

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΡΙΘΜΟΣ 1234

**Εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε  
στρατόπεδο.**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΑΚΗ ΡΟΔΑΝΘΗ (5367)

ΚΟΛΛΙΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (5510)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΜΠΛΟΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ ΒΑΓΓΕΛΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα σοβαρά περιβαλλοντολογικά προβλήματα και οι αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες, μας έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην αναγκαία χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όμως, σε αυτό σημαντικό ρόλο έχει και ο στρατός. Αυτό συμβαίνει λόγω των μεγάλων εκτάσεων που διαθέτει, καθώς και των μεγάλων ενεργειακών αναγκών του. Αυτός είναι και ο λόγος δημιουργίας του Μνημονίου συνεργασίας μεταξύ του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας (ΥΠΕΘΑ) και του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), προωθούνται έργα όπως τα ‘πράσινα στρατόπεδα’.

Έτσι η παρούσα πτυχιακή θα πραγματεύεται την εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε στρατόπεδο, το οποίο θα είναι κάποιο θεωρητικό. Πιο συγκεκριμένα θα μελετήσουμε την εφαρμογή φωτοβολταϊκού πάρκου και ανεμογεννήτριας.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται το φαινόμενο της ηλιακής ενέργειας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα καθώς και ο τρόπος αξιοποίησης της. Επιπλέον, αναφέρονται τα είδη των φωτοβολταϊκών, ο τρόπος λειτουργίας τους και το κόστος ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην αξιοποίηση των ανέμων, τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτών καθώς και τον τρόπο λειτουργίας και το είδος των ανεμογεννητριών όπως και το κόστος τους.

Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο αναγράφεται το πρακτικό μέρος της εγκατάστασης των ΑΠΕ στο θεωρητικό στρατόπεδο όπου επιλέγεται ο κατασκευαστής των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν και γίνεται η οικονομική ανάλυση χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RetScreen.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<b>6</b>
<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b> .....	<b>6</b>
1.1 Ηλιακή ενέργεια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	6
1.1.1 Πλεονεκτήματα Χρήσης της Ηλιακής Ενέργειας.....	6
1.1.2 Μειονεκτήματα Χρήσης της Ηλιακής Ενέργειας.....	8
1.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	8
1.2.1 Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών .....	9
1.2.2 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών .....	10
1.2.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας.....	12
1.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	12
1.3.1 Περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	13
1.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων, χαρακτηριστικά και αποδόσεις.....	14
1.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων .....	15
1.5.1 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ: .....	15
1.5.2 Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ:.....	16
1.5.3 Πάνελ λεπτού υμενίου ( <i>thin film</i> ): .....	16
1.5.4 Υβριδικά πάνελ: .....	18
1.5.5 Σύγκριση φωτοβολταϊκών πάνελ.....	19
1.6 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	21
1.6.1 Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	21
1.6.1.1 Τα βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου συστήματος είναι: .....	22
1.6.2 Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	23
1.6.2.1 Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου συστήματος είναι: .....	24
1.6.3 Υβριδικά Συστήματα.....	24
1.6.3.1 Τα βασικά μέρη ενός υβριδικού συστήματος είναι: .....	25
1.7 Επιλογή φωτοβολταϊκού συστήματος .....	26
1.8 Το Πρόγραμμα NetMetering .....	26
1.8.1 Εισαγωγή.....	26
1.8.1.1 Τι είναι Netmetering και πως λειτουργεί.....	27
1.8.1.2 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα netmetering.....	29
1.8.1.3 Πλεονεκτήματα netmetering.....	30
1.9 Σταθεροί και περιστρεφόμενοι συλλέκτες.....	30
1.9.1 Σταθερά Συστήματα Στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	30
1.9.1.1 Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση: .....	33

1.9.2 Κινητά Συστήματα Στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων .....	34
1.9.2.1 Αζιμουθικό Ηλιοτρόπιο : .....	35
1.9.2.2 Πολικό Ηλιοτρόπιο (polar tracker) : .....	36
1.9.2.3 Επιλογή καταλληλότερου συλλέκτη.....	38
1.10 Κόστος φωτοβολταϊκών .....	39
1.10.1 Τρόπος εγκατάστασης.....	39
1.10.2 Η Περίφραξη.....	39
1.10.3 Η Συντήρηση.....	40
1.10.4 Το Κόστος .....	41
1.11 Περιγραφή του στρατοπέδου.....	42
1.11.1 Τα βασικά φορτία του στρατοπέδου .....	43
1.12 Τιμές Πώλησης Κιλοβατώρας (KWh) στη ΔΕΗ.....	46
1.13 Βιβλιογραφία .....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>49</b>
<b>ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....</b>	<b>49</b>
2.1 Η ισχύς του ανέμου .....	49
2.1.1 Σχηματισμός των ανέμων.....	49
2.1.2 Πυκνότητα ισχύος του ανέμου.....	49
2.1.3 Μεταβλητότητα των ανέμων.....	51
2.1.3.1 Η ταχύτητα του ανέμου σαν συνάρτηση του ύψους από την επιφάνεια του εδάφους.....	51
2.2 Περιγραφή των ανεμογεννητριών .....	53
2.2.1 Γενική περιγραφή .....	53
2.2.2 Δρομέας.....	55
2.2.3 Άτρακτος .....	58
2.2.4 Πύργος .....	60
2.2.5 Έλεγχος της ισχύος.....	62
2.2.6 Ταχύτητα του δρομέα.....	63
2.3 Χαρακτηριστικά της αιολικής απόδοσης.....	64
2.3.1 Εύρος εφαρμογών των ανεμογεννητριών .....	64
2.3.1.1 Κατηγορίες εφαρμογής .....	64
2.3.2 Ενεργειακή παραγωγικότητα των αιολικών συστημάτων .....	65
2.3.2.1 Εισαγωγή.....	65
2.3.3 Αξιοπιστία των αιολικών συστημάτων .....	66
2.3.3.1 Διαθεσιμότητα .....	66
2.3.3.2 Ανταποδοτικότητα κόστους .....	66
2.3.4 Αιολικά πάρκα.....	67
2.3.4.1 Διατάξεις αιολικών πάρκων.....	68

2.3.5 Παραγωγή μεμονωμένης ανεμογεννήτριας και αιολικού πάρκου .....	69
2.4 Αρχές λειτουργίας και ελέγχου των ανεμογεννητριών μεταβλητής και σταθερής ταχύτητας .....	70
2.4.1 Εισαγωγή.....	70
2.4.2 Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας.....	70
2.4.3 Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας.....	73
2.4.4 Γεννήτριες .....	79
2.4.5 Η Ασύγχρονη (επαγωγική) γεννήτρια.....	80
2.4.5.1 Η επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας.....	80
2.4.6 Σύγχρονη γεννήτρια.....	85
2.4.6.1 Σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα .....	86
2.4.6.2 Σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη .....	86
2.4.7 Επίδραση των αιολικών συστημάτων στον έλεγχο της τάσης.....	87
2.4.7.1 Έλεγχος τάσης στη διανεμημένη παραγωγή.....	88
2.5 Τιμή πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος από ανεμογεννήτριες.....	90
2.6 Βιβλιογραφία .....	90
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....</b>	<b>92</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΕ ΣΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ.....</b>	<b>92</b>
3.1 Εισαγωγή .....	92
3.2 Πρόγραμμα RETScreen.....	92
3.3 Περίπτωση Φ/Β πάρκου 20 kW και ανεμογεννήτριας 20 kW.....	93
3.3.1 Φωτοβολταϊκό πάρκο 20 KW.....	93
3.3.1.1 Επιλογή κατασκευαστή Φ/Β πάνελ και τύπο μετατροπέα.....	93
3.3.1.2 Πρόγραμμα RETScreen για Φ/Β 20 kW .....	101
3.3.2 Επιλογή ανεμογεννήτριας.....	107
3.3.2.1 Πρόγραμμα RETScreen για ανεμογεννήτρια 20 kW .....	109
3.4 Σύγκριση περίπτωσης Φ/Β Πάρκου 20 kW και Ανεμογεννήτριας 20 kW.....	114
3.5 Περίπτωση Φ/Β πάρκου 50 kW και ανεμογεννήτριας 50 kW.....	115
3.5.1 Φ/Β πάρκο 50 kW.....	115
3.5.1.1 Πρόγραμμα RETScreen για Φ/Β 50 kW .....	115
3.5.2 Επιλογή ανεμογεννήτριας .....	119
3.5.2.1 Πρόγραμμα RETScreen για ανεμογεννήτρια 50 kW .....	121
3.6 Σύγκριση περίπτωσης Φ/Β Πάρκου 50 kW και Ανεμογεννήτριας 50 kW.....	125
3.7 Περίπτωση Φ/Β πάρκου 100 kW και ανεμογεννήτριας 100 kW.....	126
3.7.1 Φ/Β πάρκο 100 kW.....	126
3.7.1.1 Πρόγραμμα RETScreen για Φ/Β 100 Kw .....	126
3.7.2 Επιλογή ανεμογεννήτριας .....	130

3.7.2.1 Πρόγραμμα RETScreen για ανεμογεννήτρια 100 kW .....	132
3.8 Σύγκριση περίπτωσης Φ/Β Πάρκου 100 kW και Ανεμογεννήτρια 100 kW .....	136
3.9 Περίπτωση προγράματος netmetering με φ/β πάρκο 20 kW (της πρώτης περίπτωσης) .....	137
3.9.1 Σύγκριση περίπτωση netmetering με φ/β πάρκο 20 kW.....	138
3.9.2 Συμπεράσμα .....	139
3.10 Βιβλιογραφία .....	140

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 1.1 Ηλιακή ενέργεια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της.

#### 1.1.1 Πλεονεκτήματα Χρήσης της Ηλιακής Ενέργειας

##### 1.Αξιοπιστία

Είναι μια ώριμη και δοκιμασμένη τεχνολογία.

##### 2.Αυτονομία

Αποτρέπονται οι τεράστιες δαπάνες για εισαγωγή ενέργειας και η ανασφάλεια λόγω εξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους. τη στιγμή που ο ήλιος είναι δωρεάν και υπάρχει παντού.

##### 3.Ευκολία

Η τοποθέτηση ενός ηλιακού συλλέκτη είναι απλή. Η δε συντήρηση που απαιτεί είναι ελάχιστη.

##### 4.Εξοικονόμηση χρημάτων

Για τον καταναλωτή, ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η πιο απλή και συμφέρουσα λύση για να περικόψει τους λογαριασμούς ρεύματος

##### 5.Εξοικονόμηση ενέργειας

Για την Ελλάδα, η εξοικονόμηση που ήδη συντελείται είναι πολύ σημαντική. Οι εγκατεστημένοι ηλιακοί θερμοσίφωνες εξοικονομούν ήδη 1,1 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες το χρόνο, όση ενέργεια παράγει δηλαδή ένας συμβατικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής,

ισχύος 200 μεγαβάτ. Χωρίς τους ηλιακούς θερμοσίφωνες θα υπήρχε ένα σημαντικό έλλειμμα ισχύος, ιδιαίτερα στα απομονωμένα ηλεκτρικά δίκτυα των νησιών που θα αντιμετώπιζαν έτσι συχνές διακοπές ρεύματος, ιδίως κατά την καλοκαιρινή τουριστική περίοδο.

#### 6. Προστασία περιβάλλοντος

Αποτρέπεται η έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων που επιβαρύνουν το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

- Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή και βιώσιμη.
- Η ηλιακή ενέργεια λειτουργεί ενάντια στην υπερθέρμανση του πλανήτη και τη μείωση της παραγωγής των αερίων του θερμοκηπίου.
- Η ηλιακή ενέργεια εξοικονομεί χρήματα και καθιστά δυνατή την κατασκευή κατοικιών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (βιοκλιματικές).

#### 7. Κλιματικές αλλαγές

Αποτρέπεται η κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και κατά συνέπεια οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που προκαλούν τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές. Ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα για οικιακή χρήση παράγει στην Ελλάδα ετησίως 840-1.080 κιλοβατώρες και αποσοβεί την έκλυση 925-1.200 κιλών CO<sub>2</sub> το χρόνο, όσο δηλαδή θα απορροφούσε 1,5 στρέμμα δάσους.

#### 8. Θέσεις εργασίας

Ήδη πάνω από 3.500 άτομα ασχολούνται με την βιομηχανία ηλιοθερμικών συστημάτων στην Ελλάδα. Αυτή η ανάπτυξη αγοράς σημαίνει νέες θέσεις εργασίας σε μια καθαρή τεχνολογία.

#### 9. Ανάπτυξη

Η ενίσχυση της εγχώριας αγοράς θα αυξήσει την ποιότητα των ελληνικών προϊόντων προκειμένου να αντιμετωπίσουν το ανταγωνιστικότερο περιβάλλον των εξαγωγών.

#### 10. Αποκέντρωση

Η θερμική ενέργεια παράγεται στα σημεία ζήτησής της. Αποφεύγονται έτσι οι τεράστιες απώλειες μεταφοράς ενέργειας μέσω του ηλεκτρικού δικτύου (που στην Ελλάδα φτάνουν κατά μέσο όρο το 12%).



### **1.1.2 Μειονεκτήματα Χρήσης της Ηλιακής Ενέργειας**

#### **1.Κόστος**

Το οποίο είναι και το κύριο μειονέκτημα χρήσης της ηλιακής ενέργειας. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συγκριτικά αρκετά ακριβοί, κυρίως λόγω του κόστους υλικών και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού που εμπλέκονται. Αυτό μπορεί μερικές φορές, να αποδειχθεί αποτρεπτικό ειδικά στην περίπτωση που ασχολούνται με τα οικιακά και τα άτομα που σχεδιάζουν μια στροφή προς την ηλιακή ενέργεια.

#### **2.Καιρικές συνθήκες**

Συννεφιά, συνθήκες βροχής, κλπ., μπορεί να παρέμβει στο ποσό του φωτός του ήλιου που φτάνει το ηλιακό πάνελ. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει την ποσότητα της ενέργειας και τη δύναμη που παράγεται.

#### **3.Διάρκεια νύχτας**

Κατά τη διάρκεια της νύχτας δεν είναι δυνατή η παραγωγή ηλιακής ενέργειας, διότι πλέον θα μιλάγαμε για σεληνιακή ενέργεια και όχι ηλιακή. Η μόνη λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η αποθήκευση αρκετής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας η οποία θα μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ωστόσο, αυτό είναι πιο εύκολο στα λόγια παρά στην πράξη.

#### **4.Μικρός Συντελεστής απόδοσης**

Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Και αυτός είναι ένας λόγος που απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.

## **1.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο**

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε

όμως τα πράγματα από την αρχή.

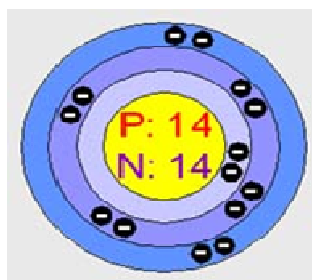
Όταν το φως προσπίπτει σε μία επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά

### 1.2.1 Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.



Εικόνα 1.1: Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένα με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν

να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

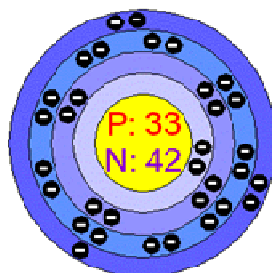
Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

### 1.2.2 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

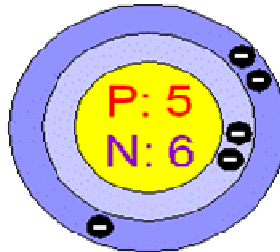
Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους του. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n)

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσενικό (As).



Εικόνα 1.2: Αρσένιο (As)

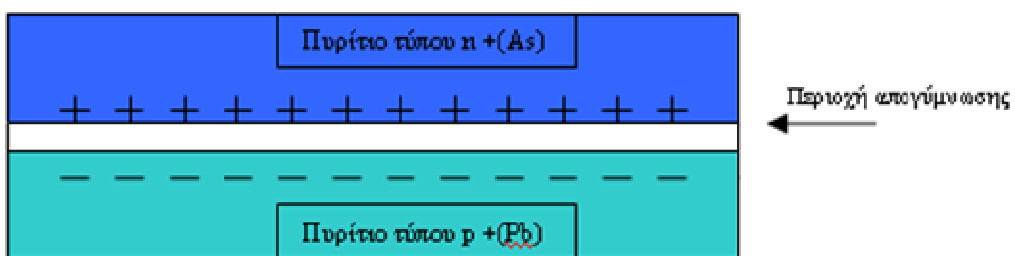
Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



Εικόνα 1.3: Βόριο (B)

Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια διόδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.



Εικόνα 1.4

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας

### 1.2.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

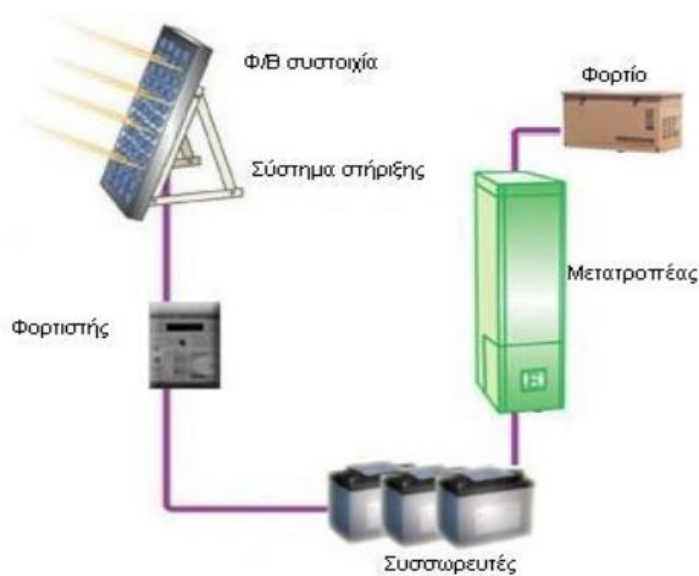
Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φωτοβολταϊκού κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου  $n$  και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου  $p$ . Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου  $p$  αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής  $n$  πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής  $n$  και στο κάτω της επαφής  $p$  και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

## 1.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε η εκμετάλλευση και η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική επιτυγχάνεται με την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει τα εξής μέρη:

- Φωτοβολταϊκή συστοιχία
- Μετατροπέα από DC σε AC
- Σύστημα στήριξης
- Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας
- Διόδους φραγής και παράκαμψης



Σχέδιο 1.1: Τα βασικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

### 1.3.1 Περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης .

$$\eta = P_m / E \cdot A$$

όπου,

$P_m$ : η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από το πλαίσιο (W)

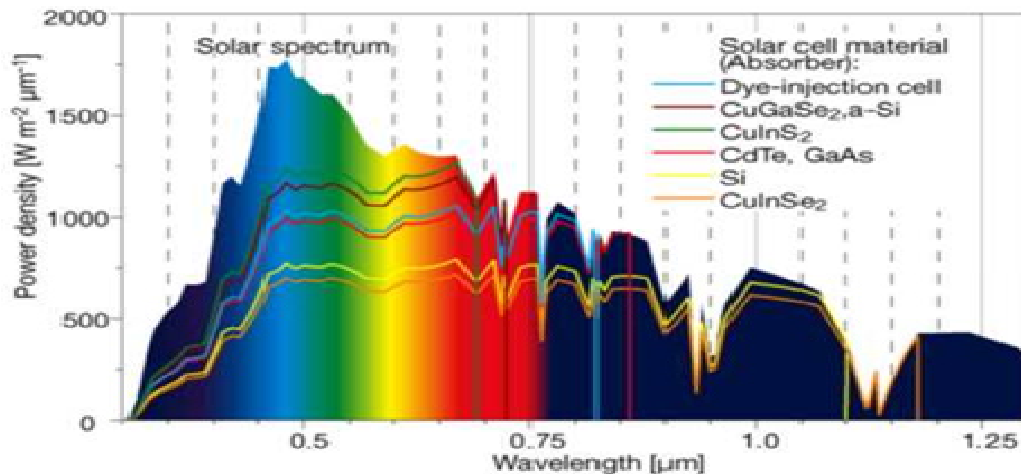
$E$ : η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ )

$A$ : η επιφάνεια του πλαισίου ( $m^2$ )

Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως το υλικό κατασκευής και η ηλικία τους, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, η κλίση τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο, η θερμοκρασία και η ρύπανση του περιβάλλοντος (π.χ. σκόνη, χιόνι κ.τ.λ.) στο οποίο είναι εγκατεστημένα. Οι τυπικές τιμές του βαθμού απόδοσης κυμαίνονται από 5% έως 18 %.

Άλλος ένας λόγος ο οποίος δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα

ηλιακή ενέργεια έχει να κάνει με το ότι κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.



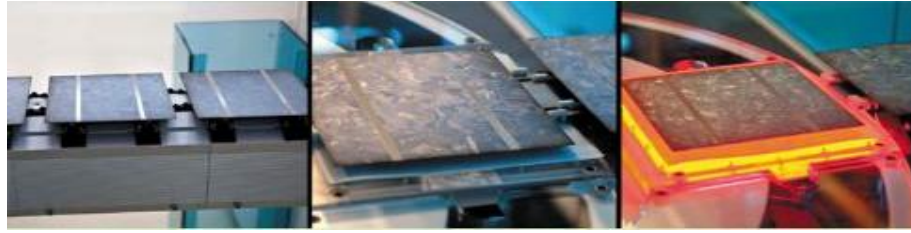
Εικόνα 1.5

Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό.

#### 1.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων, χαρακτηριστικά και αποδόσεις

**Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνήθως αποτελούνται από:**

- Ένα ηλιακό γυαλί με προ-τοποθετημένη την ειδικά επεξεργασμένη μεμβράνη προστασίας (EVA). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σκληρυμένο, προεντεταμένο ηλιακό γυαλί.
- Ηλιακές φωτοβολταϊκές κυψέλες ενωμένες σε στοιχειοσειρές.
- Μία υαλώδη μεμβράνη ειδικής επεξεργασίας (EVA) καθώς και μια μονωτική μεμβράνη στην πίσω πλευρά. Και τα τρία παραπάνω στρώματα δημιουργούν ένα ανθεκτικό ελασματοποιημένο φύλλο, πολύ ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, το οποίο τοποθετείται σε ένα σταθεροποιητικό πλαίσιο αλουμινίου και μια υποδοχή σύνδεσης.



**Εικόνα 1.6: Γραμμή παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων**

## **1.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων**

### **1.5.1 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ:**

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα μόνο μεγάλο κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Η κατασκευή τους είναι πιο πολύπλοκη, με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος παραγωγής.



**Εικόνα 1.7: Μονοκρυστάλλικα πάνελ**

Χαρακτηριστικά:

- Είναι ο πρώτος τύπος φωτοβολταϊκών πάνελ που μπήκε σε μαζική παραγωγή.
- Έχουν καλύτερη σχέση απόδοσης/επιφάνειας από τους άλλους τύπους πάνελ.
- Η ενεργειακή απόδοσή τους κυμαίνεται από 11% - 19%
- Έχουν υψηλότερο κόστος παραγωγής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ.
- Έχουν μεγαλύτερο πάχος υλικού.
- Έχουν σκούρο μπλε ή μαύρο χρώμα.



### 1.5.2 Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ:

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί σε λεπτά τμήματα, από ράβδους λειωμένου και επανακρυσταλλοποιημένου πυριτίου (το λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε καλούπι και στη συνέχεια τεμαχίζεται σε κυψέλες)



Εικόνα 1.8: Πολυκρυσταλλικά πάνελ

Χαρακτηριστικά:

- Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη.
- Η ενεργειακή απόδοσή τους που κυμαίνεται από 11% - 16% είναι σχετικά μικρότερη από αυτή των μονοκρυσταλλικών, αλλά από τη στιγμή που οι κυψέλες τοποθετούνται μέσα σε ένα πάνελ με άλλες 60, η πραγματική διαφορά σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο είναι αμελητέα. Σήμερα, με την ταχύτατη ανάπτυξη της τεχνολογίας, η απόδοσή τους τείνει να αγγίξει την απόδοση των μονοκρυσταλλικών.
- Είναι τα πλέον διαδεδομένα πάνελ παγκοσμίως.
- Έχουν την καλύτερη σχέση κόστους-απόδοσης.
- Έχουν γαλάζιο χρώμα.

### 1.5.3 Πάνελ λεπτού υμενίου (thin film):

Πρόκειται για μια ευρύτερη κατηγορία, που περιλαμβάνει τα λεγόμενα πάνελ «τρίτης γενιάς» που προέρχονται από πολλές διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και επεξεργασίας (π.χ. άμορφου πυριτίου (a-Si), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS), Τελουριούχου Καδμίου (CdTe), Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs) κλπ). Τα πάνελ άμορφου πυριτίου που είναι

και τα πλέον διαδεδομένα αυτής της κατηγορίας, αποτελούνται από ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως από γυαλί ή αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.



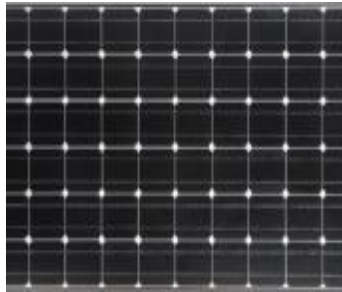
**Εικόνα 1.9: Πάνελ λεπτού υμενίου**

Χαρακτηριστικά:

- Έχουν, ονομαστικά, χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες (6% έως 11%).
- Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή τους, η τιμή τους είναι αισθητά χαμηλότερη.
- Αποδίδουν καλύτερα στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Τα πάνελ λεπτού υμενίου έχουν καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).
- Έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- Δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, σχετικά με τις αποδόσεις και τη διάρκεια τους, αφού η τεχνολογία τους είναι σχετικά καινούρια.
- Αποτελούν καλή λύση όταν υπάρχουν: μεγάλος διαθέσιμος χώρος, σκιάσεις, δυσμενής προσανατολισμός.

#### 1.5.4 Υβριδικά πάνελ:

Είναι τα πάνελ που συνδυάζουν περισσότερες από μία από τις γνωστές τεχνολογίες (π.χ. συνδυασμός άμορφου και μονοκρυσταλλικού πυριτίου) Στην αγορά, τα πιο διαδομένα πάνελ αυτής της κατηγορίας είναι κατασκευασμένα από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου γύρω από μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.







Εικόνα 1.10: Υβριδικά πάνελ.

Χαρακτηριστικά:

- Έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης που μπορεί να φτάσει και το 19%.
- Έχουν πολύ καλή συμπεριφορά στην επίδραση της θερμοκρασίας και αξιόλογη απόδοση στον διάχυτο φωτισμό.
- Έχουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος κατασκευής.
- Δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, σχετικά με τις αποδόσεις και τη διάρκειά τους, αφού η τεχνολογία τους είναι σχετικά καινούργια.

### **1.5.5 Σύγκριση φωτοβολταϊκών πάλελ**

Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών					
ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά	'Υβριδικά'	
Εμφάνιση					
Απόδοση	Αμορφα: 5-7% CIS: 7-10%	11-14%	13-16%	16-17%	
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	10-20 m <sup>2</sup>	8-10 m <sup>2</sup>	7-8 m <sup>2</sup>	6-7 m <sup>2</sup>	
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp)	1.300-1.400	1.300	1.300	1.350	
Μέση ετήσια παραγωγή	65-140	130-160	160-185	190-225	
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)		1.380-1.485	1.380	1.380	1.435

Πίνακας 1.1: Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

Όπως παρατηρούμε από τον πιο πάνω πίνακα τα υβριδικά πάνελ παρουσιάζουν την υψηλότερη απόδοση. Παρόλα αυτά όπως αναφέρθηκε πιο πάνω είναι και τα πιο ακριβά σε

σχέση με τα άλλα πάνελ, κάτι το οποίο είναι λογικό εφόσον συνδυάζουν περισσότερες από μία από τις γνωστές τεχνολογίες.

Ακόμα, παρατηρούμε ότι τα πάνελ με χαμηλότερη απόδοση αλλά με το χαμηλότερο κόστος είναι αυτά του λεπτού υμενίου.

Μια σύγκριση μεταξύ των μονοκρυσταλλικών και των πολυκρυσταλλικών πάνελ μας δείχνει ότι τα μονοκρυσταλλικά πάνελ έχουν μεγαλύτερη απόδοση αλλά έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα πολυκρυσταλλικά.

Επίσης, τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον με μικρή διαφορά (από τα μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά) είναι τα πάνελ λεπτού υμενίου, ενώ αυτά τα οποία έχουν την λιγότερη ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι τα υβριδικά πάνελ

Τέλος, βλέπουμε ότι όσο καλύτερη απόδοση έχει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο τόσο μεγαλύτερο κόστος έχει και τόσο λιγότερο φιλικό ως προς το περιβάλλον είναι. Στην ουσία παρατηρούμε ότι η επιλογή φωτοβολταϊκό στοιχείου έχει να κάνει με το κεφάλαιο που διαθέτει ο ενδιαφερόμενος αλλά και με τον διαθέσιμο χώρο. Η επιλογή φωτοβολταϊκό στοιχείου για το στρατόπεδο θα γίνει πιο κάτω όταν θα επιλεγεί και η εταιρία από την οποία θα αγοραστούν τα πάνελ.

## **1.6 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων**

### **1.6.1 Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδέονται με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ και λειτουργούν παράλληλα με αυτό. Σε ένα τέτοιο σύστημα δεν υπάρχει ανάγκη για αποθήκευση της ενέργειας διότι η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ καταναλώνεται από τον ιδιοκτήτη και η πλεονάζουσα ή και ολόκληρη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ πωλείται στο δίκτυο της ΔΕΗ (Νόμος που ισχύει από τον Ιούλιο 2009).

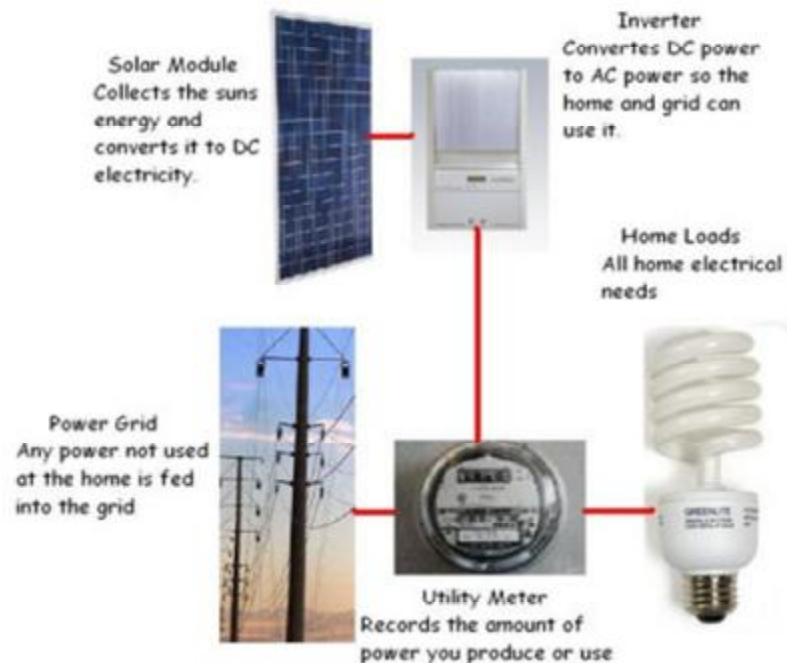
Στην ουσία τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

α) Με αυτοπαραγωγή, όπου ο επενδυτής χρησιμοποιεί την παραγόμενη ενέργεια για να καλύψει καταρχήν τις ανάγκες των δικών του ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείται στη ΔΕΗ, ενώ σε περίπτωση έλλειψης, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις τροφοδοτούνται από το δίκτυο.

β) Με πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας στη ΔΕΗ και κάλυψη των ιδίων ενεργειακών αναγκών του επενδυτή από το κεντρικό δίκτυο. Η τιμή πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στη ΔΕΗ ήταν υψηλότερη από την τιμή αγοράς του ρεύματος του δικτύου, άρα παλιά σύμφερε η εξολοκλήρου πώληση της παραγόμενης ενέργειας, σε σχέση με την περίπτωση αυτοπαραγωγής.

#### **1.6.1.1 Τα βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου συστήματος είναι:**

- Φωτοβολταϊκά πάνελ
- Μετατροπέας από DC σε AC (inverter)
- DC διακόπτης
- AC διακόπτης
- 2 μετρητές



Σχέδιο 1.2: Παράδειγμα Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος

### 1.6.2 Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα αναφέρονται σε εφαρμογές εκτός του δικτύου ηλεκτροδότησης της ΔΕΗ και η χρήση τους μπορεί να γίνει σε μικρά κτίσματα αγροτών και κτηνοτρόφων αλλά και σε μικρές εξοχικές κατοικίες

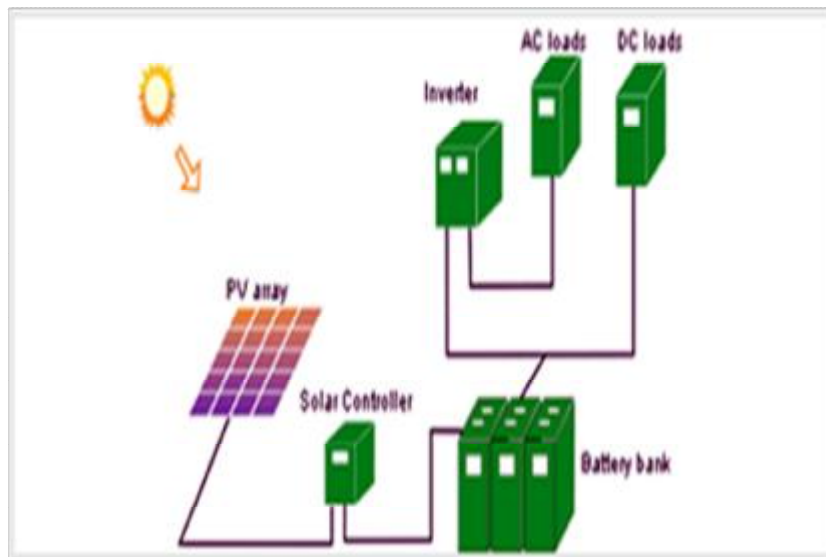
Το μέγεθος σε kWh ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτάται από την κατανάλωση των συσκευών (φορτία) που θέλει ο πελάτης να έχει και τον χρόνο που θα χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένες συσκευές.

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά από φωτοβολταϊκές γεννήτριες. Παραπέρα τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτά που έχουν κάποια αποθηκευτική διάταξη ενέργειας (συνήθως μπαταρίες) και σε αυτά που είναι άμεσα συνδεδεμένα μόνο με τα φορτία που τροφοδοτούν χωρίς αποθηκευτική διάταξη (παράδειγμα: εξοχικό σπίτι με μια μικρή dc αντλία νερού συνδεδεμένη απ' ευθείας με ένα φωτοβολταϊκό πάνελ).



### 1.6.2.1 Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου συστήματος είναι:

- Τα φωτοβολταϊκά πάνελ
- Οι συσσωρευτές
- Ο ρυθμιστής φόρτισης
- Ο αντιστροφέας dc/ac (για τις καταναλώσεις των 230Volt)
- Ασφάλειες
- Διακόπτες dc
- Όργανα μέτρησης χωρητικότητας συσσωρευτών



Σχέδιο 1.3: Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

### 1.6.3 Υβριδικά Συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα εκμεταλλεύονται ταυτόχρονα την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Διαθέτουν φωτοβολταϊκούς συλλέκτες και ανεμογεννήτρια ώστε να παράγουν ρεύμα και από τον ήλιο και από τον άνεμο ταυτόχρονα.

