



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη νέας μονάδας αφαλάτωσης Μυκόνου και εκτίμηση
ενεργειακής παραγωγής εμπορικών ανεμογεννητριών για
αντιστάθμιση των καταναλώσεών της**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιώργος Β. Ξενάριος



Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2017



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

**Μελέτη νέας μονάδας αφαλάτωσης Μυκόνου και εκτίμηση
ενεργειακής παραγωγής εμπορικών ανεμογεννητριών για
αντιστάθμιση των καταναλώσεών της**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιώργος Β. Ξενάριος

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....2017

.....
Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μαρία- Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2017

.....
Γιώργος Β. Ξενάριος

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

Copyright © Γιώργος Β. Ξενάριος, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία συντάχθηκε με κύριο σκοπό τον προσδιορισμό ανεμογεννήτριας κατάλληλης ισχύος που προτείνεται να συνδεθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο της Μυκόνου, εφόσον το νησί διασυνδεθεί με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας μέσω του ΚΥΤ Λαυρίου, προς αντιστάθμιση των ενεργειακών καταναλώσεων της νέας μονάδας αφαλάτωσης του νησιού, τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης (R.O.), για τρία σενάρια λειτουργίας της κατά την διάρκεια του έτους.

Για τον συγκεκριμένο λόγο διενεργούνται, καταρχάς, λεπτομερείς υπολογισμοί των καταναλώσεων των πιο ενεργοβόρων μηχανημάτων του νέου εργοστασίου αφαλάτωσης της Μυκόνου, καθώς και λοιπών ενεργειακών συντελεστών με απώτερο στόχο την εξαγωγή της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας του εργοστασίου για τα εξεταζόμενα σενάρια λειτουργίας του κατά την διάρκεια του έτους.

Με γνώμονα τα ανεμολογικά δεδομένα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) για το νησί της Μυκόνου και αφού διενεργήθηκε έρευνα αγοράς διαθέσιμων μοντέλων ανεμογεννητριών από εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον ελλαδικό χώρο, γίνεται υπολογισμός της εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας κάθε μιας ξεχωριστά για τις 16 εξεταζόμενες ανεμογεννήτριες.

Για λόγους επαλήθευσης, η εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας κάθε Α/Γ υπολογίζεται με δύο μεθοδολογίες:

1. Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος Α/Γ με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης

Είναι μια γραφική μέθοδος προσέγγισης της δοθείσας, από τον κατασκευαστή, καμπύλης ισχύος μιας Α/Γ με πολυωνυμικές γραμμές τάσης. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε αποκλειστικά για τους σκοπούς της εν λόγω μελέτης οπότε και διατηρείται το αποκλειστικό δικαίωμα χρήσης του όρου.

2. Εφαρμογή του προγράμματος επεξεργασίας ανεμολογικών δεδομένων *WindRose* του Κ.Α.Π.Ε.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων παρουσιάζουν μικρές σχετικές αποκλίσεις που κυμαίνονται από 0,008% έως 5%, παρουσιάζοντας αποδεκτή συσχέτιση μεταξύ τους. Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών και σε σχέση με την, κατά σενάριο λειτουργίας, κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς και από μια σειρά διαφόρων άλλων κριτηρίων, γίνεται η τελική πρόταση αγοράς Α/Γ.

Τέλος, γίνεται εκτίμηση της αποφυγής έκκλησης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και λοιπών ρυπογόνων αερίων με την εγκατάσταση Α/Γ στο νησί και παράλληλα εξάγονται συμπεράσματα για τα γενικότερα οφέλη στο νησί.

Λέξεις κλειδιά:

Μύκονος, αφαλάτωση, αντίστροφη όσμωση, ανεμογεννήτρια, ανεμολογικά δεδομένα, Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης, WindRose, Κ.Α.Π.Ε.

ABSTRACT

The main purpose of this diploma thesis is to determine a wind turbine with suitable power, that is proposed to be connected to the power grid of Mykonos, provided that the island will be interconnected with the mainland power grid of Greece through the high-voltage centre of Lavrio, meeting the energy consumption of the new desalination unit of the island, Reverse Osmosis Technology (RO), for three operating scenarios during the year.

For this reason, initially, detailed power consumption calculations of the most energy-intensive machines of the desalination plant are carried out with ultimate purpose of exporting the total annual energy consumption of the plant for its operating scenarios during the year.

Based on the wind data of the Greek Center for Renewable Energy Sources and Saving (C.R.E.S.) for the island of Mykonos in combination with the conducted market research of available wind turbine models, from different companies operating in Greece, we are able to calculate the estimated energy production of 16 wind turbines.

For verification purposes, the estimated energy production of each wind turbine is calculated using two methods:

1. Wind Turbine Power Curve Approach with Polynomial Trendlines

It is a graphical approach to the power curve, given by wind turbine manufacturers, with polynomial trendlines. This method has been exclusively developed for the purposes of this study, so that the exclusive right of use is maintained.

2. Implementation of *WindRose*, a software for the analysis and correlation of wind data which is developed and commercialized by C.R.E.S

The results of the above methods show relative standard deviations ranging from 0.008% to 5%, showing an acceptable correlation with each other. Based on these results in relation to the operating scenarios of the desalination plant, as well as other certain criteria, the final proposals for wind turbine market are made.

Finally, an estimation of carbon dioxide avoidance (CO₂) and other polluting gases, due to the wind turbine installation on the island, is carried out and conclusions are drawn about general benefits of the island.

Keywords:

Mykonos, desalination, Reserve Osmosis, wind turbine, wind data, polynomial trendlines, WindRose, C.R.E.S.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ομότιμους καθηγητές του Τομέα Ηλεκτρικών-Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής, κ.κ. Περικλή Δ. Μπούρκα και Κωνσταντίνο Ν. Καραγιαννόπουλο για τη μέχρι σήμερα συνεργασία.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους μηχανικούς του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, η επιστημονική κατάρτιση, η καθοδήγηση και η παροχή πολύτιμων υποδείξεων των οποίων ήταν ουσιαστική στον σχεδιασμό, την πρόοδο και την ολοκλήρωση του έργου αυτού. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ θερμά την κα Ευτυχία Τζεν, τον Δρ. Σωκράτη Τεντζεράκη και τον Δρ. Κυριάκο Ρώσση, του Τμήματος Αιολικής Ενέργειας του Κ.Α.Π.Ε. καθώς και τους συνεργάτες μου για 6 χρόνια του Τμήματος Ανάπτυξης Αγοράς-Marketing. Επίσης, δεν πρέπει να παραλείψω τον κ. Κωνσταντίνο Κουνάνη, μηχανολόγο-μηχανικό και υπεύθυνο της Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου.

