού (Καρακώστας & Νικάς 1998).

• **Η έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα.** Στο επίκεντρο της Ενεργειακής Ένωσης πρέπει να βρίσκεται μια νέα στρατηγική για την ερευνά και την καινοτομία. Η τεχνολογική μετατόπιση που απαιτείται για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θα είναι δυνατή μόνο με ουσιαστικό εκσυγχρονισμό των υφισταμένων ενεργειακών υποδομών. Η Ε & Α και η καινοτομία, στον τομέα της ερευνάς, εξακολουθούν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη πιο φθηνών, πιο αποδοτικών και πιο αξιόπιστων ενεργειακών τεχνολογιών. Ειδικότερα, προκειμένου η Ενεργειακή Ένωση να μετεξελιχθεί σε κινητήρια δύναμη για τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την ανταγωνιστικότητα, πολύ σημαντικό είναι να διαδραματίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση πρωταγωνιστικό ρόλο στις τεχνολογίες έξυπνου δικτύου και έξυπνου σπιτιού, τις καθαρές μεταφορές και τα καθαρά ορυκτά καύσιμα (Καρακώστας & Νικάς 1998).

Τέλος, σημειώνεται πως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε και τον οδικό χάρτη για μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 ο οποίος έχει ως στόχο να συνεισφέρει στην κεντρική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μια Ευρώπη με υψηλή αποδοτικότητα των πόρων που διαθέτει. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνει συγκεκριμένες στρατηγικές για την επίτευξη μιας οικονομίας που να χαρακτηρίζεται από χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μια βιώσιμη ανάπτυξη έως το 2050. Ειδικότερα, ο Ενεργειακός Χάρτης Πορείας 2050, δείχνει πως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν κατά το 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (Σύνοψη της Νομοθεσίας της Ε.Ε. 2016, Καρακώστας και Νικάς 1998).

## 2.5.2 Εγκατεστημένη Ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελείται από 28 κράτη μέλη τα οποία έχουν την υποχρέωση συμμόρφωσης με της πιο πάνω οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα κράτη μέλη με τα σημερινά δεδομένα καλύπτουν τις ανάγκες τους για ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας 65% συμβατικά καύσιμα, 12% από αιολικά συστήματα, 7% από φωτοβολταϊκά συστήματα και 16% από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα ποσοστά αυτά για το κάθε κράτος μέλος διαφέρουν ανάλογα με την πολιτική την οποία ακολουθούν. Στο πιο κάτω γράφημα φαίνεται η εγκατεστημένη ισχύς ανά τεχνολογία κάθε κράτους μέλους σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσίευσε η Ευρωπαϊκή Ένωση κατά το 2018 και αφορά την εγκατεστημένη ισχύ για την χρονική περίοδο του 2016 (EU Energy in Figures 2018).



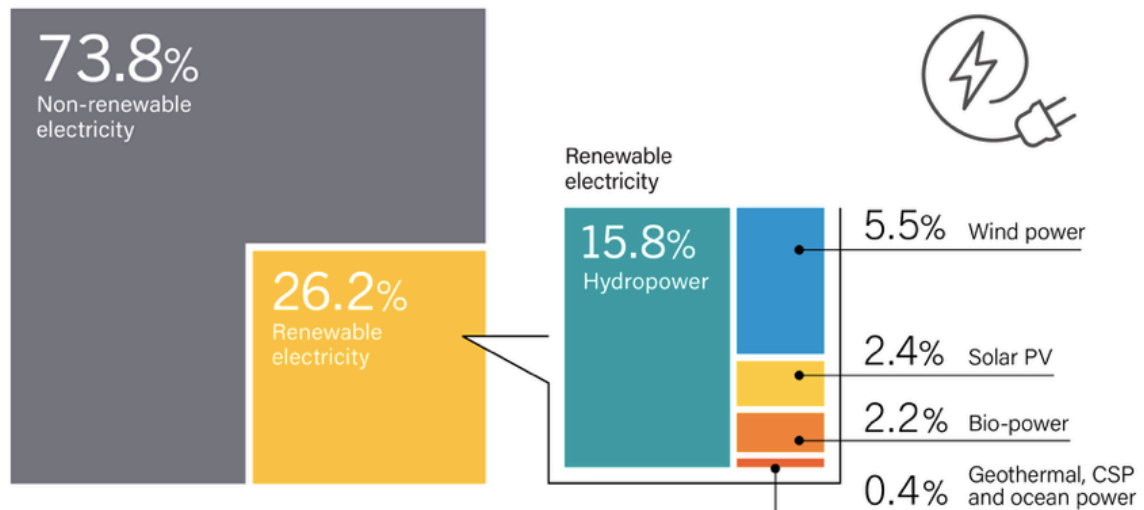
**Διάγραμμα 2.12:** Το μίγμα της εγκατεστημένης ισχύς ανά κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (Πηγή: EU Energy in figures)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πιο πάνω γραφήματος από τα 28 κράτη μέλη τα πέντε δεν έχουν υλοποίηση των στόχο του 2020. Τα πέντε κράτη μέλη είναι, η Εσθονία η οποία έχει 12%

της εγκατεστημένης της ισχύς από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η Κύπρος με ποσοστό 14%, η Ουγγαρία με ποσοστό 7%, η Μάλτα με ποσοστό 16% και η Ολλανδία με ποσοστό 19%. Το κράτος μέλος με την περισσότερη συνεισφορά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι το Λουξεμβούργο του οποίου το 92% της εγκατεστημένης ισχύς είναι από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (EU Energy in Figures 2018).

Η Κύπρος σύμφωνα με τα στοιχεία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου για το 2020 έχει ως συνολική εγκατεστημένη ισχύς από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανήλθε στο 14.73%. Ως εκ τούτου αυτό οδηγεί την Κυπριακή Δημοκρατία στο να πληρώσει υψηλά χρηματικά ποσά ως πρόστιμα για την μη συμμόρφωση της με την Ευρωπαϊκή οδηγία 2009/28/EC (PAEK 2020).

Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2018



Note: Data should not be compared with previous version of this figure due to revisions in data and methodology.

REN21 RENEWABLES 2019 GLOBAL STATUS REPORT

**Σχήμα 2.13:** Το μίγμα της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας για το 2018 (Πηγή: REN21: Renewables Now 2019 Global Status Report 2020)

# Κεφάλαιο 3

## Μεθοδολογία

### 3.1 Σκοπός - Στόχοι

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η σύγκριση των φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων ούτως ώστε να βρεθεί ποια από της δύο τεχνολογίες είναι πιο συμφέρουσα για να εφαρμοσθή στην Κύπρο. Όπως φαίνεται και από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η μείωση ή ακόμη και η αντικατάσταση των συμβατικών πηγών ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κρίνεται αναγκαία καθώς και σημαντικότερη.

### 3.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία προκύπτουν είναι, το ποια τεχνολογία είναι τελικά πιο συμφέρουσα για εφαρμογή σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτό της Κύπρου, και ποια είναι τα κριτήρια που θα καθορίσουν ποια τεχνολογία πρέπει να χρησιμοποιηθεί ή αν τελικά ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών είναι η πιο συμφέρουσα λύση.

### 3.3 Σχεδιασμός

Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η σύγκριση των δύο τεχνολογιών θα πρέπει να οριστούν κάποιες παράμετροι οι οποίες θα αποτελέσουν το κλειδί για να καταστεί εφικτή η σύγκριση τους. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

- Η απόδοση που προσφέρει η κάθε τεχνολογία
- Η έκταση την οποία χρειάζεται για να εγκατασταθεί για συγκεκριμένη ισχύ η κάθε τεχνολογία
- Ποιο είναι το οικονομικό κόστος συμπεριλαμβανομένου και του κόστους συντήρησης για την κάθε τεχνολογία και ποιος είναι ο ενδεικτικός χρόνος απόσβεσης

- Ποια είναι η παραγωγή της κάθε τεχνολογίας βάση τα μετεωρολογικά και αιολικά δεδομένα της Κύπρου και ποιος είναι ο συντελεστής χρήσης της κάθε τεχνολογίας
- Ποιο είναι το ανθρακικό αποτύπωμα της κάθε τεχνολογίας

Ορίζοντας τις πιο πάνω παραμέτρους και για τις δύο τεχνολογίες μπορεί να γίνει η σύγκριση.

### 3.4 Μέθοδος συλλογής δεδομένων

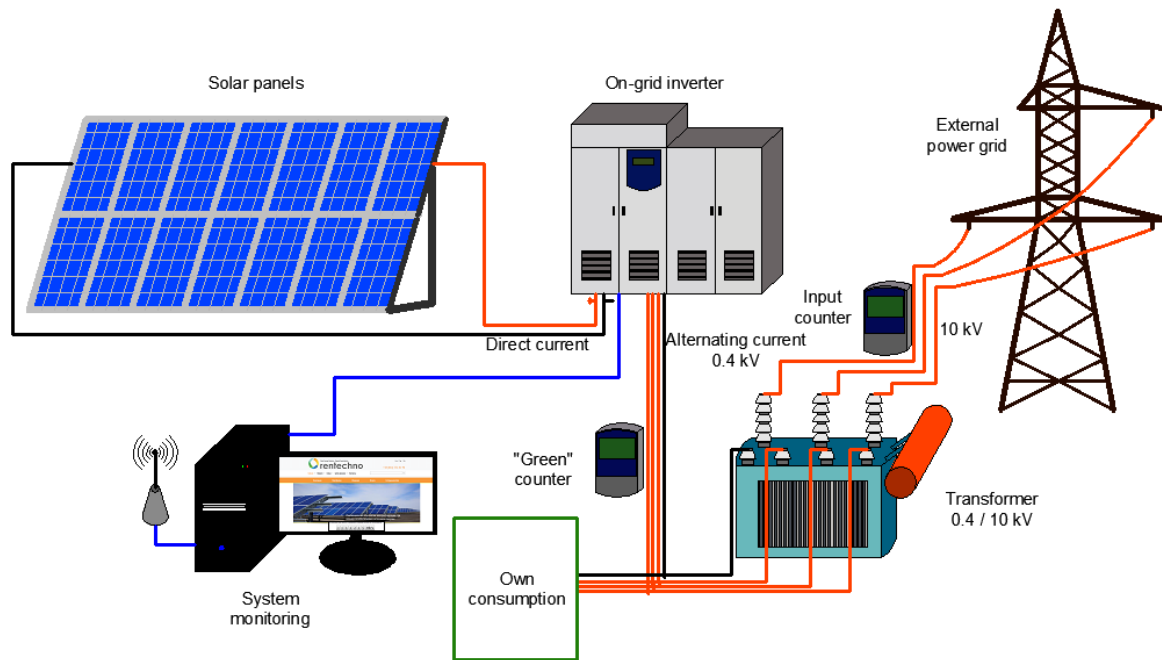
Η διαδικασία της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί είναι η συγκριτική ανάλυση. Για την σύγκριση των δύο τεχνολογιών πρόκειται να γίνει ανάλυση δύο συστημάτων, ένα για κάθε μια τεχνολογία ισχύος 1 MW το κάθε ένα. Τα δύο συστήματα που πρόκειται να αναλυθούν θα αφορούν σε περιοχές της Κύπρου. Οι περιοχές αυτές θα επιλεγούν με βάση το που αναμένεται να αποδοθούν οι μέγιστες παράγωγες για την κάθε μια τεχνολογία σύμφωνα με τα μέγιστα μετεωρολογικά και αιολικά δεδομένα της Κύπρου. Για την ανάλυση των δύο συστημάτων θα γίνει έρευνα στην κυπριακή αγορά ούτως ώστε τα υλικά αλλά και το κόστος για το κάθε σύστημα να αντικατοπτρίζουν τα κυπριακά δεδομένα. Όσων αφορά τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν δεν θα αναφερθούν οι κατασκευαστές παρά μόνο τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών για λόγους πνευματικών δικαιωμάτων.

### 3.5 Διαδικασία

#### 3.5.1 Ανάλυση Φωτοβολταϊκού Συστήματος 1 MW

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχει μέσο όρο ζωής περίπου 25 με 30 χρόνια. Οι περισσότεροι κατασκευαστές για τα πλαίσια δίνουν 25 χρόνια γραμμική εγγύηση ισχύος και 10 χρόνια εγγύηση προϊόντος. Συνεπώς για την ανάλυση του συστήματος θεωρείται ότι ο χρόνος ζωής του συστήματος είναι 30 χρόνια για τους υπολογισμούς του κέρδους του συστήματος (Δαμιανίδης 2011).





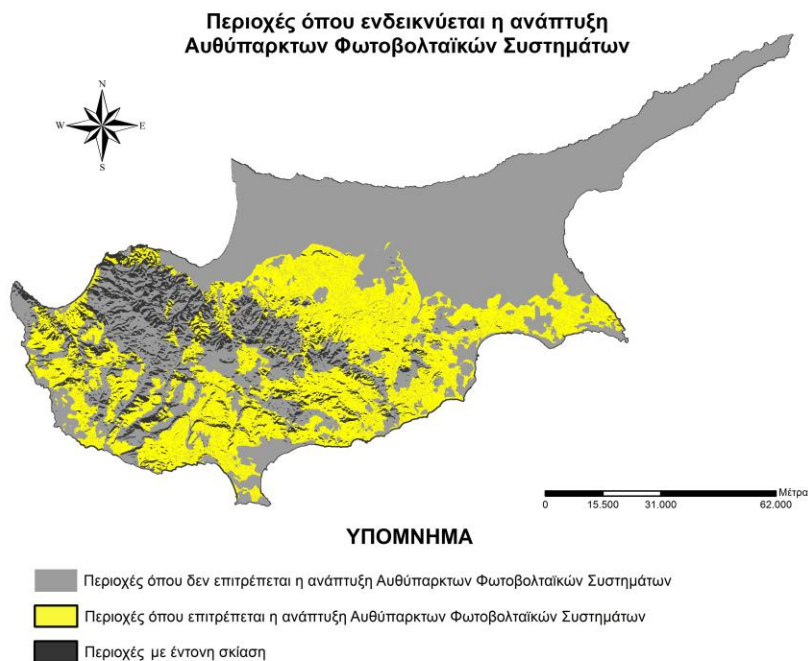
**Εικόνα 3.1:** Τυπικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου (Πηγή: Ken Book 2020)

### 3.5.1.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Αρχικά για να μελετηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να μελετηθούν τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή εγκατάστασης του συστήματος. Το σύστημα που πρόκειται να αναλυθεί για την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα είναι ένα σύστημα σε μια περιοχή της Κύπρου και για χάρη της προσομοίωσης πιο συγκεκριμένα στην Λευκωσία. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας της Κύπρου είναι σχεδόν τα ίδια για όλη την επικράτεια του νησιού γι' αυτό όπου και να τοποθετηθεί το σύστημα θα αντικατοπτρίσει την μέγιστη παραγωγή. Η επιλογή της περιοχής της Λευκωσίας έγινε για τον λόγο ότι στην Λευκωσία υπάρχουν μεγάλες πεδιάδες όπου θα μπορεί να εγκατασταθεί ένα σύστημα χωρίς να επηρεάζεται από σκιάσεις η οποίες είναι περιοριστικός παράγοντας (PVGIS 2020).