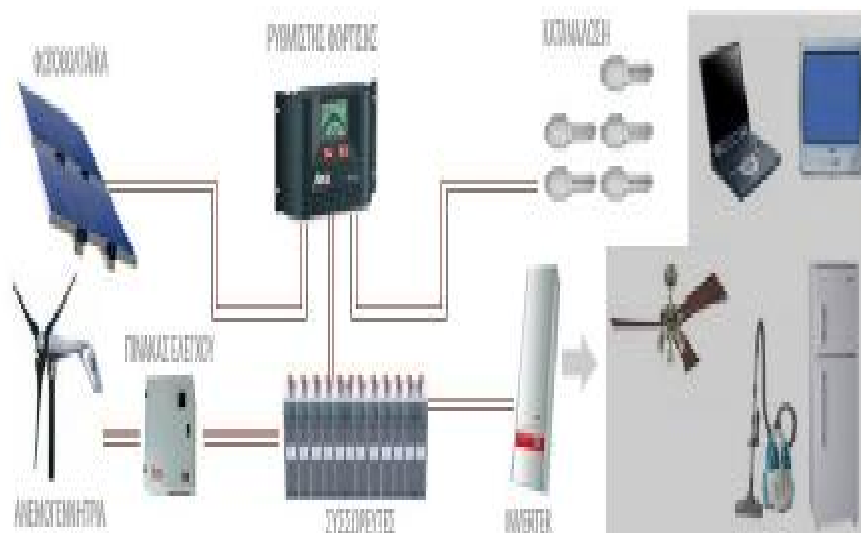
Το πλεονέκτημα των υβριδικών συστημάτων είναι ότι όταν υστερεί η μία πηγή ενέργειας, συνήθως πλεονεκτεί η άλλη. Και αναφερόμαστε στον συνηθισμένο συνδυασμό,

ανεμογεννήτριας και φωτοβολταϊκών στοιχείων, ενώ αρκετά δημοφιλής είναι και ο συνδυασμός ηλιακού θερμικού συλλέκτη με καυστήρα πετρελαίου ή βιομάζας

Ο συνδυασμός ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε απομονωμένες κατοικίες και οικισμούς όπου η πρόσβαση στο κεντρικό δίκτυο είναι πολύ δαπανηρή ή ακόμα και αδύνατη. Συνήθως στο σύστημα προστίθεται και μία ηλεκτρογεννήτρια με συμβατικά καύσιμα για μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ η χρήση των μπαταριών (ή και κυψέλων καύσιμου με υδρογόνο) είναι σχεδόν απαραίτητη σαν η πιο εύκολη και απλή λύση παροχής σταθερής τάσης στο σύστημα, αλλά και εφεδρείας.

### 1.6.3.1 Τα βασικά μέρη ενός υβριδικού συστήματος είναι:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ
- Ανεμογεννήτρια
- Συσσωρευτές
- Inverter
- Ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών



Σχέδιο 1.4: Ενδεικτική κατασκευή υβριδικού συστήματος

## **1.7 Επιλογή φωτοβολταϊκού συστήματος**

Ένα βασικό πλεονέκτημα των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων έναντι των αυτόνομων είναι το γεγονός ότι η σύνδεση με το δίκτυο ουσιαστικά δίνει την δυνατότητα απεριόριστης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στα αυτόνομα συστήματα, αν οι συσσωρευτές (που έχουν μια πεπερασμένη ικανότητα αποθήκευσης) φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια ενέργειας που παράγεται θα πρέπει να αποβληθεί κι επομένως να χαθεί ανεκμετάλλευτη. Το δίκτυο όμως αποτελεί πρακτικά έναν τεράστιο συσσωρευτή, όπου ολόκληρη η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται και διανέμεται στη συνέχεια από το Διαχειριστή του συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ) σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Ακόμα, λόγω του ότι το στρατόπεδο έχει μεγάλη διαθέσιμη έκταση γης (όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω) για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, κρίνεται πιο συμφέρουσα η χρήση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο της ΔΕΗ καθώς, θα εξοικονομηθούν και χρήματα από τη μη χρήση συσσωρευτών αφού δεν είναι αναγκαία η αποθήκευση ενέργειας.

## **1.8 Το Πρόγραμμα NetMetering**

### **1.8.1 Εισαγωγή**

Το 2014 ήταν μια πολύ κακή χρονιά για την αγορά φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα. Εγκαταστάθηκαν ελάχιστα συστήματα (το μέγεθος της αγοράς ήταν μόλις 1,5% της αντίστοιχης του 2013), ενώ χάθηκαν χιλιάδες θέσεις εργασίας στον κλάδο. Αιτία υπήρξε η καταστροφική πολιτική που ακολουθήθηκε, σε μια προσπάθεια να διορθωθούν παλαιότερες θεσμικές αστοχίες.

Σε ότι αφορά στο μέλλον της αγοράς φωτοβολταϊκών, δύο μέτρα επηρέασαν αρνητικά τις εξελίξεις: το πάγωμα αδειοδότησης νέων έργων που ίσχυσε για 20 μήνες (από τον Αύγουστο 2012 έως και τον Μάρτιο 2014) και ο καθορισμός εξαιρετικά χαμηλών αποζημιώσεων για την παραγόμενη από νέα φωτοβολταϊκά ενέργεια από το 2015 και μετά, τόσο χαμηλών, που δεν οδηγούν σε βιώσιμες επενδύσεις.

Την ίδια περίοδο, η διεθνής αγορά φωτοβολταϊκών συνέχισε να αναπτύσσεται γρήγορα σε πολλές χώρες του πλανήτη, ενώ, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε νέες κατευθυντήριες γραμμές για τις ενισχύσεις σε επενδύσεις ΑΠΕ, οι οποίες δεσμεύουν τα Κράτη Μέλη από 1ης Ιανουαρίου 2016.

Μόνη θετική εξέλιξη για την ελληνική αγορά, υπήρξε η υιοθέτηση (στην εκπονή του 2014) μέτρων που προωθούν την αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό (net metering). Μετά από παλινωδίες και καθυστερήσεις ενός έτους, υιοθετήθηκαν τελικά οι περισσότερες από τις προτάσεις των θεσμικών φορέων της αγοράς. Με την άρση της αναστολής αδειοδότησης νέων έργων, τέθηκε παράλληλα και ένας νέος στόχος για τα φωτοβολταϊκά, ο οποίος προβλέπει την εγκατάσταση περίπου 2.000 MW επιπλέον την περίοδο 2015-2020.

Μια τελευταία παράμετρος που δεν πρέπει να λησμονούμε είναι η υποχρέωση της χώρας να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να επιτύχει ένα ελάχιστο ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Ειδικά στην ηλεκτροπαραγωγή, η εθνική νομοθεσία (Ν. 3851/2010) προβλέπει συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40% ως το 2020. Έως σήμερα, είμαστε μόλις στο 55% περίπου αυτού του στόχου, ενώ πετύχαμε λιγότερο από το 80% του ενδιάμεσου στόχου που προβλεπόταν για το 2014. Σε αντίθεση λοιπόν με όσα παραπλανητικά ακούγονται (ότι δήθεν έχουν καλυφθεί ήδη οι στόχοι και ιδιαίτερα μάλιστα για τα φωτοβολταϊκά), υπολείπμαστε σημαντικά των δεσμεύσεων μας και είναι αμφίβολο αν τελικά καταφέρουμε να πλησιάσουμε τους στόχους, δεδομένου και του χαμηλού ρυθμού ανάπτυξης των υπολοίπων ΑΠΕ.

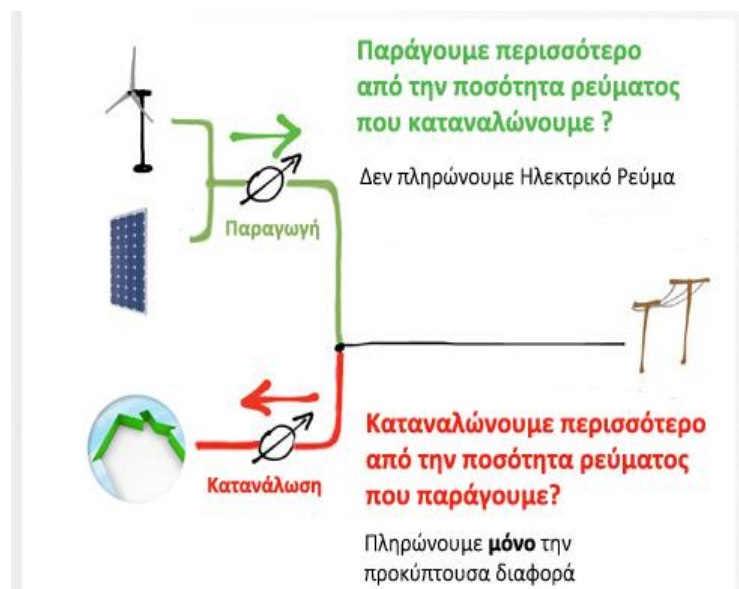
#### **1.8.1.1 Τι είναι Netmetering και πως λειτουργεί**

Το net metering ή ενεργειακός συμψηφισμός είναι ο νέος τρόπος αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, που αναμένεται σύντομα να εφαρμοστεί και στην Ελλάδα, μετά την

επιτυχία που είχε η μέθοδος αυτή σε αρκετές χώρες της Ευρώπης και Αμερικής. Το net metering είναι μέθοδος συμψηφισμού ενέργειας από φωτοβολταϊκά και άλλες ΑΠΕ. Σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά με ταρίφα (feed-in tariff), στα συστήματα net metering ο συμψηφισμός παραγόμενου και καταναλισκόμενου ρεύματος είναι ενεργειακός (σε kWh) και όχι "λογιστικός" (σε €). Και τα μεν και τα δε ανήκουν στην μεγάλη κατηγορία των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών on-grid ή grid-connected systems διεθνώς (σε αντίθεση με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά - off grid) όπου υπάρχει σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο.

Το netmetering λειτουργεί ως εξής:

Ένα ρολόι μετρά το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από το σύστημα αυτοπαραγωγής (φωτοβολταϊκό ή ανεμογεννήτρια). Η ενέργεια που παράγει το σύστημα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου καταμέτρησης, συμψηφίζεται με την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου. Με αυτό τον τρόπο, πληρώνεις μόνο για την καθαρή ποσότητα ρεύματος που καταναλώθηκε. Αν παραχθεί λιγότερη ενέργεια από αυτή που χρειάζεται, πληρώνεις τη διαφορά. Αν παραχθεί περισσότερη ενέργεια από αυτή που χρειάζεται, δεν πληρώνετε για το ηλεκτρικό ρεύμα που καταναλώθηκε. Σε περίπτωση που υπάρχει περίσσεια ενέργειας, η περίσσεια απορροφάται από το ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς να πληρωθείς.

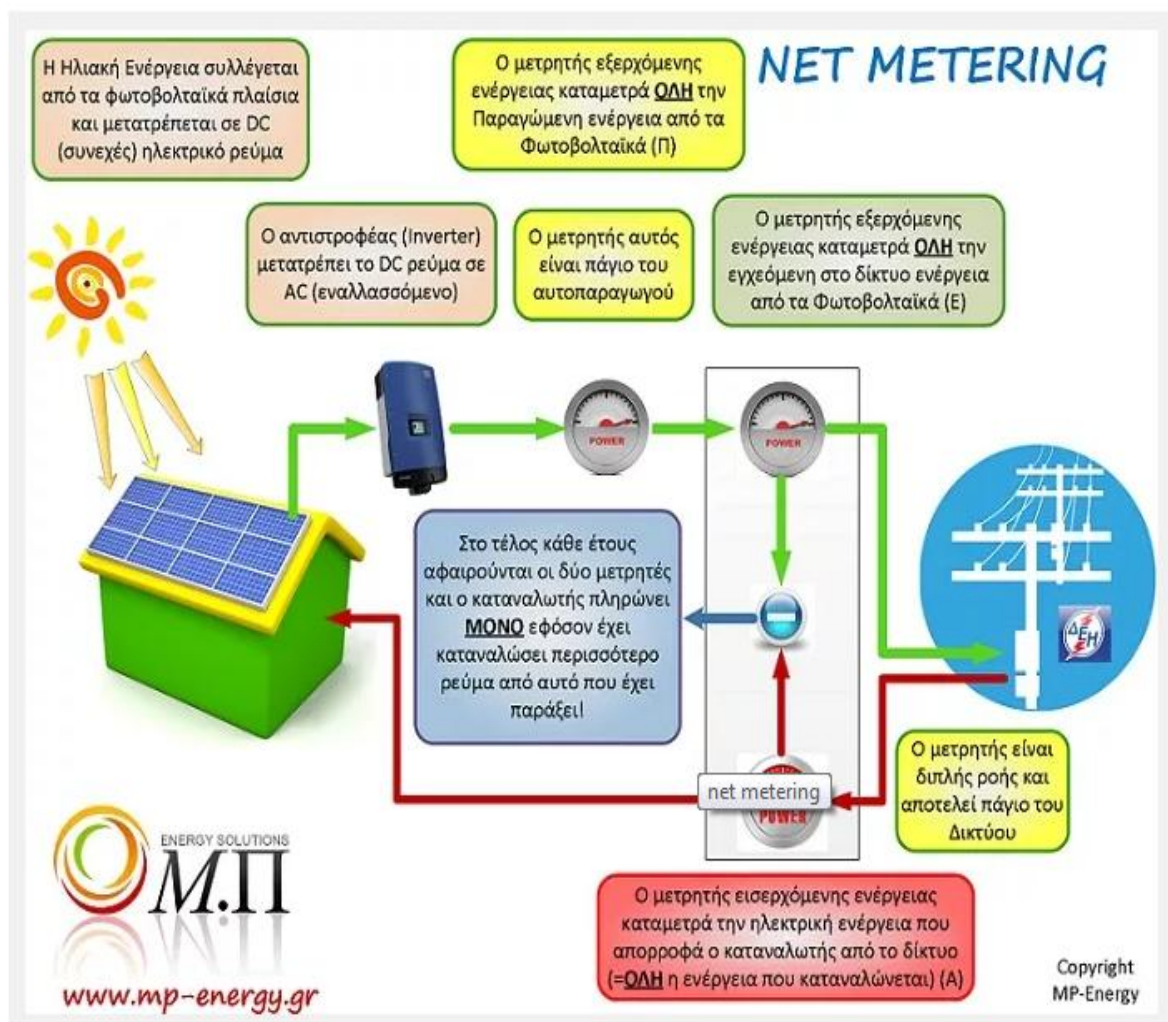


Σχέδιο 1.5: Τρόπος λειτουργίας netmetering

Το net metering έχει αναρίθμητα πλεονεκτήματα και προσφέρει άμεση απόσβεση για τον ενδιαφερόμενο, ενώ προστατεύει το περιβάλλον χωρίς να επιβαρύνει τον κρατικό προϋπολογισμό.

Το netmetering έχει ξεκινήσει από τις 8 Μαΐου του 2015 όπου άνοιξε η διαδικασία κατάθεσης αιτήσεων για Net Metering στον ΔΕΔΔΗΕ (Δ.Ε.Η) για καταναλωτές χαμηλής τάσης.

### 1.8.1.2 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα netmetering



Σχέδιο 1.6 :Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το netmetering

### 1.8.1.3 Πλεονεκτήματα netmetering

- Η κατανάλωση γίνεται κοντά στην παραγωγή μειώνοντας τις απώλειες στα καλώδια
- Ο ιδιώτης ή ο επαγγελματίας δεν εξαρτάται από το κράτος για να επιδοτηθεί και εν τέλει να πληρωθεί για την επένδυσή του
- Τα ελληνικά νοικοκυριά μπορούν να ξεχάσουν το κόστος ρεύματος μια για πάντα!
- Όσες αυξήσεις και αν κάνει η ΔΕΗ δεν υπάρχει επιβάρυνση...
- Η χώρα μας απαλλάσσεται από ενεργειακές εξαρτήσεις - κόστη.
- Μειώνονται οι εκπομπές CO<sub>2</sub>
- Ελαχιστοποιείται η περιβαλλοντική επιβάρυνση περιοχών κοντά σε εργοστάσια παραγωγής ρεύματος με λιγνίτη

Ένα σπίτι (100τμ) με κατανάλωση 5.000kWh και αντλία θερμότητας με κατανάλωση 3.000kWh (ετησίως) θα πληρώνει στη ΔΕΗ 1.900€ Με ένα φωτοβολταϊκό netmetering 5kWp με κόστος κάτω από 8.000€ (με ΦΠΑ) θα εκμηδενίσει το κόστος ρεύματος. Η απόσβεση θα γίνει σε λιγότερο από 5 χρόνια! Απόδοση επένδυσης 20%!

Ακόμη και μία μικρή κατοικία με ενεργειακές ανάγκες κάτω από 3.000kWh και κόστος ηλεκτρισμού περίπου 500€ ετησίως, με ένα σύστημα netmetering 2kWp κόστους περίπου 4.000€ θα αποσβέσει την επένδυσή της σε λιγότερο από 8 χρόνια.

## 1.9 Σταθεροί και περιστρεφόμενοι συλλέκτες

### 1.9.1 Σταθερά Συστήματα Στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Οι σταθεροί συλλέκτες φωτοβολταϊκών συστημάτων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

#### 1. Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη :

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται

σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια πχ. προσόψεις, στέγες.

Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Όταν ο χώρος τοποθέτησης δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, είναι η πιο απλή περίπτωση. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο (στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε βόρειο). Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το  $\lambda$  του τόπου, οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.

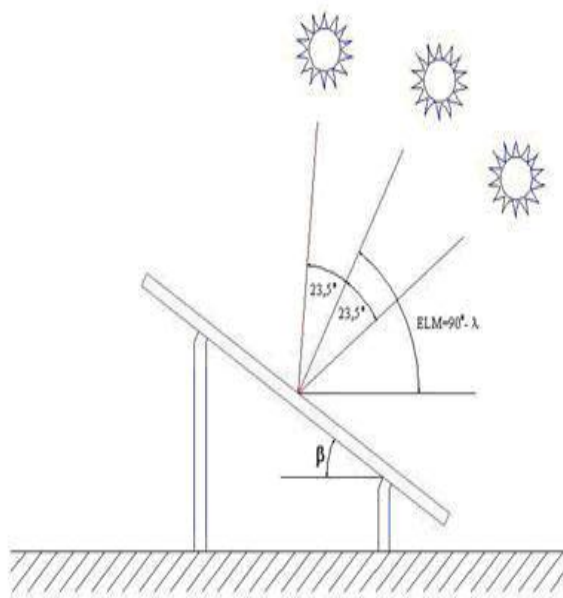
Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή  $ELM_{ελ}=(90\circ-\lambda)-23,5\circ$ , στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη  $ELM_{μεγ}=(90\circ-\lambda)+23,5\circ$  (21 Ιουνίου) και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτινών κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από  $-23,5\circ$  έως  $+23,5\circ$ . Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με την γωνιά  $\lambda$  του τόπου, η μέση ημερησία τιμή της ετησίας ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη.

Για να προκύψει, βεβαία η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και το albedo του εδάφους (ανακλαστικότητα του εδάφους). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων, για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρο) σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη το albedo του εδάφους.



Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη ( $>200$ ) βρίσκεται στην περιοχή  $\lambda$ - $(100 \div 150)$ .
- Για τόπους με μικρά  $\lambda$ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι  $0^\circ$ . Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία  $5^\circ \div 10^\circ$  ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).
- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία  $\beta = \lambda - 10^\circ$ .
- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι  $\beta = \lambda + 15^\circ$ . Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση  $\beta = \lambda - 15^\circ$ .
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.



Εικόνα 1.11

## **2. Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη :**

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνιάς κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90ο.

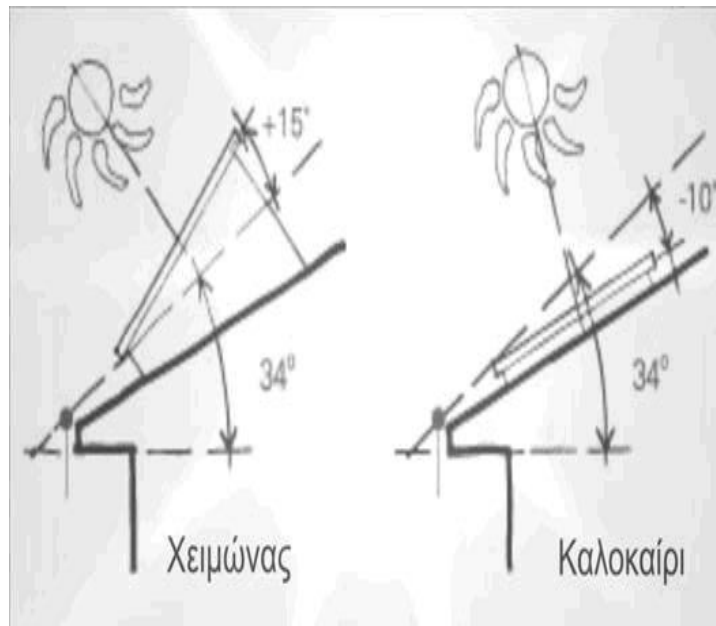
Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, ανέμου, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και το albedo του εδάφους όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.

Συμπέρασμα:

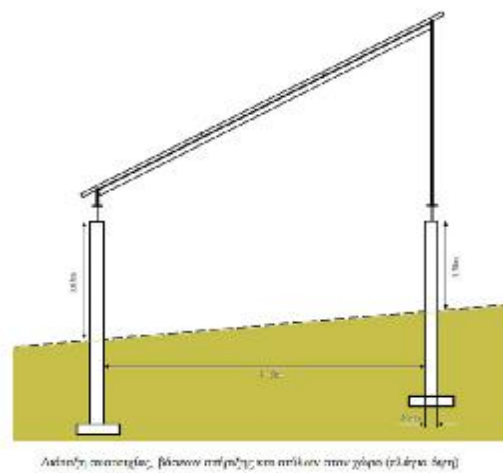
- Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι
- $\beta = \lambda + (100 \div 150)$ .
- Κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι
- $\beta = \lambda - (100 \div 150)$ .

### **1.9.1.1 Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση:**

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους.
- Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.



Εικόνα 1.12



Εικόνα 1.13

### 1.9.2 Κινητά Συστήματα Στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

(Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (tracker system) ):

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι συλλέκτες τοποθετούνται είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μικρή απολαβή ενεργείας από τον ήλιο ιδιαίτερα στην πρώτη μέθοδο, με σταθερή γωνία κλίσης. Μια βελτιωμένη εκδοχή είναι η δεύτερη μέθοδος με αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη.

Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές μοιάζουν αρκετά με το φυτό ηλιοτρόπιο ή ηλιάνθος, από όπου πήραν και το όνομα τους. Τα ηλιοτρόπια (trackers) στρέφουν τους συλλέκτες έτσι ώστε οι ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Με τα ηλιοτρόπια υπάρχει μια αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος 30% - 50%, σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες ηλιοτροπίων ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν:

- Στροφή γύρω από έναν άξονα
- Στροφή γύρω από δύο άξονες

### **1. Στροφή γύρω από έναν Άξονα :**

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ'όλη την ημέρα καταλήγοντας στην δύση. Διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

- Το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο
- Το πολικό ηλιοτρόπιο

#### **1.9.2.1 Αζιμουθιακό Ηλιοτρόπιο :**

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη. Δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Για την επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών ακολουθείται η ίδια λογική με τις προηγούμενες μεθόδους. Δηλαδή τοποθετούνται με σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάση του γεωγραφικού πλάτους.

Χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση ισχύος είναι περίπου 25-35%, εξαρτάται βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.

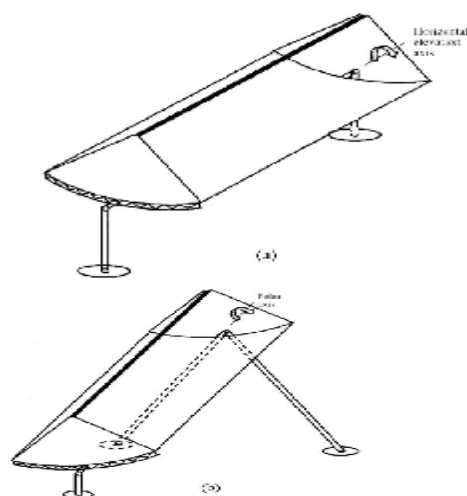
### 1.9.2.2 Πολικό Ηλιοτρόπιο (polar tracker) :

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνιά ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά την διάρκεια του έτους η γωνιά μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται από -23,5ο έως +23,5ο.

Η βασική χρήση των συστημάτων αυτών είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να αποκλείεται και η χρήση τους σε θερμικούς σταθμούς. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα την εποχή του έτους.

Είναι σχετικά απλά στην κατασκευή και στον έλεγχο. Μειονεκτούν σημαντικά όσο αφορά την αντοχή τους σε ισχυρούς ανέμους. Για την προστασία τους χρειάζονται ισχυρά συστήματα πέδησης. Επίσης τα πλαίσια δεν τοποθετούνται ομοιόμορφα, αλλά σε τριγωνικό σχηματισμό, έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Αν δεν εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος τοποθέτησης μένει αρκετός χώρος αναξιοποίητος.

Πολλές φορές τοποθετούνται και κάτοπτρα για την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες.



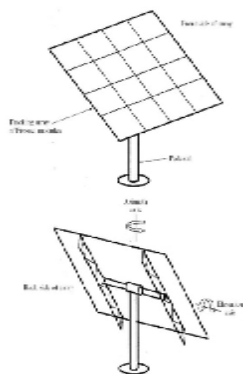
Εικόνα 1.14

## 2. Στροφή γύρω από Δύο Άξονες :

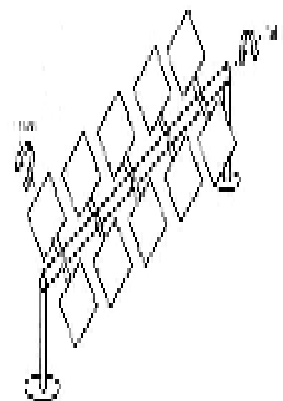
Τα οπτικά μέσα σημειακής εστίασης, εν γένει απαιτούν παρακολούθηση δύο αξόνων, έτσι ώστε πάντα να στοχεύουν τον ήλιο και η ηλιακή ακτινοβολία που συγκεντρώνεται να προσπίπτει στον συλλέκτη. Από μηχανικής πλευράς, η παρακολούθηση δύο αξόνων είναι πιο πολύπλοκη από αυτήν του ενός άξονα, παρόλα αυτά η συγκέντρωση αυξάνεται και έτσι αναλογικά το κόστος των συλλεκτών μειώνεται.

Τα ανακλαστικά κάτοπτρα γραμμικής εστίασης χρειάζονται παρακολούθηση μόνο κατά μήκος ενός άξονα. Όμως οι γραμμικοί συγκεντρωτές Fresnel απαιτούν παρακολούθηση δύο αξόνων, καθώς εμφανίζουν σοβαρές αποκλίσεις όταν ο ήλιος δεν είναι κάθετος στον επιμήκη άξονα.

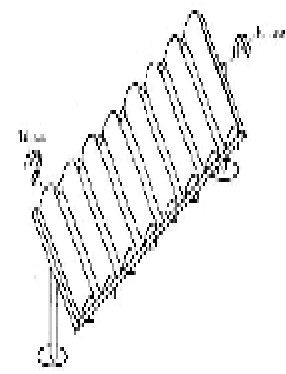
Όσον αφορά την παρακολούθηση δύο αξόνων χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις διατάξεις. Η μορφή που φαίνεται στο σχήμα (α), χρησιμοποιεί ένα κυλινδρικό στήριγμα, πάνω στον οποίο συνδέεται ένα σύνολο κυψελών. Η παρακολούθηση γίνεται συνήθως με τη βοήθεια κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο κινεί τις κυψέλες κατά μήκος ενός κάθετου άξονα (κίνηση περί τον αζιμουθιακό άξονα) και κατά μήκος ενός οριζόντιου άξονα (άξονας ανύψωσης). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η απλότητα της κατασκευής, ενώ μειονεκτεί όσον αφορά το γεγονός ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα μεταφράζονται σε μεγάλη ροπή στο κιβώτιο. Μια άλλη υλοποίηση φαίνεται στο σχήμα (β), στην οποία το φορτίο του αέρα είναι σαφώς μειωμένο, όμως απαιτούνται περισσότερες συνδέσεις και ρουλεμάν, κάνοντας την κατασκευή πιο σύνθετη. Μια παραλλαγή της διάταξης αυτής φαίνεται το σχήμα (γ). Τέλος υπάρχει και η διάταξη του σχήματος (δ), η οποία εμφανίζει τα μικρότερα φορτία αέρα και έχει την πιο μικρή και συμπαγή κατασκευή, όμως από την άλλη έχει και την πιο σύνθετη εγκατάσταση.



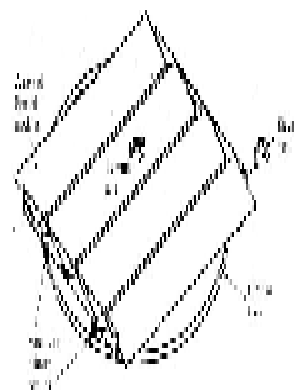
**Σχέδιο 1.7.α**



**Σχέδιο 1.7.β**



**Σχέδιο 1.7.γ**



**Σχέδιο 1.7.δ**

### 1.9.2.3 Επιλογή καταλληλότερου συλλέκτη

Λόγω του ότι τα Ηλιοτρόπια (tracker system) έχουν αρκετό υψηλό κόστος θα επιλεχθούν τα σταθερά συστήματα στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη η οποία θα είναι 30ο (μοίρες).

## **1.10 Κόστος φωτοβολταϊκών**

### **1.10.1 Τρόπος εγκατάστασης**

Για την εγκατάσταση ενός πάρκου περιλαμβάνεται εκτός από τη μελέτη και εγκατάσταση του βασικού εξοπλισμού, την εκπόνηση τοπογραφικών και γεωτεχνικών μελετών, την εκπόνηση Μελέτης Εφαρμογής, την εγκατάσταση λοιπού εξοπλισμού όπως συστήματα ασφαλείας, συστήματα φωτισμού και συστήματα πυρόσβεσης, και τα έργα Πολιτικού Μηχανικού όπως εκπόνηση χωματουργικών εργασιών, πάκτωση συστημάτων στήριξης (με πασσαλόμπηξη ή σκυροδέτηση) και περίφραξη.

### **1.10.2 Η Περίφραξη**

Στην διαδικασία της εγκατάστασης δεν πρέπει να αγνοήσουμε την αναγκαιότητα της αποτελεσματικής περίφραξης. Ένα πάρκο θα πρέπει όχι απλά να είναι ευδιάκριτα οριοθετημένο, αλλά και απόλυτα προστατευμένο από κάθε πιθανή εξωτερική απειλή ή κίνδυνο, εφόσον μάλιστα πρόκειται για μια σοβαρή και διόλου ευκαταφρόνητη από άποψη κόστους επένδυση. Μια αποτελεσματική περίφραξη θα αποκλείσει από το χώρο των εγκαταστάσεων μια επικίνδυνη εισβολή ζώων, που θα μπορούσαν να καταστρέψουν τον εξοπλισμό, αλλά και μια φιλόδοξη απόπειρα κλοπής εξοπλισμού από διαρρήκτες.

Γι' αυτό τον σκοπό, υπάρχουν εταιρείες που εξειδικεύονται στις περιφράξεις φωτοβολταϊκών πάρκων παρέχοντας την ασφάλεια που χρειάζονται για την ομαλή λειτουργία τους. Απαραίτητα υλικά, όπως γαλβανιζέ σωλήνες με συρματοπλέγματα κάθε είδους, αλλά και ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης και συναγερμού μπορούν να συνδυαστούν για τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια. Χρησιμοποιούνται επίσης, αισθητήρες κραδασμών πάνω στον φράχτη ή στο πλέγμα περιμετρικά του οικοπέδου οι οποίοι ενεργοποιούν άμεσο συναγερμό όταν υπάρχει παραβίαση, επίσης εναλλακτικά δέσμες με



αόρατες ακτίνες που όταν ο εισβολέας εισβάλλει στο χώρο και τις διακόψει, δίνεται συναγερμός, κάμερες ασφαλείας για 24ωρη παρακολούθηση ακόμη και στο κινητό, και τελικά μια πλαστική ίνα που συνδέει τα πάνελ μεταξύ τους κι έτσι αν κάποιος πάει να σηκώσει ένα πάνελ, η ίνα αυτή κόβεται και χτυπά επίσης συναγερμός. Οι επιλογές είναι πολλές ανάλογα με τις ανάγκες κάθε εγκατάστασης.

### 1.10.3 Η Συντήρηση

Η κατάλληλη και επαρκής συντήρηση σε μια εγκατάσταση φ/β πάρκου είναι επιτακτική για να εξασφαλιστεί η συνεχής καλή λειτουργία του εξοπλισμού και η μακροζωία της. Θα έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη μείωση των βλαβών και συνεπώς τη μείωση του κόστους λειτουργίας, τη μεγιστοποίηση της απόδοσης λειτουργίας της εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού συστήματος και την επέκταση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού. Γι' αυτούς του λόγους είναι απαραίτητο να γίνονται συγκεκριμένες εργασίες συντήρησης όπως:

- ένας οπτικός έλεγχος όλης της εγκατάστασης (τουλάχιστον κάθε 3 μήνες).
- Ένας εξαμηνιαίος έλεγχος όλων των ενώσεων και συνδέσμων, μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.
- Εξαμηνιαία λίπανση στα κινούμενα μέρη αν υπάρχουν.
- Εξαμηνιαίος καθαρισμός όλου του εξοπλισμού.
- Εξαμηνιαία αντισκωριακή προστασία.
- Αλλαγή, τυχόν φθαρμένων υλικών.
- Ετήσιο έλεγχος Μ/Σ από εξειδικευμένο συνεργείο (εργαστηριακή ανάλυση λαδιού – αν ο Μ/Σ είναι λαδιού).
- Ετήσιες μετρήσεις αντίστασης καλωδίων.
- Ετήσιες μετρήσεις αντικεραυνικής προστασίας και μετρήσεις γειώσεων.

Εκτός όμως, από αυτή την τακτική συντήρηση, απαιτείται να διασφαλιστεί ότι δε θα υπάρχει μείωση της απόδοσης του πάρκου με την εναπόθεση σκόνης πάνω στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Υπολογίζεται ότι σημειώνεται περίπου 15-18% απώλεια κερδών, όταν ο εξοπλισμός δεν αποδίδει το βέλτιστο των δυνατοτήτων του λόγω σκόνης. Άλλα εμπόδια που μπορεί να ανακόψουν την ηλιακή ενέργεια που προσπέφτει στα πάνελ είναι η γύρη, η λάσπη, το χιόνι, άλατα ακόμη και τα περιττώματα των πουλιών. Για τη

μεγιστοποίηση λοιπόν, της απόδοσης της εγκατάστασης, οφείλεται να γίνεται καθαρισμός των φωτοβολταϊκών στοιχείων τουλάχιστον δύο φορές το χρόνο, την Άνοιξη μετά τις ακραίες καιρικές συνθήκες του χειμώνα, και το Φθινόπωρο, μετά τις συνθήκες ξηρασίας και σκόνης του καλοκαιριού. Εάν δεν γίνει «καθαρισμός» των φωτοβολταϊκών πάνελ, θα δημιουργηθεί σε βάθος χρόνου ένα φιλμ βρωμιάς, το οποίο θα είναι πολύ δύσκολο να καθαριστεί και θα έχει σαν επίπτωση την κάθετη μείωση της απόδοσης της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης. Ορισμένες εταιρείες προσφέρουν πολύ ενδιαφέρουσες λύσεις καθαρισμού των πάνελ, με συστήματα ψεκασμού, με μηχανήματα απιονισμού του νερού για να μην μένουν κατάλοιπα άλατος στα πάνελ, αυξάνοντας έτσι την απόδοση έως και 11% τους χειμερινούς μήνες και έως 22% τους καλοκαιρινούς μήνες.

Μάλιστα, στο πλαίσιο του «καθαρισμού» περιλαμβάνεται και η κοπή των χόρτων και το κλάδεμα των δέντρων, αν υπάρχουν, γιατί μειώνουν σημαντικά την απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Σκιάζοντας ένα φωτοβολταϊκό πάνελ χάνει σημαντική απόδοση όλη η σειρά των στοιχείων και επίσης, τα μεγάλα χόρτα αποτελούν υψηλό κίνδυνο πρόκλησης πυρκαγιάς.

Επιπλέον, για την καλύτερη προστασία των καλωδιώσεων του φωτοβολταϊκού σας συστήματος από τα τρωκτικά, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται τακτές μυοκτονίες στις εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών πάρκων.