Τέλος, θέλω να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στην Αγγελική, στη Φραντζέσκα και στους φίλους μου, οι οποίοι ήταν αρωγοί σε αυτήν την προσπάθεια συμβάλλοντας στην επιτυχή περάτωσή της, μέσω της διαρκούς ηθικής και ψυχολογικής στήριξής που μου παρείχαν.

Γιώργος Β. Ξενάριος

Μάιος, 2017

Στη Μητέρα μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά Στοιχεία για το Νερό	1
1.2 Το Παγκόσμιο Πρόβλημα της Λειψυδρίας	1
1.3 Μέθοδοι Αντιμετώπισης Λειψυδρίας.....	2
1.4 Ενδεικτική Κατάσταση στην Ελλάδα	3
1.5 Ο Ρόλος των Α.Π.Ε. στο Πρόβλημα της Λειψυδρίας.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	10
2.1 Εισαγωγή	10
2.1.1 Γενικά	10
2.1.2 Αρχές Λειτουργίας	11
2.2 Μέθοδοι Αφαλάτωσης	12
2.2.1 Γενικά.....	12
2.2.2 Άμεση Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων - MSF	13
2.2.3 Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης – MED.....	14
2.2.4 Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών - VC.....	15
2.2.5 Ηλιακή Απόσταξη - SD	15
2.2.6 Ηλεκτροδιάλυση - ED	16
2.2.7 Αντίστροφη Όσμωση - R.O.....	17
2.2.7.1 Αρχή Λειτουργίας	17
2.2.7.2 Συστήματα Ανάκτησης Ενέργειας	18
2.3 Παράμετροι Επιλογής Μεθόδου Αφαλάτωσης.....	20
2.3.1 Γενικά.....	20
2.3.2 Πηγή Ενεργειακής Τροφοδοσίας Μονάδας-Ενεργειακές Απαιτήσεις.....	20
2.3.3 Κόστος Εξοπλισμού & Παραγωγής Πόσιμου Νερού.....	22
2.4 Αφαλάτωση με Α.Π.Ε.....	23
2.4.1 Γενικά.....	23
2.4.2 Ενδεικτική Κατάσταση στην Ελλάδα.....	24
2.4.3 Η Ισχύουσα Νομοθεσία	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	28
3.1 Εισαγωγή.....	28
3.2 Δυναμικό Αιολικής Ενέργειας.....	28
3.2.1 Μεταβολή Ταχύτητας Ανέμου με το Ύψος.....	29
3.2.2 Μεταβολή Ταχύτητας Ανέμου με τον Χρόνο	29
3.2.3 Μετρήσεις Αιολικού Δυναμικού.....	30
3.2.4 Ρόδο Ανέμου.....	31
3.2.5 Θεωρητικός Υπολογισμός Συχνοτήτων Κατανομής Ταχυτήτων Ανέμου.....	32
3.2.6 Ενέργεια & Ισχύς Ανέμου.....	32

3.3 Συστήματα Αιολικής Ενέργειας	33
3.3.1 Τύποι Ανεμογεννητριών.....	33
3.3.2 Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου Άξονα.....	36
3.3.3 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα.....	43
3.3.4 Παραγωγή Ενέργειας Ανεμογεννητριών.....	44
3.3.4.1 Καμπύλη Ισχύος.....	44
3.3.4.2 Παραγωγή Ενέργειας.....	45
3.3.4.3 Συντελεστής Εκμεταλλευσιμότητας.....	46
3.3.4.4 Απώλειες Ενέργειας.....	46
3.3.5 Πιστοποίηση Ανεμογεννητριών.....	47
3.4 Η Ισχύουσα Νομοθεσία	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ..... 53

4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Νήσου Μυκόνου	53
4.1.1 Γεωγραφία & Διοίκηση.....	53
4.1.2 Γεωμορφολογία & Γεωλογικά Χαρακτηριστικά.....	54
4.1.3 Κλίμα	55
4.2 Κάλυψη Αναγκών Ύδρευσης & Άρδευσης	58
4.3 Υφιστάμενη Κατάσταση Ηλεκτροπαραγωγής & Προοπτικές Ανάπτυξης Α.Π.Ε.	65
4.3.1 Ηλεκτροπαραγωγή.....	65
4.3.2 Υφιστάμενη Κατάσταση Μονάδων Α.Π.Ε.....	66
4.3.3 Τεχνικά Ζητήματα σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.....	70
4.3.3.1 Περιορισμός Διείσδυσης Α.Π.Ε.....	70
4.3.3.2 Μελέτες Διασύνδεσης Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΝΕΑ ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ..... 76

5.1 Τεχνολογική Περιγραφή Μονάδας Αφαλάτωσης	76
5.1.1 Παράμετροι Σχεδιασμού της Μονάδας.....	77
5.1.2 Τεχνική Περιγραφή Διεργασίας Αφαλάτωσης & Εγκατεστημένου Εξοπλισμού.....	78
5.1.2.1 Υδροληψία Θαλασσινού Νερού.....	78
5.1.2.2 Απολύμανση.....	79
5.1.2.3 Παραμονή Θαλασσινού Νερού σε Δεξαμενή Αποθήκευσης-Εξισορρόπησης.....	79
5.1.2.4 Άντληση Θαλασσινού Νερού από την Δεξαμενή.....	79
5.1.2.5 Φίλτραση σε Πολλαπλά Στρώματα Άμμου.....	79
5.1.2.6 Αποχλωρίωση με Έγχυση NaHSO_3	80
5.1.2.7 Διόρθωση pH.....	80
5.1.2.8 Φίλτραση μέσω Φυσιγγίων Ασφαλείας.....	81
5.1.2.9 Αντλητικό Συγκρότημα Υψηλής Πίεσης με Εναλλάκτη Πίεσης.....	81
5.1.2.10 Αφαλάτωση με Αντίστροφη Όσμωση.....	82