**Πίνακας 3.2:** Ηλιακή ακτινοβολία της Κύπρου (Πηγή: PVGIS 2020)

<b>Δεδομένα Ηλιακής Ακτινοβολίας στην Κύπρο</b>			
<b>Μήνας</b>	<b>Διάχυτη ανά ημέρα [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Άμεση ανά ημέρα [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Ολική ανά ημέρα [kWh/m<sup>2</sup>]</b>
Ιανουάριος	0.92	1.57	2.49
Φεβρουάριος	1.17	2.27	3.44
Μάρτιος	1.45	3.38	4.83
Απρίλιος	1.80	4.18	5.98
Μάιος	1.86	5.38	7.24
Ιούνιος	1.71	6.41	8.12
Ιούλιος	1.66	6.27	7.93
Αύγουστος	1.54	5.54	7.08
Σεπτέμβριος	1.30	4.58	5.88
Οκτώβριος	1.13	3.13	4.26
Νοέμβριος	0.95	1.92	2.87
Δεκέμβριος	0.85	1.35	2.20
<b>Ετήσια</b>	<b>1.36</b>	<b>3.83</b>	<b>5.19</b>



**Εικόνα 3.3:** Περιοχές όπου επιτρέπονται αναπτύξεις φωτοβολταϊκών συστημάτων (Πηγή: Στρατηγική Μελέτη Επιπτώσεων στο Περιβάλλον από την εφαρμογή του Εθνικού Σχέδιου Δράσης της Κυπριακής Δημοκρατίας για την Ανανεώσιμη Ενέργεια που αφορά στην χρονική περίοδο 2010-2020)

### 3.5.1.2 Επιλογή Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Το πρώτο στάδιο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αφού μελετήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης είναι η επιλογή των πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν, η επιλογή γίνεται βάση της ισχύς και της απόδοσης του πλαισίου σε πρώτο βαθμό. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω θα θεωρηθεί ότι όλοι οι παράμετροι είναι οι βέλτιστοι οπότε για την υλοποίηση του συστήματος δεν υπάρχουν περιορισμοί όσον αφορά το κόστος ή την έκταση του φωτοβολταϊκού πάρκου. Με βάση τα πιο πάνω επιλέγηκε ένα πλαίσιο ισχύος 395 W και με βαθμό απόδοσης 19.6 %. Το πιο πάνω πλαίσιο έχει διαστάσεις 2 m x 0.996 m και συνολικό εμβαδόν 2.012 m<sup>2</sup>. Αφού γίνει η επιλογή του πλαισίου ακολουθεί ο υπολογισμός του αριθμού των πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να καλυφθεί η απαιτούμενη ισχύς. Οπότε για ισχύ της τάξεως του 1 MW θα χρησιμοποιηθούν 2532 πλαίσια. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου που επιλέχθηκε (Sharp 2020).



**Εικόνα 3.4:** Η τυπική όψη φωτοβολταϊκού πλαισίου (Πηγή: Sharp Solar NUJB395 2020)

**Πίνακας 3.5:** Τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων που επιλέγηκαν (Πηγή: Sharp Solar NUJB395 2020)

<b>Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων</b>	
Τεχνολογία του πλαισίου	Si mono
Ονομαστική Ισχύς	395.00 W
Ανοχή	$\pm 5$ Wp
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (Voc)	49.45 V
Τάση στην μέγιστη Ισχύ (Vmpp)	41.07 V
Ρεύμα Βραχυκυκλώματος (Isc)	10.35 A
Ρεύμα στην μέγιστη Ισχύ (Impp)	9.62 A
Θερμοκρασία (NOCT)	45 $\pm$ 2 °C
Συντελεστής επίδρασης Θερμοκρασίας (Pmax)	-0.353 %/ °C
Εμβαδόν πλαισίου	2.012 m <sup>2</sup>
Απόδοση	19.6%

### 3.5.1.3 Επιλογή Μετατροπέα Τάσης

Το δεύτερο στάδιο αφορά την επιλογή του μετατροπέα τάσης ούτως ώστε να μπορεί το σύστημα να διασυνδεθεί με το δίκτυο. Ο μετατροπέας επιλέγεται βάσει της ισχύος του συστήματος. Άρα για ένα σύστημα της τάξεως του 1 MW ο μετατροπέας πρέπει να είναι της ίδιας ισχύος περίπου. Για το εν λόγω σύστημα έγινε επιλογή δύο μετατροπέων με ονομαστική ισχύ 500 kW και απόδοσης 98.7 % ο κάθε ένας. Η επιλογή να χρησιμοποιηθούν δύο

μετατροπής και όχι ένας είναι για να αποφευχθεί σε περίπτωση βλάβης η πλήρης διακοπή του συστήματος. Είναι σημαντικό για οποιοδήποτε σύστημα να υπάρχει απομακρυσμένος έλεγχος όσον αφορά τη λειτουργία των πλαισίων και αυτό επιτυγχάνεται μέσω των μετατροπέων τάσης. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του μετατροπέα που επιλέχθηκε (ABB 2016).



**Εικόνα 3.6:** Τυπική όψη μετατροπέα τάσης για φωτοβολταϊκά Πάρκα (Πηγή: ABB Central Inverter Core 500.0 & 1000.0 TL 2016)

**Πίνακας 3.7:** Τεχνικά χαρακτηριστικά των μετατροπέων τάσης που επιλέχθηκαν (Πηγή: ABB Central Inverter Core 500.0 & 1000.0 TL 2016)

<b>Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μετατροπέα Τάσης</b>	
Ονομαστική Ισχύς	500.0 kW
Μέγιστη Ισχύς	550.0 kW
Μέγιστη Απόδοση	98.70 %
Ευρωπαϊκή Απόδοση	98.40 %
Μέγιστη τάση από τα φ/β	1,000.00 V
Ελάχιστη τάση MPPT	500.00 V
Μέγιστη τάση MPPT	950.00 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	1150.00 A
Αριθμός των MPPT	1
AC τάση εξόδου	400.00 V
Έξοδος	Three-phase 3W + Pe
Συχνότητα	50 Hz

#### 3.5.1.4 Χωροθέτηση Συστήματος

Το τρίτο στάδιο είναι η σχεδίαση του συστήματος ούτως ώστε να βρεθεί η βέλτιστη χωροθέτηση των πλαισίων στην διαθέσιμη έκταση και να μελετηθεί αν μπορεί να υλοποιηθεί το σύστημα. Αφού γίνει η χωροθέτηση τότε εξετάζετε αν υπάρχουν οι οποιεσδήποτε σκιάσεις και αν υπάρχουν εξετάζετε αν μπορούν να αποφευχθούν και αν όχι τότε υπολογίζονται μέσω εξειδικευμένου υπολογιστικού προγράμματος οι απώλειες από τις σκιάσεις. Το σύστημα για το οποίο γίνεται η ανάλυση χρειάζεται περίπου 10 km<sup>2</sup>, μέσα στην έκταση αυτή περιλαμβάνονται τα 2532 πλαίσια οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών ούτως ώστε να μην υπάρχουν σκιάσεις μεταξύ των γραμμών και ο χώρος ελέγχου ο οποίος περιλαμβάνει των μετατροπέα τάσης. Επίσης για την υλοποίηση και τη διασύνδεση του συστήματος χρειάζεται και δημιουργία ιδιωτικού υποσταθμού εντός του χώρου οπότε πρέπει να ληφθεί υπόψη στην σχεδίαση του συστήματος (PvSyst 2020).

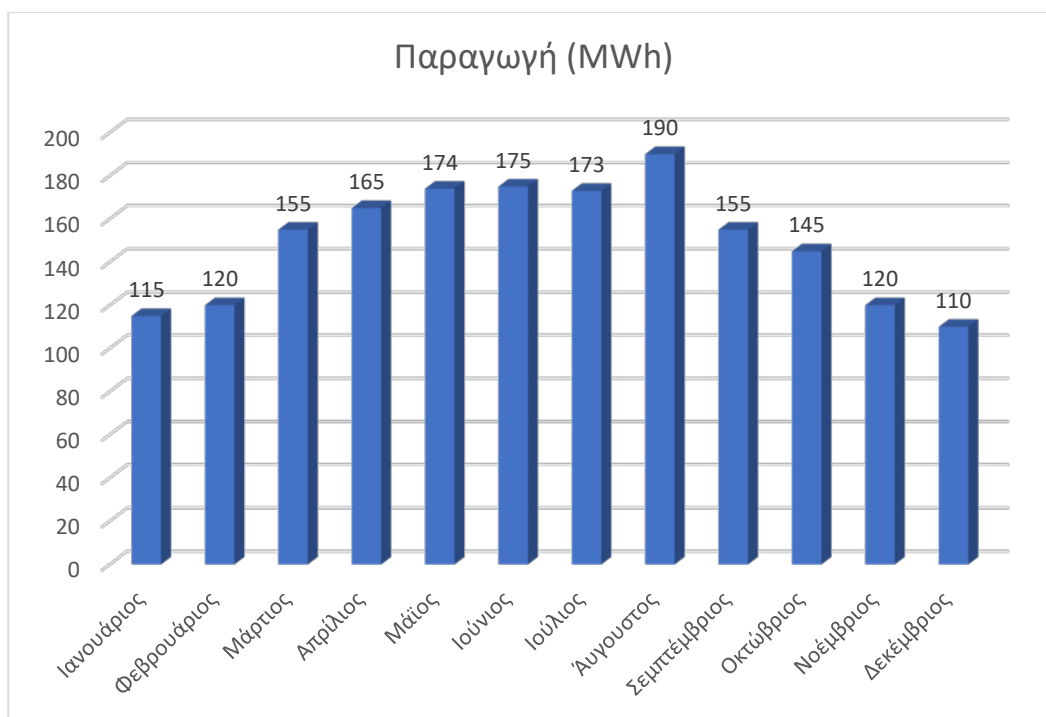
### 3.5.1.5 Υπολογισμός Παραγωγής του Συστήματος

Το τέταρτο στάδιο αφού έγιναν τα πιο πάνω και πλέον είναι γνωστά όλα τα δεδομένα όπως τα πλαίσια, ο αριθμός των πλαισίων, ο μετατροπέας και η χωροθέτηση των πλαισίων τότε γίνεται ο υπολογισμός της παραγωγής του συστήματος. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένο υπολογιστικό πρόγραμμα στο οποίο δηλώθηκαν η κλίση και η κατεύθυνση των πλαισίων, ο αριθμός των πλαισίων και πόσες γραμμές θα τοποθετηθούν και τέλος τα χαρακτηριστικά των πλαισίων και του μετατροπέα. Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να τοποθέτηση και πιθανά εμπόδια που μπορεί να προκαλούν σκιάσεις ούτως ώστε να υπολογιστούν οι όποιες απώλειες λόγω σκιάσεων. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού και κατ' επέκταση η ενδεικτική παραγωγή για το συγκεκριμένο σύστημα ανά μήνα του έτους και συνολικά για το έτος (PvSyst 2020).

**Πίνακας 3.8:** Αναμενόμενη παραγόμενη ενέργεια (Πηγή: PvSyst 2020)

Μήνες	Παραγωγή MWh
Ιανουάριος	115.00
Φεβρουάριος	120.00
Μάρτιος	155.00
Απρίλιος	165.00
Μάϊος	174.00
Ιούνιος	175.00
Ιούλιος	173.00
Άυγουστος	190.00
Σεπτέμβριος	155.00
Οκτώβριος	145.00
Νοέμβριος	120.00
Δεκέμβριος	110.00
Σύνολο	<b>1797.00</b>

Όπως φαίνεται και από τον πιο πάνω πίνακα το σύστημα πρόκειται να παράγει ιδανικά περίπου 1797.00 MWh ετησίως. Επίσης στο πιο κάτω γράφημα φαίνεται η καμπύλη της παραγωγής του συστήματος ανά μήνα του έτους.



**Διάγραμμα 3.9:** Αναμενόμενη παραγόμενη ενέργεια (Πηγή: PnSyst 2020)

### 3.5.1.6 Κοστολόγηση του συστήματος

Το επόμενο στάδιο μετά την επιλογή των πλαισίων και του μετατροπέα καθώς και την χωροθέτηση του συστήματος είναι η κοστολόγηση του συστήματος. Για να γίνει ορθά η κοστολόγηση πρέπει να χωριστούν τα έξοδα σε κατηγορίες όπως πιο κάτω:

- Ο Ηλεκτρολογικός και Μηχανολογικός Εξοπλισμός ο οποίος περιλαμβάνει τα φ/β πλαίσια, τις βάσεις στήριξης των πλαισίων, τον μετατροπέα, τα καλώδια DC / AC και τους προστατευτικούς μηχανισμούς DC / AC (MCB / RCD / Surge Arresters κ.λ.π)
- Την εγκατάσταση του Συστήματος η οποία περιλαμβάνει την ηλεκτρολογική και μηχανολογική εγκατάσταση του εξοπλισμού
- Ο υποσταθμός για την διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο
- Η συντήρηση του συστήματος για 15 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.
- Άλλες εργασίες όπως χωματουργικές εργασίες, περίφραξη, χτίσιμο του δωματίου ελέγχου και εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης



Το εν λόγω σύστημα θεωρείται ότι θα υλοποιηθεί σε αγροτικό τεμάχιο το οποίο υπάρχει και είναι ιδιόκτητο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν επιπλέον έξοδα ενοικίασης του τεμαχίου. Οπότε δεν θα υπάρχουν έξοδα κατά την λειτουργία του συστήματος (Παπαθανασίου 2012).