#### **1.10.4 Το Κόστος**

Ένα τέτοιο εγχείρημα περιέχει μεγάλη ευελιξία στην επιλογή των υλικών και του εξοπλισμού, πράγμα που δίνει επίσης μεγάλη ευελιξία στο υπολογίσιμο κόστος. Ξεκινώντας για την υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου όμως, θα πρέπει να έχουμε υπόψιν μας το κόστος για την έκδοση άδειας (περιλαμβάνοντας τη μελέτη και ό,τι θα πρέπει να περιέχει ο φάκελος της αίτησής μας για την αδειοδότηση). Κατόπιν, το κόστος για τη διαμόρφωση του οικοπέδου και τις όποιες χωματουργικές εργασίες και εργασίες υποδομής που μπορεί να χρειαστούν όπως, βάσεις μπετού, σωληνώσεις για τις καλωδιώσεις, φρεάτια, περιφράξεις, ίσως κάποιο δωματάκι, κ.ο.κ. , αντικεραυνική προστασία και γείωση καθώς και έξοδα φύλαξης και επιτήρησης του χώρου με δεδομένο ότι το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι σε υψηλά επίπεδα.

Κατόπιν, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ζητήσει προσφορές από τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο και παρέχουν τεχνογνωσία και εξειδίκευση, οι οποίες θα είναι προσαρμοσμένες στην έκταση που διαθέτει και τελικά στο ποσό που είναι διατεθειμένος να διαθέσει. Οι εταιρείες φωτοβολταϊκών συστημάτων που κατασκευάζουν φωτοβολταϊκά πάρκα δίνουν τιμές για κάθε εγκατεστημένο kWp (δηλαδή τη μέση τιμή του κόστους κατά την παράδοση του φωτοβολταϊκού (Φ/Β) πάρκου).

Το κόστος αυτό είναι της τάξεως των 3200€-4000€ ανά εγκατεστημένο kWp, για την περίπτωση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών με σταθερή στήριξη, ποσό που θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερο για μικρές εγκαταστάσεις. Έτσι ένα φωτοβολταϊκό πάρκο Φ/Β πάρκο των 20kw έχει ένα αρχικό κόστος με τις νέες μειωμένες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 49.000€–55.000€ ενώ για φωτοβολταϊκό πάρκο 100kWp έχει ενδεικτικό κόστος 270.000€ - 310.000€ Για την εγκατάσταση για φωτοβολταϊκό πάρκο 20kw απαιτείται έκταση περίπου 500 τ.μ.- 700τμ ενώ για για φωτοβολταϊκό πάρκο 100kw απαιτείται έκταση περίπου 2.5 στρεμμάτων. Παράλληλα στον χώρο απαιτούνται βοηθητικοί χώροι για τον συνοδευτικό εξοπλισμό.

Σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της κατασκευαστικής εταιρείας αποτελεί η εμπειρία που διαθέτει, η προέλευση και η ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιεί και οι εγγυήσεις καλής λειτουργίας και αποδοτικότητας που διαθέτει.

### **1.11 Περιγραφή του στρατοπέδου**

Το στρατόπεδο στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση, η μελέτη και τέλος η σύγκριση της καταλληλότερης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι θεωρητικό. Επιλέχθηκαν κάποια τυχαία δεδομένα που αναγράφονται παρακάτω ώστε στο τέλος να είναι πιο κατανοητή και πιο ξεκάθαρη η επιλογή της καταλληλότερης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί.

Το θεωρητικό στρατόπεδο βρίσκεται στην Λαμία και έχει έκταση 11.000 m<sup>2</sup>. Αποτελείται από 9 κτίρια με συνολική επιφάνεια 3.900 m<sup>2</sup>:

-Δύο κοιτώνες 800 m<sup>2</sup> ο καθένας

-Υπόστεγο αυτοκινήτων 600 m<sup>2</sup>

-Κ.Ψ.Μ 200 m<sup>2</sup>

-Εστιατόριο 200 m<sup>2</sup>

-Μαγειρείο 150 m<sup>2</sup>

Διοικητήριο τάγματος 300 m<sup>2</sup>

-Αποθήκες 350 m<sup>2</sup>

Συνεργεία 600 m<sup>2</sup>

Όλα τα κτίρια έχουν ταράτσα εκτός από το διοικητήριο τάγματος. Δηλαδή τα 3.600 m<sup>2</sup> έχουν ταράτσα και τα 300 m<sup>2</sup> στέγη. Ακόμα το στρατόπεδο περιλαμβάνει 2.000 m<sup>2</sup> ελεύθερης έκτασης γης η οποία δεν χρησιμοποιείται και ο υπόλοιπος χώρος των 4.100 m<sup>2</sup> χρησιμοποιείται ως χώρος ασκήσεων , σκοπιάς κ.τ.λ.

Επομένως, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μπορεί να γίνει στις οροφές των κτιρίων 3.900 m<sup>2</sup> αλλά και στην ελεύθερη έκταση γης 3.000 m<sup>2</sup>. Για πιο οικονομική εγκατάσταση θα επιλεγθεί μόνο ένα από τα δύο.

### **1.11.1 Τα βασικά φορτία του στρατοπέδου**

-Ο πρώτος κοιτώνας αποτελείται από 4 δωμάτια όπου το καθένα περιλαμβάνει 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 πρίζες σούκο των 2,5 KW. Τέσσερα γραφεία όπου το κάθε ένα περιλαμβάνει από 1 φωτιστικό των 150W και 2 πρίζες σούκο των 2,5 KW. Ακόμα υπάρχουν 2 μπάνια όπου το κάθε ένα έχει 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 θερμοσίφωνες 80 L (λίτρα) των 8KW .Και τέλος, από έναν διάδρομο με 4 φωτιστικά σημεία των 150W, 6 σούκο των 2,5 KW και 1 φωτιστικό σημείο των 120W που υπάρχει έξω από το κτίριο.

-Ο δεύτερος κοιτώνας αποτελείται από τα ίδια δωμάτια με τον πρώτο και από τα ίδια φορτία.

-Το υπόστεγο αυτοκινήτων αποτελείται από 4 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 σούκο των 2,5 KW.

-Το Κ.Ψ.Μ. αποτελείται από 5 φώτα των 150W, 5 πρίζες σούκο των 2,5 KW και 1 φωτιστικό σημείο των 80W έξω από το κτίριο. .

-Το εστιατόριο αποτελείται από 5 φώτα των 150W, 4 πρίζες σούκο των 2.5 KW και ένα που βρίσκεται στην είσοδο του κτιρίου φωτιστικό σημείο των 100W .

-Το μαγειρείο περιέχει 4 φωτιστικά σημεία των 100W, 4 πρίζες σούκο των 2.5 KW και άλλο ένα φωτιστικό σημείο των 100W που βρίσκεται έξω από το κτίριο. Επιπλέον, έχει 4 φούρνους των 30 KW.

-Το διοικητήριο τάγματος αποτελείται από 2 μεγάλα γραφεία που το κάθε ένα έχει 3 φωτιστικά σημεία των 150 W και 3 πρίζες σούκο των 2.5 KW. Επίσης, αποτελείται από 8 μικρότερα γραφεία που το κάθε ένα έχει από 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 πρίζες σούκο των 2.5 KW. Ακόμα έχει έναν διάδρομο που ενώνει τα γραφεία με 3 φωτιστικά σημεία των 100W, 3 πρίζες σούκο των 2.5 KW, ένα μπάνιο με 3 φωτιστικά σημεία των 120 W και έναν θερμοσίφωνα 80 L των 8 KW. Τέλος υπάρχει ένα φωτιστικό σημείο 100 W έξω από το κτίριο.

-Το κτίριο που περιλαμβάνει τις αποθήκες αποτελείται από τρεις αποθήκες. Την αποθήκη τροφίμων που έχει 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 3 σούκο των 2.5 KW. Την αποθήκη καυσίμων που έχει 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 σούκο των 2.5 KW. Και την κεντρική αποθήκη όπου έχει 4 φωτιστικά σημεία των 150 W και 4 πρίζες σούκο των 2.5 KW. Τέλος υπάρχει ένα φωτιστικό σημείο των 120W έξω από το κτίριο.

-Το κτίριο που περιλαμβάνει τα συνεργεία χωρίζεται σε τρία επιμέρους συνεργεία και ένα γραφείο . Το συνεργείο συγκολλήσεων που έχει 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 σούκο των 2.5 KW. Το συνεργείο ασυρμάτων και ηλεκτρολογείο που περιλαμβάνει 2 φωτιστικά σημεία των 150W και 2 σούκο των 2.5 KW. Το κεντρικό συνεργείο (μηχανουργείο) 6 φωτιστικά σημεία των 150W και 4 πρίζες σούκο των 2.5 KW. Τέλος υπάρχουν 2 φωτιστικά σημεία των 120W, 2 σούκο των 2.5 KW στο γραφείο και 1 φωτιστικό σημείο των 120W έξω από το κτίριο των συνεργείων.

-Τέλος υπάρχουν 6 φωτιστικά σημεία(κολώνες) των 200 W στον χώρο ασκήσεων.

Φορτία	Αριθμός Φορτίων	Ισχύς Φορτίων (KW)
Φωτιστικό 80W	1	0,8
Φωτιστικό 100W	10	1
Φωτιστικό 120W	9	1,08
Φωτιστικό 150W	99	14,85
Φωτιστικό 200W	6	1,2
Σούκο 2,5KW	105	262,5
Θερμοσίφωνα 8KW	9	72
Φούρνος 30KW	4	120
<b>Σύνολο</b>	<b>243</b>	<b>473,43</b>

**Πίνακας1.2: Βασικά φορτία στρατοπέδου**

Η μελέτη εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών και της ανεμογεννήτριας θα γίνει στην ελεύθερη έκταση που αναφέρθηκε πιο πριν η οποία είναι 3.000m<sup>2</sup>. Στην ουσία θα γίνει ένα

φωτοβολταϊκό πάρκο το οποίο θα πουλάει όλη την παραγωγή ενέργειας του στη ΔΕΗ και το στρατόπεδο θα καλύπτει τις δικές του ανάγκες παίρνοντας ρεύμα από την ΔΕΗ.

## 1.12 Τιμές Πώλησης Κιλοβατώρας (KWh) στη ΔΕΗ

«Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς στην αιχμή της περίπτωσης (γ) του πίνακα της παρ.1 του άρθρου 13 του ν.3460/2006, όπως ισχύει, γίνεται με βάση τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα σε €/MWh»:

	Διευνοηθέντα		Μη Διευνοηθέντα
	A >100kW	B ≤100kW	Γ (συμμετρήσιμες ισχύες)
2013 Φεβρουάριος	95,00	100,00	100,00
2013 Αύγουστος	95,00	100,00	100,00
2014 Φεβρουάριος	90,00	105,00	95,00
2014 Αύγουστος	90,00	105,00	95,00
Για κάθε έτος ν από το 2016 και μετά	$1,2 \times \mu\text{OTE}_{\nu-1}$	$1,2 \times \mu\text{OTE}_{\nu-1}$	$1,1 \times \mu\text{OTE}_{\nu-1}$

$\mu\text{OTE}_{\nu-1}$ : Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν 1.».

**Πίνακας 1.3 Τιμή πωλούμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ**

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι για το 2015 η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ για εγκαταστάσεις μικρότερες ή ίσες με 100 kW είναι περίπου 115 €/MWh.

## 1.13 Βιβλιογραφία

1. <http://affiliate-solar-energy.prositeslab.com/el/43/solar-energy-pros-and-cons/>
2. <http://www.celsius.gr/1128CC47.el.aspx>
3. <http://www.physics4u.gr/energy/sunenergy.html>
4. <http://el.wikipedia.org>
5. <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>
6. [http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview\\_news/88687.asp#photo10](http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/88687.asp#photo10)
7. <http://www.selasenergy.gr/autonomous.php>
8. [http://www.solarwind.gr/?p=p\\_42](http://www.solarwind.gr/?p=p_42)
9. <http://www.sunshine-energy.gr/>
10. <http://www.synergy-res.gr/phototexnologies.php>
11. <http://anko-tech.gr/index.php?sel=news&aid=189>
12. [http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/Analytikos\\_pinakas\\_timologiou\\_deh.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/Analytikos_pinakas_timologiou_deh.pdf)
13. [http://solarpanel-directory.net/Centrosolar\\_AG-S\\_235P60\\_Professional-14744.html](http://solarpanel-directory.net/Centrosolar_AG-S_235P60_Professional-14744.html)
14. <http://www.ikoenergia.gr/sma4600.pdf>
15. [http://www.eshop-photovoltaics.gr/eshop/index.php?route=product/product&product\\_id=74](http://www.eshop-photovoltaics.gr/eshop/index.php?route=product/product&product_id=74)
16. <http://dionicsolar.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CE%B1-%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CE%BA%CF%8C%CF%83%CF%84/>
17. <http://www.mp-energy.gr/%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%83/net-metering.html>
18. <http://www.ecoenergytech.gr/net-metering-energiakos-sumpsifismos/>
19. [http://www.mgd-energy.gr/net\\_metering-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-](http://www.mgd-energy.gr/net_metering-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-)



%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE  
%B1?gclid=COncm4m-88UCFYnItAodZh0A4g

20. [http://helapco.gr/pdf/Mia-oloklhrwmenh-protash-gia-thn-anaptyksh-twn-fwtovoltaiawn\\_5Mar2015.pdf](http://helapco.gr/pdf/Mia-oloklhrwmenh-protash-gia-thn-anaptyksh-twn-fwtovoltaiawn_5Mar2015.pdf)
21. <http://www.mp-energy.gr/%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%83/net-metering.html>
22. <http://www.aktina-greenenergy.gr/index.php?section=706>
23. Σημειώσεις Φωτοβολταϊκά Συστήματα Και Εφαρμογές, Τάσος Μητρούλιας MSc Καθηγητής Εφαρμογών
24. Κ.Καγκαράκης,Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία,Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
25. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Ανανεώσιμες Πηγές, Μιχ. Π.Παπαδόπουλος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997
26. Φυσική, Τεχνολογία και Χρήσεις Φωτοβολταϊκών, Κ.Θ. Δέρβος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

#### **2.1 Η ισχύς του ανέμου**

##### **2.1.1 Σχηματισμός των ανέμων**

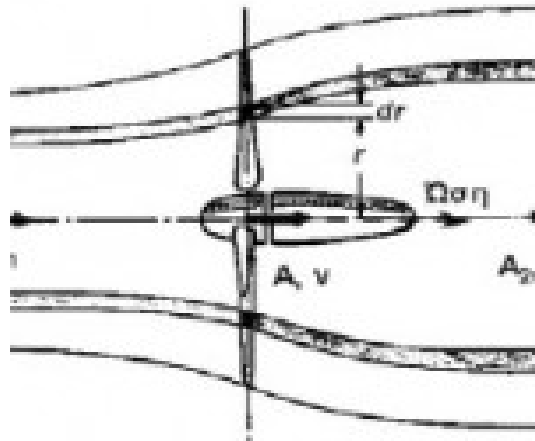
Η αιολική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα. Η ακανόνιστη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί τους ανέμους. Η θερμότητα που απορροφάται από το έδαφος ή το νερό μεταφέρεται στον αέρα, όπου προκαλεί διαφορές στη θερμοκρασία, την πυκνότητα και την πίεσή του. Με τη σειρά τους, οι διαφορές αυτές προκαλούν δυνάμεις που ωθούν τον αέρα ολόγυρα. Σύμφωνα με τη μηχανική των ρευστών, ο αέρας κινείται από τις υψηλής πίεσης προς τις χαμηλής πίεσης περιοχές του πλανήτη.

Σε παγκόσμια κλίμακα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τροπικών και των πόλων προκαλεί τους αληγείς ανέμους, οι οποίοι δρουν ως γιγαντιαίος εναλλάκτης θερμότητας εμποδίζοντας την περαιτέρω θέρμανση του ισημερινού και ψύξη των πόλων. Σε πολύ μικρότερη κλίμακα, οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του εδάφους και της θάλασσας και μεταξύ των βουνών και των κοιλάδων δημιουργούν συχνά ισχυρές αύρες. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζονται επίσης από άλλους παράγοντες, όπως είναι η περιστροφή της γης, τα τοπικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και η τραχύτητα του εδάφους.

##### **2.1.2 Πυκνότητα ισχύος του ανέμου**

Ο άνεμος περιέχει ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με τη χρήση των ανεμογεννητριών (Α/Γ). Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγουν οι Α/Γ εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας του διερχόμενου μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια της Α/Γ στη μονάδα του χρόνου ανέμου. Αυτή η ροή ενέργειας ονομάζεται

πυκνότητα ισχύος του ανέμου. Ειδικότερα, οι δρομείς των Α/Γ ελαττώνουν την ταχύτητα του ανέμου από την αδιατάρακτη ταχύτητα  $V_1$  πολύ πριν από το δρομέα στη μειωμένη ταχύτητα ροής του αέρα  $V_2$  πίσω από αυτόν.



Σχήμα 2.1: Ροή του ανέμου μέσω μιας Α/Γ

Η διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου είναι ένα μέτρο της αποσπώμενης από αυτόν κινητικής ενέργειας που περιστρέφει το δρομέα και την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στο άλλο άκρο του συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Η ισχύς που θεωρητικά εξάγεται από μια Α/Γ περιγράφεται από την εξίσωση:

$$P = C_p * n * \rho / 2 * v^3 * A$$

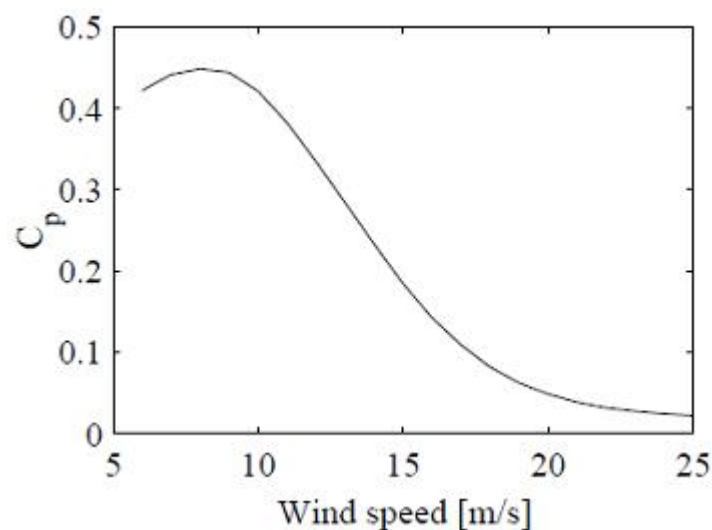
, όπου  $P$  είναι η πυκνότητα του αέρα ( $\text{kg/m}^3$ ),  $C_p$  ο συντελεστής ισχύος,  $n$  η μηχανική/ηλεκτρική αποδοτικότητα, και  $A$  το εμβαδό του δίσκου του δρομέα.

Σε ιδανικές συνθήκες, η μέγιστη τιμή του  $C_p$  (γνωστή ως “όριο Betz”) είναι:  $16/27 = 0,593$ , δηλαδή μια Α/Γ μπορεί θεωρητικά να αποσπάσει το 59,3% του ενεργειακού περιεχομένου της ροής του αέρα. Υπό πραγματικές συνθήκες, όμως, ο συντελεστής ισχύος δεν υπερβαίνει την τιμή  $c_p = 0,5$ , αφού περιλαμβάνει όλες τις αεροδυναμικές απώλειες της Α/Γ. Πράγματι, στις περισσότερες τεχνικές δημοσιεύσεις η τιμή του  $c_p$  περιλαμβάνει όλες τις απώλειες και, στην ουσία, αποτελεί συντόμευση του  $c_p * n$ .

Όπως προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση, ένα βασικό ζήτημα της πυκνότητας ισχύος του ανέμου αποτελεί η εξάρτησή της από τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, εάν διπλασιαστεί η ταχύτητα, η ισχύς που περιέχεται στον άνεμο θα αυξηθεί κατά οκτώ

φορές. Στην πράξη, όμως, η σχέση μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας Α/Γ και της ταχύτητας του ανέμου δεν είναι τόσο ρητή.

Η πυκνότητα ισχύος του ανέμου εξαρτάται επίσης από την πυκνότητα του αέρα. Αυτή σε μεγαλύτερα ύψη μειώνεται και, κατά συνέπεια, μειώνεται και η διαθέσιμη ισχύς. Η επίδραση αυτή μπορεί να επιφέρει μείωση στην παραγωγή ισχύος των Α/Γ σε ψηλά βουνά κατά τουλάχιστον 40% έναντι της ισχύος που θα μπορούσε να παραχθεί με τις ίδιες ταχύτητες ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται αντίστροφα από τη θερμοκρασία, οπότε οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τις μεγαλύτερες πυκνότητες του αέρα και τη μεγαλύτερη παραγωγή αιολικής ισχύος.



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου με το συντελεστή ισχύος  $C_p$

### 2.1.3 Μεταβλητότητα των ανέμων

#### 2.1.3.1 Η ταχύτητα του ανέμου σαν συνάρτηση του ύψους από την επιφάνεια του εδάφους

Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα την επιβράδυνσης που ασκεί το έδαφος μέσω της τριβής στον άνεμο. Ανωμαλίες στη μορφολογία του εδάφους, δάση και πόλεις επηρεάζουν (μειώνουν) την

ταχύτητα του ανέμου.

Όσο πιο έντονες είναι οι ανωμαλίες που παρουσιάζει η μορφολογία του εδάφους, τόσο ισχυρότερη είναι η επιβράδυνση που ασκείται στον άνεμο. Αντίθετα εκτάσεις όπως τα αεροδρόμια, η θάλασσα ή ο πάγος ασκούν μικρή επίδραση στην ταχύτητα του ανέμου. Η επίδραση αυτή που ασκεί το έδαφος στην ταχύτητα του ανέμου εκφράζεται μαθηματικά με τη σχέση:

$$v_h = v_{ref} \cdot \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^a$$

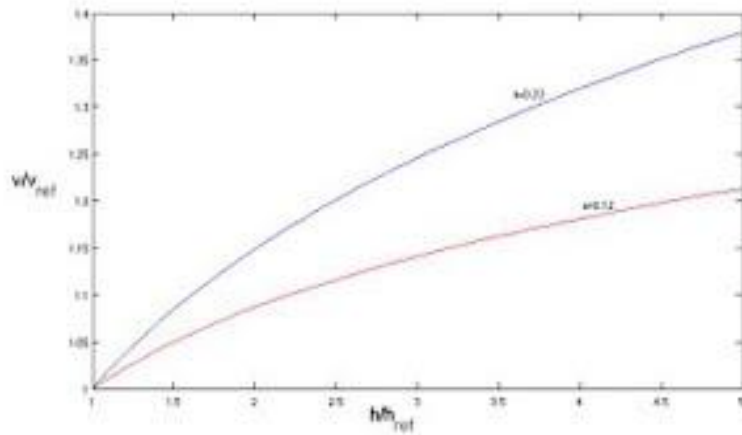
Όπου:

- \*  $v_h$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $h$
- \*  $v_{ref}$  η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς
- \*  $h$  το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους, στο οποίο ζητείται η ταχύτητα του ανέμου
- \*  $h_{ref}$  το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους όπου είναι γνωστή η ταχύτητα του ανέμου  $v_{ref}$
- \*  $a$  ο συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους και παίρνει τιμές από 0.08 έως 0.4

Για διάφορα ύψη  $h$  από το έδαφος η ταχύτητα μεταβάλλεται με το ύψος με βάση τον εκθετικό νόμο:

$$v_h/v_{10} = (h/10)^a$$

όπου  $v_{10}$  η μετρούμενη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m.



**Σχήμα 2.3**

Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα η αύξηση της ταχύτητα του ανέμου είναι ισχυρότερη πάνω από περιοχές με ανώμαλη μορφολογία του εδάφους.

## 2.2 Περιγραφή των ανεμογεννητριών

### 2.2.1 Γενική περιγραφή

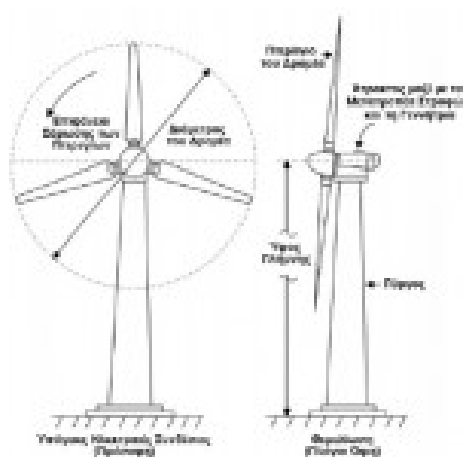
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα γενικό σύστημα Α/Γ Οριζόντιου Άξονα (ΑΓΟΑ). Μία εξίσου εφικτή εναλλακτική σχεδίαση είναι η Α/Γ Κάθετου Άξονα (ΑΓΚΑ), που δεν είναι όμως τόσο συνήθης όσο η ΑΓΟΑ στα πρόσφατα έργα. Αν και δεν υφίσταται κάποια γενική μέθοδος για την ταξινόμηση των υποσυστημάτων των Α/Γ, οι συνιστώσες του παρακάτω σχήματος θα μπορούσαν να διαιρεθούν σε τέσσερα βασικά υποσυστήματα:

α) Τον δρομέα, συνήθως αποτελούμενο από δύο ή τρία πτερύγια, μια πλήμνη μέσω της οποίας συνδέονται τα πτερύγια με τον χαμηλής ταχύτητας κινητήριο άξονα και, μερικές φορές, υδραυλικά ή μηχανικά οδηγούμενα συστήματα συνδέσμων για τη μεταβολή του βήματος του συνόλου ή μέρους των πτερυγίων.

β) Την άτρακτο, η οποία γενικά περιλαμβάνει ένα μετατροπέα στροφών και μία γεννήτρια, άξονες και συνδέσμους, ένα κάλυμμα για ολόκληρη την άτρακτο, και συχνά ένα μηχανικό δισκόφρενο και ένα σύστημα εκτροπής.

γ) Τον πύργο και τη θεμελίωση που στηρίζει το δρομέα και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης (άτρακτος).

δ) Τους ηλεκτρικούς ελεγκτές και καλωδιώσεις, καθώς και τον εξοπλισμό εποπτείας και ελέγχου.



Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα.

Η ακολουθία των συμβάντων κατά την παραγωγή και μεταφορά της αιολικής ισχύος από μια ανεμογεννήτρια μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

α) Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με το δρομέα της Α/Γ παράγεται μια ροπή.

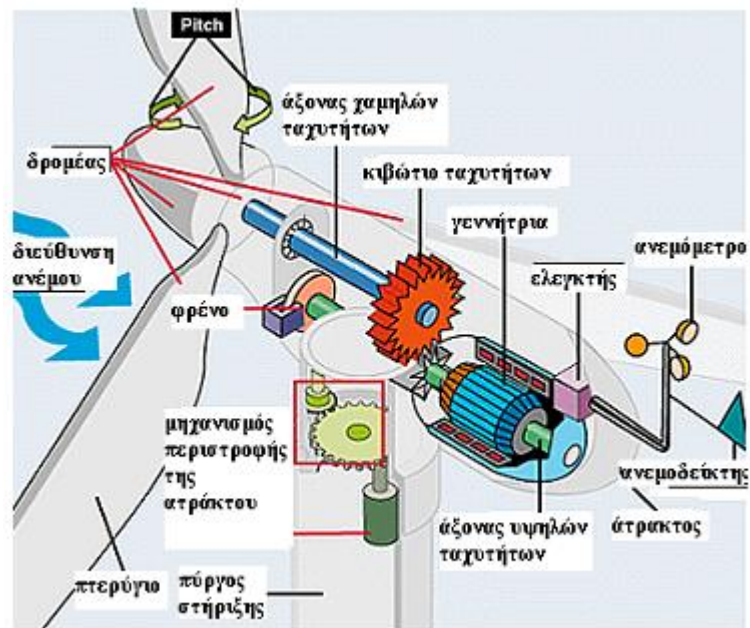
β) Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια.

γ) Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη γεννήτρια διέρχεται μέσω του συστήματος ελέγχου και των αποζευκτών της Α/Γ και ενισχύεται σε μια μέση τάση από το μετασχηματιστή.

δ) Το σύστημα καλωδίωσης της θέσης μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στο μετασχηματιστή της θέσης μέσω του συστήματος ελέγχου και αποζευκτών της θέσης, ο οποίος ενισχύει την τάση στην τιμή του δικτύου.

ε) Το δίκτυο ισχύος μεταβιβάζει τον ηλεκτρισμό στην περιοχή τελικής χρήσης του.

ζ) Υποσταθμοί μετασχηματιστών μειώνουν την τάση στις οικιακές ή βιομηχανικές τιμές και τα τοπικά δίκτυα χαμηλής τάσης μεταβιβάζουν την ηλεκτρική ενέργεια στις οικίες, τα γραφεία και τα εργοστάσια.



Σχήμα 2.5: Δομή ανεμογεννήτριας

## 2.2.2 Δρομέας

Στην αιολική βιομηχανία έχει αναπτυχθεί μία τεχνολογία πτερυγίων δρομέα αρκετά ιδιαίτερη που έχει συντελέσει στην εμπορική παραγωγή σήμερα μεγάλων δρομέων με



διάμετρο μέχρι 66m για Α/Γ της τάξης του MW, ενώ έχουν δοκιμαστεί δρομείς με διαμέτρους μέχρι 100m (Growian, MOD5B). Η σχεδίαση των πτερυγίων του δρομέα έχει προοδεύσει με τις γνώσεις από την πτερυγική τεχνολογία, και χρησιμοποιεί τις αεροδυναμικές ανωστικές δυνάμεις που υφίσταται μια αεροτομή σ' ένα κινούμενο ρεύμα αέρα. Την αεροδυναμική απόδοση του πτερυγίου επηρεάζουν τόσο η μορφή του πτερυγίου όσο και η γωνία του σε σχέση με τη σχετική κατεύθυνση του ανέμου.

Το σύστημα του δρομέα μπορεί να τοποθετηθεί είτε “άναντη” του πύργου και της ατράκτου, δεχόμενο έτσι τον άνεμο αδιατάρακτο από τον πύργο, είτε “κατάντη” του πύργου, το οποίο επιτρέπει την αυτό - ευθυγράμμιση του δρομέα με την κατεύθυνση του ανέμου (εκτροπή), αλλά προκαλεί την παρέκκλιση του ανέμου από τον πύργο και τη μετατροπή του σε τυρβώδη πριν φθάσει στο δρομέα (σκίαση πύργου). Οι Α/Γ μπορεί να έχουν διάφορους αριθμούς πτερυγίων δρομέα. Ο κανόνας είναι ότι όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των πτερυγίων τόσο ταχύτερα περιστρέφεται ο δρομέας. Το μέτρο γι' αυτό είναι ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου λ, που ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας στο ακροπτερύγιο προς την ταχύτητα του ανέμου.

Οι σύγχρονες Α/Γ σχεδιάζονται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και οι δρομείς τους οδηγούν ηλεκτρογεννήτριες με κατά κανόνα υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Έτσι, οι δρομείς των Α/Γ πρέπει να περιστρέφονται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ταχύτητες προκειμένου να μειωθούν οι μάζες των γραναζιών μετάδοσης της κίνησης και των γεννητριών. Συνεπώς, ο αριθμός των πτερυγίων του δρομέα πρέπει να είναι μικρός, εν γένει όχι πάνω από τρία. Μόνο οι γνωστοί ανεμόμυλοι δυτικού τύπου διαθέτουν 12 έως 20 πτερύγια ή ακόμα περισσότερα, αλλά λόγω της υψηλής μηχανικής τους ροπής εφαρμόζονται στις άμεσα οδηγούμενες εμβολοφόρες αντλίες νερού.

Κανονικά, οι 3-πτερυγοί δρομείς έχουν λόγους ταχύτητας ακροπτερυγίου σχεδιασμού της τάξης του 6 έως 8, οι 2-πτερυγοί δρομείς 10 έως 12, και οι 1-πτερυγοί δρομείς ακόμα μεγαλύτερες τιμές. Από την άλλη, οι εμπορικές Α/Γ με υψηλές ταχύτητες ακροπτερυγίου έχουν το μειονέκτημα των υψηλών εκπομπών θορύβου από το δρομέα. Σε γενικές γραμμές, το επίπεδο έντασης του θορύβου του δρομέα αυξάνεται με την έκτη δύναμη της ταχύτητας ακροπτερυγίου, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι σχεδιαστές εμπορικών Α/Γ δεν υπερβαίνουν τα 70 m/s.

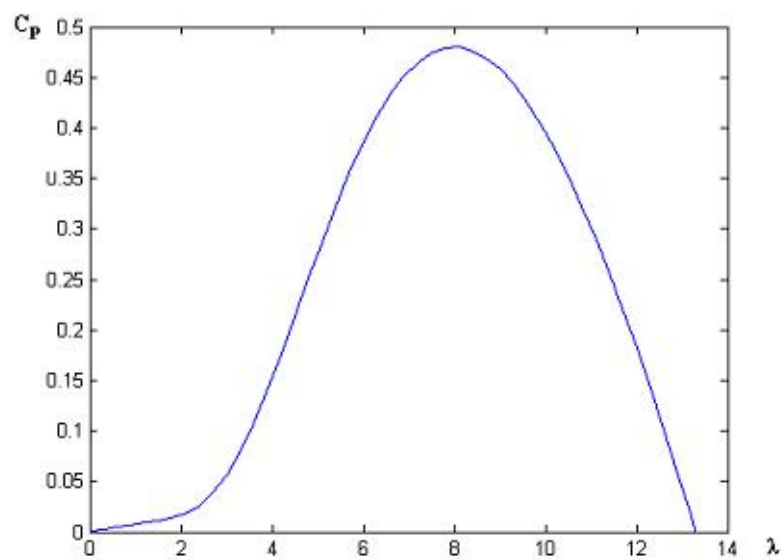
Η διάρκεια ζωής ενός δρομέα συσχετίζεται με τα μεταβαλλόμενα φορτία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που αντιμετωπίζει κατά τη λειτουργία του. Επομένως, οι εγγενείς

μηχανικές ιδιότητες και ο σχεδιασμός του δρομέα επηρεάζουν την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των σύγχρονων πτερυγίων ανεμογεννητριών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες :

α) ξύλο (συμπεριλαμβανομένων των συνθετικών από αντικολλητά φύλλα ξύλου),

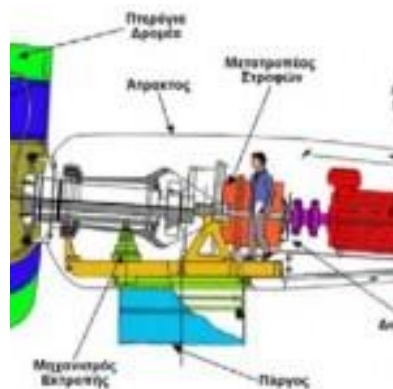
β) συνδυασμοί συνθετικών (συνήθως πολυεστέρας ή εποξική μήτρα ενισχυμένα με ίνες γυαλιού), και

γ) μέταλλα (κυρίως κράματα χάλυβα ή αλουμινίου).



Σχέδιο 1.1: Διάγραμμα του λόγου ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$  με το συντελεστή ισχύος  $C_p$ .

### 2.2.3 Άτρακτος



Σχήμα 2.6: Σχηματική παράσταση της άτρακτου μιας Α/Γ.

Η άτρακτος στεγάζει το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και την ηλεκτρογεννήτρια της Α/Γ, μαζί με το μηχανισμό εκτροπής και όλο τον εξοπλισμό ελέγχου. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται σχηματικά οι μηχανισμοί της άτρακτου μιας μέσου/μεγάλου μεγέθους Α/Γ. Το προσωπικό συντήρησης μπορεί να εισέλθει στην άτρακτο από τον πύργο της ανεμογεννήτριας. Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του εξοπλισμού που εγκλείεται στην άτρακτο μιας τυπικής Α/Γ.