5.1.2.11	Αύξηση Σκληρότητας, Αλκαλικότητας και Διόρθωση pH	83
5.1.2.12	Μεταχλωρίωση	83
5.1.2.13	Αποθήκευση Πόσιμου Νερού	83
5.1.2.14	Αντλιοστάσιο Πόσιμου Νερού	83
5.1.3	Υπολογισμός Ισχύος Ενεργοβόρων Αντλιών & Βασικών Ενεργειακών Συντελεστών Μίας Μονάδας Αφαλάτωσης	84
5.1.3.1	Οσμωτική Πίεση Αιγαίου Πελάγους	84
5.1.3.2	Βαθμός Ανάκτησης Αφαλατωτή (<i>Recovery Ratio</i>)	84
5.1.3.3	Ισχύς Αντλίας Τροφοδοσίας Θαλασσινού Νερού (<i>Seawater Booster Pump</i>)	85
5.1.3.4	Ισχύς Αντλίας Κυκλοφορίας (<i>ERI Booster Pump</i>)	85
5.1.3.5	Ισχύς Αντλίας Υψηλής Πίεσης με Ανάκτηση Ενέργειας (<i>High Pressure Pump</i>)	86
5.1.3.6	Εκτιμώμενη Ισχύς Αντλίας Υψηλής Πίεσης Χωρίς Ανάκτηση Ενέργειας	86
5.1.3.7	Ανακτώμενη Ισχύς	87
5.1.3.8	Ισχύς Πιεστικού Συγκροτήματος Αντλιών Τροφοδοσίας Αφαλατωμένου Νερού	88
5.1.3.9	Ισχύς Αντλίας Έκπλυσης Μεμβρανών	88
5.1.3.10	Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας	89
5.1.4	Διαστασιολόγηση Μερών Μίας Μονάδας Αφαλάτωσης	89
5.1.4.1	Χωρητικότητα Δοχείου Έκπλυσης (<i>Draw Back Tank</i>)	89
5.1.4.2	Χωρητικότητα Δοχείου Χημικού Καθαρισμού	90
5.2	Σενάρια Λειτουργίας των Τριών Νέων Μονάδων Αφαλάτωσης	91
5.2.1	Σενάριο Ν ^ο 1: Λειτουργία αφαλάτωσης 8ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριος	92
5.2.2	Σενάριο Ν ^ο 2: Λειτουργία αφαλάτωσης 12ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριος	93
5.2.3	Σενάριο Ν ^ο 3: Λειτουργία αφαλάτωσης 24ώρες/ημέρα όλο το έτος (" <i>Worst Case Analysis</i> ")	94
5.3	Οικονομική Ανάλυση Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης	95
5.3.1	Κόστος Ενέργειας	95
5.3.2	Κόστος Χημικών	95
5.3.3	Κόστος Προσωπικού	96
5.3.4	Κόστος Συντήρησης	96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ..... 97

6.1	Υπολογισμός Εκτιμώμενης Ενεργειακής Παραγωγής Α/Γ με Δύο Μεθόδους & Εφαρμογή σε 16 Εμπορικές Α/Γ	97
6.1.1	Ανάπτυξη Μεθόδων Υπολογισμού Εκτιμώμενης Παραγωγής Ενέργειας Α/Γ	97

6.1.1.1 1 ^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης.....	97
6.1.1.2 2 ^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose του Κ.Α.Π.Ε.....	99
6.1.2 Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού της Εκτιμώμενης Ενεργειακής Παραγωγής σε 16 Εμπορικές Α/Γ.....	100
6.1.2.1 ENERCON E44-900kW.....	100
6.1.2.2 ENERCON E48-800kW.....	103
6.1.2.3 ENERCON E53-800kW.....	106
6.1.2.4 GENERAL ELECTRIC POWER 1,5 SLE-1.500kW.....	109
6.1.2.5 GENERAL ELECTRIC POWER 1,5 XLE-1.500kW.....	112
6.1.2.6 GAMESA G52-850kW.....	115
6.1.2.7 GAMESA G58-850kW.....	118
6.1.2.8 MADE AE-61-1.320kW.....	122
6.1.2.9 NORDEX S77-1.500kW.....	126
6.1.2.10 NORDEX S82-1.500kW.....	129
6.1.2.11 NORDEX S70-1.500kW.....	132
6.1.2.12 SUZLON S64-1.250kW.....	136
6.1.2.13 SUZLON S66-1.250kW.....	139
6.1.2.14 SUZLON S82-1.500kW.....	142
6.1.2.15 VESTAS V52-850kW.....	145
6.1.2.16 VESTAS V82-1.650kW.....	148
6.2 Προτάσεις Αγοράς Ανεμογεννητριών βάσει Σεναρίων Λειτουργίας της Νέας Μονάδας Αφαλάτωσης.....	152
6.2.1 Σενάριο Ν ^ο 1: Λειτουργία αφαλάτωσης 8ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο.....	152
6.2.2 Σενάριο Ν ^ο 2: Λειτουργία αφαλάτωσης 12ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο.....	152
6.2.3 Σενάριο Ν ^ο 3: Λειτουργία αφαλάτωσης 24ώρες/ημέρα όλο το έτος ("Worst Case Analysis").....	153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ Α/Γ & ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ..... 154

7.1 Κωδικοποίηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.....	154
7.1.1 Οπτική Όχληση - Αισθητική Ένταξη.....	154
7.1.2 Θόρυβος.....	156
7.1.3 Χλωρίδα - Πανίδα.....	157
7.1.4 Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές.....	158
7.2 Μείωση Εκπομπών Αερίων Ρύπων Βάσει Σεναρίων Λειτουργίας της Νέας Μονάδας Αφαλάτωσης.....	161
7.2.1 Σενάριο Ν ^ο 1: Λειτουργία αφαλάτωσης 8ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο.....	162

7.2.2 Σενάριο Νº2: Λειτουργία αφαλάτωσης 12ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο.....	163
7.2.3 Σενάριο Νº3: Λειτουργία αφαλάτωσης 24 ώρες/ημέρα όλο το έτος (" <i>Worst Case Analysis</i> ").....	164