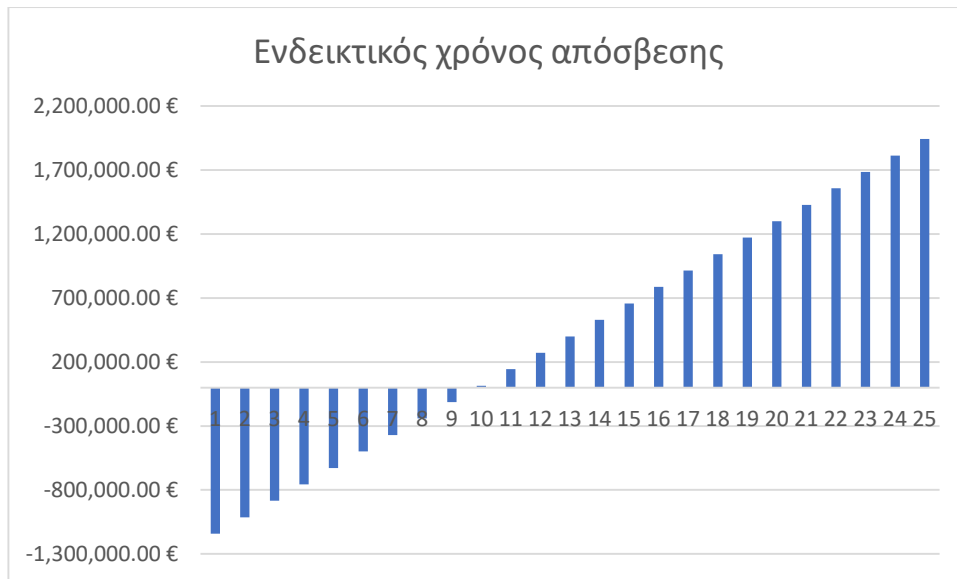
**Πίνακας 3.10:** Το ενδεικτικό κόστος του συστήματος (Πηγή: CAS Consulting LTD 2020)

Περιγραφή Εξόδων	Κόστος (€)
Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός	450000
Εγκατάσταση Συστήματος	100000
Υποσταθμός	20000
Συντήρηση	600000
Άλλες εργασίες	100000
<b>Σύνολο</b>	<b>1270000</b>

Όπως φαίνεται και στον πιο πάνω πίνακα το ενδεικτικό κόστος για να υλοποιηθεί ένα σύστημα της τάξεως του 1 MW στην Κύπρο είναι €1 270 000, το κόστος ανεβαίνει αν η γη δεν είναι διαθέσιμη και πρέπει είτε να ενοικιασθεί είτε να αγορασθεί. Στο πιο πάνω κόστος εκτός από τα έξοδα που αναφέρθηκαν πιο πάνω περιλαμβάνονται και όλα όσα χρειάζονται για να υλοποιηθεί και να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα όπως η μελέτη, ο σχεδιασμός, η αδειοδότηση και η διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.

### 3.5.1.7 Υπολογισμός Κέρδους και Χρόνου Απόσβεσης

Η παραγόμενη ενέργεια από το πιο πάνω φωτοβολταϊκό σύστημα μετά την διασύνδεση του με το δίκτυο θα αγοράζεται από την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου στο κόστος διαφυγής το οποίο είναι € 0.0715 ανά kWh. θεωρείται ότι η παραγωγή θα είναι σταθερή για τα χρόνια λειτουργίας του συστήματος οπότε για κάθε χρόνο παραγωγής το σύστημα θα επιφέρει έσοδα της τάξεως των € 128 485,50. Βάση του κέρδους για κάθε χρόνο θα υπολογιστή και ο ενδεικτικός χρόνος απόσβεσης του συστήματος όπως φαίνεται και στο πιο κάτω γράφημα (ΡΑΕΚ 2020).



**Διάγραμμα 3.11:** Ενδεικτικός χρόνος απόσβεσης του συστήματος

Σύμφωνα με το πιο πάνω γράφημα το σύστημα θα εξοφληθεί και θα ξεκινήσει να επιφέρει κέρδη στα 10 χρόνια λειτουργίας του. Στα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος το ενδεικτικό κέρδος από το σύστημα θα είναι περίπου €1 299 710 .

### 3.5.1.8 Υπολογισμός Συντελεστή Χρήσης

Για ένα τέτοιο σύστημα είναι σημαντικό να υπολογιστεί και ο ετήσιος συντελεστής χρήσης του συστήματος. Για τον υπολογισμό του συντελεστή χρήσης υπολογίζεται η μέγιστη παραγωγή του συστήματος για ένα έτος αν αυτό δουλεύει συνεχώς στην ονομαστική του ισχύ δηλαδή στο 1 MW. Θεωρείτε ότι το σύστημα δουλεύει μέσο όρο 12 ώρες την μέρα (Προκοπίου 2019). Αρά:

$$E_{max} = 365d * 12h * 1MW = \mathbf{4380 MWh}$$

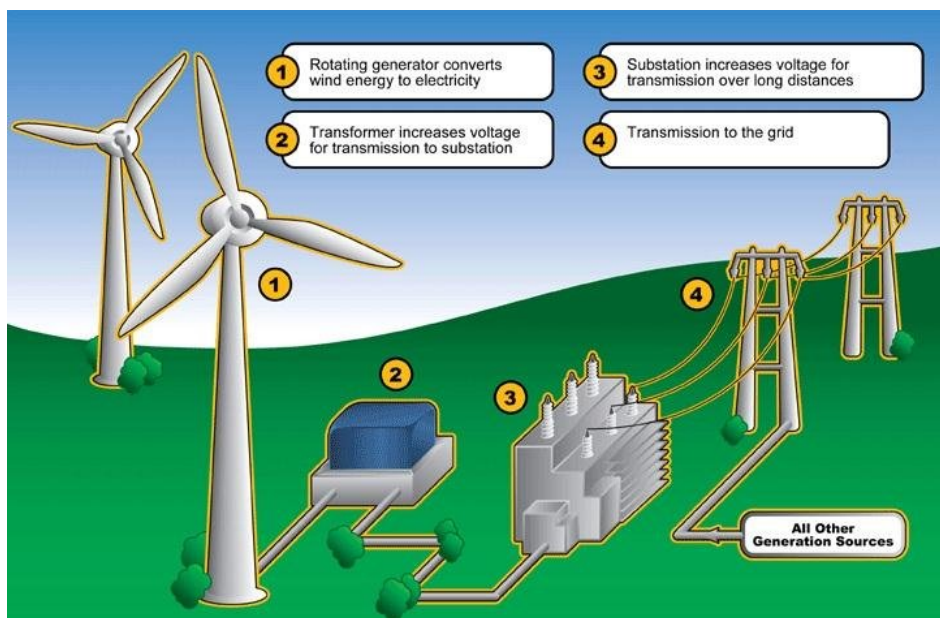
Η μέγιστη παραγωγή για το σύστημα αν αυτό δουλεύει στο 100% του τις ώρες λειτουργίας του είναι 42 380 MWh. Η μέγιστη αναμενόμενη πραγματική παραγωγή είναι  $E = 1\ 797.00$  MWh άρα ο ετήσιος συντελεστής χρήσης του συστήματος υπολογίζεται από το πηλίκο των δύο δηλαδή:

$$\sigma_x = \frac{E}{E_{max.}} = \frac{1797}{4380} = \mathbf{0.41}$$

Άρα το σύστημα δουλεύει στο 41% της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να παράξει (Προκοπίου 2019).

### 3.5.2 Ανάλυση Αιολικού Συστήματος 1 MW

Ένα αιολικό σύστημα αποτελείται από δύο ή περισσότερες ανεμογεννήτριες. Μια ανεμογεννήτρια έχει περίπου 25 χρόνια ζωής. Οπότε ένα αιολικό σύστημα έχει με τη σειρά του 25 χρόνια ζωής εκ των οποίων τα 15 – 20 αναλόγως των ανεμογεννητριών δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από την αρχική τους απόδοση με αποτέλεσμα να θεωρείται σταθερή (Τσακίρη & Ακαντζιλιώτης 2010).



**Εικόνα 3.13:** Τυπικό διάγραμμα αιολικού πάρκου (Πηγή: Vila – Brubet N. 2011)

#### 3.5.2.1 Αιολικό Δυναμικό

Το αιολικό σύστημα που θα αναλυθεί θα τοποθετηθεί στην περιοχή του αεροδρομίου Πάφου καθώς όπως προκύπτει από τα αιολικά δεδομένα που δόθηκαν από το τμήμα Μετεωρολογίας θεωρείται ότι στην συγκεκριμένη περιοχή οι συνθήκες αιολικού δυναμικού είναι οι μέγιστες που υπάρχουν στην Κύπρο οπότε αναμένεται να υπάρχει η μέγιστη παραγωγή (Τμήμα Μετεωρολογίας 2020). Τα στοιχεία που δόθηκαν από το τμήμα Μετεωρολογίας ήταν μετρήσεις που πάρθηκαν από σταθμούς σε ύψος δέκα μέτρων. Το ύψος μιας τυπικής

ανεμογεννήτριας είναι περίπου 40 m όποτε τα δεδομένα πρέπει να αναχθούν στις μετρήσεις που θα γίνονταν στα 40 m. Για την αναγωγή των μετρήσεων θα χρησιμοποιηθεί ο εκθετικός νόμος. Αφού για όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις είναι γνωστό το ύψος τότε ακολουθώντας το πιο κάτω τύπο γίνεται η αναγωγή (Προκοπίου 2020).

$$V = V_{ref} \left( \frac{Z}{Z_{ref}} \right)^\alpha$$

Όπου:

- V: ταχύτητα σε ύψος Z, (m/s)
- Zref: ύψος μέτρησης (m)
- Vref: ταχύτητα στο ύψος μέτρησης (m/s)
- Z: ύψος αναγωγής (m)
- α: δείκτης τραχύτητας εδάφους (Νερό α=0.15,Υπαιθρος α=0.30, Αστικό Κέντρο α=0.45)

Η τραχύτητα του εδάφους της περιοχής που θα τοποθετηθεί το σύστημα θεωρείται ότι είναι υπαιθρος οπότε ο δείκτης τραχύτητας εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς θα είναι α=0.30.

**Πίνακας 3.12:** Αιολικά δεδομένα πριν και μετά την αναγωγή (Πηγή: Τμήμα Μετεωρολογίας 2020)

Μήνες	Ωρες	Μέση Ταχύτητα στα 10 m (m/s)	Μέση Ταχύτητα στα 40 m (m/s)
Ιανουάριος	744	4,0	6,1
Φεβρουάριος	672	4,1	6,2
Μάρτιος	744	4,0	6,1
Απρίλιος	720	3,7	5,6
Μάϊος	744	3,6	5,5
Ιούνιος	720	3,7	5,6
Ιούλιος	744	3,5	5,3
Αύγουστος	744	3,6	5,5
Σεπτέμβριος	720	3,7	5,6
Οκτώβριος	744	3,6	5,5
Νοέμβριος	720	3,5	5,3
Δεκέμβριος	744	3,9	5,9

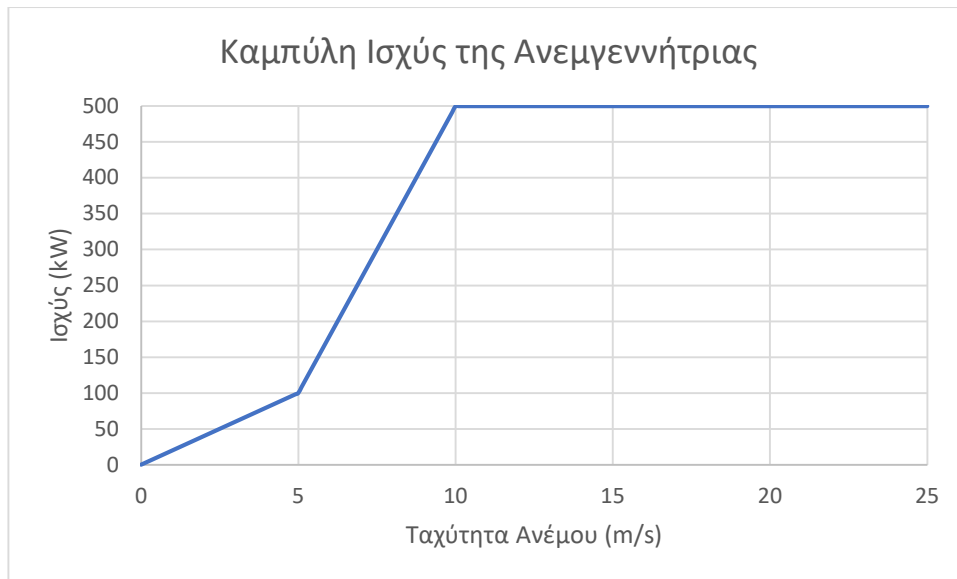
Από τον πίνακα με τα αιολικά δεδομένα προκύπτει ότι κατά την διάρκεια του έτους η μέση ταχύτητα ανέμου κυμαίνεται από 5.3 – 6.2.

### 3.5.2.2 Επιλογή Ανεμογεννήτριας

Το πρώτο στάδιο για τον σχεδιασμό του αιολικού συστήματος είναι η επιλογή των ανεμογεννητριών. Η επιλογή γίνεται βάση την τεχνολογία και την ισχύ. Για την ανάλυση θα χρησιμοποιηθούν δύο ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια και ισχύ 500 kW η κάθε μια, επιλέγηκε να χρησιμοποιηθούν δυο ανεμογεννήτριες και όχι μια με ισχύ 1 MW για λόγους χωροθέτησης. Οι ανεμογεννήτριες που επιλέχθηκαν όπως προαναφέρθηκε είναι ισχύς 500 kW η κάθε μια, τα περιέγεια τους έχουν διάμετρο 61 m και έχουν συνολικό ύψος 69 m. Η ελάχιστη ταχύτητα λειτουργίας των ανεμογεννητριών είναι 2.5 m/s, η μέγιστη ταχύτητα είναι 25 m/s για μέσο όρο δέκα λεπτά λειτουργίας και η ταχύτητα αποκοπής για προστασία των ανεμογεννητριών είναι 52.5 m/s. Η ανεμογεννήτρια χρησιμοποιεί σύγχρονη γεννήτρια πολλών πόλων (EWT 2020).