α) Κύριος άξονας: Ο κύριος άξονας, προκειμένου να μεταφέρει την αρχική ροπή από το σύστημα του δρομέα στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, στηρίζεται συνήθως σε έδρανα. Λόγω των υψηλών φορτίων ροπής, ο κύριος άξονας είναι ευπαθής σε αστοχία κόπωσης. Κατά συνέπεια, γι' αυτό το εξάρτημα είναι ενδεδειγμένες οι αποτελεσματικές προσυντήρησης, μη-καταστρεπτικές δοκιμές. Σε μια σύγχρονη Α/Γ 600 kW ο δρομέας περιστρέφεται σχετικά αργά, με περίπου 19 έως 30 περιστροφές ανά λεπτό (RPM).

β) Δισκόφρενο: Το δισκόφρενο μπορεί να εγκαθίσταται στον κύριο άξονα πριν από το μετατροπέα στροφών ή μετά από αυτόν στον άξονα υψηλής ταχύτητας. Στη δεύτερη περίπτωση, απαιτείται ένα πιο μικρό (και φθηνότερο) σύστημα πέδης προκειμένου να παρέχεται η απαραίτητη ροπή για την επιβράδυνση του δρομέα. Εντούτοις, αυτή η διάταξη δεν παρέχει άμεσο έλεγχο του δρομέα και, σε περίπτωση αστοχίας του μετατροπέα στροφών, χάνεται η δυνατότητα ελέγχου της πέδησης του δρομέα.

γ) Μετάδοση της κίνησης: Η ηλεκτρική παραγωγή των Α/Γ πρέπει να είναι συμβατή με τη συχνότητα (50-60 HZ) και την τάση του τοπικού δικτύου διανομής. Η συχνότητα του δρομέα είναι συνήθως περίπου 0,5 HZ, οπότε η αύξηση της συχνότητας προκύπτει από το συνδυασμό ενός μετατροπέα στροφών και μιας πολύ - πολικής γεννήτριας. Οι περισσότερες εμπορικές γεννήτριες έχουν 4 ή 6 ζεύγη πόλων, οπότε απαιτείται σχέση μετάδοσης περίπου 25:1. Η απλούστερη μέθοδος οδήγησης της γεννήτριας είναι η απευθείας από το δρομέα χωρίς μετατροπέα στροφών, ενώ όταν εξαλείφονται οι απώλειες ισχύος του μετατροπέα στροφών βελτιστοποιείται και η απόδοση της ενεργειακής μετατροπής.

Τότε όμως απαιτούνται ειδικές γεννήτριες χαμηλής ταχύτητας, με μεγάλες διαμέτρους ρότορα/στάτορα και περίπου 50 πόλους, για να επιτευχθεί η κατάλληλη συχνότητα (τέτοιος εξοπλισμός διατίθεται στο εμπόριο από μικρό μόνο αριθμό κατασκευαστών). Οι μικρού μεγέθους Α/Γ (50-150 kW) διαθέτουν μια ή δύο βαθμίδες μετάδοσης παράλληλου άξονα (με ελικοειδή γρανάζια για ελαχιστοποίηση του θορύβου και των απωλειών). Οι μεγαλύτερες εμπορικές Α/Γ (150-750 kW) συχνά διαθέτουν επικυκλικά ή πλανητικά συστήματα μετάδοσης της κίνησης, όπου ο άξονας της εξόδου είναι στην ίδια ευθεία με τον κύριο άξονα (έτσι μειώνονται οι τάσεις και οι απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης), με αντίστοιχη μείωση του μεγέθους.

δ) Ηλεκτρογεννήτρια: Αυτή μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του άξονα εισόδου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι γεννήτριες των Α/Γ είναι λίγο ασυνήθιστες, σε σχέση με άλλες μονάδες ηλεκτρογεννητριών που συνήθως συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι, αυτές πρέπει να είναι συμβατές με τις διατάξεις του δρομέα και του μετατροπέα στροφών στην είσοδο, και στην έξοδο με τη διανομή της εταιρείας ηλεκτρισμού (εάν συνδέονται με το δίκτυο) ή με τις τοπικές απαιτήσεις ισχύος (εάν αποτελούν μέρος ενός αυτόνομου συστήματος). Εάν μια διασυνδεδεμένη Α/Γ είναι εξοπλισμένη με μια ηλεκτρογεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος (EP), αυτή πρέπει να παράγει ισχύ σε φάση με την τροφοδοσία του δικτύου της εταιρείας ηλεκτρισμού.

Πολλές διασυνδεδεμένες Α/Γ διαθέτουν επαγωγικές γεννήτριες EP διεγερόμενες από πυκνωτές, των οποίων το ρεύμα μαγνήτισης προέρχεται από το δίκτυο, και έτσι εξασφαλίζεται ότι η συχνότητα εξόδου της γεννήτριας ταυτίζεται με αυτή της εταιρείας ηλεκτρισμού, ενώ ρυθμίζεται και η ταχύτητα του δρομέα εντός κάποιων ορίων. Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν ηλεκτρισμό σε συγχρονισμό με τη συχνότητα του περιστρεφόμενου άξονά τους, οπότε η ταχύτητα του δρομέα πρέπει να συμπίπτει ακριβώς με τη συχνότητα εφοδιασμού της εταιρείας ηλεκτρισμού. Οι πολύ μικρές Α/Γ μπορεί να έχουν γεννήτριες που

παράγουν συνεχές ρεύμα, το οποίο χρησιμοποιείται έπειτα για την τροφοδοσία φορτίων χαμηλής τάσης (συνήθως 12 Volt), τη φόρτιση συστοιχιών μπαταριών ή, μέσω ενός αντιστροφέα, για την παροχή ΕΡ υψηλότερης τάσης σ' ένα ηλεκτρικό δίκτυο.

ε) Σύστημα εκτροπής προκειμένου να εξαχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη από την κινητική ενέργεια του ανέμου, ο άξονας του δρομέα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με την κατεύθυνση του αέρα. Οι μικρές ανάντη Α/Γ (μέχρι 25 kW) χρησιμοποιούν συνήθως ουραίους ανεμοδείκτες για να παραμένει η μηχανή ευθυγραμμισμένη με τον άνεμο. Εντούτοις, οι μεγαλύτερες Α/Γ με ανάντη δρομείς απαιτούν ενεργό έλεγχο της εκτροπής για την ευθυγράμμιση της μηχανής με τον άνεμο. Όταν συμβεί μια αλλαγή στην κατεύθυνση του ανέμου αισθητήρες ενεργοποιούν το μηχανισμό ελέγχου της εκτροπής, ο οποίος περιστρέφει την άτρακτο και το δρομέα έως ότου ευθυγραμμιστεί κατάλληλα η Α/Γ. Οι κατάντη μηχανές όλων των μεγεθών μπορεί να διαθέτουν παθητικό έλεγχο εκτροπής, δηλαδή μπορούν να ευθυγραμμίζονται με την κατεύθυνση του ανέμου από μόνες τους χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ουραίου ανεμοδείκτη ή οδηγού εκτροπής.

#### **2.2.4 Πύργος**

Ο πύργος μιας Α/Γ υποστηρίζει το σύστημα της άτρακτου (που μπορεί να ζυγίζει αρκετούς τόνους) και ανυψώνει το δρομέα σε ένα ύψος όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά μεγαλύτερη και λιγότερο διαταραγμένη απ' ό,τι στο επίπεδο του εδάφους, λόγω της επίδρασης της διάτμησης του ανέμου. Σε περιοχές με μεγάλη τραχύτητα εδάφους η ύπαρξη ενός ψηλού πύργου αποτελεί πλεονέκτημα, καθώς τα πτερύγια των δρομέων στις Α/Γ με σχετικά χαμηλούς πύργους υπόκεινται σε πολύ διαφορετικές ταχύτητες ανέμου (και διαφορετική κάμψη) όταν φέρονται στην ανώτερη και κατώτερη θέση τους, το οποίο αυξάνει τα φορτία κόπωσης στην Α/Γ. Συχνά οι κατασκευαστές παραδίδουν τις Α/Γ με ύψος πύργου ίσο με τη διάμετρο του δρομέα.

Συνεπώς, η δομή του πύργου πρέπει να είναι ανθεκτική στα σημαντικά φορτία που οφείλονται στη βαρύτητα, την περιστροφή και την ώση του ανέμου. Επιπλέον, ο πύργος πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει στις περιβαλλοντικές επιδράσεις σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της Α/Γ, η οποία μπορεί να είναι 20 έτη ή περισσότερο. Η αξία του πύργου μιας Α/Γ αποτελεί εν γένει περίπου το 20% της συνολικής τιμής. Για έναν πύργο ύψους περίπου 50m, το πρόσθετο κόστος για άλλα 10m πύργου είναι περίπου €17.500. Επομένως, είναι αρκετά σημαντικό για το τελικό κόστος της ενέργειας να κατασκευάζονται οι πύργοι όσο το δυνατόν πιο βέλτιστα. Οι συνήθεις τύποι των πύργων είναι οι εξής:

α) Σταθεροί σωληνωτοί πύργοι: Αυτοί κατασκευάζονται από κωνικά λεπτονόμενο χάλυβα ή σκυρόδεμα. Οι περισσότερες μεγάλες Α/Γ τελευταία παραδίδονται με σωληνωτούς χαλύβδινους πύργους, οι οποίοι κατασκευάζονται σε τμήματα των 20 έως 30m με φλάντζες στα άκρα και συναρμολογούνται επιτόπου. Οι πύργοι είναι κωνικοί (η διάμετρός τους αυξάνεται προς τη βάση – σχήμα 2.8 αριστερά) ώστε να αυξάνεται η αντοχή τους και, συγχρόνως, να εξοικονομείται υλικό. Οι πύργοι από σκυρόδεμα με πλέγμα είναι γενικά λιγότερο εύκαμπτοι από τους χαλύβδινους, παρέχοντας έτσι βελτιωμένες ιδιότητες απόσβεσης (δεν διαβιβάζουν ούτε ενισχύουν τις προκαλούμενες από την περιστροφή ταλαντώσεις).

β) Σταθεροί δικτυωτοί πύργοι: Οι πύργοι αυτοί κατασκευάζονται από συγκολλημένες χαλύβδινες κατατομές. Η ανέγερση τους είναι σχετικά φθηνή και απαιτούν λιγότερο στιβαρά θεμέλια από τους σωληνωτούς πύργους, λόγω της εξάπλωσης των δομικών φορτίων σε ευρύτερη έκταση. Έτσι, το βασικό πλεονέκτημά τους είναι στο κόστος, αφού ένας δικτυωτός πύργος απαιτεί μόνο το ήμισυ του υλικού ενός ελεύθερα ιστάμενου σωληνωτού με παρόμοια ακαμψία. Όπως στο παρακάτω σχήμα, βασικό μειονέκτημα των δικτυωτών πύργων (δεξιά) είναι η οπτική τους εμφάνιση, αν και το ζήτημα αυτό είναι σαφώς υποκειμενικό.



Σχήμα2.7: Α/Γ με σωληνωτό χαλύβδινο πύργο (αριστερά) και δικτυωτό πύργο (δεξιά)

γ) Ανυψούμενοι πύργοι με επίτονους: Αυτοί έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα κόστους έναντι των άλλων τύπων, δεδομένου ότι μπορούν να ανυψωθούν ή να χαμηλωθούν με τη βοήθεια μιας μηχανής ανύψωσης φορτίων, χωρίς την ανάγκη για γερανό. Επομένως,

είναι δυνατή η συντήρηση του δρομέα και της ατράκτου στο έδαφος. Η διάμετρος των πύργων με επίτονους είναι, στην πράξη, πολύ μικρότερη απ' ότι των σωληνωτών πύργων. Οι πύργοι με επίτονους, μαζί με τις δικτυωτές διατάξεις, έχουν λιγότερη επίδραση λόγω σκίασης του πύργου από τους σωληνωτούς. Πάντως, απαιτούν μεγαλύτερο εμβαδόν εδάφους λόγω της ανάγκης για αρκετά ευρεία εξάπλωση των επίτονων, το οποίο μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα εάν χρησιμοποιούνται μηχανές για τις καλλιέργειες γύρω από τις βάσεις των Α/Γ. Η βοσκή των ζώων δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα.

### 2.2.5 Έλεγχος της ισχύος

Με την αύξηση της ταχύτητας ροής του αέρα, οι αεροδυναμικές ανωστικές δυνάμεις στα πτερύγια του δρομέα αυξάνονται με την 2η δύναμη και η παραγόμενη από την Α/Γ ενέργεια με την 3η δύναμη της ταχύτητας του ανέμου, το οποίο απαιτεί έναν πολύ αποτελεσματικό και άμεσης δράσης έλεγχο ισχύος του δρομέα ώστε να αποφευχθεί η μηχανική και ηλεκτρική υπερφόρτωση στο σύστημα μετάδοσης ενέργειας της Α/Γ. Στις σύγχρονες Α/Γ εφαρμόζονται δύο διαφορετικές αρχές αεροδυναμικού ελέγχου για να περιοριστεί η παραγωγή ισχύος στην ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Η πιο παθητική από αυτές είναι γνωστή ως “έλεγχος με απώλεια στήριξης”, ενώ η ενεργή είναι ο “έλεγχος με μεταβολή του βήματος”.

Στην πρώτη περίπτωση την παραγωγή ισχύος καθορίζουν οι εγγενείς αεροδυναμικές ιδιότητες του πτερυγίου, και δεν υπάρχει κανένα κινούμενο μέρος που να ρυθμίζεται. Η συστροφή και το πάχος του πτερυγίου του δρομέα μεταβάλλονται κατά το μήκος αυτού με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλείται τύρβη πίσω από το πτερύγιο όποτε αυξάνεται πολύ η ταχύτητα του ανέμου. Αυτή η τύρβη αναγκάζει μέρος από την ενέργεια του ανέμου να διασκορπιστεί, ελαχιστοποιώντας την παραγωγή ισχύος στις υψηλότερες ταχύτητες. Οι μηχανές με έλεγχο απώλειας στήριξης διαθέτουν επίσης αερόφρενα στα ακροπτερύγια που φέρουν το δρομέα σε ακινησία, εάν χρειαστεί για οποιοδήποτε λόγο να σταματήσει η Α/Γ.

Στη δεύτερη περίπτωση, η γωνία των πτερυγίων του δρομέα μπορεί να ρυθμίζεται ενεργά από το σύστημα ελέγχου της μηχανής. Το σύστημα ελέγχου μεταβολής του βήματος έχει ενσωματωμένη πέδη, καθώς τα πτερύγια ακινητοποιούνται όταν είναι πλήρως “πτερυγωμένα”. Κατά το παρελθόν, η πλειοψηφία των μικρού και μεσαίου μεγέθους συστημάτων Α/Γ χρησιμοποιούσαν τον απλό έλεγχο απώλειας στήριξης, αλλά τελευταία, με την αύξηση του μεγέθους των Α/Γ, οι κατασκευαστές προτιμούν όλο και περισσότερο το

σύστημα ελέγχου μεταβολής του βήματος, το οποίο παρέχει περισσότερες δυνατότητες για παρέμβαση στη λειτουργία της Α/Γ.

Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκε και ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω ελέγχων, η “ενεργός απώλεια στήριξης”. Στην περίπτωση αυτή, το βήμα του πτερυγίου του δρομέα στρέφεται σε κατεύθυνση προς την απώλεια στήριξης και όχι προς τη θέση πτερυγώματος (μικρότερη άνωση), όπως γίνεται στα κανονικά συστήματα μεταβολής του βήματος. Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ότι:

- α) απαιτούνται πολύ μικρές αλλαγές της γωνίας βήματος,
- β) είναι δυνατός ο έλεγχος ισχύος υπό συνθήκες μερικής ισχύος (ασθενείς άνεμοι),
- γ) τα πτερύγια του δρομέα φέρονται σε θέση πτερυγώματος για χαμηλά φορτία σε σφοδρούς ανέμους.

### **2.2.6 Ταχύτητα του δρομέα**

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες συνδέονται στο δίκτυο με δύο τρόπους. Με τον απλό άμεσο συγχρονισμό μιας επαγωγικής ηλεκτρογεννήτριας, ο δρομέας λειτουργεί με σχεδόν σταθερή ταχύτητα επειδή το ισχυρό δίκτυο διατηρεί τη συχνότητα της γεννήτριας και η μόνη διακύμανση στην ταχύτητα περιστροφής προκαλείται από το εύρος ολίσθησης της γεννήτριας. Με τη βοήθεια ενός συστήματος αντιστροφής μεταξύ της γεννήτριας της Α/Γ και του δικτύου, η Α/Γ αποσυνδέεται από τη συχνότητα του δικτύου και μπορεί να περιστρέφεται με μεταβλητές ταχύτητες.

Για πολλά χρόνια, στην παγκόσμια αγορά κυριάρχησαν οι άμεσα συνδεδεμένες στο δίκτυο Α/Γ λόγω της τεχνικής τους απλότητας, αλλά οι διάφορες θετικές πτυχές της λειτουργίας με μεταβλητή ταχύτητα του δρομέα μετέβαλαν το υφιστάμενο καθεστώς ανάπτυξης. Όπως αναφέρθηκε, η αεροδυναμικά βελτιστοποιημένη διαμόρφωση των Α/Γ βασίζεται σε μια σταθερή συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων του ανέμου και του ακροπτερυγίου του δρομέα, τον λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$ . Έτσι, προκειμένου να διατηρηθεί η μέγιστη αεροδυναμική αποδοτικότητα, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

Ως αποτέλεσμα, οι νέες μεγάλες Α/Γ της τάξης του MW χρησιμοποιούν ολοένα και περισσότερο μεταβλητή ταχύτητα του δρομέα προκειμένου να εκμεταλλεύονται τα



αντίστοιχα τεχνικά οφέλη. Για να προσαρμόζεται καλύτερα η λειτουργία του δρομέα στο σημείο αεροδυναμικού σχεδιασμού, οι κατασκευαστές εγκαθιστούν συχνά επαγωγικές γεννήτριες δύο ταχυτήτων που επιτρέπουν την αλλαγή ταχύτητας του δρομέα σε δύο βήματα. Σε μικρές ταχύτητες ανέμου η γεννήτρια λειτουργεί με μικρή ταχύτητα περιστροφής (μεγαλύτερος αριθμός πόλων) και σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου με μεγάλη ταχύτητα περιστροφής (μικρότερος αριθμός πόλων).

## **2.3 Χαρακτηριστικά της αιολικής απόδοσης**

### **2.3.1 Εύρος εφαρμογών των ανεμογεννητριών**

#### **2.3.1.1 Κατηγορίες εφαρμογής**

Οι ηλεκτροπαραγωγές Α/Γ έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τις μεμονωμένες, αυτόνομες εγκαταστάσεις έως τις μεγάλες διατάξεις ανεμογεννητριών, που μπορεί να συνδέονται σε υπάρχον δίκτυο ή να συνδυάζονται με άλλες μη συνδεδεμένες στο δίκτυο πηγές ενέργειας. Το εύρος των εφαρμογών μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τρεις κλάσεις. Τα αιολικά πάρκα, δηλ. οι μεγάλες σειρές Α/Γ που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο, διαμορφώνουν το ένα άκρο του φάσματος εφαρμογών. Από την άποψη του εγκατεστημένου δυναμικού και του οικονομικού αντίκτυπου, την περίοδο αυτή τα αιολικά πάρκα αποτελούν τη μεγαλύτερη κατά πολύ κλάση εφαρμογής των Α/Γ.

Οι άλλες δύο κλάσεις εφαρμογής χρησιμοποιούν συνήθως μικρότερο αριθμό Α/Γ με μικρότερο μέγεθος μονάδας. Αυτές είναι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται για διασυνδεδεμένη, κατανεμημένη παραγωγή και Α/Γ που συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας και μπορούν να λειτουργούν χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μεγαλύτερου ηλεκτρικού δικτύου. Αυτά είναι τα αποκαλούμενα “υβριδικά” συστήματα. Και οι δύο κλάσεις έχουν ιστορικά προηγούμενα τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη.

Στο στρατόπεδο θα εξεταστεί η περίπτωση ανεμογεννήτριας διασυνδεδεμένης με το δίκτυο.

## 2.3.2 Ενεργειακή παραγωγικότητα των αιολικών συστημάτων

### 2.3.2.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια του έτους, υπάρχουν στιγμές κατά τις οποίες δεν πνέει άνεμος ή πνέει με ταχύτητες κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης μιας Α/Γ. Προφανώς, τα αιολικά συστήματα δεν παράγουν ενέργεια καθ' όλες τις 8.760 ώρες ενός έτους. Ακόμα και όταν ένα αιολικό σύστημα παράγει ενέργεια, αυτό δεν γίνεται πάντα στην πλήρη ονομαστική του ισχύ. Έτσι απαιτείται ένα μέτρο της ενεργειακής παραγωγικότητας του αιολικού συστήματος όπως είναι ο συντελεστής δυναμικού CF, μια περιγραφική παράμετρος που καθορίζεται και χρησιμοποιείται στην ηλεκτρική βιομηχανία.

Ως ενεργειακός λόγος, η παράμετρος αυτή δεν παρέχει καμία πληροφορία για τις φυσικές διεργασίες που συνδέονται με τη μετατροπή της ενέργειας που περιέχεται στον άνεμο σε ηλεκτρική ενέργεια. Απαιτείται, λοιπόν, μία περιγραφή της σχέσης μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας Α/Γ ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου (καμπύλη ισχύος) καθώς και η μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο (κατανομή συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου). Οι συναρτήσεις αυτές μαζί περιγράφουν το συνδυασμό των χαρακτηριστικών της ηλεκτροπαραγωγής από την Α/Γ με αυτά του καθεστώτος του ανέμου στο οποίο λειτουργεί η Α/Γ, και χρησιμοποιούνται για να προβλεφθεί ή να εκτιμηθεί η ενεργειακή της παραγωγή.

Αφού ληφθούν υπόψη οι απώλειες στο σύστημα συλλογής της ηλεκτρικής ενέργειας, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών σ' ένα αιολικό πάρκο, και άλλες απώλειες, μπορούν να αθροιστούν οι παραγωγές των μεμονωμένων Α/Γ ώστε να διαμορφωθεί μια εκτίμηση για την ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου.

Αυτές οι εκτιμήσεις ή προβλέψεις συνηθέστερα γίνονται για ένα ημερολογιακό έτος και είναι γνωστές ως η «ετήσια ενεργειακή παραγωγή» της Α/Γ ή του αιολικού πάρκου.

### 2.3.3 Αξιοπιστία των αιολικών συστημάτων

#### 2.3.3.1 Διαθεσιμότητα

Η τιμή της διαθεσιμότητας  $A$  ενός αιολικού πάρκου για μια ορισμένη χρονική περίοδο μπορεί να προκύψει από τις τιμές ημερήσιας διαθεσιμότητας κάθε Α/Γ. Γενικά, για μία καθορισμένη χρονική περίοδο (πχ μία ημέρα, εβδομάδα, ένα μήνα ή ένα έτος), η διαθεσιμότητα ορίζεται ως ο λόγος των ωρών που το αιολικό σύστημα ήταν σε θέση να παράγει ισχύ προς τον αριθμό των ωρών αυτής της χρονικής περιόδου:

$$A = \text{Ώρες εν δυνάμει Λειτουργίας της Ανεμογεννήτριας} / \text{Σύνολο Ώρών της Περιόδου}$$

Ένας άλλος, πιο δύσκολος στον καθορισμό του και εν γένει διαφορούμενος ορισμός είναι ο λόγος των πραγματικών ωρών λειτουργίας προς τον αριθμό των ωρών που οι ταχύτητες του ανέμου βρίσκονταν εντός του εύρους λειτουργίας. Ανεξάρτητα του πώς καθορίζεται, η βέλτιστη τιμή διαθεσιμότητας θα ήταν 100%, που σημαίνει ότι το σύστημα δεν θα έχει καμία διακοπή λειτουργίας ή δυσλειτουργία που να το εμποδίζει από το να παράγει ισχύ. Τα σύγχρονα αιολικά πάρκα επιτυγχάνουν συνήθως τιμές διαθεσιμότητας 98% ή περισσότερο, αρκετά επάνω από το 60% ή/και λιγότερο των αρχών της δεκαετίας του '80.

#### 2.3.3.2 Ανταποδοτικότητα κόστους

Το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί εντυπωσιακά κατά τα τελευταία 15 έτη, καθώς έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία και οι Α/Γ έχουν καταστεί φθηνότερες και πιο παραγωγικές. Υπάρχουν δύο κύρια ζητήματα τα οποία επηρεάζουν το κόστος του ηλεκτρισμού που παράγεται από τον άνεμο, επομένως και την τελική του τιμή:

α) Οι τεχνικοί παράγοντες, όπως είναι η ταχύτητα του ανέμου και η φύση των Α/Γ (διαθεσιμότητα, ο τρόπος διάταξής τους, κλπ.).

β) Η οικονομική προοπτική αυτών που αναπτύσσουν και χρηματοδοτούν τα έργα, π.χ. το επιτόκιο απόδοσης που απαιτείται στο κεφάλαιο και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αποπληρώνεται το κεφάλαιο.

Η τρέχουσα τιμή της ενέργειας που αντιστοιχεί σ' ένα μέσο κόστος αιολικού πάρκου 850 €/kW είναι 9,6 c€/kWh στα 5 m/s, ελαττωμένη σε 3,4 c€/kWh για 10 m/s (οι ταχύτητες του ανέμου αναφέρονται στο ύψος της πλήμνης). Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας συνίσταται από:

α) το κόστος κεφαλαίου – για την κατασκευή της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής και τη σύνδεσή της με το δίκτυο,

β) τις τρέχουσες δαπάνες – για τη λειτουργία, την τροφοδοσία και τη συντήρηση της εγκατάστασης,

γ) τη χρηματοδότηση, δηλ. το κόστος εξόφλησης των επενδυτών και των τραπεζών.

Για τις Α/Γ δεν υφίστανται δαπάνες καυσίμου, αφού ο άνεμος είναι ελεύθερος. Μόλις αποπληρωθεί το έργο, οι μόνες τρέχουσες δαπάνες αφορούν τη λειτουργία και συντήρηση (Λ&Σ) της εγκατάστασης. Το κόστος κεφαλαίου κυμαίνεται μεταξύ του 75 και 90% του συνολικού κόστους.

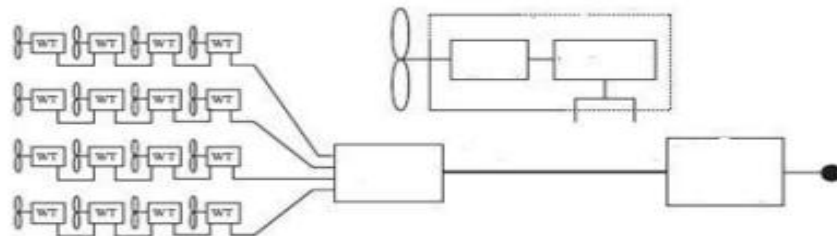
Το κόστος μιας Α/Γ σήμερα είναι μεταξύ €600-900/kW. Τα κόστη προετοιμασίας και εγκατάστασης του έργου προσθέτουν άλλα €200-250/kW, ανάλογα με τον αριθμό και το μέγεθος των μηχανών στο αιολικό πάρκο, και την τοποθεσία. Αυτό ανεβάζει το συνολικό κόστος της αιολικής ενέργειας σε περίπου €1.000 ανά kW εγκατεστημένης ισχύος. Με την πάροδο του χρόνου έχει αλλάξει το οικονομικότερο μέγεθος της Α/Γ, το οποίο συνεχίζει να αυξάνει. Όσο πιο μεγάλες είναι οι μηχανές, τόσο λιγότερες απαιτούνται για ένα δεδομένο δυναμικό, και αυτό επιφέρει εξοικονόμηση στα κόστη εργοταξίου και Λ&Σ. Για παράδειγμα, τα κόστη εργοταξίου μπορούν να μειωθούν κατά 25% περίπου από τις μηχανές μεγέθους 300 kW στις μηχανές του 1 MW.

#### **2.3.4 Αιολικά πάρκα**

Προκειμένου να αυξηθεί η παραγόμενη ενέργεια και να αξιοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο μια περιοχή με καλά ανεμολογικά χαρακτηριστικά, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν μαζί σαν σύνολο και να αποτελέσουν ένα αιολικό πάρκο. Τα αιολικά πάρκα υπάρχουν τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα συνήθως κοντά στις ακτές και για αυτό ονομάζονται και υπεράκτια (offshore).

### 2.3.4.1 Διατάξεις αιολικών πάρκων

Ένα σχεδιάγραμμα που περιγράφει με γενικό τρόπο τις διατάξεις αιολικών πάρκων, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2: Γενικό διάγραμμα διάταξης αιολικών πάρκων.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα, κάθε αιολικό πάρκο αποτελείται από διάφορα στοιχεία όπως τις ανεμογεννήτριες, το τοπικό δίκτυο των ανεμογεννητριών, ένα σημείο σύζευξης όλων των ανεμογεννητριών, ένα σύστημα μεταφοράς και ένα σημείο σύνδεσης με το δίκτυο. Το τοπικό δίκτυο των ανεμογεννητριών συνδέει τις ανεμογεννήτριες στο σημείο σύζευξης όλων των ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται ακτινικά. Στο σημείο σύζευξης η τάση αυξάνεται σε μια τιμή κατάλληλη για την μεταφορά. Τότε η ενέργεια μεταφέρεται μέσω του συστήματος μεταφοράς στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο. Στο σημείο διασύνδεσης γίνεται ρύθμιση των επιπέδων της τάσης, της συχνότητας και της άεργου ισχύος με βάση τις απαιτήσεις του δικτύου.

Τα αιολικά πάρκα βάση συνδεσμολογίας χωρίζονται σε

1. Αιολικά πάρκα με ac σύνδεση
2. Αιολικά πάρκα με ac/dc σύνδεση

### 3.Αιολικά πάρκα με dc σύνδεση

#### 2.3.5 Παραγωγή μεμονωμένης ανεμογεννήτριας και αιολικού πάρκου

Παρατηρείται μια σημαντική διαφορά στα βραχυπρόθεσμα (δευτερόλεπτα έως λεπτά) χρονικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ισχύος από μια μεμονωμένη Α/Γ σε σχέση με αυτά ενός αιολικού πάρκου. Σ' ένα σημαντικό εύρος των ταχυτήτων λειτουργίας, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς μιας μεμονωμένης Α/Γ συμπίπτει άμεσα με τα χρονικά χαρακτηριστικά του πεδίου ροής του ανέμου που προσπίπτει σε αυτή. Η αδράνεια του δρομέα ομαλοποιεί τις διακυμάνσεις του ανέμου της τάξης του δευτερολέπτου ή λιγότερο, όμως οι συνιστώσες διακύμανσης του ανέμου με περιόδους μεγαλύτερες από αυτή μπορούν να αναπαραχθούν στην παραγόμενη ισχύ μιας μεμονωμένης Α/Γ, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος ελέγχου της Α/Γ.

Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ μπορεί να συμβάλει στην εξομάλυνση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν οι ταχύτητες του ανέμου είναι αρκετά υψηλές ώστε, εν όψει των μεταβαλλόμενων ταχυτήτων εισροής του ανέμου, το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει την αποδοτικότητα των αεροδυναμικών πτερυγίων της Α/Γ έτσι ώστε να διατηρηθεί η ηλεκτρική παραγωγή σε μια σταθερή τιμή, ίση με την ονομαστική ισχύ της Α/Γ.

Από την άλλη, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ενός αιολικού πάρκου είναι συνήθως αρκετά πιο ομαλή σε σχέση με αυτήν μιας μεμονωμένης Α/Γ. Ο βαθμός εξομάλυνσης εξαρτάται από τη γεωγραφική έκταση του πάρκου, τη μέση ταχύτητα του ανέμου, τα χαρακτηριστικά ελέγχου των Α/Γ και, τέλος, από τις λεπτομέρειες του ανάγλυφου του εδάφους και από τον τρόπο που επηρεάζουν τη διανομή των ταχυτήτων του ανέμου μέσα στο αιολικό πάρκο. Η κύρια αιτία της εξομάλυνσης αυτής είναι ότι η δομή των ριπών του ανέμου, στο χώρο και το χρόνο, καθίσταται εν γένει όλο και περισσότερο ασυσχέτιστη σε αποστάσεις μεγαλύτερες από αρκετές διαμέτρους του δρομέα.

Σε σχέση με τις διακυμάνσεις μιας μεμονωμένης Α/Γ, η πλήρης έλλειψη συσχέτισης θα υποδήλωνε ότι οι διακυμάνσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του αιολικού πάρκου μειώνονται με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού των ασυσχέτιστων μηχανών της μονάδας που συμβάλλουν στην παραγωγή. Έτσι, μπορεί να εφαρμοστεί η ίδια αρχή εξομάλυνσης πεδίου της συγκεντρωτικής παραγωγής των αιολικών πάρκων.

Όπως και με τις Α/Γ σ' ένα μεμονωμένο αιολικό πάρκο, μια τέτοια εξομάλυνση θα μπορούσε να προκύψει ως αποτέλεσμα της έλλειψης συσχέτισης των διακυμάνσεων στα πεδία του ανέμου που προσπίπτουν στα κατανεμημένα αιολικά πάρκα.

Στο στρατόπεδο θα εγκατασταθεί μεμονωμένη ανεμογεννήτρια

## **2.4 Αρχές λειτουργίας και ελέγχου των ανεμογεννητριών μεταβλητής και σταθερής ταχύτητας**

### **2.4.1 Εισαγωγή**

Η εξέλιξη, τις τελευταίες δεκαετίες, της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών και των ηλεκτρονικών ισχύος έδωσε τη δυνατότητα για πολλές πρωτοποριακές εφαρμογές με χρήση διαφορετικών τοπολογιών, η καθεμία από τις οποίες έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στη συνέχεια θα γίνει μια προσπάθεια να περιγραφούν οι παλιότερες αλλά και νεώτερες εφαρμογές όσον αφορά στις ανεμογεννήτριες αλλά και στα ηλεκτρονικά ισχύος που προτείνονται σήμερα τόσο σε μεμονωμένες κατασκευές όσο και σε αιολικά πάρκα. Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι ανεμογεννήτριες. Ο διαχωρισμός αυτός έχει να κάνει με την ταχύτητα περιστροφής, οπότε έχουμε τη μια κατηγορία, ιστορικά παλιότερη, η οποία περιλαμβάνει τις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας και μια δεύτερη, νεώτερη, η οποία περιλαμβάνει τις ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας. Η τελευταία αυτή τεχνολογία των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας αποτελεί πλέον την αποκλειστική τεχνολογία στα αιολικά συστήματα και ως εκ τούτου είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και στο πεδίο της εφαρμογής.

### **2.4.2 Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας**

Οι πρώτες ανεμογεννήτριες δημιουργήθηκαν έχοντας σταθερή ταχύτητα. Μολονότι, η μέγιστη μηχανική ισχύς που μπορούμε να δεσμεύσουμε σε κάθε ταχύτητα του ανέμου

υπαγορεύει προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής σε κάποια βέλτιστη τιμή , στις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας η ταχύτητα του δρομέα δεν προσαρμόζεται σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου, αλλά καθορίζεται από την συχνότητα του δικτύου, την αναλογία του κιβωτίου ταχυτήτων και το σχεδιασμό της γεννήτριας (αριθμός πόλων, τύπο μηχανής κλπ.).