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 165

Παρουσίαση Ανεμολογικών Δεδομένων Κ.Α.Π.Ε. για τη Νήσο Μύκονο μέσω του Προγράμματος WindRose.....	165
Ανεμολογικά Δεδομένα Ιουλίου.....	165
Ανεμολογικά Δεδομένα Αυγούστου.....	168
Ανεμολογικά Δεδομένα Σεπτεμβρίου.....	171
Ανεμολογικά Δεδομένα Οκτωβρίου.....	174
Ανεμολογικά Δεδομένα Νοεμβρίου.....	177
Ανεμολογικά Δεδομένα Δεκεμβρίου.....	180
Ανεμολογικά Δεδομένα Ιανουαρίου.....	183
Ανεμολογικά Δεδομένα Φεβρουαρίου.....	186
Ανεμολογικά Δεδομένα Μαρτίου.....	189
Ανεμολογικά Δεδομένα Απριλίου.....	192
Ανεμολογικά Δεδομένα Μαΐου.....	195
Ανεμολογικά Δεδομένα Ιουνίου.....	198
Φυλλάδια Τεχνικών Χαρακτηριστικών Εξεταζόμενων Α/Γ.....	201
ENERCON E44-900kW.....	201
ENERCON E48-800kW.....	203
ENERCON E53-800kW.....	205
GENERAL ELECTRIC POWER 1,5 SLE & 1,5 XLE-1.500kW.....	207
GAMESA G52-850kW.....	208
GAMESA G58-850kW.....	209
MADE AE-61-1.320kW.....	210
NORDEX S77-1.500kW.....	212
NORDEX S82-1.500kW.....	213
NORDEX S70-1.500kW.....	214
SUZLON S64-1.250kW.....	215
SUZLON S66-1.250kW.....	216
SUZLON S82-1.500kW.....	217
VESTAS V52-850kW.....	218
VESTAS V82-1.650kW.....	220
Energy Recovery Device: Model PX-220.....	222

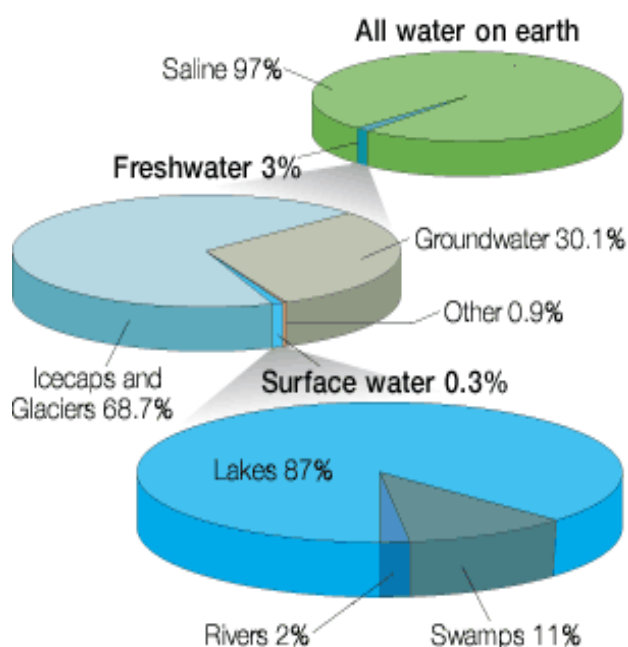
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 223

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά Στοιχεία για το Νερό

Χωρίς αμφιβολία, το νερό αποτελεί την θεμελιώδη προϋπόθεση για ζωή στο πλανήτη μας αλλά και την κινητήρια δύναμη για την ανθρώπινη εξέλιξη. Όμως, το γλυκό νερό αποτελεί μόλις το 3% του συνολικού υδάτινου αποθέματος της Γης, από το οποίο το 30,1% είναι τα υπόγεια ύδατα και μόνο το 0,3% βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 1.1 Διασπορά υδάτινων πόρων της Γης

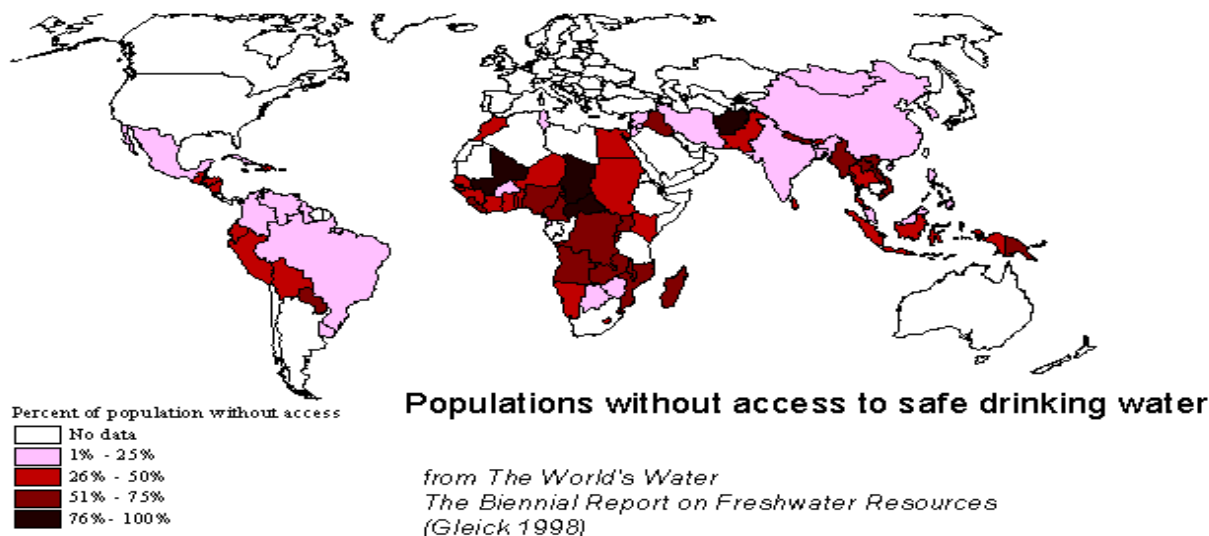
Τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα, λοιπόν, αποτελούν την μέχρι σήμερα πρώτη επιλογή για την κάλυψη των αναγκών σε πόσιμο νερό του πληθυσμού. Τις τελευταίες, όμως, δεκαετίες παρατηρείται μια διαρκής μείωση των αποθεμάτων αυτών η οποία, αναμφίβολα, έχει άμεσο αντίκτυπο στην ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων στον πλανήτη [24].