**Πίνακας 3.13:** Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 500 kW (Πηγή: EWT DW 61 500 kW 2020)

<b>Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας</b>	
Τεχνολογία	Οριζόντιου Άξονα
Ονομαστική Ισχύς	500 kW
Ταχύτητα δρομέα	12 – 22 rpm
Συνολικό Ύψος	69 m
Ελάχιστη Ταχύτητα Λειτουργίας	2.5 m/s
Ονομαστική Ταχύτητα Ανέμου	10 m/s
Μέγιστη Ταχύτητα Λειτουργίας	25 m/s (μέσο όρο 10 λεπτά)
Ταχύτητα Αποκοπής	52.5 m/s
Γεννήτρια	Σύγχρονη



**Διάγραμμα 3.14:** Χαρακτηριστική καμπύλη της ανεμογεννήτριας με ισχύ 500 kW (Πηγή: EWT DW 61 500 kW 2020)

### 3.5.2.3 Χωροθέτηση Συστήματος

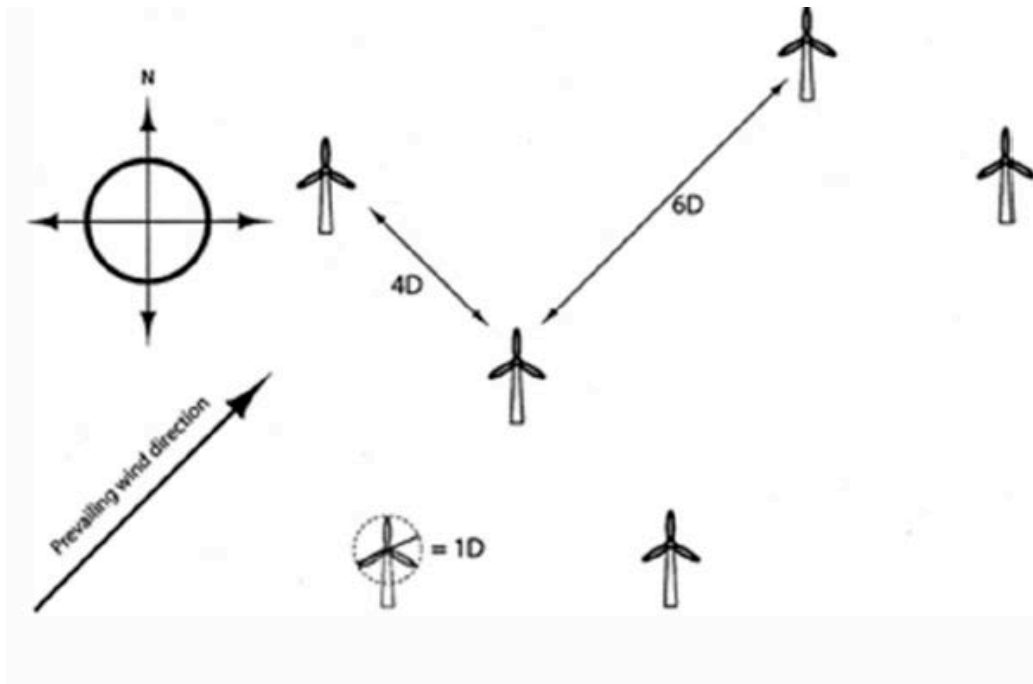
Το επόμενο στάδιο είναι η σχεδίαση και χωροθέτηση του συστήματος. Το σύστημα όπως προαναφέρθηκε πρόκειται να τοποθετηθεί στην περιοχή του αεροδρομίου Πάφου. Το τεμάχιο θεωρείται ότι είναι ιδιόκτητο. Η κατεύθυνση του ανέμου λόγω ελλείπων στοιχείων θα θεωρηθεί ότι είναι βόρειο δυτική με απόκλιση  $\pm 15^\circ$ . Σκιάσεις από άλλα αντικείμενα θεωρείται ότι δεν υπάρχουν. Οπότε οι δύο ανεμογεννήτριες θα τοποθετηθούν η μια δίπλα από την άλλη και σε απόσταση ίση με μια φορά την διάμετρο των πτερυγίων. Αν έπρεπε να τοποθετηθούν περισσότερες ανεμογεννήτριες ή αν λόγω περιορισμού χώρου έπρεπε οι ανεμογεννήτριες τοποθετηθούν η μια πίσω από την άλλη διαγώνιος τότε θα έπρεπε να υπολογισθούν και οι απώλειες σκιάσεις από τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται μπροστά (Προκοπίου 2019). Ο υπολογισμός θα γινόταν από τον πιο κάτω τύπο:

$$E_{\text{park}} = N \cdot (1 - \eta_{\text{σκίαση}}) \cdot E_{\text{ΑΓ}}$$

N: αριθμός των ανεμογεννητριών

$\eta_{\text{σκίαση}}$ : συντελεστής απωλειών σκίασης (υπολογίζεται μέσω λογισμικού)

$E_{\text{ΑΓ}}$ : ενέργεια μίας ανεμογεννήτριας



**Εικόνα 3.14:** Η ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών σε σχέση με την κύρια κατεύθυνση ροής του ανέμου (Πηγή: Προκοπίου ELE 108N 2019)

### 3.5.2.4 Υπολογισμός Παραγωγής του Συστήματος

Το τρίτο στάδιο μετά την επιλογή των ανεμογεννητριών και την χωροθέτηση είναι να γίνουν οι υπολογισμοί της παραγωγής του συστήματος. Για τον υπολογισμό της παραγωγής θα χρησιμοποιηθεί ο πιο κάτω τύπος (Προκοπίου 2019):

$$E_t = P * t$$

$P$  = η ισχύς που παράγει η ανεμογεννήτρια για συγκεκριμένη ταχύτητα

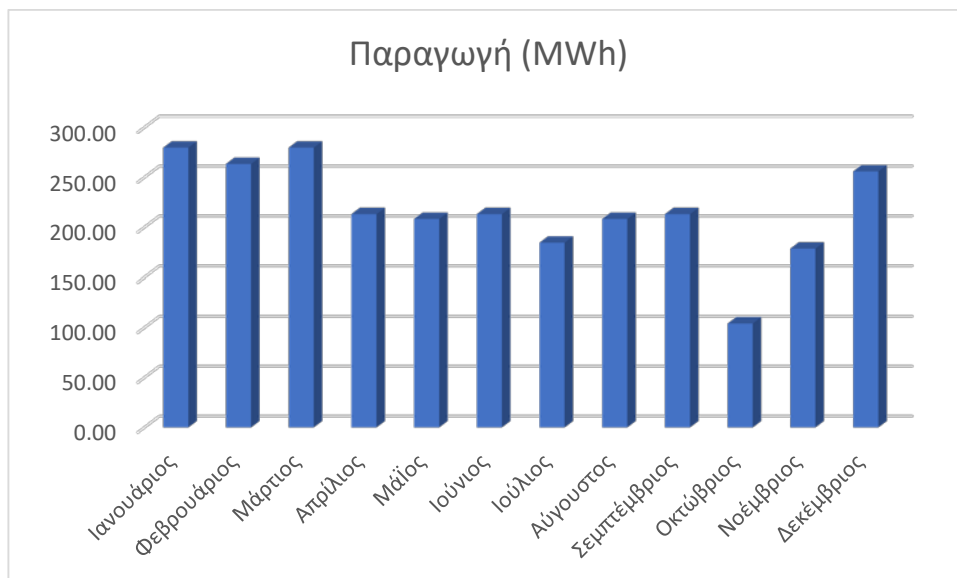
$t$  = ο χρόνος που φυσάει ο άνεμος με την συγκεκριμένη ταχύτητα

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τον πίνακα 3.12 και από το διάγραμμα 3.14 υπολογίζεται η αναμενόμενη παραγωγή του συστήματος η οποία φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.15:** Αναμενόμενη παραγωγή του συστήματος

Μήνες	Παραγωγή (MWh)
Ιανουάριος	279,74
Φεβρουάριος	263,42
Μάρτιος	279,74
Απρίλιος	213,12
Μάϊος	208,32
Ιούνιος	213,12
Ιούλιος	184,51
Αύγουστος	208,32
Σεπτέμβριος	213,12
Οκτώβριος	104,16
Νοέμβριος	178,56
Δεκέμβριος	255,94
Σύνολο	<b>2602,08</b>

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι το συγκεκριμένο σύστημα αναμένεται να παράγει 2602.08 MWh ετησίως.



**Διάγραμμα 3.16:** Αναμενόμενη παραγωγή του συστήματος



### 3.5.2.5 Κοστολόγηση του συστήματος

Το επόμενο στάδιο μετά τους υπολογισμούς της παραγωγής του συστήματος είναι η κοστολόγηση του. Για να γίνει ορθά η κοστολόγηση πρέπει να χωριστούν τα έξοδα σε κατηγορίες όπως πιο κάτω:

- Το κόστος των ανεμογεννητριών και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού όπως τα καλώδια και οι προστατευτικοί μηχανισμοί.
- Η εγκατάσταση του Συστήματος η οποία περιλαμβάνει την ηλεκτρολογική και την μηχανολογική εγκατάσταση του εξοπλισμού.
- Ο υποσταθμός για την διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.
- Η συντήρηση του συστήματος για όλα τα χρόνια της λειτουργίας του.
- Άλλες εργασίες όπως χωματουργικές εργασίες, χτίσιμο του δωματίου ελέγχου και εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης.

Το εν λόγω σύστημα θεωρείται ότι θα υλοποιηθεί σε αγροτικό τεμάχιο το οποίο υπάρχει και είναι ιδιόκτητο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν επιπλέον έξοδα ενοικίασης του τεμαχίου. Οπότε δεν θα υπάρχουν έξοδα κατά την λειτουργία του συστήματος (Παπαθανασίου 2012).

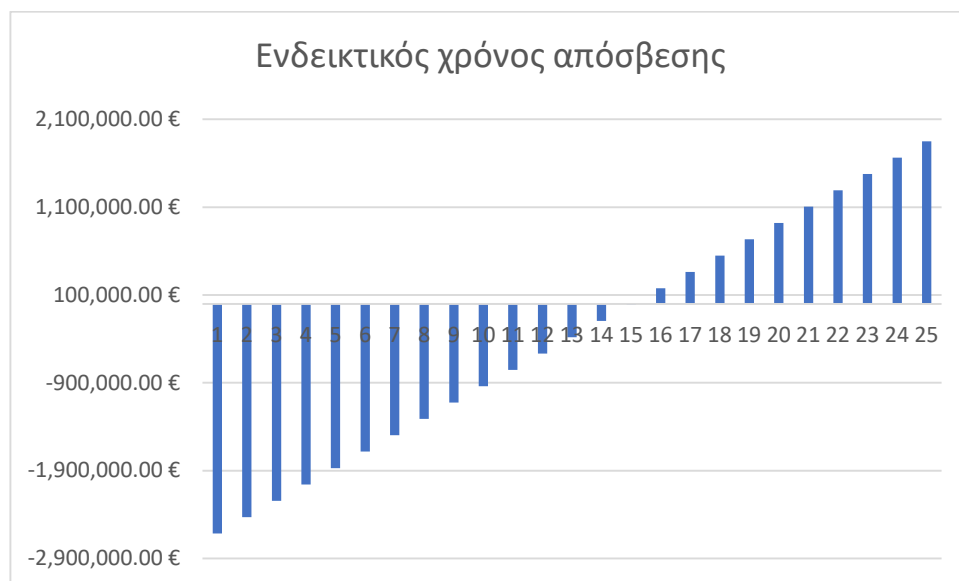
**Πίνακας 3.17:** Το ενδεικτικό κόστος του συστήματος (Πηγή: Σύνδεσμος Αιολικών Κύπρου 2020)

Περιγραφή Εξόδων	Κόστος (€)
Ανεμογεννήτριες και Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός	1500000
Εγκατάσταση Συστήματος	200000
Υποσταθμός	20000
Συντήρηση	1000000
Άλλες εργασίες	70000
<b>Σύνολο</b>	<b>2800000</b>

Όπως φαίνεται και στον πιο πάνω πίνακα το ενδεικτικό κόστος για να υλοποιηθεί ένα αιολικό σύστημα της τάξεως του 1 MW στην Κύπρο είναι €2 800 000, το κόστος ανεβαίνει αν η γη δεν είναι διαθέσιμη και πρέπει είτε να ενοικιαστεί είτε να αγοραστεί. Στο πιο πάνω κόστος εκτός από τα έξοδα που αναφέρθηκαν πιο πάνω περιλαμβάνονται και όλα όσα χρειάζονται για να υλοποιηθεί και να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα όπως η μελέτη, ο σχεδιασμός, η αδειοδότηση και η διασύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.

### 3.5.2.6 Υπολογισμός Κέρδους και Χρόνου Απόσβεσης

Το κόστος πώλησης της παραγόμενης ενέργειας όπως και στο φωτοβολταϊκό σύστημα έτσι και στο αιολικό είναι το κόστος διαφυγής το οποίο είναι στα €0.0715 ανά kWh. Τα ετήσια έσοδα από το σύστημα θα ανέλθουν στα €186 048.72. Βάση του κέρδους για κάθε χρόνο θα υπολογιστεί και ο ενδεικτικός χρόνος απόσβεσης του συστήματος όπως φαίνεται και στο πιο κάτω γράφημα (ΡΑΕΚ 2020).



**Διάγραμμα 3.11:** Ενδεικτικός χρόνος απόσβεσης του συστήματος

Σύμφωνα με το πιο πάνω γράφημα το σύστημα θα εξοφληθεί και θα ξεκινήσει να επιφέρει κέρδη στα 16 χρόνια λειτουργίας του. Στα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος το ενδεικτικό κέρδος από το σύστημα θα είναι περίπου €920 974.40.