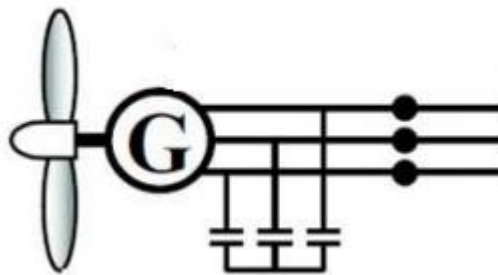
Αντιπροσωπευτικότερος τύπος ανεμογεννήτριας σταθερής ταχύτητας είναι αυτός που χρησιμοποιεί επαγωγική γεννήτρια απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο , μέσω ενός ηλεκτρονικά ελεγχόμενου προοδευτικού εκκινήτη (softstarter) και συστοιχίας πυκνωτών για την αντιστάθμιση της άεργου ισχύος. Γενικότερα αυτού του είδους οι ανεμογεννήτριες είναι έτσι σχεδιασμένες ούτως ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση σε κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου. Η ονομαστική ισχύς επιτυγχάνεται σε επίπεδα ταχύτητας από 12 έως 15 m/s. Η ταχύτητα του ανέμου στην οποία επιτυγχάνεται η ονομαστική ισχύς, ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα του ανέμου. Σε τιμές ταχύτητας μικρότερες των 3 m/s περίπου, η αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη είναι αρκετά περιορισμένη και οι ανεμογεννήτριες σταματούν τη λειτουργία τους. Σε τιμές του ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να περιορίσει την εισερχόμενη ενέργεια στο επίπεδο της ονομαστικής. Αυτό μπορεί να γίνει με μεταβολή της θέσης των πτερυγίων. Δύο είναι οι κύριες μέθοδοι για να γίνει αυτό. Είτε τα πτερύγια είναι σχεδιασμένα με τρόπο ώστε στις μεγάλες ταχύτητες να αλλάζει η ροή του αέρα πάνω τους δημιουργώντας τυρβώδη ροή με αποτέλεσμα να μειώνουν την απόδοση τους λόγω απώλειας στήριξης. Είτε τα πτερύγια στρέφονται εκτός της φοράς του ανέμου, οπότε έχουμε έλεγχο γωνίας βήματος. Για να επιτευχθεί μια μερική προσαρμογή στη βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής και μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας, οι γεννήτριες σταθερής ταχύτητας κατασκευάζονται σήμερα με διπλά τυλίγματα στάτη. Το ένα χρησιμοποιείται σε μικρές ταχύτητες ανέμου (έχει συνήθως 8 πόλους) και το άλλο σε μέσες και υψηλές ταχύτητες ανέμου (έχει συνήθως 4-6 πόλους).

Η χρήση των ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας εμφανίζει κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα είναι ότι η κατασκευή τους είναι σχετικά απλή, έχουν χαμηλό κόστος, είναι σθεναρές μηχανές και αρκετά αξιόπιστες. Αρνητικό είναι όμως το ότι εμφανίζονται μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις στις απότομες αλλαγές του ανέμου. Όλες οι αναταράξεις του αέρα μεταφέρονται σαν διαταραχές στη μηχανική ροπή και εν τέλει μεταφέρονται σαν διαταραχές στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα στη περίπτωση που έχουμε ένα ασθενές δίκτυο, αφού



οι διαταραχές στην ενέργεια μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διαταραχές στη τάση, με αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες στις γραμμές.

Οι τυπικές μηχανές σταθερής ταχύτητας χρησιμοποιούν συνήθως επαγωγικές μηχανές βραχυκυκλωμένου κλωβού, και είναι συνδεδεμένες απευθείας στο δίκτυο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.8: Επαγωγική μηχανή βραχυκυκλωμένου κλωβού

Σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι η επαγωγική μηχανή καταναλώνει άεργο ισχύ η οποία γίνεται τόσο μεγαλύτερη, όσο αυξάνεται η παραγωγή της ενεργού ισχύος. Για να ισοσταθμίζεται η κατανάλωση άεργου ισχύος της επαγωγικής γεννήτριας έτσι ώστε να παίρνουμε συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα, στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο χρησιμοποιείται συστοιχία παράλληλων πυκνωτών. Η επαγωγική μηχανή σαν γεννήτρια έχει επίσης μερικές μηχανικές ιδιότητες που είναι εξαιρετικά χρήσιμες για μια ανεμογεννήτρια. Για παράδειγμα η ολίσθηση της γεννήτριας κάνει πιο ομαλή τη σύνδεση με το δίκτυο ή ακόμη η σημαντική σθεναρότητα της έχει σαν αποτέλεσμα την καλή συμπεριφορά σε υπερφορτίσεις.

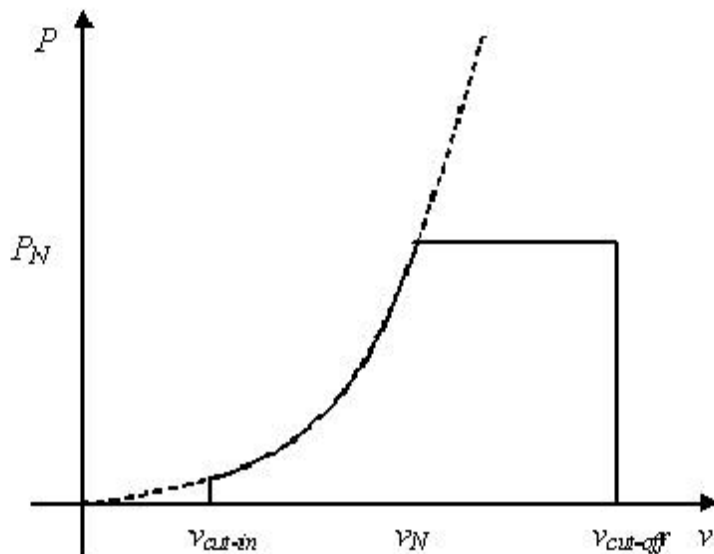
Μερικοί κατασκευαστές προσαρμόζουν στις ανεμογεννήτριες τους δύο επαγωγικές γεννήτριες, μια μικρή για τις περιόδους που υπάρχουν χαμηλές ταχύτητες αέρα και μια μεγαλύτερη για της περιόδους με υψηλότερες τιμές ταχύτητας αέρα. Ένας άλλος σχεδιασμός είναι οι επαγωγικές γεννήτριες με μεταβαλλόμενους πόλους, δηλαδή γεννήτριες που μπορούν να λειτουργούν με διαφορετικό αριθμό πόλων επομένως και με διαφορετική περιστροφική ταχύτητα. Αυτός ο σχεδιασμός συνεχίζεται να θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία της γεννήτριας σταθερής ταχύτητας όσον αφορά στα μηχανικά φορτία και την αλληλεπίδρασή

της με το δίκτυο. Το αν έχει αξία να χρησιμοποιηθούν δύο γεννήτριες ή ένας μεγαλύτερος αριθμός πόλων για χαμηλές ταχύτητες, εξαρτάται από τη μορφή των ανέμων στη συγκεκριμένη περιοχή και το επιπλέον κόστος της γεννήτριας μεταβλητών πόλων σε σύγκριση με το όφελος από την παραγόμενη ενέργεια και την αύξηση στην αεροδυναμική απόδοση. Ακόμα ένα πλεονέκτημα είναι ότι το επίπεδο του θορύβου από τα πτερύγια μειώνεται στις χαμηλότερες ταχύτητες του ρότορα. Η εφαρμογή αυτού του τύπου ανεμογεννήτριας είναι γνωστή διεθνώς ως η Δανέζικη εκδοχή (Danishconcept).

### 2.4.3 Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας, είναι η κυρίαρχη στο χώρο της παραγωγής αιολικής ενέργειας. Όπως είναι προφανές και από την ονομασία τους, οι μηχανές αυτού του τύπου μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών τιμών ταχύτητας του ανέμου ούτως ώστε να έχουμε τη μέγιστη αεροδυναμική απόδοση. Με βάση τον τρόπο λειτουργίας των μηχανών μεταβλητής ταχύτητας, έχει γίνει δυνατή η προσαρμογή της περιστροφικής ταχύτητας ( $D_r$  του δρομέα της μηχανής ανάλογα προς την ταχύτητα  $v$  του αέρα. Έτσι ο λόγος ταχύτητας των ακροπτερυγίων  $\lambda$  μπορεί να διατηρηθεί σταθερός σε μια προκαθορισμένη τιμή, τη βέλτιστη  $\lambda_{opt}$ , η οποία αντιστοιχεί στο μέγιστο συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης  $C_{pmax}$ .

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς του ανέμου τελικά εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό μπορεί να απεικονισθεί σε ένα διάγραμμα χαρακτηριστικό για κάθε ανεμογεννήτρια. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρικής ισχύος-ταχύτητας ανέμου και εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα



Σχέδιο 2.3: Διάγραμμα της ταχύτητας σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ ανέμου

Στο διάγραμμα αυτό διακρίνουμε την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας  $P_N$  που αντιστοιχεί στην ονομαστική ταχύτητα αέρα  $v_N$ . Διακρίνουμε επίσης την ταχύτητα αποσύζευξης  $v_{cut-off}$ , η οποία είναι η ταχύτητα του ανέμου για την οποία διακόπτεται η λειτουργία του αιολικού συστήματος. Στην περιοχή μετά το  $v_N$  και μέχρι την  $v_{cut-off}$  η ανεμογεννήτρια δουλεύει με σταθερή ταχύτητα, όση η ονομαστική (ρυθμίζεται με έλεγχο γωνίας βήματος) ώστε η μηχανή να μη ξεπερνά τις ονομαστικές τιμές λειτουργίας της. Στην περιοχή αυτή έχουμε προφανώς απόρριψη σημαντικής ισχύος αλλά προέχει η ασφαλής λειτουργία στο μέγιστο επιτρεπτό.

Διακρίνουμε την ταχύτητα έναρξης  $v_{cut-in}$ , η οποία είναι η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου για την οποία η γεννήτρια αποδίδει ωφέλιμη ισχύ. Σε μικρότερες ταχύτητες οι μηχανικές απώλειες είναι απαγορευτικές για την απόδοση ωφέλιμης ισχύος. Στην περιοχή πριν από το  $v_{cut-in}$  οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μηχανική πέδηση ώστε να μην υπάρχει άσκοπη λειτουργία και μηχανικές φθορές.

Η περιοχή μεταξύ  $v_{cut-in}$  και  $v_N$  είναι κύριου ενδιαφέροντος για τη λειτουργία μεταβλητών στροφών, αφού εκεί επενεργεί ο κατάλληλος έλεγχος για την προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας έτσι ώστε να έχουμε την μέγιστη απομάστευση ισχύος.

Όπως και στις γεννήτριες σταθερής ταχύτητας έτσι και στις γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας έχουμε κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα είναι ασφαλώς η αυξημένη ενεργειακή απόδοση , η δυνατότητα ρύθμισης / ελέγχου της άεργου ισχύος και οι μειωμένες μηχανικές καταπονήσεις στον ανεμοκινητήρα. Τα μειονεκτήματα είναι οι απώλειες στα ηλεκτρονικά ισχύος, η χρήση περισσότερων στοιχείων και τέλος το μεγαλύτερο κόστος του εξοπλισμού εξαιτίας των ηλεκτρονικών ισχύος και του ελέγχου.

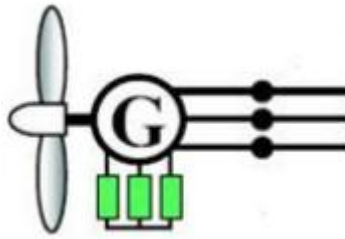
Επιπλέον η εφαρμογή της τεχνολογίας μεταβλητής ταχύτητας έχει δώσει τη δυνατότητα χρήσης διαφόρων τύπων γεννητριών με αποτέλεσμα να έχουμε μια μεγαλύτερη ελευθερία στα δυνατά σχήματα γεννητριών, μετατροπέων ισχύος και του ελέγχου τους , γι' αυτό και στη διπλωματική εργασία αυτή χρησιμοποιούμε γεννήτρια μεταβλητών στροφών. Τα τελευταία χρόνια οι περισσότεροι κατασκευαστές έχουν περάσει στην παραγωγή του νέου αυτού είδους ανεμογεννητριών.

Μια μηχανή μεταβλητής ταχύτητας, χρησιμοποιεί διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος προκειμένου να μεταβάλει τη ταχύτητά της ανάλογα με τις αεροδυναμικές συνθήκες ενώ συνδέει τη γεννήτρια στη σταθερή συχνότητα του δικτύου. Το κύριο πλεονέκτημα από αυτό, είναι ότι ανάλογα προς την ταχύτητα του ανέμου προσαρμόζεται και η ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς. Επίσης, ριπές ανέμου μπορούν να επιτραπούν και έτσι να στρέψουν το ρότορα γρηγορότερα ώστε η περίσσια ενέργειας να αποθηκεύεται στη μηχανή σαν επιπλέον κινητική ενέργεια μέχρι να επανέλθει σε κανονική κατάσταση. Προφανώς, για να γίνουν όλα αυτά απαιτείται ένας έξυπνος σχεδιασμός στην εκάστοτε στρατηγική ελέγχου, μιας και θα πρέπει να μπορεί να ξεχωρίσει τις ριπές ανέμου από τις σταθερές μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας του ανέμου. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι οι συσκευές των ηλεκτρονικών ισχύος μπορούν να ελέγξουν την άεργο ισχύ προκειμένου να βελτιώσουν την ποιότητα της ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο, ιδίως αν η ανεμογεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε ένα αδύναμο δίκτυο. Η μεταβλητή ταχύτητα δίνει και ένα σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με την ετήσια παραγωγή, μιας και είναι δυνατόν να λειτουργεί η μηχανή στη βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής σε σχέση με τον άνεμο. Από οικονομικής άποψης αυτό το πλεονέκτημα είναι πιο σημαντικό καθόσον συν τω χρόνω οι διατάξεις των ηλεκτρονικών ισχύος κοστίζουν όλο και λιγότερα χρήματα.

Ένας επίσης σημαντικός λόγος για να λειτουργεί μια μηχανή εν μέρει τουλάχιστον με μεταβλητή ταχύτητα είναι όταν αυτό γίνεται σε συνδυασμό με τη λειτουργία του ελέγχου γωνίας βήματος σε επαγωγικές γεννήτριες. Είναι γνωστό ότι ο έλεγχος γωνίας βήματος είναι μια μηχανική διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος αντίδρασης του μηχανισμού του ελέγχου γωνίας βήματος έχει κάποια όρια και γενικά είναι μεγάλος. Ωστόσο, αν χρησιμοποιηθεί μια γεννήτρια με μεταβλητή ταχύτητα, η ολίσθηση θα είναι παράμετρος του ελέγχου. Όταν υπάρξουν ριπές ανέμου, ο μηχανισμός ελέγχου δίνει σήμα να αυξηθεί η ολίσθηση της γεννήτριας, προκειμένου να επιτρέψει στο ρότορα να κινηθεί λίγο πιο γρήγορα ενώ ο μηχανισμός του ελέγχου γωνίας βήματος αρχίζει να ανταπεξέρχεται στην κατάσταση στρέφοντας τα πτερύγια περισσότερο εκτός της πορείας του ανέμου. Μόλις ο μηχανισμός του ελέγχου γωνίας βήματος έχει κάνει τη δουλειά του, η ολίσθηση μειώνεται και πάλι. Σε περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί ξαφνικά, η διαδικασία που προαναφέρθηκε γίνεται αντίστροφα. Οπότε, το μηχανικό σύστημα του ελέγχου γωνίας βήματος συμβάλλει πιο ενεργά στη ρύθμιση της ταχύτητας της μηχανής και το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχει τη ροπή.

Το να λειτουργεί μια γεννήτρια σε υψηλές τιμές ολίσθησης παράλληλα σημαίνει μεγαλύτερες απώλειες (μεγαλύτερα ποσά θερμότητας) και κατ' επέκταση μικρότερη απόδοση. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα από μόνο του, μιας και η μόνη εναλλακτική λύση είναι να σπαταληθεί η περίσσια ενέργεια στρέφοντας τα πτερύγια της μηχανής εκτός της πορείας του αέρα. Ένα από τα μεγάλα οφέλη αυτής της στρατηγικής ελέγχου που αναφέραμε νωρίτερα είναι η καλύτερη ποιότητα παραγόμενης ενέργειας. Οι διακυμάνσεις στην παραγόμενη ενέργεια μειώνονται μέσω της μεταβολής της ολίσθησης της γεννήτριας και με το να αποθηκεύεται η να ελευθερώνεται μέρος της ενέργειας σαν κινητική ενέργεια πάνω στο ρότορα της ανεμογεννήτριας. Η ολίσθηση σε μια επαγωγική μηχανή είναι συνήθως πολύ μικρή για λόγους καλύτερης απόδοσης, οπότε η περιστροφική ταχύτητα ποικίλει 1-3% μεταξύ της λειτουργίας εν κενό αλλά και υπό πλήρες φορτίο. Η ολίσθηση ωστόσο, εξαρτάται από την αντίσταση στα τυλίγματα του ρότορα της γεννήτριας. Όσο μεγαλύτερη η αντίσταση, τόσο μεγαλύτερη και η ολίσθηση.

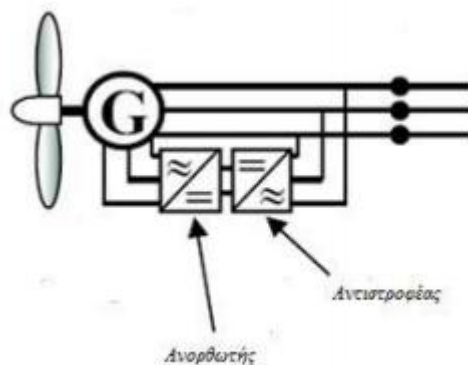
Στις επαγωγικές γεννήτριες ένας τρόπος να μεταβληθεί η ολίσθηση και κατ' επέκταση η ταχύτητα είναι να μεταβληθεί η αντίσταση στο δρομέα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 2.9:** Σχήμα μεταβλητής ταχύτητας με μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα

Με αυτό τον τρόπο, η ολίσθηση της γεννήτριας μπορεί να αυξηθεί περίπου κατά 10%. Η λύση αυτή δίνει πολύ περιορισμένο εύρος ταχυτήτων. Συνήθως γίνεται με τη χρήση μηχανής δακτυλιοφόρου δρομέα, δηλαδή μέσω ενός δρομέα με χάλκινα τυλίγματα, τα οποία συνδέονται σε αστέρα και συνδέονται με εξωτερική μεταβλητή αντίσταση, η οποία ελέγχεται από έναν πρόσθετο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου για τις αντιστάσεις. Η σύνδεση συνήθως γίνεται με ψήκτρες και δακτυλίους ολίσθησης, που αποτελεί ένα σαφές μειονέκτημα. Τα στοιχεία της σύνδεσης είναι βασικό ότι είναι στοιχεία που φθείρονται εύκολα, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται περισσότερη συντήρηση για τη γεννήτρια.

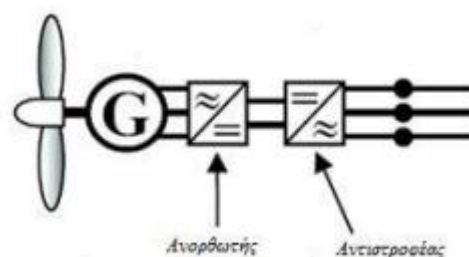
Ένας άλλος τρόπος για να λειτουργεί μια επαγωγική γεννήτρια σαν μηχανή μεταβλητής ταχύτητας είναι με τη τεχνική που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 2.10:** Γεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας διπλής τροφοδοσίας

Αυτή η τοπολογία γνωστή ως επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας χρησιμοποιεί μηχανή με δακτυλιοφόρο δρομέα, (ψηκτρεις και δακτυλίους ολίσθησης), όπου τα τυλίγματα του δρομέα είναι συνδεδεμένα σε έναν ac/dc/ac μετατροπέα ισχύος με μεταβλητή συχνότητα. Η κυκλική ταχύτητα είναι ανάλογη της διαφοράς της συχνότητας του στάτη (δίκτυο) και της συχνότητας του δρομέα (μετατροπέας). Το εύρος της ταχύτητας για μια μηχανή με την τεχνική αυτή είναι ανάλογη με το μέγεθος του μετατροπέα. Ένα σύνηθες μέγεθος μετατροπέα είναι στο 30% της ονομαστικής ισχύος της γεννήτριας που συνεπάγεται εύρος της ταχύτητας στο  $\pm 30\%$ .

Μια άλλη τοπολογία στην τεχνική της μεταβλητής ταχύτητας θέλει τη γεννήτρια συνδεδεμένη με το δίκτυο μέσω ενός ανορθωτή σε σειρά με έναν αντιστροφέα, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Τότε η κυκλική ταχύτητα της μηχανής μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα της συχνότητας του δικτύου.



**Σχήμα 2.11: Γεννήτρια μεταβαλλόμενης ταχύτητας διπλής τροφοδοσίας συνδεδεμένη σε σειρά με ανορθωτή και αντιστροφέα.**

Ένα πλεονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας, που λέγεται συνδεσμολογία με dc-διασύνδεση, είναι ότι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς μπορούν να ελέγξουν την άεργο ισχύ και να χρησιμοποιήσουν ενεργές τεχνικές φίλτραρίσματος για να βελτιώσουν την ποιότητα της

ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το εύρος των ταχυτήτων είναι από 0-100% της ονομαστικής ταχύτητας, μιας και ο μετατροπέας μπορεί να χειριστεί το σύνολο της ενέργειας.

Σ' αυτήν την περίπτωση εκτός της επαγωγικής γεννήτριας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύγχρονη γεννήτρια. Η συνήθης επιλογή τότε είναι σύγχρονη μηχανή με μόνιμους μαγνήτες. Η λύση αυτή πολλές φορές συνοδεύεται και από σχεδίαση μηχανής πολλών ζευγών πόλων (π.χ. εκατό) έτσι ώστε να μη χρειάζεται κιβώτιο ταχυτήτων.

#### **2.4.4 Γεννήτριες**

Αυτή τη στιγμή οι περισσότεροι και μεγαλύτεροι παραγωγοί ανεμογεννητριών στο κόσμο κατασκευάζουν μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτριες με έλεγχο γωνίας βήματος πτερυγίων. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος γεννήτριας είναι οι επαγωγικές γεννήτριες, ενώ σε πολύ μικρό ποσοστό που όμως τελευταία παρουσιάζει κάποιες τάσεις αύξησης χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες με μόνιμο μαγνήτη. Σήμερα, στη διεθνή αγορά των ανεμογεννητριών κυρίαρχος τύπος ανεμογεννήτριας (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%) είναι αυτός με επαγωγική μηχανή διπλής τροφοδοσίας (DFIG), με μεταβλητή ταχύτητα και μεταβλητό έλεγχο γωνίας κλίσης των πτερυγίων.

Γενικά για ισχύς της τάξης των MW, μια ανεμογεννήτρια μπορεί να εξοπλιστεί με οποιαδήποτε τριφασική γεννήτρια. Όλοι οι γενικοί τύποι γεννητριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανεμογεννήτριες, δηλαδή:

##### A) Ασύγχρονες (επαγωγικές) γεννήτριες

- Επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG)
- Επαγωγικές γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα (WRIG)

##### B) Σύγχρονες γεννήτριες

- Σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη (PMSG)
- Σύγχρονες γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG)



## **2.4.5H Ασύγχρονη (επαγωγική) γεννήτρια**

Ο τύπος της γεννήτριας που κυρίως χρησιμοποιείται σε ανεμογεννήτριες είναι η επαγωγική γεννήτρια. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν αυτές οι γεννήτριες είναι αρκετά, όπως ευρωστία, απλότητα στο μηχανικό κομμάτι και χαμηλό κόστος, που οφείλεται στο μεγάλο αριθμό παραγωγής τους. Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι ότι καταναλώνουν άεργο ισχύ. Η άεργος ισχύς μπορεί να παρέχεται από το δίκτυο ή από συστοιχίες πυκνωτών ή από ένα κατάλληλο σύστημα ηλεκτρονικών ισχύος. Η ασύγχρονη μηχανή σαν γεννήτρια διακρίνεται σε βραχυκυκλωμένου κλωβού και δακτυλιοφόρου δρομέα. Στην επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού το μαγνητικό πεδίο του δρομέα δημιουργείται εξ επαγωγής μόνο όταν ο στάτης είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο.

Στην επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα, σε περίπτωση ac διέγερσης, το δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται σε μια ταχύτητα η οποία καθορίζεται από τον αριθμό των πόλων και τη συχνότητα του ρεύματος, δηλαδή τη σύγχρονη ταχύτητα. Ο δρομέας μπορεί να περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη ή μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας. Τότε ένα ηλεκτρικό πεδίο επάγεται μεταξύ του δρομέα και του στρεφόμενου πεδίου του στάτη από τη σχετική κίνηση (ολίσθηση), γεγονός που προκαλεί ένα ρεύμα στα τυλίγματα του δρομέα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του δρομέα με το πεδίο του στάτη έχουν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ροπής στον δρομέα.

### **2.4.5.1H επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας**

Στην περίπτωση των επαγωγικών γεννητριών δακτυλιοφόρου δρομέα, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δρομέα μπορούν να ελεγχθούν εξωτερικά, από την τάση του δρομέα. Τα τυλίγματα του δρομέα συνδέονται εξωτερικά μέσω δακτυλίων ολίσθησης και ψηκτρών. Με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος, η ισχύς μπορεί να εξαχθεί ή και να εισαχθεί στο κύκλωμα του δρομέα και η γεννήτρια μπορεί να μαγνητιστεί είτε από το κύκλωμα του στάτη είτε από το κύκλωμα του δρομέα. Το μειονέκτημα της επαγωγικής γεννήτριας δακτυλιοφόρου δρομέα είναι το σχετικά υψηλότερο κόστος σε σχέση προς την αντίστοιχη βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Η βιομηχανία των ανεμογεννητριών συνήθως χρησιμοποιεί τους εξής δύο τύπους επαγωγικών γεννητριών δακτυλιοφόρου δρομέα, την επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα (OSIG) και την επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας (DFIG).

#### **2.4.5.1.1 Επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα**

Η επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα εισήχθηκε στην αγορά προκειμένου να μειωθεί το φορτίο στην ανεμογεννήτρια εξαιτίας των ριπών ανέμου. Η διάταξη που χρησιμοποιεί επιτρέπει στη γεννήτρια να έχει μεταβαλλόμενη (θετική) ολίσθηση και να επιλέγει τη βέλτιστη τιμή για αυτή, έχοντας σαν αποτέλεσμα μικρότερες διαταραχές στη ροπή και στην εξαγόμενη ενέργεια. Η μεταβλητή ολίσθηση είναι πολύ απλή, αξιόπιστη και πολύ αποτελεσματική στη μείωση των φορτίων σε σχέση με άλλες πιο πολύπλοκες λύσεις.

Η επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα είναι μια επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα με μια μεταβλητή εξωτερική αντίσταση στο δρομέα, προσαρμοσμένη στα τυλίγματα του. Η ολίσθηση της γεννήτριας αλλάζει με μεταβολή της συνολικής αντίστασης του δρομέα μέσω μετατροπέα που είναι τοποθετημένος στον άξονα του δρομέα. Ο μετατροπέας ελέγχεται οπτικά, γεγονός που σημαίνει ότι δακτύλιοι ολίσθησης δεν είναι απαραίτητοι. Ο στάτης της γεννήτριας είναι συνδεδεμένος απευθείας στο δίκτυο.

Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου γεννήτριας είναι ότι με μια σχετικά απλή τοπολογία του κυκλώματος του δρομέα χωρίς απαραίτητα να υπάρχουν δακτύλιοι ολίσθησης παρέχεται μεγαλύτερο εύρος ταχύτητας από την επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού. Επιπλέον, μέχρι ενός σημείου η συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να μειώσει τα μηχανικά φορτία και τις διαταραχές στην ενέργεια που οφείλονται στις ριπές του ανέμου. Παρόλα αυτά απαραίτητο είναι ένα σύστημα αντιστάθμισης της άεργου ισχύος. Τα μειονεκτήματα είναι ότι το εύρος μεταβολής της ταχύτητας κυμαίνεται μόνο μεταξύ 0-10% μιας και εξαρτάται από το μέγεθος της μεταβλητής αντίστασης του δρομέα. Επιπλέον, δεν μπορεί να γίνει πολύ

αξιόλογος έλεγχος της ενεργού και άεργου ισχύος και η ενέργεια της ολίσθησης καταναλώνεται πάνω στη μεταβλητή αντίσταση του δρομέα σαν θερμότητα.

#### **2.4.5.1.2 Επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας**

Η εφαρμογή της επαγωγικής γεννήτριας διπλής τροφοδοσίας είναι η εξέλιξη της επαγωγικής γεννήτριας με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα, με την έννοια ότι η μεταβλητή αντίσταση στο δρομέα έχει αντικατασταθεί από έναν back-to-back IGBT μετατροπέα πηγής τάσης συνδεδεμένο στο δίκτυο. Τα τυλίγματα του στάτη είναι απευθείας συνδεδεμένα στο τριφασικό δίκτυο. Οι επαγωγικές γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας κερδίζουν συνεχώς όλο και μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς.

Αυτό το σύστημα επιτρέπει να υπάρχει λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας με ένα αρκετά μεγάλο εύρος. Ο μετατροπέας αντισταθμίζει τη διαφορά μεταξύ της μηχανικής και ηλεκτρικής συχνότητας, εγχέοντας ένα ρεύμα μεταβλητής συχνότητας στον δρομέα. Στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αλλά και σε περίπτωση σφάλματος η συμπεριφορά της γεννήτριας καθορίζεται από τον μετατροπέα και τους ελεγκτές του.

Όσον αφορά τον έλεγχο, ο μετατροπέας στη πλευρά του δρομέα ελέγχει την ενεργό και άεργο ισχύ της μηχανής μέσω ελέγχου του ρεύματος του δρομέα, ενώ ο μετατροπέας στη πλευρά του δικτύου ελέγχει τη τάση στη dc διασύνδεση και διασφαλίζει λειτουργία με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

Ανάλογα με τη λειτουργία, η ισχύς του δρομέα μπορεί να μεταφερθεί και προς τις δύο κατευθύνσεις. Σε περίπτωση υπερσύγχρονης λειτουργίας (θετική ολίσθηση) έχουμε ροή ισχύος από το δρομέα μέσω του μετατροπέα στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση υποσύγχρονης λειτουργίας (αρνητική ολίσθηση) η ροή ισχύος είναι αντίθετη. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις ο στάτης παρέχει ενέργεια στο δίκτυο. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε το σημαντικό πλεονέκτημα της επαγωγικής γεννήτριας διπλής τροφοδοσίας σε σχέση με την επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα: Στην περίπτωση της υπερσύγχρονης λειτουργίας η αυξημένη ισχύς στο δρομέα οδηγείται στο δίκτυο αντί να χάνεται σε ωμικές αντιστάσεις.

Η επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας δεν είναι απαραίτητο να μαγνητίζεται από το δίκτυο αλλά αυτό μπορεί να γίνει και από το κύκλωμα του δρομέα. Επίσης είναι ικανή να παράγει άεργο ισχύ η οποία μπορεί να μεταφερθεί στο στάτη μέσω του μετατροπέα στη πλευρά του δικτύου. Ο μετατροπέας στη πλευρά του δικτύου διορθώνει συνολικά το συντελεστή ισχύος και έτσι εμπλέκεται εμμέσως στην ανταλλαγή άεργου ισχύος μεταξύ του στατή και του δικτύου. Σε περίπτωση που υπάρχει ένα αδύναμο δίκτυο, όπου υπάρχουν διαταραχές στη τάση, μπορεί να ζητηθεί από την επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας (DFIG) να παράγει η να απορροφήσει κάποιο ποσό άεργου ισχύος προς η από το δίκτυο, προκειμένου να υπάρξει έλεγχος της τάσης.

Το μέγεθος του μετατροπέα δεν σχετίζεται με την συνολική ισχύ της γεννήτριας αλλά με το επιλεγμένο εύρος ρύθμισης της ταχύτητας. Έτσι ότι κερδίζουμε σε κόστος το χάνουμε σε δυνατότητα εύρους της μεταβλητής ταχύτητας. Επιπλέον μειονέκτημα της επαγωγικής γεννήτριας διπλής τροφοδοσίας είναι ότι οι δακτύλιοι ολίσθησης είναι απαραίτητοι.

#### **2.4.5.1.3 Επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού**

Είναι γνωστό ότι οι επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού είναι η επικρατούσα επιλογή σε απλές εφαρμογές εξαιτίας της μηχανικής τους απλότητας, της υψηλής τους απόδοσης και του ελάχιστου κόστους συντήρησης που απαιτούν. Με σύνδεση απευθείας στο δίκτυο η ταχύτητα της επαγωγικής γεννήτριας βραχυκυκλωμένου κλωβού μεταβάλλεται μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό, εξαιτίας της ολίσθησης της γεννήτριας η οποία οφείλεται στις αλλαγές της ταχύτητας του ανέμου. Για το λόγο αυτό οι γεννήτριες αυτές χρησιμοποιήθηκαν πολύ για σταθερής ταχύτητας ανεμογεννήτριες. Η γεννήτρια και ο άξονας της ανεμογεννήτριας συνδέονται μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων, μιας και η βέλτιστη προσδοκώμενη τιμή της ταχύτητας του άξονα είναι διαφορετική από αυτή της γεννήτριας. Οι ανεμογεννήτριες που έχουν επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού συνήθως έχουν και έναν μηχανισμό ηλεκτρονικά ελεγχόμενου εκκινήτη και αντιστάθμιση άεργου ισχύος με πυκνωτές, μιας και οι γεννήτριες αυτού του τύπου καταναλώνουν άεργη ισχύ. Οι επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού έχουν σαν χαρακτηριστικό τις απότομες αλλαγές στη ροπή με αποτέλεσμα οι διαταραχές του ανέμου να περνούν απευθείας στο

δίκτυο. Αυτές οι διαταραχές είναι ιδιαίτερα σημαντικές κατά τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο, όπου η ένταση του μεταβατικού ρεύματος είναι 7-8 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική. Σε ένα αδύναμο δίκτυο, αυτό το υψηλό μεταβατικό ρεύμα μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διαταραχές στη τάση. Οπότε η σύνδεση της σύγχρονης γεννήτριας βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG) στο δίκτυο θα πρέπει να γίνεται σταδιακά προκειμένου να μειωθεί το μεταβατικό ρεύμα. Κατά τη διάρκεια της μόνιμης λειτουργίας και της άμεσης σύνδεσης με ένα στιβαρό ac δίκτυο, η σύγχρονη γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG) είναι πολύ εύρωστη και ευσταθής. Η ολίσθηση ποικίλει και αυξάνεται με αύξηση του φορτίου. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι λόγω του ρεύματος μαγνήτισης που παρέχεται από το δίκτυο στα τυλίγματα του στάτη, ο συντελεστής ισχύος υπό πλήρες φορτίου είναι σχετικά μικρός. Γεγονός που όπως είναι γνωστό δεν είναι αποδεκτό από τις εταιρίες ηλεκτρισμού και μπορεί να διορθωθεί με τη σύνδεση πυκνωτών παράλληλα με τη γεννήτρια.

Στις επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού υπάρχει μια μοναδική σχέση μεταξύ της άεργου ισχύος, ενεργού ισχύος, τάσης στο τερματικό σημείο και ταχύτητας του δρομέα. Αυτό σημαίνει ότι σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, η ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει μεγαλύτερα ποσά ενεργού ισχύος μόνο αν απορροφήσει περισσότερο άεργο ισχύ. Για τις επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού η κατανάλωση άεργου ισχύος είναι μη ελέγξιμη γιατί μεταβάλλεται με βάση της συνθήκες του αέρα. Αν δεν υπάρχουν ηλεκτρικά στοιχεία να παρέχουν την άεργο ισχύ, τότε αυτή πρέπει να προέλθει απευθείας από το δίκτυο. Η άεργος ισχύς που παίρνεται από το δίκτυο μπορεί να προκαλέσει επιπρόσθετες απώλειες μεταφοράς και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να κάνει το δίκτυο ασταθές.

Σε περίπτωση σφάλματος, οι επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού που δεν έχουν κανένα σύστημα για αντιστάθμιση της άεργου ισχύος μπορεί να οδηγήσουν σε αστάθεια της τάσης στο δίκτυο. Όταν υπάρξει ένα σφάλμα ή μια πτώση τάσης ο δρομέας της ανεμογεννήτριας μπορεί να επιταχυνθεί στιγμιαία εξαιτίας της ανισοροπίας μεταξύ της ηλεκτρικής και της μηχανικής ροπής. Η συνεπαγόμενη αύξηση της ολίσθησης τότε θα απαιτήσει μια μεγαλύτερη ποσότητα άεργου ισχύος από το δίκτυο, το οποίο θα οδηγηθεί σε περεταίρω μείωση της τάσης, κ.ο.κ.