1.2 Το Παγκόσμιο Πρόβλημα της Λειψυδρίας

Η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες της σύγχρονης εποχής. Αναζητώντας τις κυριότερες αιτίες αυτής της κατάστασης μπορούμε επιγραμματικά να καταλήξουμε στις εξής:

- Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της Γης
- Η μετανάστευση μεγάλου μέρους του πληθυσμού στις αστικές περιοχές

- Η μαζική και αλόγιστη κατανάλωση
- Η κατάχρηση των φυσικών πόρων
- Η μόλυνση του νερού



Σχήμα 1.2 Γεωγραφική κατανομή πληθυσμών χωρίς πρόσβαση σε πόσιμο νερό

Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και αιτία διενέξεων μεταξύ των πληθυσμών. Πολλοί έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος καθιστώντας χώρες με πλεονάζοντα αποθέματα νερού τις πιο πλούσιες χώρες του πλανήτη. Σύμφωνα με έρευνα της UNESCO, που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Ακόμη, το 40% από τους ανθρώπους που ζουν στη Γη δεν έχουν επαρκή ποσότητα νερού ακόμα και για υποτυπώδη υγιεινή.

Συνοπτικά κάποιες επιπτώσεις της λειψυδρίας στον πληθυσμό αποτελούν:

- Αύξηση μολυσματικών ασθενειών και θνησιμότητα
- Μείωση παραγωγής αγαθών
- Μετανάστευση πληθυσμών
- Φτώχεια
- Ερημοποίηση περιοχών και μείωση βιοποικιλότητας
- Διατάραξη εύρυθμης λειτουργίας του οικοσυστήματος

Όπως γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό η άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος αποτελεί υψίστης σημασίας ζήτημα για την ανθρωπότητα προς αποφυγή περαιτέρω μη αντιστρεπτών καταστάσεων.

1.3 Μέθοδοι Αντιμετώπισης Λειψυδρίας

Όπως γίνεται κατανοητό, είναι αναγκαίο να παρθούν αποφάσεις από τοπικούς φορείς και περιβαλλοντικές οργανώσεις προκειμένου να εξοικονομηθεί νερό και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι προτεινόμενες λύσεις για τέτοιες περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Κατασκευή λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων
- Κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης

- Βελτίωση των υποδομών με αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων δικτύων για περιορισμό των απωλειών
- Ενημέρωση καταναλωτών για ορθότερη χρήση του νερού
- Κατασκευή παράλληλου δικτύου κατώτερης ποιότητας νερού για χρήσεις όπου δεν απαιτείται άριστη ποιότητα νερού (π.χ. άρδευση)
- Επεξεργασία των λυμάτων και ανακύκλωση του νερού εξόδου του βιολογικού καθαρισμού για δευτερεύουσες χρήσεις (άρδευση, οικοδομικές εργασίες, χρήση στα λιμάνια κ.λπ.)
- Μεταφορά νερού με πλοία από το πλησιέστερο γειτονικό νησί που διαθέτει νερό, ως λύση ανάγκης σε περιπτώσεις που οι άλλες λύσεις δεν είναι εφαρμόσιμες

1.4 Ενδεικτική Κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, αν και ακόμα το πρόβλημα της λειψυδρίας δεν είναι του ίδιου μεγέθους με άλλες περιοχές του πλανήτη, οι ενδείξεις δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον να αντιμετωπίσουμε σοβαρό πρόβλημα. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αλόγιστη χρήση νερού σε συνδυασμό με τη συνεχιζόμενη μείωση των βροχοπτώσεων ιδίως στις νησιωτικές περιοχές. Ήδη, πολλά νησιά της χώρας μας αντιμετωπίζουν παρατεταμένες περιόδους έντονης λειψυδρίας, ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο, όπου ταυτόχρονα σημειώνεται και αύξηση της ζήτησης κυρίως λόγω τουρισμού.

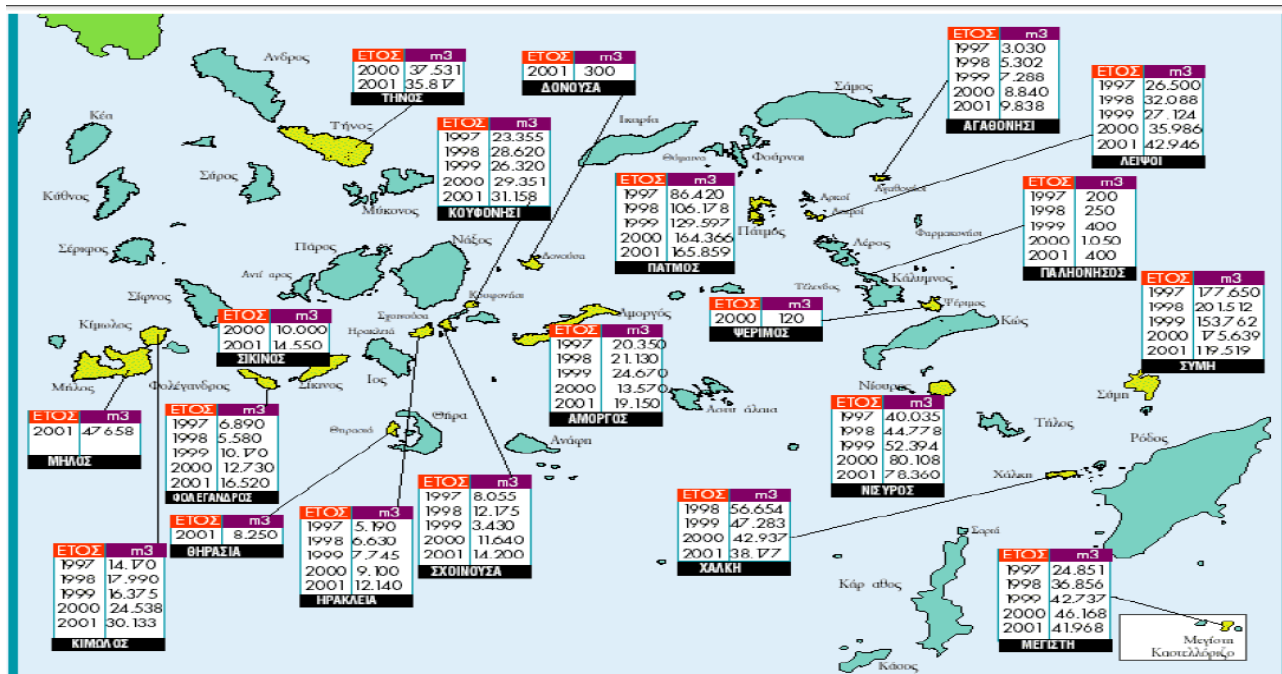
Περίπου σε 20 νησιά των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου αναμένεται αύξηση των ελλειμμάτων νερού από 25-40% τα επόμενα χρόνια. Συνολικά, παρά τη μεταφορά περίπου 11.000.000 m³ την τελευταία δεκαετία, το πρόβλημα διαρκώς οξύνεται αφού το ετήσιο υδατικό έλλειμμα στις Κυκλάδες σε 20 χρόνια αναμένεται γύρω στα 1.300.000 m³ και στα Δωδεκάνησα περίπου στα 1.600.000m³, εφόσον δεν υπάρξει μέριμνα για μείωση του ελλείμματος με κατασκευή έργων ή λήψη περαιτέρω διαχειριστικών μέτρων.