### 3.5.2.7 Υπολογισμός Συντελεστή Χρήσης

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί ο συντελεστής χρήσης του συστήματος. Για τον υπολογισμό του συντελεστή χρήσης όπως και στο φωτοβολταϊκό σύστημα έτσι και εδώ υπολογίζεται η μέγιστη παραγωγή του συστήματος για ένα έτος αν αυτό δουλεύει συνεχώς στην ονομαστική του ισχύ δηλαδή στο 1 MW. Το σύστημα δουλεύει και τις 24 ώρες της μέρας. Αρά:

$$E_{\max} = 365d * 24h * 1MW = \mathbf{8760 MWh}$$

Η μέγιστη παραγωγή για το σύστημα αν αυτό δουλεύει στο 100% του τις ώρες λειτουργίας του είναι 8 760 MWh. Η μέγιστη αναμενόμενη πραγματική παραγωγή είναι  $E = 1\,353.12$  MWh άρα ο ετήσιος συντελεστής χρήσης του συστήματος υπολογίζεται από το πηλίκο των δύο δηλαδή:

$$\sigma x = \frac{E}{E_{max.}} = \frac{2602.08}{8760} = \mathbf{0.297}$$

Άρα το σύστημα δουλεύει στο 29.7% της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να παράξει (Προκοπίου 2020).

### 3.5.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής για ένα προϊόν είναι ένα εργαλείο με το οποίο εξετάζεται η περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλείται από το προϊόν σε όλα τα στάδια ζωής του. Τα στάδια ζωής ενός προϊόντος είναι:

1. Η εξόρυξη και η παραγωγή των πρώτων υλών
2. Η βιομηχανική παραγωγή του προϊόντος
3. Η εγκατάσταση του προϊόντος
4. Η λειτουργία και η συντήρηση
5. Η απόρριψη και η ανακύκλωση των ανακυκλώσιμων μερών
6. Η μεταφορά των υλικών σε όλα τα πιο πάνω στάδια

Για κάθε ένα από τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος μετρούνται οι ποσότητες των πρώτων υλών, η ενέργεια, τα απόβλητα και οι εκπομπές που παράγονται, δηλαδή εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος (SETAC 1991, Aden 2005, Kemp 2016).

Για την κάθε χώρα υπάρχουν τοπική συντελεστές ανάλυσης κύκλου ζωής καθώς και για την κάθε τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την Κύπρο ο συντελεστής ανάλυσης κύκλου ζωής για την συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι  $1.019$  t CO<sub>2</sub>-eq/MWh. Όσον αφορά τις δύο τεχνολογίες που μελετώνται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι για τα φωτοβολταϊκά  $0.020 - 0.050$  t CO<sub>2</sub>-eq/MWh και για τα αιολικά  $0.007$  t CO<sub>2</sub>-eq/MWh (Wu 2017, Martinez 2009, Smoucha 2016).

### 3.5.4 Ανθρακικό Αποτύπωμα

Το ανθρακικό αποτύπωμα δείχνει πόσα κιλά διοξειδίου του άνθρακα δημιουργούνται κατά την παραγωγή μιας κιλοβατώρας ρεύματος ανάλογα με την τεχνολογία και το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος υπάρχουν συντελεστές για την τοπική και για την εθνική παραγωγή. Οι εθνικοί συντελεστές διαφέρουν για κάθε χώρα ανάλογα με την σύνθεση του ενεργειακού δυναμικού της κάθε χώρας, δηλαδή τον συνδυασμό των διαφόρων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού στη κάθε χώρα. Για την Κύπρο ο πρότυπος συντελεστής εκπομπών (ανθρακικό αποτύπωμα) είναι 0.874 t CO<sub>2</sub>/MWh.

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το ανθρακικό τους αποτύπωμα είναι ίσο με μηδέν γιατί κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα. Μπορεί όμως να υπολογιστεί το όφελος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα της κάθε τεχνολογίας πολλαπλασιάζοντας την παραγωγή με το ανθρακικό αποτύπωμα της χώρας όπου είναι εγκατεστημένο το σύστημα. Όποτε για τα συστήματα που αναλυθήκαν πιο πάνω μπορεί να υπολογιστεί το όφελος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα.

#### 3.5.4.1 Υπολογισμός Οφέλους ως προς το Ανθρακικό Αποτύπωμα για το Φ/β Σύστημα 1 MW

Όσον αφορά το φωτοβολταϊκό σύστημα από τους υπολογισμούς που έγιναν η παραγωγή του συστήματος είναι 1 797.00 MWh, το ανθρακικό αποτύπωμα της Κύπρου είναι 0.874 t CO<sub>2</sub>/MWh οπότε πολλαπλασιάζοντας υπολογίζεται το όφελος.

$$\text{Μείωση CO}_2 = 0.874 \times 1\,797.00 = 1\,570.58 \text{ tCO}_2$$

Άρα το όφελος από την χρήση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος 1 MW στην Κύπρο είναι 1 570.58 tCO<sub>2</sub>. Το όφελος αντιστοιχεί στην ποσότητα που θα εκπεμπόταν εάν η ηλεκτρική ενέργεια παραγόταν με την χρήση συμβατικών καυσίμων στους θερμικούς σταθμούς παραγωγής στην Κύπρο.

### 3.5.4.1 Υπολογισμός Οφέλους ως προς το Ανθρακικό Αποτύπωμα για το Αιολικό Σύστημα 1 MW

Όσον αφορά το αιολικό σύστημα από τους υπολογισμούς που έγιναν η παραγωγή του συστήματος είναι 2 602.08 MWh, το ανθρακικό αποτύπωμα της Κύπρου είναι 0.874 t CO<sub>2</sub>/MWh οπότε πολλαπλασιάζοντας υπολογίζεται το όφελος.

$$\text{Μείωση CO}_2 = 0.874 \times 20\ 602.08 = 2\ 274.622 \text{ tCO}_2$$

Άρα το όφελος από την χρήση ενός αιολικού συστήματος 1 MW στην Κύπρο είναι 1 182.63 tCO<sub>2</sub>. Το όφελος αντιστοιχεί στην ποσότητα που θα εκπεμπόταν εάν η ηλεκτρική ενέργεια παραγόταν με την χρήση συμβατικών καυσίμων στους θερμικούς σταθμούς παραγωγής στην Κύπρο.

## 3.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τις πιο πάνω παραμέτρους καταλήγουμε στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας. Τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα αφορούν την σύγκριση που έγινε μεταξύ των δύο τεχνολογιών στην Κύπρο και δεν αντικατοπτρίζουν την γενική εικόνα των δύο τεχνολογιών.

### 3.6.1 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Τα πλεονεκτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο είναι εγκατεστημένο στην Κύπρο είναι:

1. Ο υψηλότερος συντελεστής χρήσης έναντι του αιολικού συστήματος.
2. Το μεγαλύτερο οικονομικό κέρδος στα 15 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.
3. Ο μικρότερος χρόνος απόσβεσης.
4. Το χαμηλό αρχικό κόστος.

Τα μειονεκτήματα του είναι:

1. Η μεγάλη έκταση που απαιτείται για την εγκατάσταση του συστήματος.
2. Η μεγάλη απώλεια στην παραγωγή λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στην Κύπρο κυρίως κατά το καλοκαίρι.

### 3.6.2 Αιολικό Σύστημα

Τα πλεονεκτήματα ενός αιολικού συστήματος το οποίο εγκατεστημένο στην Κύπρο είναι:

1. Η μικρή έκταση που χρειάζεται καθώς το 95% της χρησιμοποιούμενης έκτασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε άλλη χρήση όπως κτηνοτροφία.
2. Η μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας έναντι του φωτοβολταϊκού.
3. Το μεγαλύτερο όφελος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα.
4. Ο χαμηλότερος συντελεστής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.
5. Τα αιολικά συστήματα λειτουργούν 24 ώρες το εικοσιτετράωρο έναντι των φωτοβολταϊκών συστημάτων που λειτουργούν κατά μέσο όρο 12 ώρες το εικοσιτετράωρο.

Τα μειονεκτήματα του είναι:

1. Το πολύ υψηλό αρχικό κόστος σε σχέση με ένα αντίστοιχο φωτοβολταϊκό σύστημα.
2. Το αιολικό δυναμικό της Κύπρου το οποίο δεν είναι αρκετά υψηλό και οι περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό είναι περιορισμένες.

# Κεφάλαιο 4

## Αποτελέσματα

### 4.1 Έννοιες και Θέματα

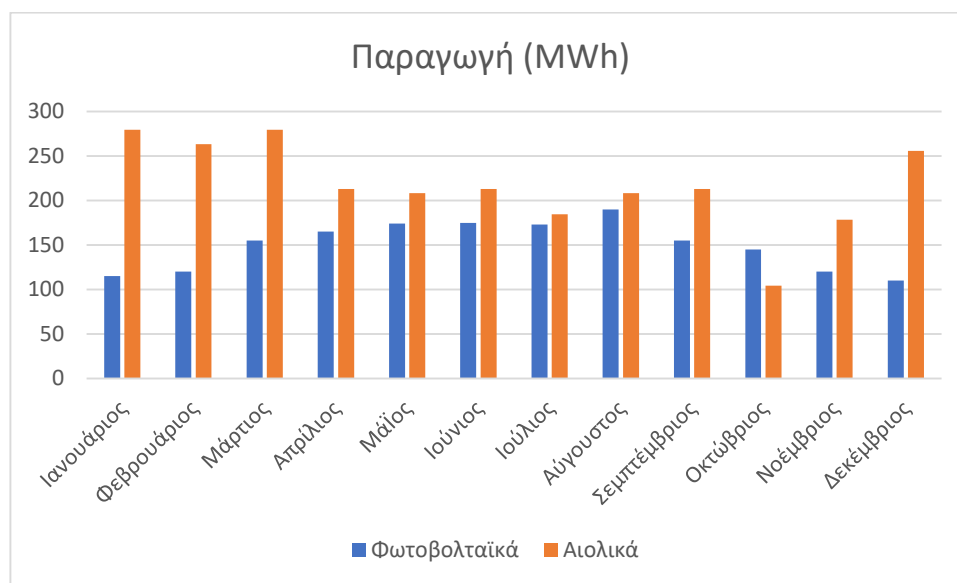
Οι παράμετροι οι οποίοι μελετήθηκαν είναι οι ακόλουθες, η παραγωγή, το κόστος, ο χρόνος απόσβεσης, ο συντελεστής χρήσης, το ανθρακικό αποτύπωμα και το κέρδος στα 20 χρόνια λειτουργίας των δύο συστημάτων. Η παραγωγή αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα καθώς μέσω αυτής καθορίζεται η απόδοση του συστήματος και τη διακύμανση της ανάλογα στις διαφορετικές συνθήκες που προκύπτουν. Το κόστος είναι εξίσου ένας σημαντικός παράγοντας καθώς είναι ένα σημαντικό κριτήριο για να προχωρήσει στην επιλογή του συστήματος ένας μελλοντικός επενδυτής και για να διαφανεί αν στο τέλος θα είναι συμφέρουσα η επένδυση. Ο χρόνος απόσβεσης είναι σημαντικός καθώς μπορεί ένας επενδυτής να αντιληφθεί τότε η επένδυση που έχει κάνει η πρόκειται να κάνει θα αρχίσει να του επιφέρει κέρδη. Ο συντελεστής χρήσης του συστήματος δείχνει την απόκλιση της πραγματικής παραγωγής από την μέγιστη θεωρητική παραγωγή, και αποτελεί μια εξίσου σημαντική παράμετρος καθώς μπορεί να καθοριστεί η απόδοση του συστήματος για τις ώρες λειτουργίας του. Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι η πλέον σημαντική παράμετρος όσον αφορά το περιβάλλον καθώς μέσω αυτού καθορίζεται το κέρδος δηλαδή η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα από την χρήση του συγκεκριμένου συστήματος έναντι των συμβατικών καυσίμων που είδη χρησιμοποιούνται. Το κέρδος στο χρονικό διάστημα 20 χρόνων, είναι το κέρδος που αναμένεται να επιφέρει το κάθε σύστημα πριν να αρχίσουν τα συστήματα να χάνουν παραγωγή και να μειώνουν την απόδοσης τους λόγω φθοράς. Πράγμα το οποίο είναι σημαντικό γιατί καθορίζει πιο σύστημα θα επιφέρει τελικά το μεγαλύτερο κέρδος.

## 4.2 Παρουσιάσει Αποτελεσμάτων

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πιο πάνω παραμέτρων για τα δύο συστήματα. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε γραφήματα και θα γίνει μια επεξήγηση των αποτελεσμάτων τους. Στη συνέχεια στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση τους καθώς και η σύγκριση τους με την βιβλιογραφία.

### 4.2.1 Σύγκριση παραγωγής των δυο συστημάτων

Στο διάγραμμα 4.1 διαφαίνεται η ενδεικτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα ενός έτους από τα δύο συστήματα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα το αιολικό σύστημα υπερτερεί σε απόδοση του φωτοβολταϊκού κατά περίπου 805 MWh τον χρόνο.

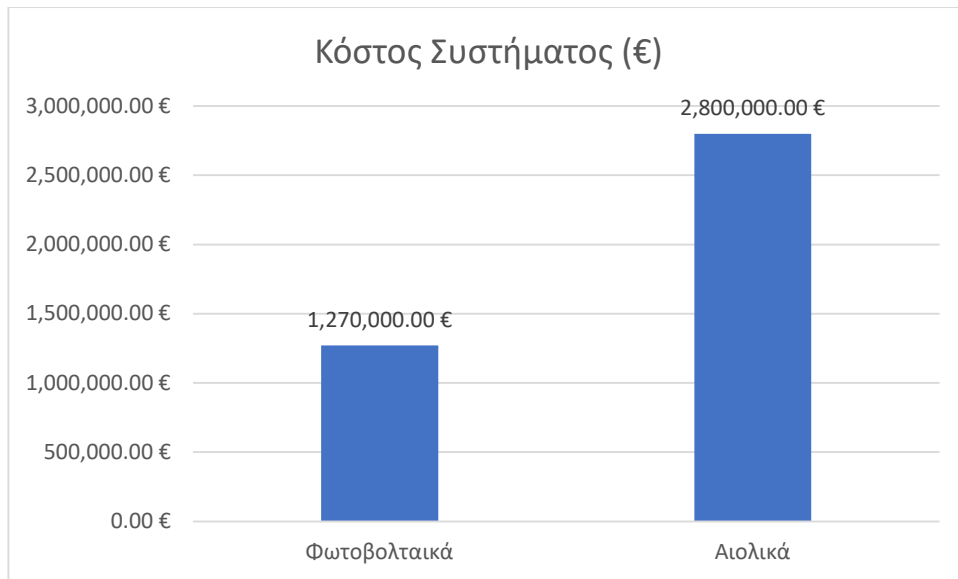


**Διάγραμμα 4.1:** Η παραγωγή των δύο συστημάτων ανά μήνα για ένα έτος

### 4.2.2 Σύγκριση κόστους των δυο συστημάτων

Στο διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται το ενδεικτικό κόστος για το κάθε σύστημα. Το φωτοβολταϊκό σύστημα υπερτερεί έναντι του αιολικού καθώς το κόστος υλοποιήσεως του είναι σχεδόν δύο φορές μικρότερο του κόστους υλοποιήσεως του αιολικού.