Σήμερα όμως, με την μεγάλη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος οι επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πλήρως μεταβλητές

ταχύτητας ανεμογεννήτριες και να δώσουν εξαιρετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα το σχήμα που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει την γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού σε σύνδεση στο δίκτυο μέσω ενός πλήρως ελεγχόμενου back-to-back μετατροπέα ισχύος με IGBT. Έτσι είναι δυνατός ο έλεγχος ενεργού και άεργου ισχύος και η προσαρμογή τους στις συνθήκες του ανέμου αλλά και τις απαιτήσεις του δικτύου. Κατ' αυτό τον τρόπο εξομαλύνεται η λειτουργία της επαγωγικής γεννήτριας και αποφεύγονται ανεπιθύμητες διαταραχές, όπως αυτές που συναντάμε στην περίπτωση λειτουργίας με σταθερή ταχύτητα, ενώ ταυτόχρονα υπό ομαλές συνθήκες γίνεται δυνατή η προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής ώστε να έχουμε τη μέγιστη παραγωγή ισχύος σε όλο το σχεδόν το εύρος ταχυτήτων του ανέμου.

#### **2.4.6 Σύγχρονη γεννήτρια**

Η σύγχρονη γεννήτρια είναι πολύ πιο ακριβή και μηχανολογικά πολύ πιο πολύπλοκη από μια επαγωγική γεννήτρια αναλόγου μεγέθους. Παρόλα αυτά, έχει ένα ξεκάθαρο πλεονέκτημα σε σχέση με την επαγωγική γεννήτρια, ότι το ρεύμα μαγνήτισης δεν δημιουργείται από το κύκλωμα του στάτη.

Το μαγνητικό πεδίο στις σύγχρονες γεννήτριες μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρήση μόνιμων μαγνητών ή συμβατικών τυλιγμάτων στο δρομέα. Αν η σύγχρονη γεννήτρια έχει ένα κατάλληλο, μεγάλο αριθμό πόλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.

Σαν σύγχρονη μηχανή, είναι πιθανότατα η πιο κατάλληλη για έλεγχο πλήρους ισχύος μιας και συνδέεται στο δίκτυο μέσω ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Ο μετατροπέας έχει δύο βασικούς στόχους. Πρώτον δουλειά του είναι κάνει απόσβεση των διαταραχών της ισχύος που οφείλονται στις ριπές του ανέμου και επίσης των μεταβατικών φαινομένων που έρχονται από το δίκτυο. Και ο δεύτερος βασικός στόχος είναι να ελέγχει τη μαγνήτιση και να αποφεύγει προβλήματα παραμένοντας σύγχρονος με τη συχνότητα του δικτύου. Μια τέτοια γεννήτρια επιτρέπει την λειτουργία με μεταβλητή ταχύτητα στην ανεμογεννήτρια.

Οι δύο κλασσικοί τύποι σύγχρονων γεννητριών που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία των ανεμογεννητριών είναι η σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG) και η σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG).

#### **2.4.6.1 Σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα**

Η σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα είναι ο βασικότερος τύπος γεννήτριας στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τυλίγματα του στάτη μια τέτοιας γεννήτριας είναι συνδεδεμένα απευθείας στο δίκτυο και όπως είναι λογικό η ταχύτητα περιστροφής ρυθμίζεται από τη συχνότητα του δικτύου. Τα τυλίγματα του δρομέα διεγείρονται από συνεχές ρεύμα με τη χρήση δακτυλιδιών ολίσθησης και ψηκτρών ή μέσω ενός διεγέρτη χωρίς ψήκτρες με ένα στρεφόμενο ανορθωτή. Σε αντίθεση με τις επαγωγικές γεννήτριες, οι σύγχρονες γεννήτριες δεν χρειάζονται περεταίρω μέτρα αντιστάθμισης για την άεργο ισχύ. Τα τυλίγματα του δρομέα, μέσα από τα οποία ρέει το ρεύμα, παράγουν το πεδίο διέγερσης, το οποίο περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα. Η ταχύτητα της σύγχρονης γεννήτριας καθορίζεται από τη συχνότητα του στρεφόμενου πεδίου και του αριθμού των πόλων.

#### **2.4.6.2 Σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη**

Υπάρχουν πολλοί υπέρμαχοι των σύγχρονων γεννητριών μόνιμου μαγνήτη για τη χρήση τους στις ανεμογεννήτριες λόγω του γεγονότος ότι οι γεννήτριες αυτού του τύπου είναι αυτοδιεγειρόμενες και λειτουργούν με υψηλό συντελεστή ισχύος και υψηλή απόδοση.

Στις μηχανές μόνιμου μαγνήτη, η απόδοση είναι υψηλότερη από αυτή των επαγωγικών, μιας και η διέγερση παρέχεται χωρίς να υπάρχει επιπλέον παροχή ενέργειας. Ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί ότι τα υλικά με τα οποία κατασκευάζονται οι μόνιμοι μαγνήτες είναι πολύ ακριβά και καθόλου εύκολα στην επεξεργασία. Επιπρόσθετα η χρήση διέγερσης με μόνιμο μαγνήτη απαιτεί τη χρήση ενός μετατροπέα ισχύος πλήρους κλίμακας προκειμένου να προσαρμόσει τη τάση και τη συχνότητα της γεννήτριας στη τάση και στη συχνότητα γραμμής αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ένα πρόσθετο κόστος. Το πλεονέκτημα είναι ότι

μπορεί να παραχθεί ενέργεια σε κάθε ταχύτητα. Ο στάτης των σύγχρονων γεννητριών μόνιμου μαγνήτη αποτελείται από συμβατικό τριφασικό τύλιγμα και ο δρομέας αποτελείται από ένα σύστημα πόλων μόνιμου μαγνήτη, που μπορεί να είναι έκτυποι ή κυλινδρικοί. Οι έκτυποι πόλοι είναι πιο συνηθισμένοι σε μηχανές χαμηλής ταχύτητας και είναι πιο χρήσιμοι για εφαρμογές ανεμογεννητριών. Η σύγχρονη φύση των σύγχρονων γεννητριών με μόνιμο μαγνήτη (PMSG) μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά την εκκίνηση, τον συγχρονισμό και τη ρύθμιση της τάσης. Η σύγχρονη λειτουργία προκαλεί επίσης δύσκαμπτη συμπεριφορά σε περίπτωση που η ταχύτητα του αέρα δεν είναι σταθερή. Ένα ακόμα μειονέκτημα αυτού του τύπου γεννητριών είναι ότι τα μαγνητικά υλικά είναι ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να απαιτείται κάποιο σύστημα ψύξης.

#### **2.4.7 Επίδραση των αιολικών συστημάτων στον έλεγχο της τάσης**

Η κύρια λειτουργία ενός ηλεκτρικού συστήματος είναι η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια στο δίκτυο. Προκειμένου να λειτουργεί κανονικά ένα δίκτυο, είναι σημαντικό οι τάσεις στους ζυγούς του να διατηρούνται κοντά στην ονομαστική τιμή. Παραδοσιακά, αυτό επιτυγχάνεται με διαφορετικό τρόπο στο δίκτυο μεταφοράς απ' ότι στο δίκτυο διανομής. Στα συστήματα μεταφοράς, οι μεγάλοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας διατηρούν τις τάσεις των ζυγών εντός των ορίων παρέκκλισης από τις ονομαστικές τιμές, με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένες οι συσκευές ελέγχου της τάσης. Αντίθετα, τα δίκτυα διανομής έχουν ενσωματωμένες συσκευές για τον έλεγχο της τάσης. Όταν έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή στο δίκτυο διανομής οι γεννήτριες που υπάρχουν πολύ σπάνια εμπλέκονται στον έλεγχο της τάσης των κόμβων. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συσκευές ελέγχου της τάσης στα δίκτυα διεσπαρμένης παραγωγής είναι μετασχηματιστές με μεταβλητό λόγο τυλιγμάτων (tapchangers). Επίσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι στατικοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος με πυκνωτές ή πηνία (switchedcapacitorsorreactors). Με συνδυασμό των προαναφερθέντων μπορεί να διατηρηθεί η τάση σε όλους τους κόμβους για τα δίκτυα μεταφοράς και διεσπαρμένης παραγωγής εντός των επιθυμητών επιπέδων.

Ωστόσο, κάποιες πιο σύγχρονες εξελίξεις θέτουν υπό αμφισβήτηση αυτή τη κλασική προσέγγιση. Μια από αυτές είναι η αυξημένη χρήση ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες επηρεάζουν τα ρεύματα ή τις ροές ισχύος στα δίκτυα διεσπαρμένης παραγωγής στα οποία είναι συνδεδεμένες και επειδή οι τάσεις των



κόμβων είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις ροές ισχύος, λογικό είναι να επηρεάζουν και αυτές. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα αν οι συσκευές που είναι ήδη εγκατεστημένες στο δίκτυο διεσπαρμένης παραγωγής δεν είναι ικανές να αντισταθμίσουν τις επιπτώσεις αυτές. Σε αυτή την περίπτωση, οι τάσεις σε κάποιους κόμβους μέσα στο δίκτυο διεσπαρμένης παραγωγής δε μπορούν να διατηρηθούν εντός των επιτρεπομένων αποκλίσεων από τις ονομαστικές τους τιμές και για το λόγο αυτό πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα.

Παρόμοια προβλήματα προκύπτουν όταν μεγάλα πάρκα συνδέονται σε δίκτυα μεταφοράς. Και πάλι, το αιολικό πάρκο επηρεάζει τις ροές ισχύος και κατ' επέκταση τις τάσεις των κόμβων, αλλά σε αυτή την περίπτωση στο δίκτυο μεταφοράς. Βέβαια στα δίκτυα αυτά οι τάσεις ελέγχονται από τους μεγάλους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Αν όμως η ικανότητα τους να ελέγχουν τις τάσεις του δικτύου δεν είναι επαρκής για να αντισταθμίσει την επίδραση που θα έχουν οι ανεμογεννήτριες στις τάσεις των ζυγών, τότε και πάλι η τάση κάποιων από αυτούς δε θα μπορέσει να διατηρηθεί εντός των επιτρεπόμενων αποκλίσεων από τις ονομαστικές τους τιμές. Προφανώς και σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ληφθούν ανάλογα μέτρα.

#### **2.4.7.1 Έλεγχος τάσης στη διανεμημένη παραγωγή**

Ο έλεγχος της τάσης σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έχει σαν σκοπό να διατηρεί τη τιμή των τάσεων του συστήματος εντός των καθορισμένων ορίων. Γενικά, ο έλεγχος της τάσης γίνεται απαραίτητος λόγω της χωρητικότητας, της αντίστασης και της αυτεπαγωγής των διαφόρων στοιχείων ενός δικτύου όπως των μετασχηματιστών, των γραμμών και των καλωδίων, τα οποία στη συνέχεια για ευκολία θα αναφέρονται ως κλάδοι. Επειδή λοιπόν, οι κλάδοι έχουν χωρητικότητα, αντίσταση και αυτεπαγωγή, η ροή κάποιου ρεύματος μέσα από αυτούς προκαλεί διαφορά τάσης μεταξύ των άκρων τους. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων κάθε κλάδου, η τάση σε κάθε τέτοιο σημείο δεν επιτρέπεται να αποκλίνει πολύ από την ονομαστική τιμή της (συνήθως από 5% μέχρι 10%).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η τάση των ζυγών είναι μια 'τοπική' μεταβλητή, σε αντίθεση με τη συχνότητα του συστήματος, η οποία είναι μια μεταβλητή που αφορά συνολικά το σύστημα. Είναι επομένως προφανές ότι δεν είναι δυνατόν να ελεγχθούν όλοι οι

ζυγοί του συστήματος από ένα σημείο όπως αντίστοιχα μπορεί να γίνει με την συχνότητα. Ο έλεγχος της τάσης κάθε ζυγού μπορεί να γίνει μόνο στον συγκεκριμένο ζυγό. Η συγκεκριμένη παρατήρηση είναι εξαιρετικά σημαντική για να γίνει κατανοητή η επίδραση της αντικατάστασης της συμβατικής παραγωγής από ανεμογεννήτριες στον έλεγχο της τάσης.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι να επηρεαστεί η τάση στους κόμβους. Οι τρόποι αυτοί διαφέρουν θεμελιωδώς μεταξύ των δικτύων μεταφοράς και των δικτύων διεσπαρμένης παραγωγής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των κλάδων ανάμεσα στα δύο είδη δικτύων, αλλά και τους διαφορετικούς τύπους και αριθμό γεννητριών που υπάρχουν στο καθένα. Τα δίκτυα μεταφοράς αποτελούνται από εναέριες γραμμές με πολύ χαμηλή αντίσταση. Η διαφορά τάσης στα άκρα μιας γραμμής με μεγάλη επαγωγική αντίσταση σε σχέση με την ωμική αντίστασή της, συσχετίζεται άμεσα με την ροή άεργου ισχύος. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των συστημάτων μεταφοράς αλλά και των συνδεδεμένων γεννητριών, οι τάσεις των ζυγών ελέγχονται κυρίως αλλάζοντας την παραγωγή ή την κατανάλωση άεργου ισχύος των γεννητριών που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα. Αυτές οι γεννήτριες είναι εύκολα προσβάσιμες από τους χειριστές του συστήματος εξαιτίας του σχετικά μικρού πλήθους τους και του γεγονότος ότι είναι συνεχώς υπό παρακολούθηση. Επιπλέον είναι πολύ ευέλικτες στη λειτουργία τους και επιτρέπουν το συνεχή έλεγχο της παραγωγής άεργου ισχύος σε ένα μεγάλο εύρος.

Αρκετές φορές χρησιμοποιείται επιπλέον συγκεκριμένος εξοπλισμός για αυτή τη δουλειά. Ο εξοπλισμός αυτός είναι κατά κύριο λόγο πηγές άεργου ισχύος που μπορούν να ελεγχθούν.

Τα δίκτυα διεσπαρμένης παραγωγής αποτελούνται από εναέριες γραμμές ή υπόγεια καλώδια, στα οποία η ωμική αντίσταση δεν είναι αμελητέα σε σχέση με την αυτεπαγωγή. Οπότε, η επίδραση της άεργου ισχύος στις τάσεις των κόμβων είναι λιγότερο έντονη από την περίπτωση που έχουμε συστήματα μεταφοράς. Επιπλέον, οι γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες σε δίκτυα διεσπαρμένης παραγωγής δεν είναι πάντοτε ικανές να μεταβάλλουν την άεργο ισχύ τους για να συνεισφέρουν στον έλεγχο της τάσης. Άρα η τάση των κόμβων σε αυτά τα δίκτυα ελέγχεται κυρίως αλλάζοντας το λόγο μετασχηματισμού στο μετασχηματιστή που συνδέει το δίκτυο σε υψηλότερα επίπεδα τάσης και μερικές φορές επίσης με συσκευές οι

οποίες παράγουν ή καταναλώνουν άεργο ισχύ, όπως πυκνωτές. Σε γενικές γραμμές τα δίκτυα διεσπαρμένης ενέργειας δίνουν πολύ λιγότερες δυνατότητες ελέγχου της τάσης.

## 2.5 Τιμή πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος από ανεμογεννήτριες

Για την τιμολόγηση ενέργειας η οποία παράγεται με τη χρήση ανεμογεννητριών υπάρχουν δύο κατηγορίες:

1. Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50 kW, για τις οποίες η τιμή της kWh είναι 0,08785 €/kWh για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα ενώ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά είναι 0,09945 €/kWh

2. Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50 kW, για τις οποίες η τιμή της kWh είναι 0,25 €/kWh

Άρα η συγκεκριμένη μελέτη ανήκει στην δεύτερη κατηγορία όπου η τιμή της kWh είναι 0,25 €/kWh μέχρι τα 50 kW και στην πρώτη κατηγορία για την περίπτωση των 100 kW όπου η τιμή της kWh είναι 0,08785 €/kWh

## 2.6 Βιβλιογραφία

1. M. B. Rifai , T. H. Ortmeyer , "Dynamic analysis of a doubly fed generator in power system applications." , Electric Machines and Power Systems , Vol. 21, pp 141-150, 1993.
2. Θ. Ζαχαρίας, "Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι" , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006
3. V. Tsimplostephanakis, A. Safacas : "Investigation of the dynamic behaviour of a weak grid during connecting a wind turbine generator via simulation", ELECTRIMACS 1996, Saint Nazaire , France, pp. 1095 - 1100.
4. Stephen J. Chapman : Electric Machinery Fundamentals

5. [www.ewea.org](http://www.ewea.org)

6. Ηλεκτρική προστασία ανεμογεννητριών , Χαράλαμπος Γ. Κουτρούλης.

7. <http://www.electroepistimi.blogspot.com/>

8. <http://en.wikipedia.org>

9. Donald Fink , H. Wayne Beaty : Standard handbook for electrical engineers , McGraw Hill.

10. L.L. Freris , Wind Energy Conversion Systems , Prentice Hall International (U.K) , Ltd.1990.

11. <http://www.gneng.gr>

12. A. Petersson , PhD. “Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction, Generators for Wind Turbines” , Division of Electric Power Engineering , Chalmers , University of Technology , Sweden 2005.

13. <http://www.cres.gr>

14. Α.Σαφάκας , «Ηλεκτρικές Μηχανές Ι» , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών,2005

15. Τεχνολογίες ελέγχου στα αιολικά συστήματα , Αλεξανδρίδης Θ. Αντώνιος

16. <http://www.ppcr.gr>

17. ChemmangotV.Nayar , MochamadAshari , and W.W.L. Keerthipala , “A Grid-Interactive , Photovoltaic Uninterruptible Power Supply System Using Battery Storage and a Back Up Diesel Generator” , IEEE Transactions on energy conversion , vol.15 , no.3 , September 2000

18. <http://www.mathworks.com/>

19. Θ. Ζαχαρίας, “Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ” , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών,2007

20. Π. Μαλατέστας, Α. Μανιάς, “Ηλεκτρική Κίνηση” , Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2002.

21. Α.Σαφάκας, «Ηλεκτρικές Μηχανές ΙΙ» , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών,2006

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΕ ΣΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Για την εφαρμογή και την σύγκριση του φωτοβολταϊκού πάρκου και της ανεμογεννήτριας θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα RETScreen. Θα γίνουν τέσσερις συγκρίσεις:

- 1) Φωτοβολταϊκό πάρκο 20 kW με Ανεμογεννήτρια 20 kW
- 2) Φωτοβολταϊκό πάρκο 50 kW με Ανεμογεννήτρια 50 kW
- 3) Φωτοβολταϊκό πάρκο 100 kW με Ανεμογεννήτρια 100 Kw
- 4) Πρόγραμμα netmetering 20 kW με φ/β πάρκο 20 kW (της πρώτης περίπτωσης)

Στην ουσία θα εξετάσουμε ποια ΑΠΕ είναι πιο συμφέρουσα σε ένα θεωρητικόστρατόπεδο το οποίο θεωρήσαμε ότι βρίσκεται στη Λαμία που είναι και ο σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης.

#### **3.2 Πρόγραμμα RETScreen**

Το πακέτο λογισμικού RETScreen είναι ένα μοναδικό εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε με τη συμβολή μεγάλου αριθμού ειδικών από την κυβέρνηση, τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό χώρο. Το λογισμικό, που παρέχεται δωρεάν,

μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για να αποτιμηθεί η παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας, τα κόστη, οι μειώσεις εκπομπών, η οικονομική βιωσιμότητα και το ρίσκο για διάφορα είδη Τεχνολογιών Ανανεώσιμης-Ενέργειας και Ενεργειακά-Αποδοτικών Τεχνολογιών (RETs). Το λογισμικό (που διατίθεται σε πολλές γλώσσες) περιλαμβάνει επίσης βάσεις δεδομένων προϊόντων, έργων, σημείων αναφοράς, υδρολογικών και κλιματολογικών παραμέτρων, ένα αναλυτικό εγχειρίδιο χρήστη και ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα κολεγιακού/πανεπιστημιακού επιπέδου, που βασίζεται σε μελέτη περίπτωσης, συμπεριλαμβανομένου ενός ηλεκτρονικού τεχνολογικού εγχειριδίου.

Το RETScreen 4 (το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη μελέτη) είναι ένα βασισμένο στο Excel εργαλείο λογισμικού ανάλυσης έργων καθαρής ενέργειας που βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να προσδιορίζουν γρήγορα και ανέξοδα την τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα πιθανών έργων ανανεώσιμης ενέργειας, ενεργειακής αποδοτικότητας και συμπαραγωγής.

Τα βασικότερα μέρη αυτού του λογισμικού από τα οποία αποτελείται είναι:

- 1) Η εκκίνηση στην οποία συμπληρώνει όνομα ο χρήστης, σκοπό, ΑΠΕ που θέλει να χρησιμοποιήσει, τοποθεσία έργου κ.τ.λ.
- 2) Το ενεργειακό μοντέλο που αποτελείται από το σύστημα ηλεκτρισμού προτεινόμενης περίπτωσης, ανάλυση εκπομπών και οικονομική ανάλυση.
- 3) Τα εργαλεία όπου μπορείς με αυτά να εισάγεις διάφορα δεδομένα στην μελέτη.

### **3.3 Περίπτωση Φ/Β πάρκου 20 kW και ανεμογεννήτριας 20 kW**

#### **3.3.1 Φωτοβολταϊκό πάρκο 20 KW**


##### **3.3.1.1 Επιλογή κατασκευαστή Φ/Β πάνελ και τύπο μετατροπέα**

Η εταιρία η οποία έχει επιλεγεί είναι η Γερμανική centrosolar και ο τύπος των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι ο S 235P60 Professional:




**Εικόνα 3.1: Φ/Βπάνελ S 235P60 Professional**

Ακολουθεί ένας πίνακας με τα στοιχεία του φωτοβολταϊκού πλαισίου:

ID Module	14744
Supplier	Centrosolar AG
Origin country	Germany
Module type	S 235P60 Professional
BIPV	
Nominal power	235
Pos Power tolerance	2,1
Neg Power tolerance	0
Module efficiency	14,29962
Cell type	poly
Cell shape	square
Number of cells	60
Cell size	156 x 156
Length	1660
Width	990
Thickness frame or laminate	40
Thickness with box	40
Frame type	aluminum
Composition	glass-tedlar



Connection type	cable H + S
Weight	20
Voc	36,46
Isc	8,59
Voc at -10 degree C	40,92635
Vmpp at 70 degree C	24,17975
Voltage coefficient	-0,35
Current coefficient	0,03
Power coefficient	-0,43
NOCT	46
Max system voltage EU	1000
Vmpp 1000	28,7
Impp 1000	8,19
Vmpp 800	25,37
Impp 800	6,67
Power guarantee percent 1	90
Power guarantee percent 2	80
Power guarantee years 1	10
Power guarantee years 2	26
Product guarantee	5
Remarks DE	Antireflexglas
Website	<a href="http://www.centrosolar.com">www.centrosolar.com</a>
Production start month	10
Production start year	2009
Current at market	
Distribution area	worldwide

**Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ S 235P60 Professional**

Όπως παρατηρούμε από τον πιο πάνω πίνακα τα φωτοβολταϊκά κελιά είναι πολυκρυσταλλικά και κατασκευασμένα από αλουμίνιο. Ακόμα το κάθε πάνελ αποτελείται

από 60 κελιά και με μέγεθος 156x156. Επίσης το κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ έχει μήκος 1,660m (μέτρα) και πλάτος 0,990m.

Ο τύπος μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο Sunny Tripower STP 10000TL-10.

Ο τριφασικός μετατροπέας Sunny Tripower ενδείκνυται για τη διαστασιολόγηση με κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου χάρη στη νέα τεχνολογία Optiflex με δύο εισόδους ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος MPP και με μεγάλο εύρος τιμών τάσης εισόδου. Επιπλέον εξασφαλίζει μέγιστη ευελιξία στο σχεδιασμό της εγκατάστασης έως και εγκαταστάσεις κλίμακας Megawatt. Ο Sunny Tripower πληροί όλες τις απαιτήσεις για την παροχή άεργου ισχύος, τη διαχείριση τροφοδοσίας και την υποστήριξη δικτύου συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο αξιόπιστα στη διαχείριση του δικτύου. Το ολοκληρωμένο σύστημα ασφάλειας Optiprotect με εντοπισμό βλάβης στοιχειοσειρών, ηλεκτρονική ασφάλεια των στοιχειοσειρών και ενσωματωμένο απαγωγό υπέρτασης DC Τύπου II, εξασφαλίζουν την υψηλή διαθεσιμότητα του μετατροπέα.



**Εικόνα 3.2: Ο τριφασικός μετατροπέας Sunny Tripower**

Παρακάτω αναγράφονται τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μετατροπέα:

	<b>Sunny Tripower 8000TL</b>	<b>Sunny Tripower 1000TL</b>	<b>Sunny Tripower 12000TL</b>	<b>Sunny Tripower 15000TL</b>	<b>Sunny Tripower 17000TL</b>
<b>Είσοδος (DC)</b>					
Μέγιστη ισχύς DC (@ cos φ=1)	8200 W	10200 W	12250 W	15340 W	17410 W
Μέγιστη τάση εισόδου	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Εύρος τάσης MPP / Ονομαστική τάση εισόδου	320 V – 800 V / 600 V	320 V – 800 V / 600 V	380 V – 800 V / 600 V	360 V – 800 V / 600 V	400 V – 800 V / 600 V
Ελάχιστη τάση εισόδου / Αρχική τάση εισόδου	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου σε εισόδο A / εισόδο B	22 A / 11 A	22 A / 11 A	22 A / 11 A	33 A / 11 A	33 A / 11 A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ανά στοιχειοσειρά σε εισόδο A** / εισόδο B**	33 A / 12,5 A	33 A / 12,5 A	33 A / 12,5 A	33 A / 12,5 A	33 A / 12,5 A
Αριθμός ανεξάρτητων εισόδων MPP / Στοιχειοσειρές ανά εισόδο MPP	2 / A:4, B:1	2 / A:4; B:1	2 / A:4, B:1	2 / A:5; B:1	2 / A:5, B:1

**Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά εισόδου μετατροπέα SunnyTripower**

<b>Έξοδος (AC)</b>					
Ονομαστική ισχύς (@230 V, 50 Hz)	8000 W	10000 W	12000 W	15000 W	17000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	8000 VA	10000 VA	12000 VA	15000 VA	17000 VA
Ονομαστική τάση AC	3 / N / PE, 220 / 380 V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 220 / 380 V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 220 / 380 V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 220 / 380 V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 220 / 380 V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V
Εύρος ονομαστικής τάσης AC	160 V – 280 V	160 V – 280 V	160 V – 280 V	160 V – 280 V	160 V – 280 V
Συχνότητα δικτύου AC / Εύρος	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Ονομαστική συχνότητα δικτύου / Ονομαστική τάση δικτύου	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	16 A	16 A	19,2 A	24 A	24,6 A
Συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ	1	1	1	1	1
Ρυθμιζόμενος συντελεστής πρόσφυσης	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση

**Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά εξόδου μετατροπέα SunnyTripower**

<b>Βαθμός απόδοσης</b>					
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	98,1 % / 97,5 %	98,1 % / 97,7 %	98,1 % / 97,7 %	98,2 % / 97,8 %	98,2 % / 97,8 %

**Πίνακας 3.4: Βαθμός απόδοσης μετατροπέα SunnyTripower**

Πλεονεκτήματα του τριφασικού μετατροπέα Sunny Tripower:

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης από 98,0 %

- Βέλτιστος μηχανισμός ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος χάρη στο OptiTrac Global Peak
- Επικοινωνία με Bluetooth®Ευελιξία
- Τάση εισόδου DC έως 1.000 V
- Ενσωματωμένες λειτουργίες διαχείρισης δικτύου
- Απόλυτα ακριβής σχεδιασμός εγκατάστασης χάρη στο Optiflex Ευκολία
- Σύνδεση καλωδιώσεων χωρίς εργαλεία
- Ενιαίο σύστημα σύνδεσης DC SUNCLIX
- Εύκολα προσβάσιμο τμήμα καλωδίωσης

### 3.3.1.2 Πρόγραμμα RETScreen για Φ/B 20 kW

*Λογισμικό Ανάλυσης Έργων Καθαρής Ενέργειας*

---

**Πληροφορία έργου** [Δείτε Βάση δεδομένων έργου](#)

Όνομασία έργου	Φωτοβολταϊκό Πάρκο σε Στρατόπεδο
Τοποθεσία έργου	Λαμία
Συντάχθηκε για	
Συντάχθηκε από	Τριανταφυλλάκη - Κόλλια
Τύπος έργου	Παραγωγή ηλεκτρισμού
Τεχνολογία	Φωτοβολταϊκό
Τύπος δικτύου	Κεντρικό δίκτυο
Τύπος ανάλυσης	Μέθοδος 1
Θερμογόνος ικανότητα αναφοράς	Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (ΑΘΙ)
Δείξε ρυθμίσεις	<input checked="" type="checkbox"/>
Γλώσσα	Greek - Ελληνικά
Εγχειρίδιο Χρήστη	English - Anglais
Νόμισμα	Σύμβολο Ευρώ
Μονάδες	Μονάδες μετρικού συστήματος

---

**Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας** [Επιλέξτε τοποθεσία κλιματικών δεδομένων](#)

Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Lamia
-------------------------------	-------

Εικόνα 3.3: Εκκίνηση Φ/B πάρκου 20 kW

RETScreen

Σύστημα: Ηλεκτρισμός

Τεχνολογία: Φωτοβολταϊκό

Τύπος: Πολυ-Si

Κατασκευαστής: Centrosolar

Μοντέλο: Πολυ-Si - S 235P60 Professional

Χωρητικότητα ανά μονάδα: W 235

Αριθμός μονάδων: 85

Ισχύς: W 19.975

Βαθμός απόδοσης: 14,3 %  
Επιφάνεια πλαισίου: 1,64 m<sup>2</sup>

✓ ❌ 🌐 🖨️ ?

**Εικόνα 3.4: Βάση δεδομένων προϊόντος φωτοβολταϊκού πάρκου 20 kW**

	Άρνη	
	Κλιματολογικών	
	Μονάδα	Τοποθεσία
Γεωγραφικό πλάτος	39	38,0
Γεωγραφικό μήκος	14	22,4
Υψόμετρο	m	40
Θερμοκρασία άριστης βίωσης (θεατρική)	°C	-0,8
Θερμοκρασία ψύξης βέλτιστου	°C	31,7
Πλάτος (διαίρεση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	22,0

Μήνας	Μεγίστη ημερήσια							
	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	αποσβεστική Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμ. ημέρας θέρμανσης	Βαθμ. ημέρας ψύξης
	°C	%	κWh/m <sup>2</sup> h	kPa	m/s, υπερόλεππ	°C	°C-ημ.	°C-ημ.
Ιανουάριος	5,8	72,0%	1,84	97,0	4,2	5,1	517	0
Φεβρουάριος	6,4	65,0%	2,60	97,5	4,4	6,5	526	0
Μάρτιος	9,0	58,0%	3,02	97,4	3,0	10,0	269	0
Απριλίου	13,1	50,2%	3,89	97,1	3,1	18,0	118	124
Μαΐος	16,9	42,5%	5,80	97,7	3,7	23,7	0	307
Ιούνιος	24,7	36,0%	7,00	97,2	3,0	20,0	0	442
Ιούλιος	27,3	31,1%	6,80	97,1	3,3	31,1	0	630
Αύγουστος	28,0	38,3%	6,20	97,1	3,3	30,6	0	626
Σεπτέμβριος	22,7	43,3%	4,83	97,4	3,1	25,6	0	382
Οκτώβριος	17,0	53,0%	3,70	97,0	3,0	10,0	10	232
Νοέμβριος	11,8	68,1%	2,01	97,6	3,0	11,5	100	48
Δεκέμβριος	7,2	73,4%	1,56	97,6	4,3	6,4	336	0
Ετήσιο	16,2	52,1%	4,20	97,4	3,6	19,0	1.031	2.090
Μεγιστό	m				10,0	0,0		

Εικόνα 3.5: Κλιματολογικά δεδομένα Φ/Β πάρκου 20 kW



Τύπος ανάλογη,

○ Μέσος 1

⊙ Μέσος 2

Αξιολόγηση πηγών

Παρουσία παρακολούθησης του ήλιου

Κόση

Αμοιβαίο

Σταθεροποιημένα	
Κόση	0,0
Αμοιβαίο	0,0

Φ/Β Πάρκο

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή	Ημερήσια	Τηνή	Μηνιαία
	ακτινοβολία - Οριζόντια	ακτινοβολία -	παρολιόμενου	πάρκο στα
	kWh/m <sup>2</sup> /ημ	kWh/m <sup>2</sup> /ημ	ηλεκτρισμού	έκτος
			€/MWh	MWh
Ιανουάριος	1,81	2,68	115,0	1,880
Φεβρουάριος	3,80	3,90	115,0	1,778
Μάρτιος	5,67	4,18	115,0	2,385
Απρίλιος	4,89	5,11	115,0	2,754
Μαΐος	6,00	6,00	115,0	3,030
Ιούνιος	7,08	6,97	115,0	3,350
Ιούλιος	8,08	6,94	115,0	3,408
Αύγουστος	6,70	6,91	115,0	3,385
Σεπτέμβριος	4,00	5,47	115,0	2,020
Οκτώβριος	3,16	3,97	115,0	2,191
Νοέμβριος	2,01	2,63	115,0	1,608
Δεκέμβριος	1,58	2,90	115,0	1,946
Ετήσιο	4,23	4,60	115,00	20,603
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντια επίπεδο	MWh/m <sup>2</sup>	1,54		
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο, επίπεδο	MWh/m <sup>2</sup>	1,88		

Φωτοβολταϊκά

Εικόνα 3.6: Σύστημα ηλεκτρισμού Φ/Β πάρκου 20 kW

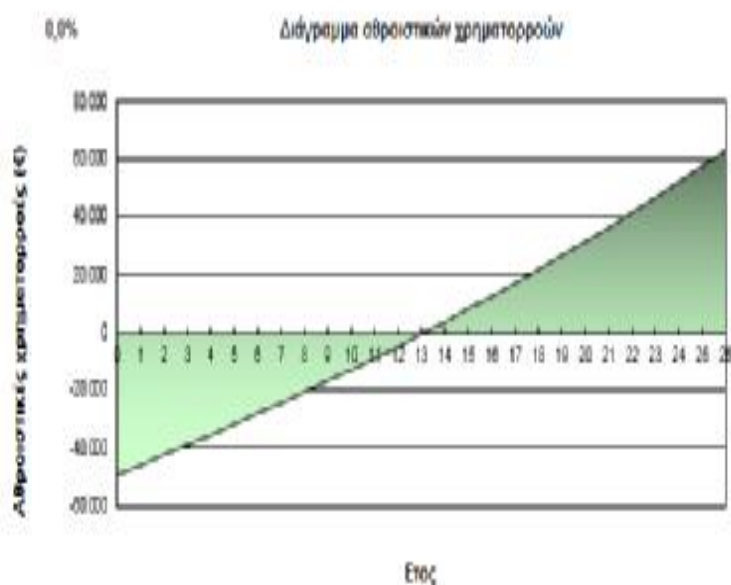
Φωτοβολταϊκό			
Τύπος		Γλυκό SI	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	19,98	€ 20.000
Κιτιστευσιμότητα		Combrank	
Μοντέλο		Polys-SI - S 20SP00 Professional	85 μονάδα(-ες)
Ποσοστό απόδοσης	%	14,2%	
Όνομαστική θερμοκρασία λειτουργίας καλίου	°C	4%	
Συντελεστής θερμοκρασίας	% / °C	0,10%	
Επιφάνεια ηλιακού πλαισίου	m <sup>2</sup>	140	
Λοιπές απώλειες	%	5,0%	
Μετατροπέας (inverter)			
Ποσοστό απόδοσης	%	90,2%	
Ισχύς	kW	10,0	
Λοιπές απώλειες	%	0,0%	
Παράδοση			
Συντελεστής ισχύος	%	16,9%	
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	29,603	

**Εικόνα 3.7: Σύστημα ηλεκτρισμού Φ/Β πάρκου 20 kW**

Όπως βλέπουμε από το σύστημα ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκαν 85 φωτοβολταϊκά πάνελ με συνολική ισχύ 19,98 kW. Το σύστημα έχει συντελεστή ισχύος 16,9 % και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο 29,603 MWh.