Μέρος του προβλήματος αντιμετωπίζεται με μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια από την ηπειρωτική Ελλάδα ή από γειτονικά νησιά όπου υπάρχουν υδάτινα αποθέματα (πχ. Ρόδος). Η αλήθεια είναι ότι αυτή η λύση δεν είναι καθόλου συμφέρουσα αφού το κόστος της μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό. Συγκεκριμένα, το 2007, σύμφωνα με τη σύμβαση του τότε Υπουργείου Αιγαίου και της εταιρείας μεταφοράς νερού, το κόστος ανερχόταν σε 7,9 €/m³ για τις Κυκλάδες και 5,08 €/m³ για τα Δωδεκάνησα, ενώ σύμφωνα με στοιχεία του 2010 το κόστος έχει ανέλθει σε 9,3 €/m³ και 7,3 €/m³ αντίστοιχα [4,5].

ΕΤΟΣ	Ν.Α. ΚΥΚΛΑΔΩΝ			Ν.Α. ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ			ΣΥΝΟΛΑ	
	Ποσότητες m ³	Δαπάνες € (με ΦΠΑ)	Δαπάνη (€/m ³)	Ποσότητες m ³	Δαπάνες € (με ΦΠΑ)	Δαπάνη (€/m ³)	Ποσότητες m ³	Δαπάνες €
1997	86.525	311.078	3,60	402.295	933.802	2,32	488.820	1.244.881
1998	91.050	650.755	7,15	484.994	1.312.419	2,71	576.044	1.963.174
1999	87.760	672.712	7,67	461.855	1.407.916	3,05	549.615	2.080.628
2000	145.570	1.158.370	7,96	555.212	2.004.234	3,61	700.782	3.162.604
2001	203.792	1.625.093	7,97	621.297	2.722.540	4,38	825.089	4.347.633
2002	329.343	2.561.278	7,78	617.745	3.109.358	5,03	947.088	5.670.637
2003	336.777	2.772.718	8,23	605.019	3.214.680	5,31	941.796	5.987.398
2004	338.812	2.787.235	8,23	759.737	4.034.203	5,31	1.098.549	6.821.438
2005	464.562	4.006.916	8,63	969.676	5.082.935	5,24	1.434.238	9.089.852
2006	567.719	4.677.686	8,24	1.005.338	4.905.044	4,88	1.573.057	9.582.730
2007	697.117	5.802.509	8,32	1.101.628	5.403.900	4,91	1.798.745	11.206.409
ΣΥΝ.	3.349.027	27.026.353		7.584.796	34.131.036		10.933.823	61.157.390

Πίνακας 1.1 Πίνακας δαπανών και μεταφερόμενων ποσοτήτων νερού ανά έτος στις Κυκλάδες & στα Δωδεκάνησα

Στον παραπάνω πίνακα παρατίθενται αναλυτικά οι ποσότητες μεταφερόμενου νερού και οι δαπάνες ανά έτος για τις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Παρατηρούμε ότι μέσα σε 10 χρόνια ο συνολικός όγκος μεταφερόμενου νερού τετραπλασιάστηκε ενώ οι δαπάνες του κράτους για τη μεταφορά του δεκαπλασιάστηκαν. Όσον αφορά το κάθε νησί ξεχωριστά το Σχήμα 1.3 είναι αντιπροσωπευτικό της διακύμανσης μεταφοράς νερού τα έτη 1997-2001.



Σχήμα 1.3 Ποσότητες μεταφερόμενου νερού σε νησιά του Αιγαίου [4]

Προφανώς η λύση αυτή δεν αποτελεί την βέλτιστη, αφού το μόνο που κατορθώνεται είναι να καλυφθεί η ζήτηση μόνο για μια συγκεκριμένη περίοδο και με ιδιαίτερα δαπανηρό τρόπο. Έτσι δεν δημιουργούνται οι υποδομές για επίλυση του προβλήματος σε βάθος χρόνου. Ως στόχος, λοιπόν, πρέπει να τεθεί η ανεύρεση μιας οικονομικά συμφέρουσας λύσης που θα καθιστά την

μεταφορά νερού με υδροφόρες ως επιλογή ανάγκης και όχι ως επικρατούσα λύση του προβλήματος.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, η τεχνολογία της αφαλάτωσης φαίνεται να κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος. Ήδη η κατασκευή νέων μονάδων αφαλάτωσης σε νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου σημειώνει αύξηση από το 2000 έως σήμερα, γεγονός ιδιαίτερα ελπιδοφόρο για το μέλλον για την αντιμετώπιση του έντονου προβλήματος της λειψυδρίας ιδιαίτερα σε ορισμένα νησιά. Στον Πίνακα 1.2 παρατίθενται στοιχεία μερικών εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης αλμυρού και υφάλμυρου νερού, τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης κυρίως, στη νησιωτική Ελλάδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης στην Ελλάδα εγκαινιάστηκε στη Σύμη στις 10 Οκτωβρίου 1964 [4,5,6].