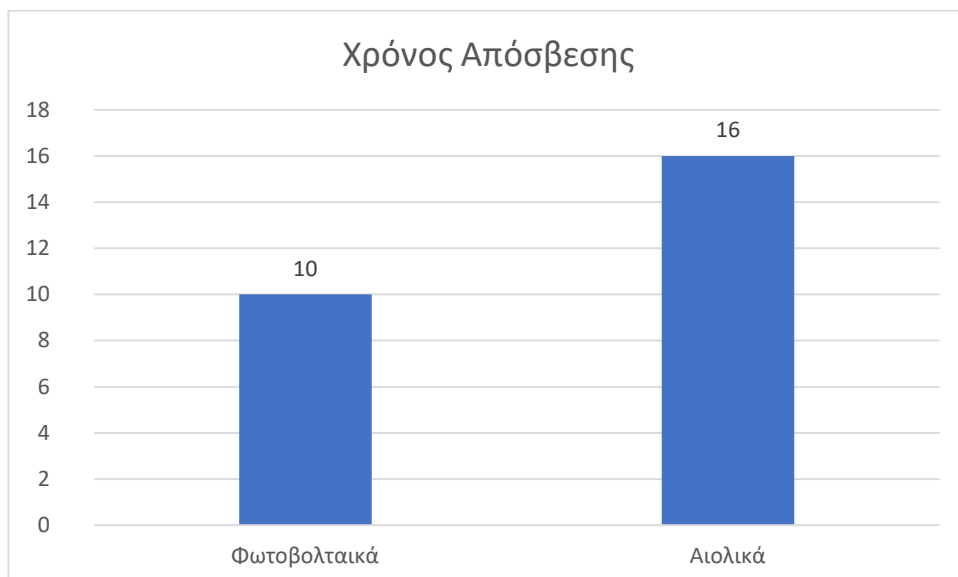




**Διάγραμμα 4.2:** Το κόστος των δύο συστημάτων

#### 4.2.3 Σύγκριση χρόνου απόσβεσης των δυο συστημάτων

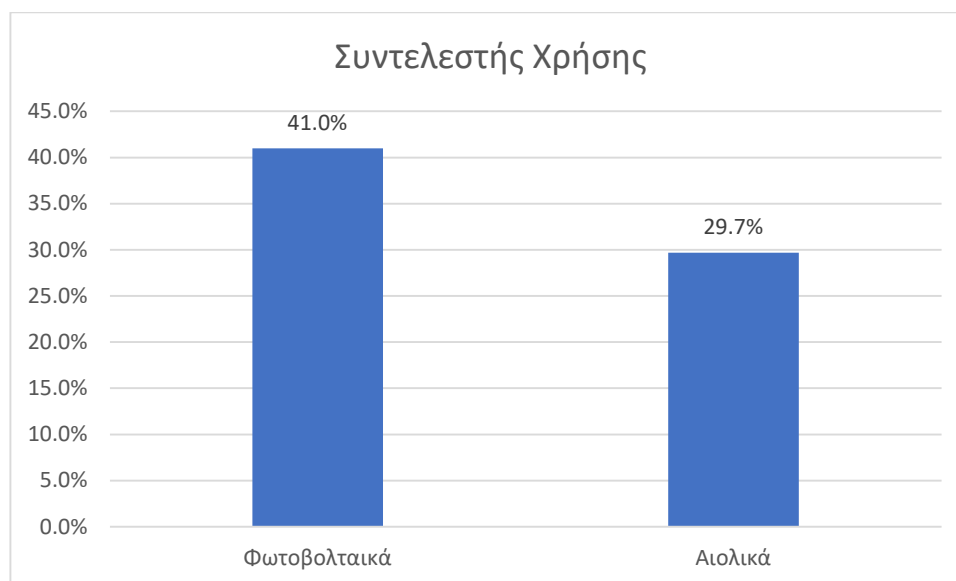
Στο διάγραμμα 4.3 φαίνεται ο ενδεικτικός χρόνος απόσβεσης των δύο συστημάτων. Ο χρόνος απόσβεσης του αιολικού είναι μεγαλύτερος από αυτό του φωτοβολταϊκού. Με αποτέλεσμα το αιολικό να μειονεκτεί έναντι του φωτοβολταϊκού συστήματος.



**Διάγραμμα 4.3:** Ο χρόνος απόσβεσης των δύο συστημάτων

#### 4.2.4 Σύγκριση συντελεστή χρήσης των δυο συστημάτων

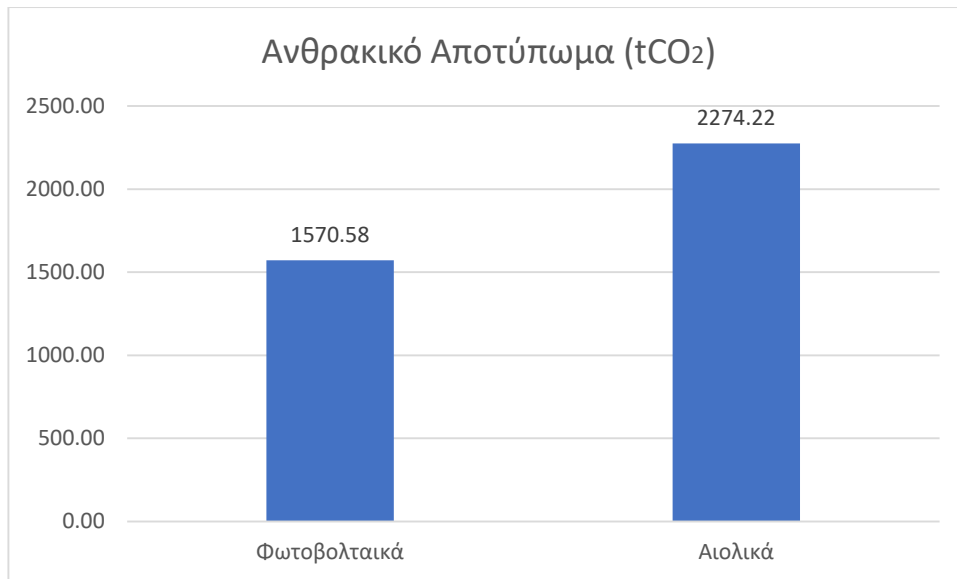
Το διάγραμμα 4.4 δείχνει τον συντελεστή χρήσης των δύο συστημάτων. Το φωτοβολταϊκό σύστημα υπερτερεί έναντι του αιολικού καθώς όπως διαφαίνεται από το διάγραμμα ο συντελεστής χρήσης του είναι μεγαλύτερος και πιο συγκεκριμένα 41% έναντι 29.7% του αιολικού.



**Διάγραμμα 4.4:** Ο συντελεστής χρήσης των δύο συστημάτων

#### 4.2.5 Σύγκριση ανθρακικού αποτυπώματος των δυο συστημάτων

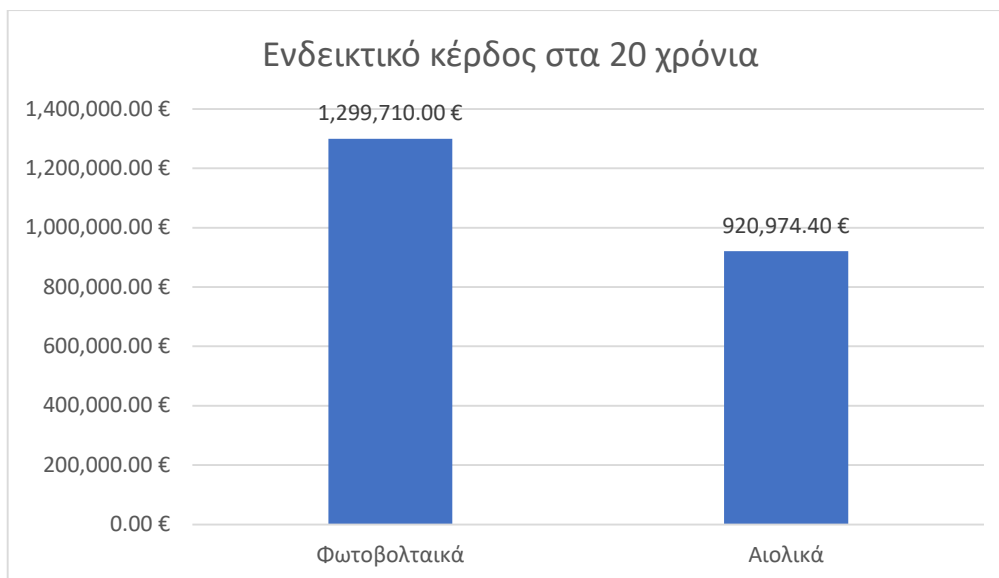
Στο διάγραμμα 4.5 διαφαίνεται το ανθρακικό αποτύπωμα των δύο συστημάτων. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα το αιολικό υπερτερεί έναντι του φωτοβολταϊκού καθώς επιφέρει μεγαλύτερο κέρδος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα. Η διαφορά του κέρδους του ανθρακικού αποτυπώματος των δύο συστημάτων είναι 703.64 tCO<sub>2</sub>.



**Διάγραμμα 4.5:** Το ανθρακικό αποτύπωμα των δύο συστημάτων

#### 4.2.6 Σύγκριση κέρδους των δυο συστημάτων για 20 χρόνια λειτουργείας

Το διάγραμμα 4.6 δείχνει το ενδεικτικό κέρδος των δύο συστημάτων για τα πρώτα 20 χρόνια λειτουργείας τους. Στα 20 χρόνια λειτουργείας των δύο συστημάτων το φωτοβολταικό σύστημα θα επιφέρει κέρδη της τάξης των €1 227 282.50 έναντι των €990 730.80 που θα επιφέρει το αιολικό.



**Διάγραμμα 4.6:** Το ενδεικτικό κέρδος των δύο συστημάτων στα 20 χρόνια λειτουργείας

# Κεφάλαιο 5

## Συζήτηση-Συμπεράσματα-Εισηγήσεις

### 5.1 Συζήτηση

Στα δύο συστήματα που αναλύθηκαν παρατηρείται ότι η παραγωγή του αιολικού συστήματος είναι μεγαλύτερη έναντι αυτής του φωτοβολταϊκού παρόλο που συντελεστής χρήσης του αιολικού είναι μικρότερος. Αυτό συμβαίνει γιατί η ανεμογεννήτρια λειτουργεί 24 ώρες το εικοσιτετράωρο έναντι 12 ωρών του φωτοβολταϊκού με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια του να είναι περισσότερη. Αποτέλεσμα της μεγαλύτερης παραγωγής από το αιολικό σύστημα είναι και το μεγαλύτερο όφελος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα καθώς το όφελος υπολογίζεται βάση της της παραγόμενης ενέργειας.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα για να υλοποιηθεί χρειάζεται χαμηλότερο κόστος το οποίο ανέρχεται στις €670 000 έναντι του αιολικού που το κόστος του ανέρχεται στο €1 800 000. Η συντήρηση του φωτοβολταϊκού συστήματος ανέρχεται στις €30 000 ετησίως δηλαδή στα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος το συνολικό κόστος συντήρησης ανέρχεται στις €600 000, αντίθετα το αιολικό σύστημα έχει ετήσιο κόστος συντήρησης €50 000 το οποίο στα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος το κόστος συντήρησης ανεβαίνει στο €1 000 000. Το κόστος πώλησης τις παραγόμενης ενέργειας είναι €0.0715 με αποτέλεσμα αν αγοράζεται από τον διαχειριστή του δικτύου όλη η παραγόμενη ενέργεια από τα δύο συστήματα, για το φωτοβολταϊκό σύστημα ο ενδεικτικός χρόνος απόσβεσής να είναι στα δέκα χρόνια και για το αιολικό σύστημα ο ενδεικτικός χρόνος απόσβεσής να είναι στα 16 χρόνια. Στα 20 χρόνια λειτουργίας των δύο συστημάτων το φωτοβολταϊκό σύστημα θα παρουσιάσει μεγαλύτερο κέρδος έναντι του αιολικού συστήματος και αυτό γιατί έχει μικρότερο κόστος υλοποιήσεις - συντήρησης και μικρότερο χρόνο απόσβεσης έναντι του αιολικού.

Η παραγωγή των δύο συστημάτων αλλάζει ανάλογα σε ποια χώρα είναι εγκατεστημένο βάσει των αιολικών και ηλιακών δυναμικών της κάθε χώρας. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος οι βόρειες χώρες παρουσιάζουν μεγαλύτερη μέση ταχύτητα ανέμου από την

Κύπρο, οπότε ένα σύστημα του 1 MW εγκατεστημένο σε αυτές τις χώρες αναμένεται να έχει μεγαλύτερη παραγωγή και καλύτερο συντελεστή χρήσης από το αιολικό σύστημα το οποίο αναλύθηκε ( Europe's onshore and offshore wind energy potential, EEA Technical report, No 6/2009). Το ίδιο συμβαίνει και με τα φωτοβολταϊκά συστήματα όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Φωτοβολταϊκού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών οι μεσογειακές χώρες παρουσιάζουν το καλύτερο ηλιακό δυναμικό οπότε το φωτοβολταϊκό σύστημα που αναλύθηκε αντικατοπτρίζει την μέγιστη παραγωγή σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (PVGIS 2020).