## Οικονομική Ανάλυση

<b>Οικονομικοί Παράμετροι</b>			
Τμή πληθωρισμού	%		2,1%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		26
Τεκμηριολόγιο	%		0%
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	€	20.000	40,8%
Λοιπά κόστη	€	29.000	59,2%
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>€</b>	<b>49.000</b>	<b>100,0%</b>
<b>Κίνητρα και αποχορηγήσεις</b>	<b>€</b>		<b>0,0%</b>
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (αφροσύνη)	€	200	
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	0	
	€		
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>	<b>€</b>	<b>200</b>	
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	0	
Έσοδο από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	3.404	
	€		
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα</b>	<b>€</b>	<b>3.404</b>	
<b>Οικονομική βιωσιμότητα</b>			
(IRR) τρία φάρα - περιουσιακά στοιχεία	%		8,8%
Απλή αποπληρωμή	έτος		15,3
Αποπληρωμή μετοχών	έτος		13,2



Εικόνα 3.8: Οικονομική ανάλυση Φ/Β πάρκου 20 kW

Από την οικονομική ανάλυση και το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάρκεια ζωής έργου είναι 26 χρόνια, τα συνολικά έξοδα ανέρχονται στο ποσό των 49.000 € με ετήσιο κόστος συντήρησης 200 € και ετήσια έσοδα 3.404 €. Ακόμα, παρατηρούμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης θα επιτευχθεί σε περίπου 15 χρόνια.

### 3.3.2 Επιλογή ανεμογεννήτριας

Η εταιρία από την οποία έχει επιλεγθεί η ανεμογεννήτρια είναι η Γαλλική Vergnet και ο τύπος της ανεμογεννήτριας θα είναι Vergnet GEV 10/20 - 30 m 20kWh

Ακολουθεί ένας πίνακας με τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας:

#### Power

Rated power: 20,0 kW

Cut-in WIND speed: 4,5 m/s

Rated wind speed: 16,0 m/s

Cut-out wind speed: 20,0 m/s

Survival wind speed: 60,0 m/s

Wind zone (DIBt): -

Wind class (IEC):

#### Rotor

Diameter: 10,0 m

Swept area: 78,5 m<sup>2</sup>

Number of blades: 2

Rotor speed, max: 139,0 U/min

Tipspeed: 72,8 m/s

Type: -

Material: GFK

Manufacturer: Vergnet

Power density 1: 254,8 W/m<sup>2</sup>

Power density 2: 3,9 m<sup>2</sup>/kW

#### Generator

Type: Asynchronous

Number: 1,0

Speed, max: 1.500,0 U/min

Voltage: 90,0 V

Grid connection: -

Grid frequency: 50,0 Hz

Hersteller: -

### **Tower**

Hub height: 18/24/30 m

Type: Steel tube

Shape: conical

Corrosion protection: painted

Manufacturer: -

### **Weight**

Single blade:-

Hub: 0,1 t

Rotor: -

Nacelle: 0,5 t

Tower, max: 0,3 t

Total weight:

### **Manufacturer**

Manufacturer: Vergnet Eolien SA

Country: France

City: Ormes

Zip code: 45140

**Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας Vergnet GEV 10/20 - 30 m**

### 3.3.2.1 Πρόγραμμα RETScreen για ανεμογεννήτρια 20 kW

**Λογισμικό Ανάλυσης Έργων Καθαρής Ενέργειας**

**Πληροφορία έργου** [Δείτε Βάση δεδομένων έργου](#)

Όνομασία έργου	Ανεμογεννήτρια σε Στρατόπεδο
Τοποθεσία έργου	Λαμία
Συντάχθηκε για	
Συντάχθηκε από	Τριανταφυλλάκη - Κόλλια
Τύπος έργου	Παραγωγή ηλεκτρισμού
Τεχνολογία	Ανεμογεννήτρια
Τύπος δικτύου	Κεντρικό δίκτυο
Τύπος ανάλυσης	Μέθοδος 1
Θερμογόνος ικανότητα αναφοράς	Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (ΑΘΙ)
Δείξε ρυθμίσεις	<input checked="" type="checkbox"/>
Γλώσσα	Greek - Ελληνικά
Εγχειρίδιο Χρήστη	English - Anglais
Νόμισμα	Σύμβολο Ευρώ
Μονάδες	Μονάδες μετρικού συστήματος

**Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας** [Επιλέξτε τοποθεσία κλιματικών δεδομένων](#)

Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Lamia
-------------------------------	-------

Εικόνα 3.9: Εκκίνηση ανεμογεννήτριας 20 kW

RETScreen

Σύστημα: Ηλεκτρισμός

Τεχνολογία: Ανεμογεννήτρια

Κατασκευαστής: Vergnet

Μοντέλο: VERGNET GEV 10/20 - 30m

Χωρητικότητα ανά μονάδα: kW 20,0

Αριθμός μονάδων: 1

Ισχύς: kW 20,0

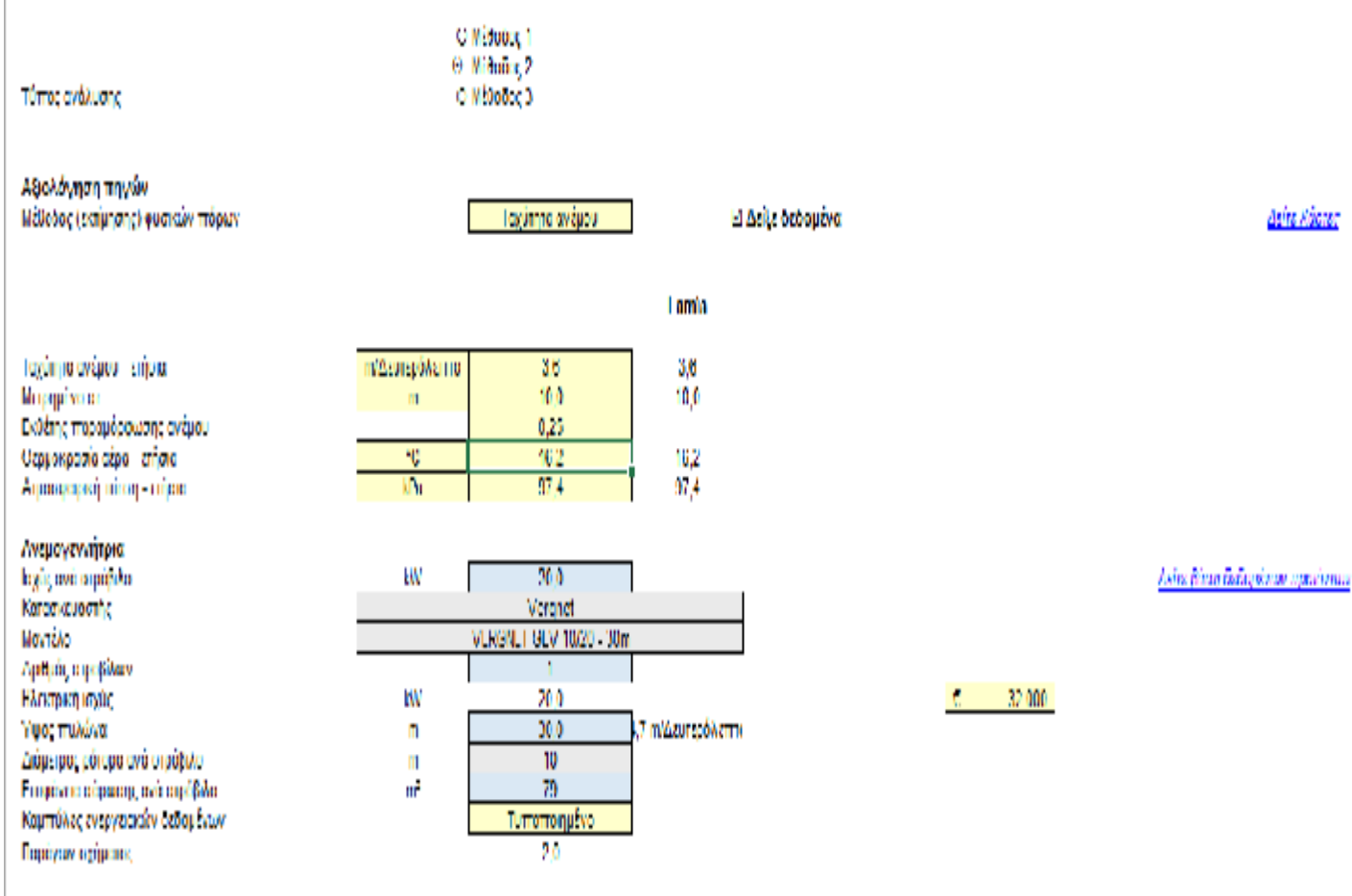
Υψος πυλώνα: 30 m  
 Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο: 10 m  
 Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο: 78,5 m<sup>2</sup>

Δεδομένα καμπύλης ισχύος

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτε	Ισχύς kW
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	0,0
5	0,5
6	1,9
7	4,3
8	6,6
9	8,9
10	11,0
11	13,0
12	14,8
13	16,5
14	17,9
15	19,2
16	20,2
17	20,9
18	21,3
19	21,5
20	21,4
21	
22	
23	
24	
25	

✓ ✗ 🌐 🖨️ ?

Εικόνα 3.10: Βάση δεδομένων προϊόντος ανεμογεννήτριας 20 kW



Εικόνα 3.11: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 20 kW



Δείξε δεδομένα

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	Δεδομένα καμπύλης ισχύος kW	Καμπύλες ενεργειακών MWh
0	0,0	
1	0,0	
2	0,0	
3	0,0	2,3
4	0,0	9,2
5	0,5	20,2
6	1,9	33,5
7	4,3	47,5
8	6,6	60,6
9	8,9	71,6
10	11,0	79,9
11	13,0	85,3
12	14,8	88,1
13	16,5	88,8
14	17,9	87,8
15	19,2	85,8
16	20,2	
17	20,9	
18	21,3	
19	21,5	
20	21,4	
21		
22		
23		
24		
25 - 30		

Εικόνα 3.12: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 20 kW

Απώλειες διάσμης  
Απώλειες πτερυγίου  
Λοιπές απώλειες  
Διασυστάματα

%	2,0%
%	2,0%
%	2,0%
%	98,0%

Περίληψη  
Συντελεστής ισχύος  
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο

%	0,6%
MWh	15

Τμή τιμολόγησης ηλεκτρισμού

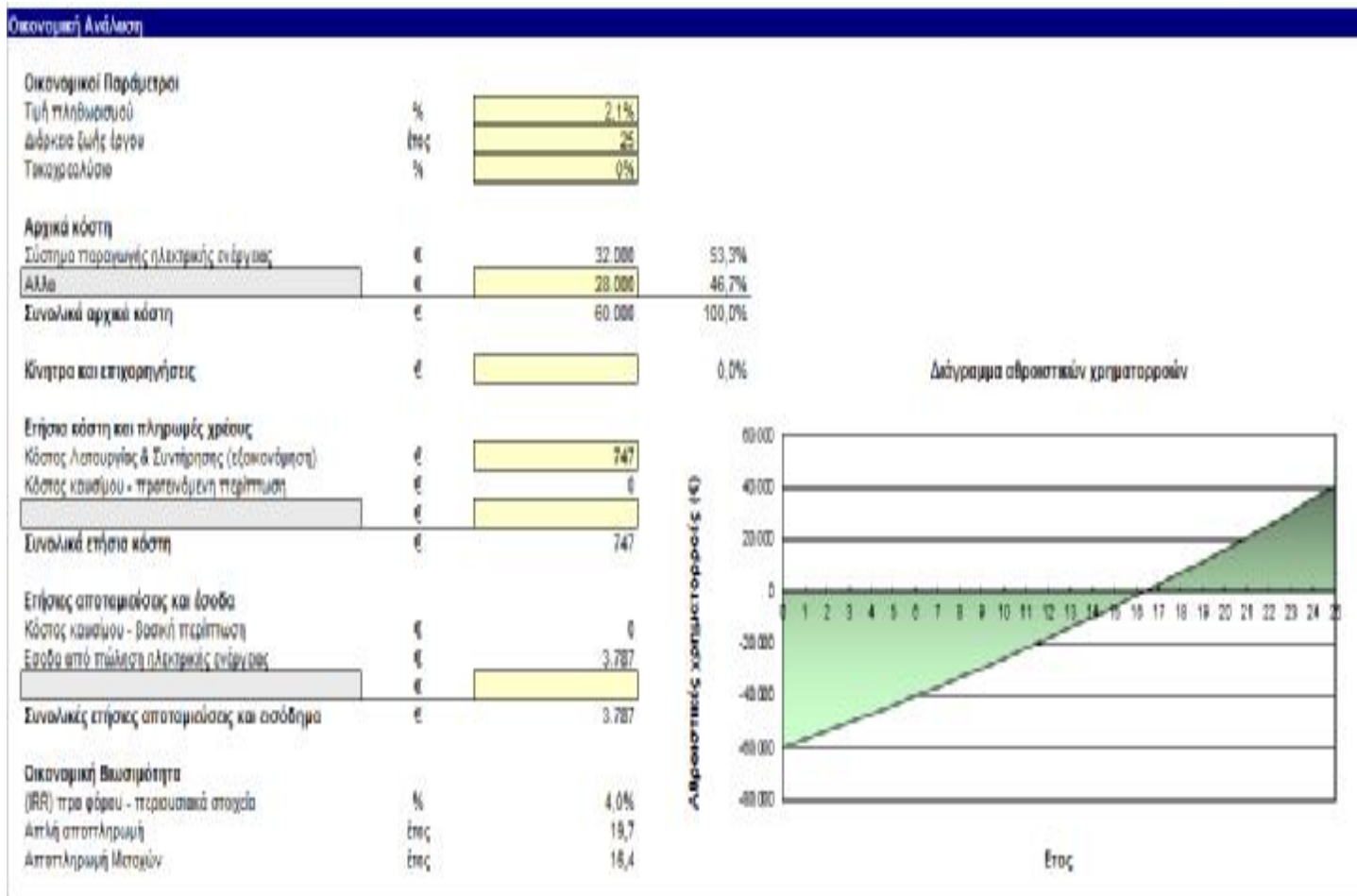
€/MWh	250,00
-------	--------

Ως Δείξε δεδομένα

Μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή  
Συντελεστής πίεσης  
Συντελεστής θερμοκρασίας  
Συνολική ενεργειακή παραγωγή  
Συντελεστής απωλειών  
Ειδική παραγωγή

Ανά στρόβιλο	
MWh	17
	0,962
	0,990
MWh	17
	0,91
kWh/m <sup>2</sup>	103

Εικόνα 3.13: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 20 kW



**Εικόνα 3.14: Οικονομική ανάλυση ανεμογεννήτριας 20 kW**

Όπως βλέπουμε από το σύστημα ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκε μία ανεμογεννήτρια με συνολική ισχύ 20 kW. Το σύστημα έχει συντελεστή ισχύος 8,6 % και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο 15 MWh.

Από την οικονομική ανάλυση και το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάρκεια ζωής έργου είναι 25 χρόνια, τα συνολικά έξοδα ανέρχονται στο ποσό των 60.000 € με ετήσιο κόστος συντήρησης 747 € και ετήσια έσοδα 3.787 €. Ακόμα, παρατηρούμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης θα επιτευχθεί σε λιγότερο από 20 χρόνια.

### 3.4 Σύγκριση περίπτωσης Φ/Β Πάρκου 20 kW και Ανεμογεννήτριας 20 kW

	Συντελεστής Ισχύος (%)	Ηλ. Ενέργεια στο Δίκτυο (MWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Ετήσιο Κόστος Συντήρησης (€)	Διάρκεια Ζωής (Χρόνια)	Ετήσια Έσοδα (€)	Αποπληρωμή (Χρόνια)
Φ/Β Πάρκο 20 kW	16,9	29,603	49.000	200	26	3.404	15,3
Ανεμογεννήτρια 20 kW	8,6	15	60.000	747	25	3.787	19,7

Πίνακας 3.6 : Σύγκριση περίπτωσης 20 KW

Όπως παρατηρούμε και από τον παραπάνω πίνακα η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι αυτή του φωτοβολταϊκού πάρκου. Έχει καλύτερο συντελεστή ισχύος επομένως δίνει περισσότερη ενέργεια στο δίκτυο. Ακόμα, είναι πιο φθηνό το κόστος και παρόλο που έχει μικρότερα ετήσια έσοδα επιτυγχάνει πιο γρήγορη αποπληρωμή που σημαίνει ότι θα αρχίσει να εξοικονομεί πιο γρήγορα από την περίπτωση της ανεμογεννήτριας. Ο βασικότερος λόγος που δεν συμφέρει η περίπτωση της ανεμογεννήτριας είναι ότι η Λαμία έχει μικρή ταχύτητα ανέμου (3,6 m/s) για την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας. Για να ήταν συμφέρουσα η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας θα έπρεπε η ταχύτητα ανέμου να ήταν τουλάχιστον 5 m/s.

### 3.5 Περίπτωση Φ/Β πάρκου 50 kW και ανεμογεννήτριας 50 kW

#### 3.5.1 Φ/Β πάρκο 50 kW

Και σε αυτό φωτοβολταϊκό πάρκο θα χρησιμοποιηθεί η ίδια εταιρία φ/β πάνελ (S 235P60 Professional) και ο ίδιος μετατροπέας (Sunny Tripower STP 10000TL-10) όπως στην περίπτωση των 20 kW.

##### 3.5.1.1 Πρόγραμμα RETScreen για Φ/Β 50 kW

The screenshot shows the RETScreen software interface with the following configuration details:

Σύστημα	Ηλεκτρισμός
Τεχνολογία	Φωτοβολταϊκό
Τύπος	Πολυ-Si
Κατασκευαστής	Centrosolar
Μοντέλο	Πολυ-Si - S 235P60 Professional
Χωρητικότητα ανά μονάδα	W 235
Αριθμός μονάδων	212
Ισχύς	W 49.820

Βαθμός απόδοσης: 14,3 %  
Επιφάνεια πλαισίου: 1,64 m<sup>2</sup>

At the bottom of the window, there are five icons: a green checkmark, a red prohibition sign, a globe, a printer, and a question mark.

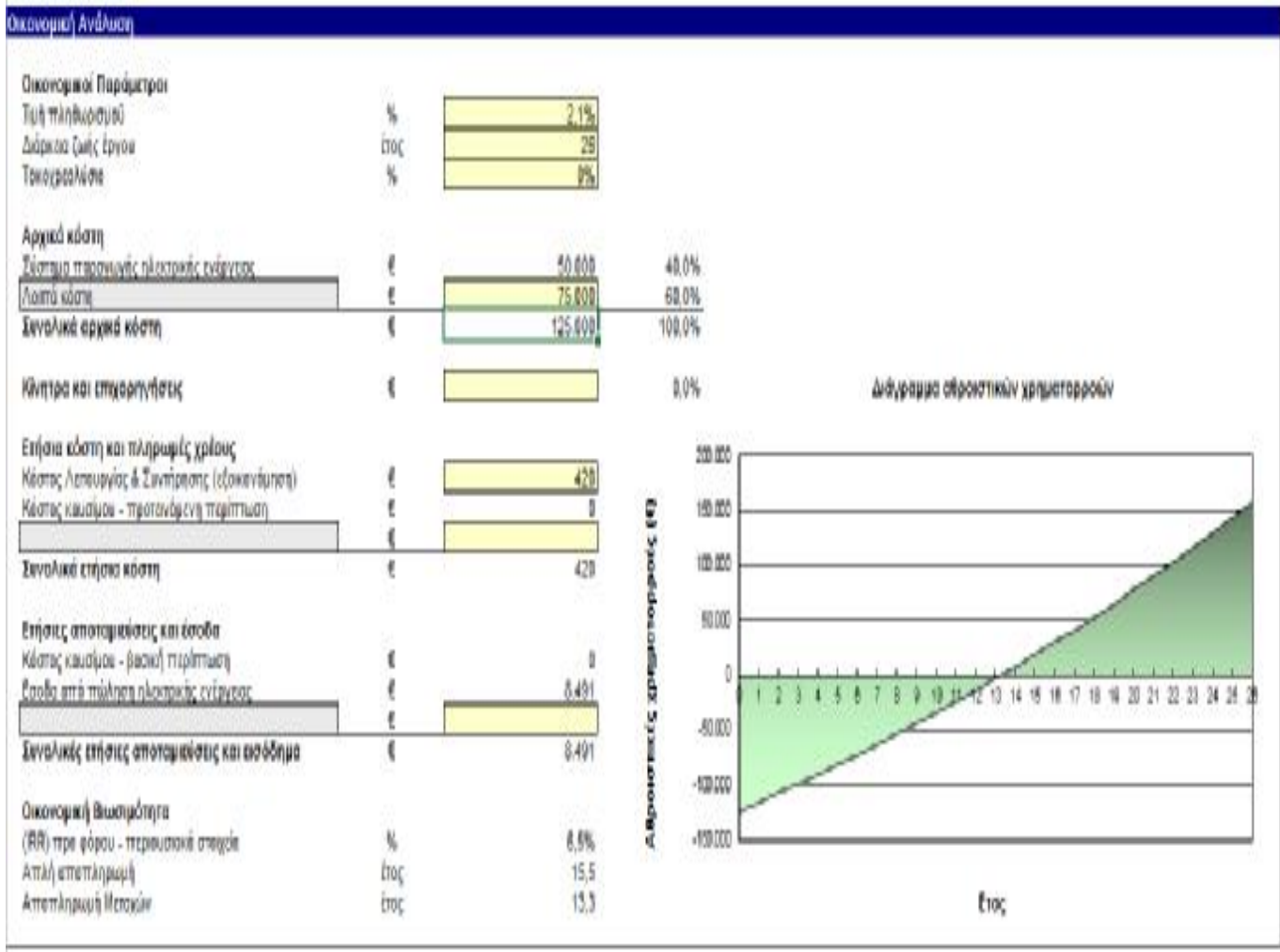
Εικόνα 3.15: Βάση δεδομένων προϊόντος φωτοβολταϊκού πάρκου 50 kW

Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής με μόνιμες		Αύξηση αρχικού κόστους																																																																							
Τύπος ανάλυσης:	<input type="radio"/> Μήνες: 1 <input checked="" type="radio"/> Ημέρες: 2																																																																								
Αξιολόγηση πηγών																																																																									
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου		Σταθεροποιημένα																																																																							
Κλίση	^	30,0																																																																							
Αζιμουθίο	^	0,0																																																																							
<p>Πινακίδα δεδομένων</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Μήνας</th> <th>Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντιο kWh/m<sup>2</sup>/ημ</th> <th>Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - kWh/m<sup>2</sup>/ημ</th> <th>Τιμή πωλούμενου ηλεκτροπαραγ. €/MWh</th> <th>Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Ιανουάριος</td><td>1,94</td><td>2,00</td><td>115,0</td><td>4.109</td></tr> <tr><td>Φεβρουάριος</td><td>2,00</td><td>3,39</td><td>115,0</td><td>4.106</td></tr> <tr><td>Μάρτιος</td><td>3,82</td><td>4,18</td><td>115,0</td><td>5.898</td></tr> <tr><td>Απρίλιος</td><td>4,88</td><td>5,11</td><td>115,0</td><td>6.870</td></tr> <tr><td>Μάιος</td><td>5,80</td><td>5,86</td><td>115,0</td><td>7.577</td></tr> <tr><td>Ιούνιος</td><td>7,08</td><td>6,57</td><td>115,0</td><td>8.366</td></tr> <tr><td>Ιούλιος</td><td>6,93</td><td>6,54</td><td>115,0</td><td>8.406</td></tr> <tr><td>Αύγουστος</td><td>6,20</td><td>6,31</td><td>115,0</td><td>7.194</td></tr> <tr><td>Σεπτέμβριος</td><td>4,80</td><td>5,47</td><td>115,0</td><td>7.041</td></tr> <tr><td>Οκτώβριος</td><td>3,10</td><td>3,87</td><td>115,0</td><td>5.101</td></tr> <tr><td>Νοέμβριος</td><td>2,01</td><td>2,83</td><td>115,0</td><td>3.807</td></tr> <tr><td>Δεκεμβριος</td><td>1,58</td><td>2,30</td><td>115,0</td><td>3.357</td></tr> <tr><td>Ετήσια</td><td>4,23</td><td>4,86</td><td>115,00</td><td>73.834</td></tr> </tbody> </table>				Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντιο kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτροπαραγ. €/MWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh	Ιανουάριος	1,94	2,00	115,0	4.109	Φεβρουάριος	2,00	3,39	115,0	4.106	Μάρτιος	3,82	4,18	115,0	5.898	Απρίλιος	4,88	5,11	115,0	6.870	Μάιος	5,80	5,86	115,0	7.577	Ιούνιος	7,08	6,57	115,0	8.366	Ιούλιος	6,93	6,54	115,0	8.406	Αύγουστος	6,20	6,31	115,0	7.194	Σεπτέμβριος	4,80	5,47	115,0	7.041	Οκτώβριος	3,10	3,87	115,0	5.101	Νοέμβριος	2,01	2,83	115,0	3.807	Δεκεμβριος	1,58	2,30	115,0	3.357	Ετήσια	4,23	4,86	115,00	73.834
Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντιο kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτροπαραγ. €/MWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh																																																																					
Ιανουάριος	1,94	2,00	115,0	4.109																																																																					
Φεβρουάριος	2,00	3,39	115,0	4.106																																																																					
Μάρτιος	3,82	4,18	115,0	5.898																																																																					
Απρίλιος	4,88	5,11	115,0	6.870																																																																					
Μάιος	5,80	5,86	115,0	7.577																																																																					
Ιούνιος	7,08	6,57	115,0	8.366																																																																					
Ιούλιος	6,93	6,54	115,0	8.406																																																																					
Αύγουστος	6,20	6,31	115,0	7.194																																																																					
Σεπτέμβριος	4,80	5,47	115,0	7.041																																																																					
Οκτώβριος	3,10	3,87	115,0	5.101																																																																					
Νοέμβριος	2,01	2,83	115,0	3.807																																																																					
Δεκεμβριος	1,58	2,30	115,0	3.357																																																																					
Ετήσια	4,23	4,86	115,00	73.834																																																																					
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο kWh/m <sup>2</sup>	1,54																																																																								
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο kWh/m <sup>2</sup>	1,60																																																																								

Εικόνα 3.16: Σύστημα ηλεκτρισμού Φ/Β πάρκου 50 kW

Φωτοβολταϊκό			
Τύπος		Γαλι-9	
Ισχύς	kW	49,02	50,000
Κατασκευαστής		GentecSolar	
Μοντέλο		Πολυ-Si 795P80 Pn/Backsheet	(210 μ. πλάτ.) (g)
Ετήσια απόδοση	%	14,3%	
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας (αέριου)	°C	45	
Συντελεστής θερμοκρασίας	% / °C	0,10%	
Επιφάνεια πλακέτα (αέριου)	m <sup>2</sup>	348	
Χαμηλές απώλειες	%	5,0%	
Μειονεμερίες (μικροί βελ)			
Ετήσια απόδοση	%	10,7%	
Ισχύς	kW	10,0	
Χαμηλές απώλειες	%	0,0%	
Πορόσημο			
Συντελεστής ισχύος	%	16,9%	
Ισχύς ενέργεια στο κύκλωμα	MWh	7,034	

Εικόνα 3.17: Σύστημα ηλεκτρισμού Φ/Β πάρκου 50 kW



**Εικόνα 3.18: Οικονομική ανάλυση Φ/Β πάρκου 50 kW**

Όπως βλέπουμε από το σύστημα ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκαν 212 φωτοβολταϊκά πάνελ με συνολική ισχύ 49,82 kW. Το σύστημα έχει συντελεστή ισχύος 16,9 % και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο 73,834 MWh.

Από την οικονομική ανάλυση και το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάρκεια ζωής έργου είναι 26 χρόνια, τα συνολικά έξοδα ανέρχονται στο ποσό των 125.000 € με ετήσιο κόστος συντήρησης 420 € και ετήσια έσοδα 8.491 €. Ακόμα παρατηρούμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης θα επιτευχθεί σε 15,5 χρόνια.

### 3.5.2 Επιλογή ανεμογεννήτριας

Λόγω του ότι η Γαλλική Vergnet που χρησιμοποιήθηκε στην προηγούμενη περίπτωση δεν διαθέτει ανεμογεννήτρια των 50 kW θα χρησιμοποιηθεί η Καναδέζικη εταιρία WindEnergySolutions και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο WES 50.

Η WES50, αποτελείται από ρότορα 20 m, και είναι σχεδιασμένη για περιοχές με χαμηλότερη ταχύτητα ανέμου (classIII).

Αποτελείται από δύο πτερύγια με καινούρια κάλυψη, είναι ισχύος 50 kW και δίνει υψηλή απόδοση. Ακολουθούν τα βασικότερα χαρακτηριστικά της WES 50:

WES50 General	
Supplier/manufacturer	WES BV
<b>LIFE</b>  expectancy	20 years
Service/maintenance	Twice a year
Rated power	50 kW
Cut in wind speed	<3 m/sec. (6.7mph)
Cut out wind speed	25 m/sec. (56mph)
Rated wind speed	9,5 m/sec. (21mph)
Survival wind speed	52,5 m/sec. (117mph)
Passive power regulation	Pitching (blade-angle adjustment)
Active power regulation	Fully variable back-to-back IGBT system
Noise emission at 8 m/s	45dB(a) at 100m
Operating temperatures	From -20°C up to +40°C

**Πίνακας 3.7: Γενικά χαρακτηριστικά της WES50**



## WES50 Blades

Number of blades	2
Diameter	20.3 m
Position	Upwind
Direction	clockwise
Angle of the main shaft	7° with horizontal
Swept area	327 m <sup>2</sup>
Speed	variable 60 -120 rotations per minute
Power regulation	Passive pitching (blade-angle adjustment)
Min. blade-angle	1.0
Flapping angle	180 -164°
Blade length	9.0m
Weight (1 blade)	115kg
Chord	500 – 625mm
Twist	5°
Mounted	flexible

**Πίνακας 3.8: Χαρακτηριστικά πτερυγίων WES50**

## WES50 Tower

Type	Tubular
Number of sections	3
Tower height	24, 30 m
Material	Hot dip galvanised steel
Location ladder	External
Type	Lattice
Tower height	31 m
Material	Hot dip galvanised steel
Location ladder	External

**Πίνακας 3.9: Χαρακτηριστικά πύργου WES50**

### 3.5.2.1 Πρόγραμμα RETScreen για ανεμογεννήτρια 50 kW

The screenshot shows the RETScreen software interface. On the left, there are several input fields:

- Σύστημα: Ηλεκτρισμός
- Τεχνολογία: Ανεμογεννήτρια
- Κατασκευαστής: Wind Energy Solutions Canada
- Μοντέλο: WES50 - 30m
- Χωρητικότητα ανά μονάδα: 50 kW
- Αριθμός μονάδων: 1
- Ισχύς: 50 kW

Below these fields, the following specifications are listed:

- Υψος πυλώνας: 30 m
- Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο: 20 m
- Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο: 315,2 m<sup>2</sup>

On the right side, there is a table titled "Δεδομένα καμπύλης ισχύος" (Power Curve Data). The table has two columns: "Ταχύτητα ανέμου m/Δευτε" (Wind Speed m/s) and "Ισχύς kW" (Power kW). The data points are as follows:

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτε	Ισχύς kW
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	1,6
4	3,9
5	8,2
6	14,3
7	23,5
8	35,4
9	48,1
10	59,0
11	64,1
12	69,1
13	71,0
14	71,7
15	72,0
16	72,0
17	72,0
18	72,0
19	72,0
20	72,0
21	72,0
22	72,0
23	72,0
24	72,0
25	72,0

At the bottom of the window, there are five icons: a green checkmark, a red prohibition sign, a globe, a printer, and a refresh symbol.

Εικόνα 3.19: Βάση δεδομένων προϊόντος ανεμογεννήτριας 50 kW

Τύπος πύλου	Ο Μύλος, 1 Θ Μύλος, 2 Σ Μύλος, 3		
Αξιολόγηση πηγών			
Μέτρος (πίεσης) αερίων πύλων	Ταύρος πύλου	ΕΙ Λόγ. θεμελίω	Αόμ. Χώμας
		Ταύρος	
Ταύρος πύλου - ύψος	μ/Διευρύνεται	3,8	3,8
Μπέρη/μ. π.	m	10,0	10,0
Εκτίμηση παραμόρφωσης ανεμού		0,25	
Θερμοκρασία αέρα - μέση	°C	16,2	16,2
Ατμοσφαιρική πίεση - μέση	hPa	97,4	97,4
Ανεμογεννήτρια			
Ισχύς ανά στρόβιλο	kW	50,0	
Κατασκευαστής	Wind Energy Solutions Canada		
Μοντέλο	WCS50 - 30m		
Αριθμός στρόβιλων		1	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	50,0	± 00,000
Υψος πύλου	m	30,0	± / m/Διευρύνεται
Διάμ. προς ρότορα ανά στρόβιλο	m	20	
Επιφάνεια σύρμασης ανά στρόβιλο	m <sup>2</sup>	314	
Κε. τιμολ. εγκαταστάσεων δεδομένων		Υποστηρίχεται	
Παράγωγη ενέργειας		2,0	

Εικόνα 3.20: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 50 kW

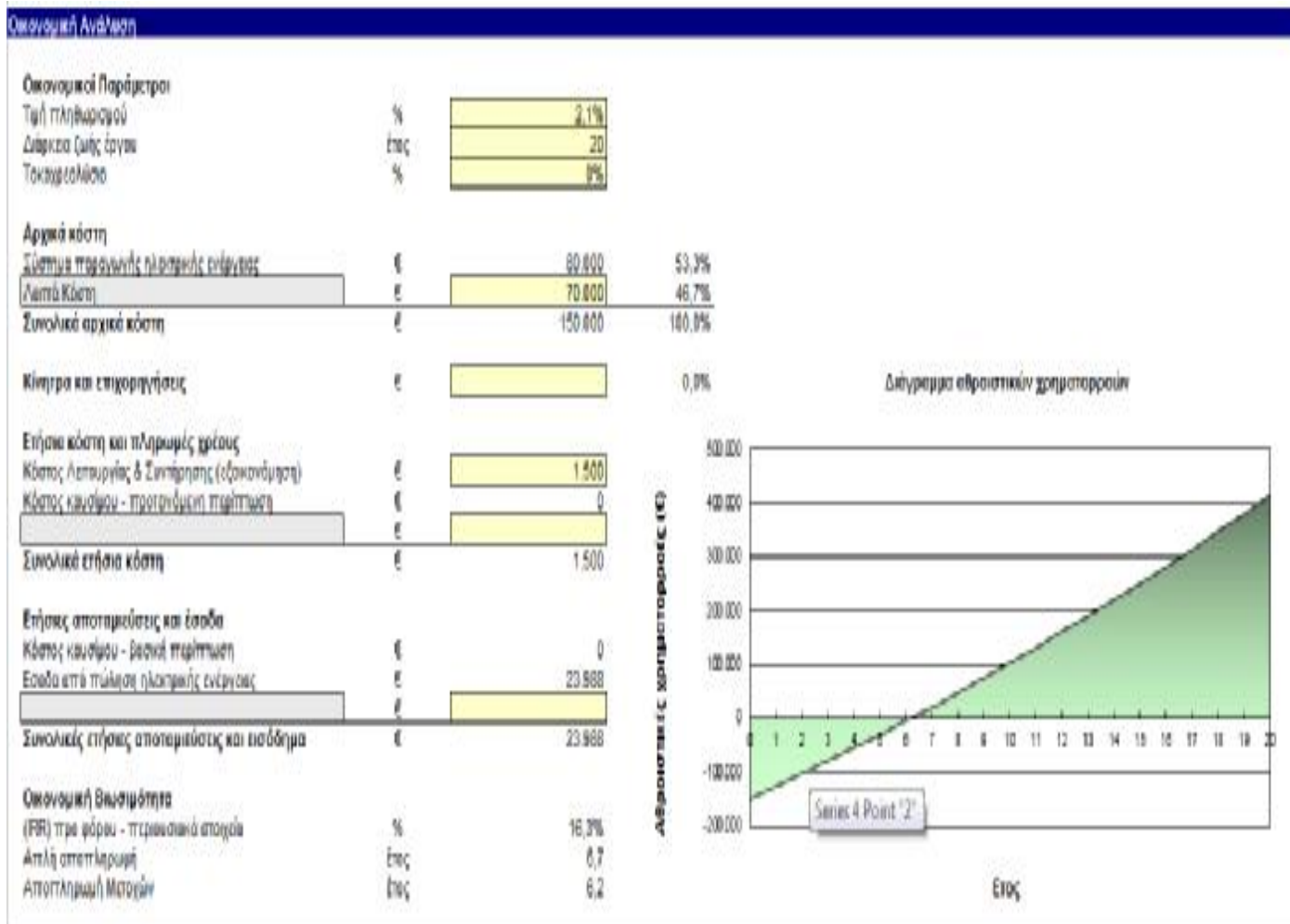
Δείξε δεδομένα

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	Δεδομένα καμπύλης ισχύος kW	Καμπύλες ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ MWh
0	0,0	
1	0,0	
2	0,0	
3	1,6	28,3
4	3,9	68,7
5	8,2	124,3
6	14,3	185,6
7	23,5	244,7
8	35,4	297,3
9	48,1	341,5
10	59,0	376,3
11	64,1	401,6
12	69,1	417,6
13	71,0	425,5
14	71,7	426,5
15	72,0	422,1
16	72,0	
17	72,0	
18	72,0	
19	72,0	
20	72,0	
21	72,0	
22	72,0	
23	72,0	
24	72,0	
25 - 30		

Εικόνα 3.21: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 50 kW

Απώλειες θάλασης	%	2,0%	<b>Πρόσθετα Δεδομένα</b>	
Απώλειες πτερυγίου	%	2,0%	Μη απορροούμενη ενεργειακή παραγωγή	Ανά στρόβιλο
Απώλεις από αέρα	%	0,0%	Συντελεστής πίεσης	0,402
Αναθυμιάση	%	98,0%	Συντελεστής θερμοκρασίας	0,388
Παράβαση			Συνολική ενεργειακή παραγωγή	MWh 105
Συντελεστής ισχύος	%	71,9%	Συντελεστής απώλειων	0,0%
Ελεγχόμενη ενέργεια στο δίκτυο	MWh	96	Εξισότωση παραγωγής	kWh/m² 304
Καθαρή παραγωγή ηλεκτρισμού	kWh/m²	250,00		

Εικόνα 3.22: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 50 kW



**Εικόνα 3.23: Οικονομική ανάλυση ανεμογεννήτριας 50 kW**

Όπως βλέπουμε από το σύστημα ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκε μία ανεμογεννήτρια με συνολική ισχύ 50 kW. Το σύστημα έχει συντελεστή ισχύος 21,9 % και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο 96 MWh.