Εγκατεστημένες Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα					
Μονάδα	Έτος Κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Μέγιστη Δυναμικότητα (m³/d)	Αρχικό Κόστος (10⁶€)	Λειτουργικό Κόστος (€/m³)
1 ^η Μυκόνου (Κόρφος)	1989	RO (SW)	1200 (2 μονάδες)	-	-
2 ^η Μυκόνου (Κόρφος)	2001	RO (SW)	2250 (3 μονάδες)	1,276	0,50
3^η Μυκόνου (Κόρφος) Νέα	2008	RO (SW)	4500 (3 μονάδες)	-	0,40
Μήλου	2007	RO (SW)	3360	-	-
Ηρακλειά (πλωτή)	2008	RO (SW)	70	2,8	-
1 ^η Σύρου (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800	0,589	1,25
2 ^η Σύρου (Άνω Σύρος)	1993	RO (SW)	120	-	-
3 ^η Σύρου (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800	1,482	1,25
4 ^η Σύρου (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	500 (2 μονάδες)	0,346	1,00
5 ^η Σύρου (Άνω Σύρος)	2000	RO (SW)	250	0,215	0,50
6 ^η Σύρου (Άνω Σύρος)	2002	RO (SW)	500	0,40	0,50
7 ^η Σύρου (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	2000 (4 μονάδες)	0,313	1,00
8 ^η Σύρου (Άνω Σύρος)	2005	RO (SW)	1000 (2 μονάδες)	1,000	0,40
Ίου (Μυλοπότας)	2003	RO (SW)	1000	-	-
Σχοινούσας	2004	RO (SW)	100	0,120	0,70

Εγκατεστημένες Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα					
Μονάδα	Έτος Κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Μέγιστη Δυναμικότητα (m³/d)	Αρχικό Κόστος (10⁶€)	Λειτουργικό Κόστος (€/m³)
Πάρου (Νάουσα)	2001	RO (SW)	1200	0,415	0,50
1 ^η Τήνου (Παλαιά)	2001	RO (SW)	500	0,434	0,62
2 ^η Τήνου (Νέα)	2005	RO (SW)	500	0,376	0,62
1 ^η Οίας Σαντορίνης	1994	RO	220	-	2,00
2 ^η Οίας Σαντορίνης	2000	RO	320	0,211	2,00
3 ^η Οίας Σαντορίνης	2002	RO	160	-	2,00
Σίφνου (Καμάρες)	2002	RO(BW)	500	0,224	3,50
1 ^η Δήμου Ομηρούπολης Χίου	2000	RO (BW)	600	0,205	0,30
2 ^η Δήμου Ομηρούπολης Χίου	2005	RO	3000 (3 μονάδες)	0,710	0,26
3 ^η Δήμου Ομηρούπολης Χίου	2005	RO	500	0,200	0,26
1 ^η Νισύρου (Παλαιά)	1991	RO	300	0,572	-
2 ^η Νισύρου (Νέα)	2002	RO	350	0,295	0,66
1 ^η Δήμου Ιθάκης	1981	RO	620	0,264	2,88
2 ^η Δήμου Ιθάκης	2003	RO	520	0,587	0,58
3 ^η Δήμου Ιθάκης	2005	RO (SW)	200	0,220	-
Λέρου	2001	RO	200	0,074	0,13
Δήμου Κασσωπαιών Κέρκυρας	2001	RO	500	0,117	0,13
Δήμου Ποσειδωνίας Σύρου	2002	RO (SW)	500 (2 μονάδες)	0,464	0,56
Δήμου Ποσειδωνίας Σύρου	2005	RO (SW)	1000 (2 μονάδες)	0,574	0,45
Δήμου Αγίου Γεωργίου Κέρκυρας	2002	RO	500	0,102	0,30
1 ^η Δήμου Παξών	2005	RO	330	0,260	0,51
2 ^η Δήμου Παξών	2005	RO	150	0,162	0,59

Εγκατεστημένες Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα					
Μονάδα	Έτος Κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Μέγιστη Δυναμικότητα (m³/d)	Αρχικό Κόστος (10⁶€)	Λειτουργικό Κόστος (€/m³)
3 ^η Δήμου Παξών	2007	RO (SW)	250	0,211	0,51
Δήμου Δυστίων Εύβοιας	2006	RO (BW)	400	0,200	0,30
Σίφνου	2007	RO (SW)	250	-	-
Οινουσών	2005	RO (SW)	500	-	-
Δήμου Πόρου	2006	RO (BW)	1000	0,200	0,30
Μεγίστης	1990	RO (SW)	50	-	-

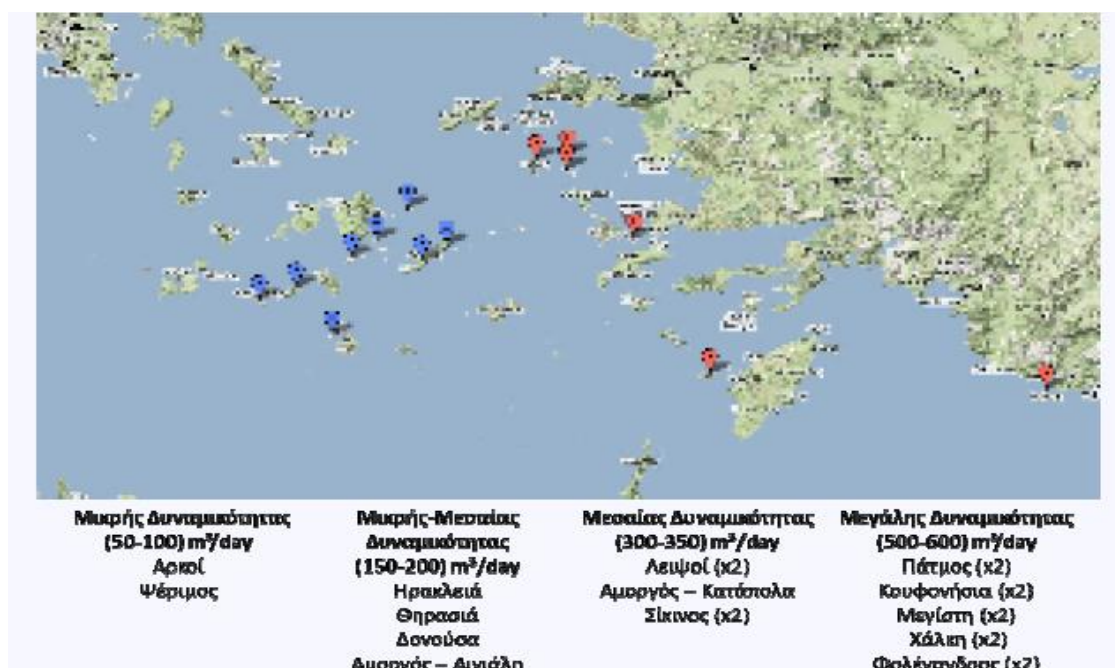
Πίνακας 1.2 Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στο Αιγαίο και Ιόνιο Πέλαγος

Παρατηρούμε ότι το κόστος του παραγόμενου νερού τείνει να φθίνει όσο αυξάνει η μέγιστη δυναμικότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού, καθώς και με την πάροδο του χρόνου οπότε και επέρχεται η ωρίμανση της τεχνολογίας. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τον πίνακα, το κόστος του παραγόμενου νερού κυμαίνεται από 0,13-2,88 €/m³ για το θαλάσσιο νερό (*seawater*), ενώ για υφάλμυρο νερό (*brackish water*) το κόστος κυμαίνεται στα 0,30 €/m³ με εξαίρεση την μονάδα στις Καμάρες Σίφνου που εκτιμάται γύρω στα 3,5 €/m³.