Συμφώνα με την Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ελλάδας η τιμή πωλήσεις παραγόμενης kWh από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανέρχεται για το διασυνδεδεμένο σύστημα στα € 0.08785 και για το μη διασυνδεδεμένο σύστημα η τιμή ανέρχεται στα €0.09945 σε σύγκριση με την τιμή στην Κύπρο που όπως προαναφέρθηκε είναι στα €0.0715. Αν τα δύο συστήματα που αναλύθηκαν ήταν εγκατεστημένα στην Ελλάδα τότε ο χρόνος απόσβεσης των δύο συστημάτων θα ήταν μικρότερος και το οικονομικό κέρδος μεγαλύτερο. Το αποτέλεσμα της υψηλότερης τιμής πώλησης της kWh είναι να είναι πιο ελκυστικά προς τους επενδυτές καθώς τα συστήματα θα γίνουν πιο κερδοφόρα. (Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε 2020)

Σύμφωνα με τον οργανισμό αιολικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης Wind Europe ο μέσος όρος του συντελεστή χρήσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 26%, στο σύστημα που αναλύθηκε ο συντελεστής χρήσης είναι 29.7% κάτι που δείχνει ότι το σύστημα είναι πολύ κοντά στα εγκατεστημένα συστήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αν εξαιρεθούν οι περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό τότε ένα σύστημα εγκατεστημένο στην Κύπρο αντικατοπτρίζει την μέση τιμή στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Wind Energy in Europe in 2019, 2020).

## 5.2 Περιορισμοί της μελέτης

Η υλοποίηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είχε πολλούς περιορισμούς ως προς την συλλογή των δεδομένων και την ανάλυση των δεδομένων. Όσον αφορά την συλλογή των δεδομένων το μεγαλύτερο ποσοστό των δεδομένων δεν ήταν προσβάσιμα. Τα δεδομένα που δόθηκαν από τους διάφορους οργανισμούς δεν ήταν πλήρης οπότε έπρεπε να αναλυθούν και αναχθούν στα μεγέθη που χρειάζονταν για την ανάλυση των δύο συστημάτων. Επίσης λόγω έλλειψης κάποιων στοιχείων έπρεπε να γίνουν κάποιες παραδοχές όπως έγινε για την φόρα του

αέρα στην περιοχή τοποθέτησης του αιολικού συστήματος. Άλλος ένας περιορισμός προκύπτει λόγω της μη υπάρξεις προμηθευτών ανεμογεννητριών στην Κύπρο, οπότε ήταν δύσκολο να βρεθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα κόστη. Αυτό οφείλεται στο ότι οι περισσότεροι κατασκευαστές ανεμογεννητριών δεν έχουν προσβάσιμα τα στοιχεία ή δεν δίνουν ολοκληρωμένα τα στοιχεία. Στην ανάλυση του αιολικού συστήματος ο περιορισμός που υπήρξε ήταν η μη πρόσβαση σε υπολογιστικό πρόγραμμα, οπότε έπρεπε με σωστή χρήση και ανάλυση των δεδομένων να υπολογιστή η παραγωγή του συστήματος.

### 5.3 Συμπεράσματα

Από τα δεδομένα της ανάλυσης των δύο συστημάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα υπερτερεί ελάχιστα σε σύγκριση με ένα αιολικό σύστημα εγκατεστημένο στην Κύπρο. Από την ανάλυση των δύο συστημάτων προκύπτει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει μικρότερη παραγωγή άλλα λόγω του μικρότερου κόστους υλοποίησης και συντήρησης του συστήματος επιφέρει μεγαλύτερο κέρδος. Η μεγαλύτερη παραγωγή του αιολικού συστήματος οφείλεται στο ότι το αιολικό δουλεύει 24 ώρες την μέρα σε σχέση με το φωτοβολταϊκό που δουλεύει μόνο κατά τις ώρες που υπάρχει ηλιοφάνεια δηλαδή κατά μέσω όρο γύρω στις 12 ώρες. Το φωτοβολταϊκό σύστημα διαθέτει καλύτερο συντελεστή χρήσης έναντι του αιολικού, παρόλο που το αιολικό σύστημα δουλεύει 24 ώρες την ημέρα. Επίσης το κόστος υλοποιήσεις ενός φωτοβολταϊκού είναι περίπου στο 1/2 του κόστους του αιολικού κάτι που συμβαίνει λόγω της μεγάλης μείωσης που έγινε στην τιμή των φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια. Επίσης στην Κύπρο υπάρχουν πολλοί προμηθευτές φωτοβολταϊκών πλαισίων και μετατροπέων τάσης κάτι που δεν συμβαίνει με τις ανεμογεννήτριες καθώς δεν υπάρχει κανένας προμηθευτής ανεμογεννητριών στην εγχώρια αγορά. Ένα αιολικό της τάξεως του 1 MW έχει μεγαλύτερο όφελος ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα καθώς έχει και μεγαλύτερη παραγωγή άρα μεγαλύτερο κέρδος από την μη χρήση των συμβατικών μέσων ηλεκτροπαραγωγής. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών έναντι των αιολικών είναι η πολύ μεγαλύτερη έκταση που χρειάζεται ένα σύστημα φωτοβολταϊκών σε σχέση με ένα αιολικό καθώς και το ότι ένα αιολικό σύστημα στο 95% της απαιτούμενης έκτασης μπορεί να αξιοποιηθεί για άλλη χρήση όπως για παράδειγμα κτηνοτροφικές μονάδες. Τέλος ακόμα ένα πλεονέκτημα για τα αιολικά συστήματα έναντι των φωτοβολταϊκών είναι και ο χαμηλός συντελεστής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ο οποίο όπως

αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο για τα αιολικά είναι 0.007 t CO<sub>2</sub>-eq/MWh ενώ για το φωτοβολταϊκά είναι 0.020 – 0.050 t CO<sub>2</sub>-eq/MWh.

Το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει από την σύγκριση των δύο συστημάτων είναι ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εγκατεστημένο στην Κύπρο υπερτερεί ελάχιστα έναντι ενός αιολικού συστήματος κύριος από οικονομικής άποψης, καθώς υπάρχει μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα μεγαλύτερο κέρδος. Η περίπτωση που ένα αιολικό σύστημα θα υπερτερούσε και θα ήταν πιο συμφέρων έναντι ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, θα ήταν στην περίπτωση έλλειψης χώρου νοουμένου ότι ο διαθέσιμος χώρος βρίσκεται σε περιοχή με επαρκές αιολικό δυναμικό καθώς το αιολικό δυναμικό της Κύπρου δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο όπως συμβαίνει με το ηλιακό δυναμικό. Τέλος η αιολική και η ηλιακή ενέργεια προσφέρουν μια βιώσιμη και οικονομική εναλλακτική λύση έναντι των θερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας με την χρήση συμβατικών μέσων. Σε πολλές περιοχές της χώρας, ο άνεμος καθώς και ο ήλιος τα οποία αποτελούν καθαρά καύσιμα είναι αξιοποιήσιμα και πρέπει να χρησιμοποιούνται αφού δεν παράγουν ατμοσφαιρική ρύπανση ή ρύπανση των υδάτων σε αντίθεση με τα συμβατικά μέσα όπου το καύσιμο καίγεται και παράγει επιβλαβής ρύπους όπως για παράδειγμα καυσαέρια.

## 5.4 Εισηγήσεις

Μια εισήγηση που προκύπτει από την πιο πάνω έρευνα είναι η δημιουργία υβριδικών συστημάτων που να αποτελούνται από συνδυασμό τόσο φωτοβολταϊκών καθώς και αιολικών συστημάτων. Η εισήγηση αυτή θα μπορούσε να υλοποιηθεί τοποθετώντας τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με κατεύθυνση προς τον νότο στην βέλτιστη κλίση και στο πίσω μέρος του συστήματος να τοποθετηθούν οι ανεμογεννήτριες και αυτές οι δύο τεχνολογίες μαζί να αποτελούν ένα σύστημα. Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα μπορούσε να αποτελείται από φωτοβολταϊκά ηλιοτρόπια χωρομετρημένα στις απαραίτητες αποστάσεις ούτως ώστε να μην προκύπτουν θέματα σκιάσεις μεταξύ τους αλλά και ως προ τις ανεμογεννήτριες. Το ηλιοτρόπιο

σύστημα φωτοβολταϊκών έχει την ικανότητα να κινητε με την φορά του ηλίου και στην βέλτιστη κλίση με αποτέλεσμα την πλήρη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τέτοιου είδους συστήματα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για εξοικονόμηση χώρου και για να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή του συστήματος. Ένα τέτοιο σύστημα, το οποίο ακολουθεί την πιο πάνω λογική εφαρμόζεται στην νότιο Ιταλία πιλοτικά από το πανεπιστήμιο της Νάπολης (Buonomano 2018).

Ακόμη μια πρόταση είναι η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων μέσα σε υδατοφράχτες. Τοποθετώντας τα φωτοβολταϊκά συστήματα μέσα στους υδατοφράχτες γίνεται εξοικονόμηση χερσαίου χώρου καθώς για την υλοποίηση συστημάτων μεγάλης απόδοσης απαιτείται μεγάλη έκταση. Η επιλογή να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα μέσα στους υδατοφράχτες γίνεται γιατί το νερό δεν παρουσιάζει κύματα και η αυξομειώσει της στάθμης του γίνεται ομαλά σε βαθμό που δεν είναι αντιληπτή. Ένα τέτοιο σύστημα για να είναι εφικτό να υλοποιηθεί θα πρέπει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να τοποθετηθούν σε μεγάλες πλωτές βάσεις που να επιτρέπουν την εγκατάσταση περίπου 40 με 50 πλαισίων. Αυτό θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε πλωτή βάση περίπου 80 m<sup>2</sup>. Με την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος προστίθεται το πλεονέκτημα της εκμετάλλευση της ανακλώμενης ακτινοβολίας από το νερό.

Για την εφαρμογή των πιο πάνω προτάσεων πρέπει να γίνει περαιτέρω έρευνα για να διαφανεί κατά πόσο μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη, και έπειτα αν είναι εφικτό να υλοποιηθούν στην Κύπρο. Επίσης για την εφαρμογή της δεύτερης πρότασης θα πρέπει να γίνει περιβαλλοντική μελέτη για να φανεί κατά πόσον τον εν λόγο σύστημα δεν επηρεάζει και σε ποιόν βαθμό, το οικοσύστημα καθώς και την οικολογία των οργανισμών που διαβιούν στους υδατοφράχτες.



# Βιβλιογραφία

- Αλβανού Α., 2016, Ερευνητική Εργασία «Συμβατικές πηγές ενέργειας και σύγχρονες προκλήσεις ενεργειακής πολιτικής», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Αλεξανδρίδης Α.Θ., 2013, Τεχνολογίες ελέγχου στα αιολικά συστήματα, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, 2020, Ηλεκτροπαραγωγή, <https://www.eac.com.cy/EL/EAC/Sustainability/Pages/ElectricityProduction.aspx>, [Πρόσβαση 3/3/2020]
- Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, 2020, Παραγωγή, <https://www.eac.com.cy/EL/EAC/Operations/Pages/Generation.aspx> [Πρόσβαση 3/3/2020]
- Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, Εθνική Νομοθεσία, 2020, <https://www.eac.com.cy/EL/EAC/legislation/Pages/NationalLegislation.aspx>
- Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, Πληροφορίες για ΑΠΕ, <https://www.eac.com.cy/EL/EAC/RenewableEnergySources/Pages/educationalmaterials.aspx>
- Γαλανού Ζ. Α., 2012, Διπλωματική Εργασία «Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρονική εξέλιξη – σύγκριση», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Γεντεκάκης Ι. Β., 1999, Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες, Εκδόσεις Τζιόλα
- Γιαννακόπουλος Β. Γ. & Βοβός Α. Ν., 2008, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εκδόσεις Ζήτη
- Δαμιανίδης Μ., Κατσαρός Γ., Τόλης Μ. & Στεργιόπουλος Φ., 2011, Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας
- Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε., Τιμολόγηση Ενέργειας από Α.Π.Ε., 2020, <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/timologisi-energeias-apo-ape/>, [Πρόσβαση 7/3/2020]

- Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Κύπρου, 2010, Τεχνικό Εγχειρίδιο Εγκαταστάσεων Παραγωγής Ηλεκτρισμού από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.), <https://gocy.dsm.org.cy/docs/TechManualRES.pdf>
- Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός, 2012, Οδικός Χάρτης για το 2050, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, [http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2012/04/EnPlan-RoadMap-2050\\_24april2012.pdf](http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2012/04/EnPlan-RoadMap-2050_24april2012.pdf) [Πρόσβαση 25/2/2020]
- Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών, 2013, Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία φωτοβολταϊκού πάρκου 4,4 MW της Ετερείας Lanitis & Caramondanis στο Φρέναρος, [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/DEB27101F95DD5C0C2257F2900529323/\\$file/MP20130540101.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/DEB27101F95DD5C0C2257F2900529323/$file/MP20130540101.pdf?OpenElement) [Πρόσβαση 12/2/2020]
- Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών, 2013, Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία φωτοβολταϊκού πάρκου 1,5 MW της Ετερείας LGEG ENERGEIA LTD στο Πέρα Χωρίο Νήσου, [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/ED5DE938541E9FCFC2257F2900545D8B/\\$file/MP20130850101.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/ED5DE938541E9FCFC2257F2900545D8B/$file/MP20130850101.pdf?OpenElement) [Πρόσβαση 12/2/2020]
- Εργαστήριο Προηγμένων Υλικών & Μικροηλεκτρονικής, 2016, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Κρήτης Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
- Ευρωπαϊκή Ένωση, Συνοψη της νομοθεσίας της Ε.Ε, 2016, <https://eur-lex.europa.eu/browse/summaries.html?locale=el>
- Ευρωπαϊκή Ένωση, National renewable energy action plans 2020, 2020, [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/national-renewable-energy-action-plans-2020\\_en?redir=1](https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/national-renewable-energy-action-plans-2020_en?redir=1), [Πρόσβαση 5/3/2020]
- Ευρωπαϊκή Ένωση, Renewable energy directive, 2020, [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en), [Πρόσβαση 5/3/2020]
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Ενέργεια, 2018, [https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_el](https://europa.eu/european-union/topics/energy_el),
- Η εικόνα βρίσκεται <http://slideplayer.gr/slide/2551798/>
- Ημιαγωγοί [www.live-Pedia.gr](http://www.live-Pedia.gr)