Από την οικονομική ανάλυση και το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάρκεια ζωής έργου είναι 20 χρόνια, τα συνολικά έξοδα ανέρχονται στο ποσό των 150.000 € με ετήσιο κόστος

συντήρησης 1.500 € και ετήσια έσοδα 23.988 € Ακόμα παρατηρούμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης θα επιτευχθεί σε λιγότερο από 7 χρόνια.

### 3.6 Σύγκριση περίπτωσης Φ/Β Πάρκου 50 kW και Ανεμογεννήτριας 50 kW

	Συντελεστής Ισχύος (%)	Ηλ. Ενέργεια στο Δίκτυο (MWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Ετήσιο Κόστος Συντήρησης (€)	Διάρκεια Ζωής (Χρόνια)	Ετήσια Έσοδα (€)	Αποπληρωμή (Χρόνια)
Φ/Β Πάρκο 50 kW	16,9	73,834	125.000	420	26	8.491	15,5
Ανεμογεννήτρια 50 kW	21,9	96	150.000	1.500	20	23.988	6,7

**Πίνακας 3.10: Σύγκριση περίπτωσης 50 kW**

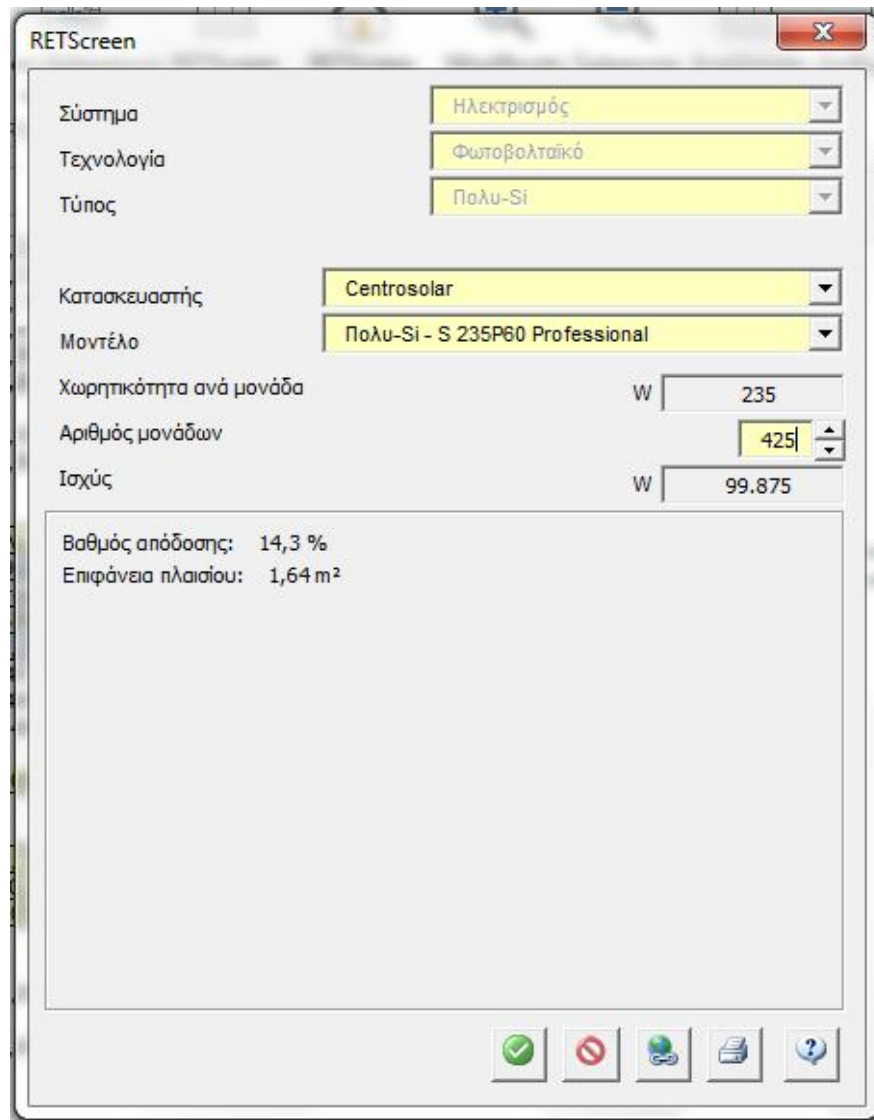
Όπως παρατηρούμε και από τον παραπάνω πίνακα η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι αυτή της ανεμογεννήτριας. Έχει καλύτερο συντελεστή ισχύος επομένως δίνει περισσότερη ενέργεια στο δίκτυο. Παρότι έχει μικρότερη διάρκεια ζωής και ακριβότερο συνολικό κόστος παραμένει η πιο συμφέρουσα επιλογή γιατί τα ετήσια έσοδα είναι σημαντικά μεγαλύτερα από αυτά του φωτοβολταϊκού πάρκου. Ο σημαντικότερος λόγος που σε αυτήν την περίπτωση συμφέρει περισσότερο η ανεμογεννήτρια και όχι το φ/β πάρκο είναι ο συνδυασμός του ότι το συγκεκριμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε είναι σχεδιασμένο για περιοχές με μικρότερες ταχύτητες ανέμου και του ότι η τιμή της πωλούμενης κιλοβατώρας στη ΔΕΗ είναι πιο ακριβή για τις ανεμογεννήτριες (250 €/MWh) απ' ότι αυτή των φωτοβολταϊκών (115€/MWh)

## 3.7 Περίπτωση Φ/Β πάρκου 100 kW και ανεμογεννήτριας 100 kW

### 3.7.1 Φ/Β πάρκο 100 kW

Και σε αυτό φωτοβολταϊκό πάρκο θα χρησιμοποιηθεί η ίδια εταιρία φ/β πάνελ (S 235P60 Professional) και ο ίδιος μετατροπέας (Sunny Tripower STP 10000TL-10) όπως στην περίπτωση των 20 kW και των 50 kW.

#### 3.7.1.1 Πρόγραμμα RETScreen για Φ/Β 100 Kw



The screenshot shows the RETScreen software interface with the following configuration details:

Σύστημα	Ηλεκτρισμός
Τεχνολογία	Φωτοβολταϊκό
Τύπος	Πολυ-Si
Κατασκευαστής	Centrosolar
Μοντέλο	Πολυ-Si - S 235P60 Professional
Χωρητικότητα ανά μονάδα	W 235
Αριθμός μονάδων	425
Ισχύς	W 99.875

Additional information displayed:

- Βαθμός απόδοσης: 14,3 %
- Επιφάνεια πλαισίου: 1,64 m<sup>2</sup>

At the bottom of the window, there are five icons: a green checkmark, a red prohibition sign, a globe, a printer, and a question mark.

Εικόνα 3.24: Βάση δεδομένων προϊόντος φωτοβολταϊκού πάρκου 100 kW

Ότος ανέλυσης

○ Μέθοδος 1

⊖ Μέθοδος 2

Ανεκτιμώμενη ισχύς

Δυναμότητα παραγωγής από ήλιο

KWh/ημ

Αξιοδότη

Συνολικά κέρδη
30,0
0,0

Ε. Δαξ. σε ευρώ

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή αποσβεστική - Οφείλόμενα KWh/ημ/ήλιο	Ημερήσια ηλιακή αποσβεστική - KWh/ημ/ήλιο	Τιμή πωλούμενων ηλεκτρισμού €/KWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh
Ιανουάριος	1,94	2,00	115,0	0,299
Φεβρουάριος	2,10	2,09	115,0	0,290
Μάρτιος	3,82	4,18	115,0	11,826
Απρίλιος	4,88	5,11	115,0	13,777
Μάιος	5,80	5,60	115,0	15,100
Ιούνιος	7,08	6,97	115,0	16,752
Ιούλιος	6,90	6,94	115,0	16,002
Αύγουστος	6,20	6,31	115,0	15,425
Σεπτέμβριος	4,88	5,17	115,0	14,115
Οκτώβριος	3,18	3,37	115,0	10,954
Νοέμβριος	2,01	2,22	115,0	7,832
Δεκέμβριος	1,56	2,00	115,0	6,229
Ετήσια	4,23	4,60	115,00	110,416

Ετήσια ηλιακή αποσβεστική - οφείλόμενα

MWh/ημ<sup>2</sup> 1,54

Ετήσια ηλιακή αποσβεστική - επιπλέον επιπλέον

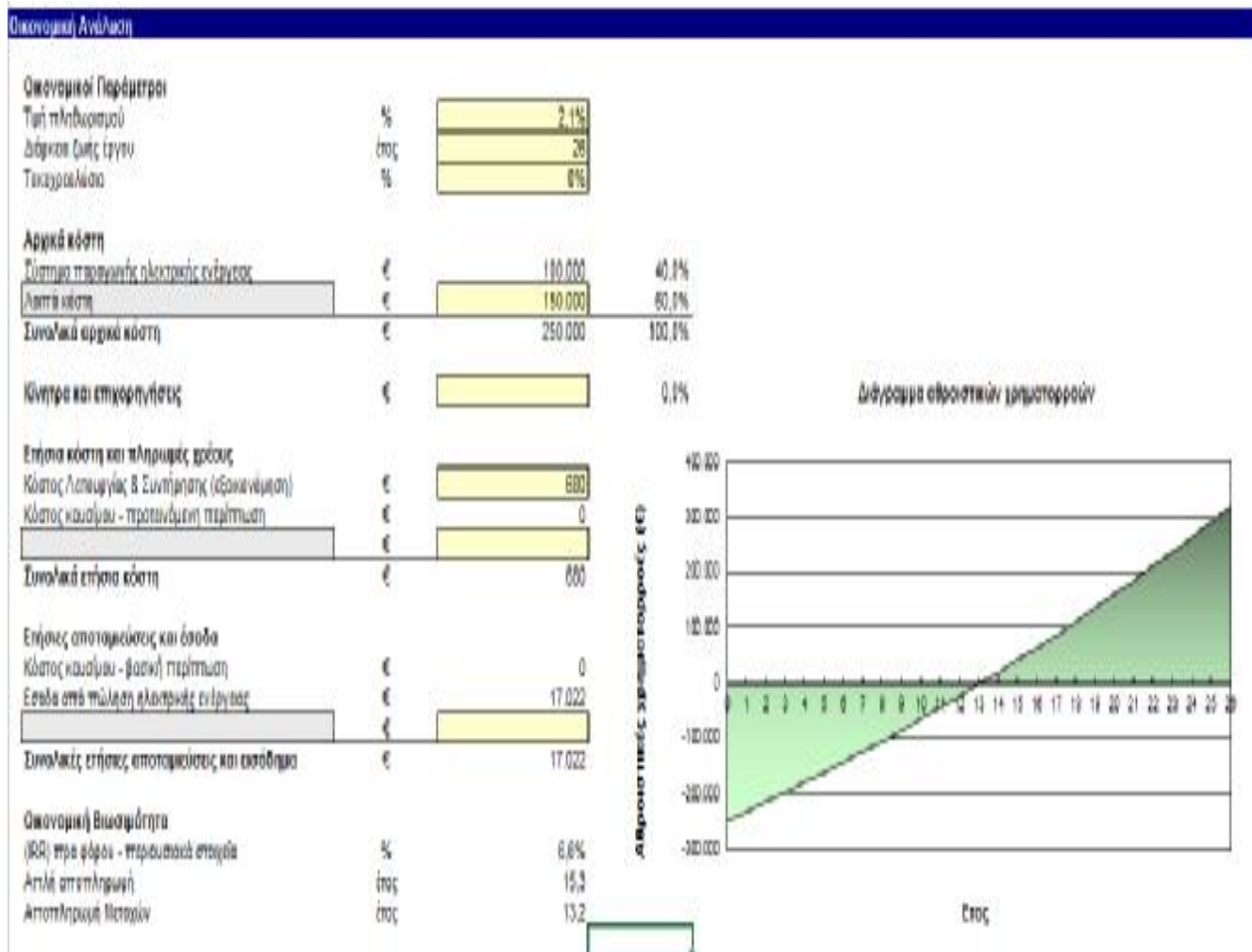
MWh/ημ<sup>2</sup> 1,58

Εικόνα 3.25: Σύστημα ηλεκτρισμού Φ/Β πάρκου 100 kW



<b>Ολοκληρωτικό</b>			
Τύπος		10kW-SI	
Ηλεκτρικό ισχύς	kW	99,85	€ 100.000
Κατασκευαστής		Centrosolar	
Μοντέλο		Polys-SI - 5.228750 Professional	425 μονάδες(-ες)
Ποσοστό απόδοσης	%	11,2%	
Ονομαστική Αρτηριακή Άπνοια (από κλίμα)	°C	45	
Συντελεστής θερμοκρασίας	%/°C	0,02%	
Επιφάνεια (πλευρά αλληλίας)	m <sup>2</sup>	898	
Ανοχή σε αλάτι	%	5,0%	
<b>Μικρομονίδια (monocrist)</b>			
Ποσοστό απόδοσης	%	90,2%	
Ισχύς	kW	10,0	
Ανοχή σε αλάτι	%	0,0%	
<b>Περύλιση</b>			
Συντελεστής ισχύος	%	10,4%	
Μάκρυνση ενόργανου αέρα	MPPa	143,078	

Εικόνα 3.26: Σύστημα ηλεκτρισμού Φ/Β πάρκου 100 kW



**Εικόνα 3.27: Οικονομική ανάλυση Φ/Β πάρκου 100 kW**

Όπως βλέπουμε από το σύστημα ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκαν 425 φωτοβολταϊκά πάνελ με συνολική ισχύ 99,88 kW. Το σύστημα έχει συντελεστή ισχύος 16,9 % και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο 148,016 MWh.



Από την οικονομική ανάλυση και το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάρκεια ζωής έργου είναι 26 χρόνια, τα συνολικά έξοδα ανέρχονται στο ποσό των 250.000 € με ετήσιο κόστος συντήρησης 680 € και ετήσια έσοδα 17.022 €. Ακόμα παρατηρούμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης θα επιτευχθεί σε περίπου 15 χρόνια.

### 3.7.2 Επιλογή ανεμογεννήτριας

Για την περίπτωση των 100 kW θα χρησιμοποιηθεί η Καναδέζικη εταιρία WindEnergySolutions και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο WES 100.

Η WES100, αποτελείται από ρότορα 18 m, και είναι σχεδιασμένη για περιοχές με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου. Αποτελείται και αυτή από δύο πτερύγια και είναι ισχύος 100 kW. Ακολουθούν τα βασικότερα χαρακτηριστικά της WES 100:

#### WES100 General

Supplier/manufacturer	WES BV
<a href="#">LIFE</a>  expectancy	20 years
Service/maintenance	Twice a year
Rated power	100 kW
Cut in wind speed	<3 m/sec. (6.7mph)
Cut out wind speed	25 m/sec. (56mph)
Nominal wind speed	13 m/sec. (28mph)
<a href="#">SURVIVAL</a>  wind speed	60 m/sec. (134mph)
Passive power regulation	Pitching (blade-angle adjustment)
Active power regulation	Fully variable back-to-back IGBT system
Noise emission at 8 m/s	45dB(a) at 100m
Operating temperatures	From -20°C up to +40°C

Εικόνα 3.11: Γενικά χαρακτηριστικά της WES100

## WES100 Blades

Number of blades	2
Diameter	17.9 m
Position	Upwind
Direction	clockwise
Angle of the main shaft	7° with horizontal
Swept area	254 m <sup>2</sup>
Speed	variable 60 -120 rotations per minute
Power regulation	Passive pitching (blade-angle adjustment)
Min. blade-angle	1.0
Flapping angle	180 -164°
Blade length	7.8 m
Weight (1 blade)	100kg
Chord	500 – 625mm
Twist	5°
Mounted	flexible

**Εικόνα 3.12: Χαρακτηριστικά πτερυγίων WES100**

## WES100 Tower

Type	Tubular
Number of sections	3
Tower height	18, 24, 30 m
Material	Hot dip galvanised steel
Location ladder	External
Type	Lattice
Tower height	31 m
Material	Hot dip galvanised steel
Location ladder	External

**Εικόνα 3.13: Χαρακτηριστικά πύργου WES100**

### 3.7.2.1 Πρόγραμμα RETScreen για ανεμογεννήτρια 100 kW

RETScreen

Σύστημα: Ηλεκτρισμός

Τεχνολογία: Ανεμογεννήτρια

Κατασκευαστής: Wind Energy Solutions Canada

Μοντέλο: WES100 - 30m

Χωρητικότητα ανά μονάδα: kW 100

Αριθμός μονάδων: 1

Ισχύς: kW 100

Υψος πυλώνα: 30 m  
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο: 18 m  
Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο: 254,5 m<sup>2</sup>

Δεδομένα καμπύλης ισχύος

Ταχύτητα ανέμου m/Δευτε	Ισχύς kW
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	1,0
4	2,9
5	6,0
6	11,0
7	17,7
8	27,3
9	39,2
10	53,8
11	68,4
12	82,8
13	89,1
14	95,9
15	98,7
16	99,5
17	100,0
18	100,0
19	100,0
20	100,0
21	100,0
22	100,0
23	100,0
24	100,0
25	100,0

Εικόνα 3.28: Βάση δεδομένων προϊόντος ανεμογεννήτριας 100 kW

Τύπος ανάλυσης	Ο Μάθημα 1 Ο Μάθημα 2 Ο Μάθημα 3		
	Ταχύτητα ανέμου	Πλάτος δομοφόρου	Αντίκτυπος
Ανεμογεννήτρια			
Μέθοδος (εκτίμηση) φυσικών τμήμων			<a href="#">Αντίκτυπος</a>
			1 λεπτό
Ταχύτητα ανέμου - μέση	m/σεικράλεπτο	3,6	3,6
Περίμετρο σε	m	10,0	10,0
Εκπέσης προεξόσωσης ανέμου		0,20	
Υπερκοσμία αέρα - μέση	°C	10,2	10,2
Αεροδυναμική πίεση - μέση	kg/m²	87,1	87,1
Ανεμογεννήτρια			
Ισχύς ανά στρόβιλο	kW	100,0	
Κατασκευαστής	Wind Energy Solutions Canada		
Μοντέλο	WLS100 - 10m		
Αριθμός στρόβιλων		1	
Ηλεκτρική ισχύς	kW	100,0	
Υψος πύλωνα	m	30,0	7,7 m/Δευτερόλεπτο
Απόσταση από τον πύλονα	m	18	
Επιφάνεια στρώσης ανά πύλονα	m²	254	
Καμπύλες ενεργειακών δεσφώνων		Τοπογραφία	
Παρόντων αξίωμα		2,0	
			<a href="#">Αντίκτυπος</a>
			150.000

Εικόνα 3.29: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 100 kW

<input checked="" type="checkbox"/> Δείξε δεδομένα	Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	Δεδομένα καμπύλης ισχύος kW	Καμπύλες ενεργειακών MWh
	0	0,0	
	1	0,0	
	2	0,0	
	3	1,0	20,9
	4	2,9	53,6
	5	6,0	104,7
	6	11,0	169,7
	7	17,7	240,7
	8	27,3	310,4
	9	39,2	373,6
	10	53,8	426,7
	11	68,4	467,9
	12	82,8	497,0
	13	89,1	514,6
	14	95,9	522,4
	15	98,7	522,1
	16	99,5	
	17	100,0	
	18	100,0	
	19	100,0	
	20	100,0	
	21	100,0	
	22	100,0	
	23	100,0	
	24	100,0	
	25 - 30		

Εικόνα 3.30: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 100 kW

			<input checked="" type="checkbox"/> Δείξε δεδομένα	Ανά στρόβιλο	
Απόδοση διάταξης	%	2,0%	Μη λειτουργία ανεμογεννήτριας	MWh	91
Απόδοση παραγωγής	%	9,0%	Ενεργειακή πύση		0,962
Απώλειες απόδοση	%	2,0%	Συντελεστής θερμικότητας		0,885
Απόδοση	%	88,0%	Συντελεστής παραγωγής	MWh	87
Παράδειγμα			Ενεργειακή απόδοση		0,91
Συνολική ισχύς	%	0,1%	Ετήσια παραγωγή	MWh/yr	314
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	30			
Τμήμα κατανάλωσης ηλεκτρισμού	GWh	87,86			

Εικόνα 3.31: Σύστημα ηλεκτρισμού ανεμογεννήτριας 100 kW

Οικονομικοί Παράμετροι

Τιμή πληθωρισμού	%	2,1%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	20
Τοκοχρεολύσιο	%	0%

Αρχικά κόστη

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	€	160.000	53,3%
Λοιπά Κόστη	€	140.000	46,7%
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>€</b>	<b>300.000</b>	<b>100,0%</b>

Κίνητρα και επιχορηγήσεις

	€		0,0%
--	---	--	------

Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους

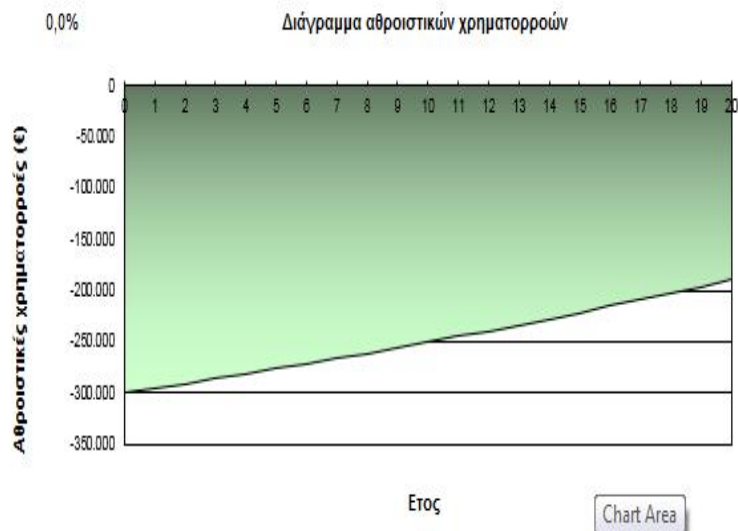
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€	2.600
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	0
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>	<b>€</b>	<b>2.600</b>

Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα

Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	0
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	7.009
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα</b>	<b>€</b>	<b>7.009</b>

Οικονομική Βιωσιμότητα

(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	-7,7%
Απλή αποπληρωμή	έτος	68,0
Αποπληρωμή Μεταγών	έτος	> έργο



Εικόνα 3.32: Οικονομική ανάλυση 100 kW

Όπως βλέπουμε από το σύστημα ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκε μία ανεμογεννήτρια με συνολική ισχύ 100 kW. Το σύστημα έχει συντελεστή ισχύος 9,1 % και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο 80 MWh.

Από την οικονομική ανάλυση και το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάρκεια ζωής έργου είναι 20 χρόνια, τα συνολικά έξοδα ανέρχονται στο ποσό των 300.000 € με ετήσιο κόστος συντήρησης 2.600 € και ετήσια έσοδα 7.009 €. Ακόμα παρατηρούμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης θα επιτευχθεί σε 68 χρόνια ενώ όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η διάρκεια ζωής έργου είναι 20 χρόνια άρα το έργο όχι μόνο δεν είναι κερδοφόρο αλλά είναι ζημιογόνο.



### 3.8 Σύγκριση περίπτωσης Φ/Β Πάρκου 100 kW και Ανεμογεννήτρια 100 kW

	Συντελεστής Ισχύος (%)	Ηλ. Ενέργεια στο Δίκτυο (MWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Ετήσιο Κόστος Συντήρησης (€)	Διάρκεια Ζωής (Χρόνια)	Ετήσια Έσοδα (€)	Αποπληρωμή (Χρόνια)
Φ/Β Πάρκο 100 kW	16,9	148,016	250.000	680	26	17.022	15,3
Ανεμογεννήτρια 100 kW	9,1	80	300.000	2.600	20	7.009	Αρνητικό

Πίνακας 3.14: Σύγκριση περίπτωσης 100 kW

Όπως παρατηρούμε και από τον πιο πάνω πίνακα είναι ξεκάθαρο ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι αυτή του φωτοβολταϊκού πάρκου. Έχει καλύτερο συντελεστή ισχύος επομένως δίνει περισσότερη ενέργεια στο δίκτυο. Ακόμα, είναι πιο φθηνό το κόστος και έχει μεγαλύτερα ετήσια έσοδα με αποτέλεσμα την πιο γρήγορη αποπληρωμή. Έτσι κι αλλιώς όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το συγκεκριμένο εγχείρημα της ανεμογεννήτριας των 100 kW είναι ζημιογόνο. Ο βασικότερος λόγος που η περίπτωση της ανεμογεννήτριας είναι ζημιογόνα είναι ότι η Λαμία έχει μικρή ταχύτητα ανέμου (3,6 m/s) όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας 20 kW. Και επίσης, επειδή σε μια εγκατάσταση ανεμογεννήτριας άνω των 50 kW η τιμή πώλησης ρεύματος στη ΔΕΗ αλλάζει και από 250 €/MWh ( $A/\Gamma \leq 50 \text{ kW}$ ) γίνετε 87,85 €/MWh ( $A/\Gamma > 50 \text{ kW}$ ).

### 3.9 Περίπτωση προγράμματος net metering με φ/β πάρκο 20 kW (της πρώτης περίπτωσης)

Λόγω του ότι το θεωρητικό στρατόπεδο βρίσκεται στην Ηπειρωτική Ελλάδα μπορεί να γίνει εγκατάσταση μέχρι 20 kW λόγω και του ότι δεν γνωρίζουμε το ποσό της συμφωνηθείσας ισχύος της παροχής της κατανάλωσης.

	Ανώτατο όριο ισχύος		
	Για όλους τους καταναλωτές	Για μεγάλους καταναλωτές *	Για κοινωφελείς σκοπούς **
<b>Ηπειρωτική χώρα</b>	20 kW (~30.000 kWh/έτος)	500 kW (~750.000 kWh/έτος)	500 kW (~750.000 kWh/έτος)
<b>Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά</b>	10 kW (~15.000 kWh/έτος)	20 kW (~30.000 kWh/έτος)	20 kW (~30.000 kWh/έτος)
<b>Κρήτη</b>	20 kW (~30.000 kWh/έτος)	50 kW (~75.000 kWh/έτος)	50 kW (~75.000 kWh/έτος)

\* Με την προϋπόθεση ότι η ισχύς του συστήματος δεν ξεπερνά το 50% της συμφωνηθείσας ισχύος της παροχής κατανάλωσης  
\*\* Με την προϋπόθεση ότι η ισχύς του συστήματος δεν ξεπερνά το 100% της συμφωνηθείσας ισχύος της παροχής κατανάλωσης

**Πίνακας 3.15: Ανώτατο όριο ισχύος σύμφωνα με την Helarco**

Χρεώσεις ηλεκτρικής ενέργειας - Οικιακό τιμολόγιο (€/kWh)			
	Καταναλωτής	Αυτοπαραγωγός	Τιμή συμψηφισμού
Ενδεικτική ετήσια κατανάλωση (kWh)	5.000		
Χρέωση ενέργειας (Ανταγωνιστικές χρεώσεις, €/kWh)	0,0946	0,0000	
Χρέωση ενέργειας (Δίκτυο Μεταφοράς, €/kWh)	0,0059	0,0039	
Χρέωση ενέργειας (Δίκτυο Διανομής, €/kWh)	0,0223	0,0146	
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€/kWh)	0,0070	0,0070	
ΕΦΚ (€/kWh)	0,0022	0	
Ειδικό Τέλος 5%	0,0004	0	
ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,0263	0,0168	
Λοιπές επιβαρύνσεις (€/kWh)	0,0005	0	
<b>ΣΥΝΟΛΟ (€/kWh)</b>	<b>0,1591</b>	<b>0,0423</b>	
ΦΠΑ	0,0206	0,0055	
<b>ΣΥΝΟΛΟ (€/kWh)</b>	<b>0,1797</b>	<b>0,0478</b>	<b>0,1320</b>

**Πίνακας 3.16: Χρέωση ηλ. Ενέργειας σύμφωνα με την Helarco**

Επομένως, σύμφωνα με την Helarco (ΣΕΦ) αν αφαιρέσουμε τις ΥΚΩ (Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας) τότε ο οικιακός καταναλωτής θα συμψηφίζει περίπου 0,186€/kWh και ο εμπορικός Γ21 στα 0,165€/kWh.

Συνεπώς για κάθε kW εγκατεστημένου φωτοβολταϊκού εξοικονομούμε περίπου 1.600kWh ετησίως ηλεκτρικής ενέργειας και το οικονομικό όφελος λογίζεται σε περίπου 300 €

### 3.9.1 Σύγκριση περίπτωση netmetering με φ/β πάρκο 20 kW

Αν υποθέσουμε ότι για το πρόγραμμα netmetering θα χρησιμοποιηθεί η ίδια εταιρία φ/β πάνελ ( centrosolar με τύπο φωτοβολταϊκών πάνελ S 235P60 Professional ) και ο ίδιος μετατροπέας (Sunny Tripower STP 10000TL-10) όπως και στις περιπτώσεις των 20 kW, 50 kW και 100 kW τότε θα έχουμε τον ίδιο συντελεστή ισχύος, επομένως την ίδια ενέργεια στο δίκτυο, τα ίδια έξοδα, ίδιο ετήσιο κόστος συντήρησης και ίδια διάρκεια ζωής έργου όπως στην περίπτωση του φ/β πάρκου 20 kW. Το μόνο που αλλάζει είναι τα ετήσια έσοδα και ο χρόνος αποπληρωμής.

Από την περίπτωση εγκατάστασης φ/β πάρκου 20 kW είδαμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι 29,603MWh ή 29.603kWh επομένως, στην περίπτωση του netmetering το στρατόπεδο θα εξοικονομεί  $29.603\text{kWh} \times 0,1797 \text{ €/kWh} = 5.320 \text{ €}$

	Συντελεστής Ισχύος (%)	Ηλ. Ενέργεια στο Δίκτυο (MWh)	Συνολικό Κόστος (€)	Ετήσιο Κόστος Συντήρησης (€)	Διάρκεια Ζωής (Χρόνια)	Ετήσια Έσοδα (€)	Αποπληρωμή (Χρόνια)
Φ/Β Πάρκο 20 kW	16,9	29,603	49.000	200	26	3.404	15,3
Net Metering 20 kW	16,9	29,603	49.000	200	26	5.320	9,5

**Πίνακας 3.17: Σύγκριση Net Metering**

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι συμφέρει περισσότερο το πρόγραμμα netmetering γιατί έχουμε μεγαλύτερα ετήσια έσοδα και πιο γρήγορο χρόνο αποπληρωμής. Ο λόγος που συμφέρει η περίπτωση του προγράμματος netmetering είναι ότι η τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος στην ΔΕΗ από εγκατάσταση φωτοβολταϊκών είναι 0,115 €/kWh ενώ η ΔΕΗ χρεώνει το ρεύμα στους καταναλωτές 0,1797 €/kWh.

### 3.9.2 Συμπέρασμα

Οι πιο συμφέρουσες περιπτώσεις είναι αυτή της εγκατάστασης ανεμογεννήτριας 50 kW, του φ/β πάρκου 100 kW και του netmetering με εγκατάσταση 20 kW. Μην ξεχνάμε όμως ότι σε ένα τέτοιο εγχείρημα ο βασικότερος παράγοντας για την υλοποίηση του είναι το αρχικό κεφάλαιο και το μέγεθος της διαθέσιμης έκτασης γης. Εάν υποθέσουμε ότι το θεωρητικό στρατόπεδο υφίσταται θα έπρεπε πρώτα να μελετηθεί πόσα χρήματα μπορεί να διαθέσει για μία τέτοια επένδυση και αν διαθέτει τον απαιτούμενο χώρο εγκατάστασης και ύστερα ποια περίπτωση είναι η πιο συμφέρουσα. Γιατί όπως παρατηρήσαμε π.χ. από την περίπτωση της εγκατάστασης φ/β πάρκου 100 kW μπορεί να έχει ακριβότερο κόστος υλοποίησης και μεγαλύτερο χρόνο αποπληρωμής από αυτό της ανεμογεννήτριας 50 kW,

όμως έχει περισσότερα έσοδα και όταν θα τελειώσει η περίοδος αποπληρωμής τότε θα έχει μεγαλύτερο ετήσιο κέρδος από αυτό της ανεμογεννήτριας 50 kW.

### 3.10 Βιβλιογραφία

1. [http://www.retscreen.net/el/software\\_and\\_data.php](http://www.retscreen.net/el/software_and_data.php)
2. <http://www.mp-energy.gr/%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%83/net-metering.html>
3. [http://helapco.gr/pdf/Mia-oloklhrwmenh-protash-gia-thn-anaptyksh-twn-fwtovoltaikwn\\_5Mar2015.pdf](http://helapco.gr/pdf/Mia-oloklhrwmenh-protash-gia-thn-anaptyksh-twn-fwtovoltaikwn_5Mar2015.pdf)
4. [http://helapco.gr/pdf/HELAPCO\\_Net\\_Metering\\_6May2015.pdf](http://helapco.gr/pdf/HELAPCO_Net_Metering_6May2015.pdf)
5. <http://www.gres.gr/net-metering.html>
6. <http://www.windenergysolutions.nl/wes50>
7. <http://www.windenergysolutions.nl/wes100>
8. <http://en.wind-turbine-models.com/turbines/431-vergnet-gev-10-20>
9. <http://www.sma-hellas.com/el/proionta/iliakoi-metatropois/sunny-tripower/sunny-tripower-10000tl-12000tl-15000tl-17000tl.html>
10. <http://www.centrosolar.gr/proionta/fotovoltaika-plaisia/leptomereies/bpid/956/product/show/mod/s-235p60-professional/>