- Θυμάκης Γ. & Τσουνής Δ., 2013, Διπλωματική Εργασία «Μελέτη Αιολικού Πάρκου Ισχύος 2.4», Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά
- Ισμαηλίδης Α., 2005, Διπλωματική Εργασία «Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον», ΑΤΕΙ Κρήτης
- ΚΑΠΕ, Αιολική Ενέργεια, 2020,  
<http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24766&locale=el>
- Καράκωστας Ι. & Νίκας Δ., 1998, Προστασία του περιβάλλοντος και ενέργεια στην ευρωπαϊκή προοπτική, Εκδόσεις Σάκκουλας
- Κλειάσου Κ. Η., 2016, Μεταπτυχιακή Εργασία «Ανάλυση Κύκλου Ζωής Αιολικού Πάρκου στη θέση «Πυργουλόγη – Λιάζαρι» συνολικής ισχύος 1,5 MW, Περιφερειακής Ενότητας Ευβοίας Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Κορνελάκη Ε., 2009, Διπλωματική Εργασία «Ανάλυση Κύκλου Ζωής Φωτοβολταϊκού Συστήματος στην Περιοχή της Κρήτης», Πολυτεχνίο Κρήτης
- Μουσιόπουλος Ν., Ντζιαχρήστος Α. & Σλίνη Θ., 2015, Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος – Αρχές Αειφορίας, ISBN: 978-960-603-107-6
- Παπαθανασίου Στ., 2012, Σημειώσεις Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,  
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjy17uB4JfpAhV98OAKHc8XDFQOFjABegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fcourses.dbnet.ntua.gr%2Ffsr%2F19122%2FShmeivseis%2520Oikonomikvn-1.pdf&usg=AOvVaw3sTj-m7c77leINEORqEsmS>
- Πατεράκης ., 2015, Μεταπτυχιακή Εργασία «Φωτοβολταϊκές διατάξεις και συσκευές με χρήση πολυμερικών υλικών και στρώσεων γραφενίου», Πανεπιστήμιο Πατρών
- Πελλοπονήσιος Ε., 2012, Διπλωματική Εργασία «Αιολική ενέργεια μελέτη και εφαρμογές», ΑΤΕΙ Πειραιά
- Πηλίκος Β., 2013, Διπλωματική Εργασία «Μέθοδοι Επεξεργασίας και Ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Προκοπίου Π., 2019, Σημειώσεις μαθήματος «Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ELE 108N), Cyprus College
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου, 2020, Αγορά Ενέργειας από Α.Π.Ε.,  
<https://www.cera.org.cy/el-gr/ilektrismos/1169/agora-energeias-ape>

- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου, 2020, Στατιστικά Στοιχεία Α.Π.Ε., <https://www.cera.org.cy/el-gr/ilektrismos/details/statistika-ape>
- Σύνδεσμος Αιολικών Κύπρου, Οικονομικά Στοιχεία για της Ανεμογεννήτριες, 2020, <https://cwea.org.cy/about/>
- Τμήμα Μετεωρολογίας Κύπρου, 2020, Αιολικό Δυναμικό της Κύπρου, [http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex\\_gr/DMLindex\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument)
- Τσακίρη Χ. & Ακαντζιλιώτης Σ., 2010, Πτυχιακή Εργασία « Σχεδιασμός και Κατασκευή Ανεμογεννητριών», Τ.Ε.Ι Καβάλλας.
- Φραγκιαδάκης Ι. Ε., 2009, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη
- Χριστοφή Μ., 2016, Διπλωματική Εργασία «Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση υβριδικών φωτοβολταϊκών διατάξεων», ΑΤΕΙ Κρήτης
- ABB Central Inverter Core 500.0 & 1000.0 TL 500kW to 1000kW, 2016, [https://library.e.abb.com/public/61068ede3127414f9c382d56ba41ac8c/CORE-500.0-1000.0\\_BCD.00616\\_EN\\_RevD.pdf](https://library.e.abb.com/public/61068ede3127414f9c382d56ba41ac8c/CORE-500.0-1000.0_BCD.00616_EN_RevD.pdf) [Πρόσβαση 14/2/2020]
- Abdulsalam, Hamza & Alibaba, Halil, 2019, Optimum Tilt Angle for Photovoltaic Panels in Famagusta, Cyprus. 29-35
- Annamaria Buonomano, Francesco Calise, Massimo Dentice d'Accadia & Maria Vicidomini, 2018, A hybrid renewable system based on wind 1 and solar energy coupled with an electrical storage: dynamic simulation and economic assessment, Energy (2018), doi: 10.1016/j.energy.2018.05.006
- B. Shiva Kumar & K. Sudhakar, 2015, Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India, Energy Reports 1 184–192
- Blanco M. I., 2009, The economics of wind energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 1372–1382
- C.A.S. Consulting Ltd, Οικονομικά Στοιχεία για τα Φωτοβολταϊκά, 2020, <http://electricaldesignscy.com>
- Collins S, Deane P, Ó Gallachóir B, Pfenninger S & Staffell I, 2018, Impacts of Inter-annual Wind and Solar Variations on the European Power System., 2076-2090. doi: 10.1016/j.joule.2018.06.020.
- Davut Solyali & Miles A. Redfern, 2010, Case Study of Cyprus: Wind Energy or Solar Power ?, Conference Paper DOI: 10.13140/2.1.5044.3849

- Dialynas E. N., Hatziaargyriou N.D., Koskolos N. & Karapidakis E.,1998, Effect of high wind power penetration on the reliability and security of isolated power systems, paper 38-302 37<sup>th</sup> session CIGR
- Eduardo Martínez, Félix Sanz, Stefano Pellegrini, Emilio Jiménez & Julio Blanco, 2009, Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method, Int J Life Cycle Assess 14:52–63 DOI 10.1007/s11367-008-0033-9
- El Shenawy E. T., M. A. Ibrahim & A. H. Hegazy, 2017, Simulation of the Shadow Effect on Series Connected PV Modules, Middle East Journal of Applied, Volume: 07 Issue :04 Pages: 927-936
- Emily A. Smoucha, Kate Fitzpatrick, Sarah Buckingham & Oliver G.G. Knox, 2016, Life Cycle Analysis of the Embodied Carbon Emissions from 14 Wind Turbines with Rated Powers between 50 Kw and 3.4 Mw, J Fundam Renewable Energy Appl 2016, 6:4 DOI: 10.4172/2090-4541.1000211
- Emily A. Smoucha, Kate Fitzpatrick, Sarah Buckingham and Oliver G.G. Knox, 2016, Life Cycle Analysis of the Embodied Carbon Emissions from 14 Wind Turbines with Rated Powers between 50 Kw and 3.4 Mw, Fundam Renewable Energy, 6:4 DOI: 10.4172/2090-4541. 1000211
- Europe's onshore and offshore wind energy potential ,An assessment of environmental and economic constraints, 2007, <https://www.energy.eu/publications/a07.pdf>, [Πρόσβαση 7/3/2020]
- European Commission, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), 2020, <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>, [Πρόσβαση 7/3/2020]
- EWT, DW 61 500kW, 2020, [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4248001/Downloads/Brochures/EN/EWT\\_Flyer-DW61-500kW\\_HR.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4248001/Downloads/Brochures/EN/EWT_Flyer-DW61-500kW_HR.pdf), [Πρόσβαση 7/3/2020]
- Firas Aziz & Ali Firas, 2018, Optimum Tilt Angle of Photovoltaic Panels for Some Iraq Cities, Journal of Babylon Univ ersity/Engineering Sciences/ No. (1)/ Vol. (26): 2018
- Furkan Ercan, Mehmet Yenen & Murat Fahrioglu, 2014, Method and Case Study for Wind Power Assessment in Cyprus, Conference Paper DOI: 10.13140/2.1.2139.8400
- Gabriele Zini, Christophe Mangeant & Jens Merten, 2011, Reliability of large-scale grid-connected photovoltaic systems, Renewable Energy 36 2334e2340

- Gajjar Jaymin & Agravat Sagar & Tirumalachetty Harinarayana, 2015, Solar PV Energy Generation Map of Karnataka, India, Smart Grid and Renewable Energy. 06. 333-343. 10.4236 / sgre. 2015.612027
- Global Wind Energy Council, Report 2019, 2020, <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>
- Hatziargyriou N. & Papadopoulos M., 1998, Consequences of high wind power penetration in large autonomous power systems, CIGR Symposium Neptum Romania
- I. Mamia & J. Appelbaum, 2016, Shadow analysis of wind turbines for dual use of land for combined wind and solar photovoltaic power generation, Renewable and Sustainable Energy Reviews 55 713–718
- International Renewable Energy Agency, 2015, Renewable energy roadmap for the republic of Cyprus, <https://www.irena.org/publications/2015/Jan/Renewable-Energy-Roadmap-for-the-Republic-of-Cyprus>
- John F. Walker, Nicholas Jenkins, 2007, Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννήτριες, Εκδόσεις Ίων
- Karla Kemp & Rhab Almakhlouq, 2016, Photovoltaic: Life Cycle Analysis and end of Life Management for Materials Reuse and Waste Recycling, <https://www.researchgate.net/publication/311668422>
- Kazem, Hussein A & Chaichan, Miqdam & Al-Waeli, Ali & Mani, Kavish, 2017, Effect of Shadows on the Performance of Solar Photovoltaic, 10.1007/978 – 3 – 319 - 30746-6\_27
- Ken Book, 2020, 1 MW Solar Power Plant: Types, models, price and complete details in India 2020, <https://kenbrooksolar.com/solar-power-plants/mw-solar-power-grid>
- M Shareef, Sarkar, 2017, The Impact of Tilt Angle on Photovoltaic Panel Output, Journal of Pure and Applied Sciences. 29. 112-118. 10.21271/ZJPAS.29.5.12.
- Marcel Šúri , Thomas A. Huld & Ewan D. Dunlop, 2005, PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe, International Journal of Sustainable Energy, 24:2, 55-67, DOI: 10.1080 / 14786450512331329556
- Martin A. Green, 2005, Silicon photovoltaic modules: a brief history of the first 50 years, Prog. Photovolt: Res. 13:447–455 DOI: 10.1002/pip.612
- Martínez Eduardo, Sanz Félix, Pellegrini Stefano, Jiménez Emilio & Blanco Julio, 2009, Life-cycle assessment of a 2MW rated power wind turbine: CML method,

International Journal of Life Cycle Assessment - INT J LIFE CYCLE ASSESS. 14. 52-63. 10.1007/s11367-008-0033-9

- Mohammad Abdullah Al Mamun, Md Hasanuzzaman & Jeyraj Selvaraj, 2016, Experimental investigation of the effect of partial shading on photovoltaic performance, doi: 10.1049/iet-rpg.2016.0902
- Nallapaneni Manoj Kumar, M. Rohit Kumar, P. Ruth Rejoice & Mobi Mathew, 2017, Performance analysis of 100 kWp grid connected Si- poly photovoltaic system using PV syst simulation, Energy Procedia 180 – 189
- Nathaniel Aden, Augustin Marty & Marc Muller, 2010, Comparative Life-cycle Assessment of Non-fossil Electricity Generation Technologies: China 2030 Scenario Analysis, Project Report CE 268E Civil Systems and the Environment
- National Renewable Energy Laboratory (NREL), Best research cell efficiencies , 2020, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20200406.pdf>, [Πρόσβαση 7/3/2020]
- Pai Li, Gaofeng Fan, Weisheng Wang, Yuehui Huang & Lin Zhang, 2016, Proportion Optimization of Wind and Solar Power Capacity for Regional Power Network, IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Conference - Xi' an – China
- Palz, W.; Zibetta, H. (1991), Energy Pay-Back Time of Photovoltaic Modules; International Journal of Solar Energy. Volume 10, Number 3-4, pp. 211-216, 1991.
- Peishi Wu, Xiaoming Ma, Junping Ji & Yunrong Ma, 2017, Review on life cycle assessment of energy payback of solar photovoltaic systems and a case study, Energy Procedia 105 68 – 74
- Publication Office Of The European Union, EU energy in figures, 2018, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99fc30eb-c06d-11e8-9893-01aa75ed71a1>, [Πρόσβαση 7/3/2020]
- PvSyst, 2020, <https://www.pvsyst.com>
- Redlinger R. Y., Andersen P. D. & Morthorst P. E., 2002, Wind Turbine Technology and Industry, In: Wind Energy in the 21st Century, Palgrave Macmillan, London [https://doi.org/10.1057/9780230524279\\_3](https://doi.org/10.1057/9780230524279_3)
- REN21, Renewables Now 2019 Global Status Report, 2020, <https://www.ren21.net/gsr-2019/>

- Sharp Solar, Solar Panel NUJB395, 2020,  
<https://www.sharp.co.uk/cps/rde/xchg/gb/hs.xsl/-/html/product-details-solar-modules.htm?product=NUJB395>, [Πρόσβαση 7/3/2020]
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 2020,  
<https://www.setac.org>
- Sorensen Poul, Unnikrishnan A.K. & Mathew Sajan A., 2001, Wind farms connected to weak grids in India, *Wind Energy*, 4, 137-149
- Thomas Huld, 2012, Estimating Solar Radiation and Photovoltaic System Performance, the PVGIS Approach, European Commission, Joint Research Centre Ispra, Italy
- Tomas Markvart, 2003, Ηλεκτρισμός Από Ηλιακή Ενέργεια, Εκδόσεις Ίων
- Vila – Brunet N., Johnson G. T. & Marrero T., 2011, Electricity Generation Sustainability Index User's Guide, Technical Report DOI:10.13140/RG.2.2.22779.72488
- Wen Binrong, Wei Sha, Wei Kx, Yang Wenxian, Peng Z. & Chu Fulei, 2017, Power fluctuation and power loss of wind turbines due to wind shear and tower shadow, *Frontiers of Mechanical Engineering* 12. 10.1007/ s11465 – 017 – 0434 – 1
- Wind Europe, Wind energy in Europe in 2019 – Trends and statistics, 2020,  
<https://windeurope.org/data-and-analysis/product/?id=59>
- Wu B., Lang Y. Zargari N. & Kouros S., 2011, Power Conversion and Control of Wind Energy Systems, John Wiley & Sons ISBN: 978-0-470-59365-3
- Xiu - Shui Ma, Guang - Hui Yao, Ling - Jian Ye, Xiong - Fei Zhi & Shu - Ming Zhang, 2015, *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering* 15 107 – 116 107 DOI 10.3233/ JCM – 150525