Το 2008 προκηρύχθηκε πρόσκληση από το τότε Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, για υποβολή προτάσεων αντιμετώπισης του προβλήματος της λειψυδρίας στα νησιά με μέγιστη τιμή πώλησης του νερού τα 2,5 €/m³. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον ισχύοντα νόμο για τα Α.Π.Ε. (*Νόμος 3851/2010*) δίνεται προτεραιότητα στην αδειοδότηση νέων μονάδων Α.Π.Ε. με αφαλάτωσης. Τα παραδείγματα αυτά δείχνουν ξεκάθαρα την πρόθεση της πολιτείας να λύσει μακροπρόθεσμα το πρόβλημα της λειψυδρίας και αποτελεί ελπίδα για το μέλλον των άνυδρων νησιών που καταγράφονται στον Πίνακα 1.3. Μάλιστα, ήδη, βρίσκονται υπό μελέτη μονάδες αφαλάτωσης σε αρκετά νησιά του Αιγαίου όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4.

Άνυδρα Νησιά του Αιγαίου					
1	Αμοργός	8	Δονούσα	15	Σύμη
2	Κουφονήσια	9	Τήνος	16	Αγαθονήσι
3	Κίμωλος	10	Σίκινος	17	Λειψοί
4	Ηρακλεία	11	Θηρασιά	18	Μεγίστη
5	Σχοινούσα	12	Μήλος	19	Νίσυρος
6	Φολέγανδρος	13	Πάτμος	20	Χάλκη
7	Κάλυμνος	14	Ψέριμος		

Πίνακας 1.3 Τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου



Σχήμα 1.4 Νησιά του Αιγαίου όπου βρίσκονται υπό μελέτη μονάδες αφαλάτωσης

1.5 Ο Ρόλος των Α.Π.Ε. στο Πρόβλημα της Λειψυδρίας

Ο κλάδος των Α.Π.Ε. αποτελεί αδιαμφισβήτητα έναν ραγδαία εξελισσόμενο κλάδο που είναι εν μέρει το παρόν και θα αποτελέσει το μέλλον της ηλεκτροπαραγωγής. Την σκέψη αυτή ενισχύουν τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας και ιδιαίτερα των νησιωτικών περιοχών, όπου οι πηγές ενέργειας, όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία, απαντούν σε περίσσεια και καθιστούν την εκμετάλλευσή τους ιδιαίτερα επικερδή σε πολλούς τομείς.

Επιγραμματικά αναφέρονται κάποια πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. [20]:

- Πρακτικά ανεξάντλητες πηγές
- Συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας
- Απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Σχετικά μικρή διάρκεια κατασκευής
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- Φιλικές προς το περιβάλλον

Διαφαίνεται ότι οι Α.Π.Ε. μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή κάλυψη των ιδιαίτερα ενεργοβόρων εργοστασίων αφαλάτωσης. Το κόστος παραγωγής νερού από μια μονάδα αφαλάτωσης αποτελεί, ίσως, τον πιο σημαντικό παράγοντα στην απόφαση για την εγκατάσταση της. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη ότι αρκετά μεγάλο μέρος του κόστους παραγωγής νερού από μια μονάδα αφαλάτωσης διαμορφώνεται από τη πηγή τροφοδοσίας ενέργειας, η επιλογή του τρόπου ηλεκτροδότησης αποτελεί ένα εξίσου σημαντικό θέμα προς μελέτη.

Δύο είναι οι κύριοι τρόποι κάλυψης των ενεργειακών καταναλώσεων μιας μονάδας αφαλάτωσης:

1. Διασύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης στο ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής

Σε ότι αφορά τα νησιά μπορεί είτε να είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας είτε να καλύπτονται οι καταναλώσεις από τις εγκατεστημένες συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής του αυτόνομου ηλεκτρικού δικτύου του νησιού.

2. Διασύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης με αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. και αποθήκευσης σε συστήματα αποθήκευσης (συσσωρευτές)

Καταρχάς, σε ότι αφορά τον πρώτο τρόπο τροφοδοσίας μιας μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να διευκρινιστεί ότι είναι ο πλέον ενδεδειγμένος για μονάδες αφαλάτωσης μεσαίας (300-500 m³/ημέρα) και μεγάλης δυναμικότητας (άνω των 500 m³/ημέρα). Όσο αυξάνει η δυναμικότητα ενός εργοστασίου αφαλάτωσης τόσο αυξάνονται και οι καταναλώσεις της. Αν και τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την υιοθέτηση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας στα μεγάλα εργοστάσια αφαλατώσεων (πχ εναλλάκτες πίεσης), η κατανάλωση ενέργειας έχει μειωθεί δραστικά, δεν παύει να είναι αρκετά υψηλή για να καλυφθεί από αυτόνομα συστήματα παροχής ενέργειας. Χρυσή τομή στο πρόβλημα της ηλεκτροδότησης μιας μεγάλης μονάδας αποτελεί η διασύνδεση της με το ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής με ταυτόχρονη διασύνδεση Α.Π.Ε. στο δίκτυο προς αντιστάθμιση των καταναλώσεων της.

Από την άλλη, η λύση της ηλεκτροδότησης μιας μονάδας αφαλάτωσης από αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. και αποθήκευσης σε σύστημα αποθήκευσης (π.χ. συστοιχία συσσωρευτών) αποτελεί την πλέον διαδεδομένη για μονάδες αφαλάτωσης μικρής δυναμικότητας. Το κύριο μειονέκτημα, που παρουσιάζει μια τέτοια επιλογή, είναι η συνεχώς μειωμένη απόδοση και δυνατότητα επαναφόρτισης με την πάροδο του χρόνου των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και το ιδιαίτερα υψηλό κόστος αγοράς και αντικατάστασής τους. Για τον λόγο αυτόν, τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει στραφεί προς άλλους, πιο αξιόπιστους, τρόπους αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι το υδρογόνο και η αντλησιοταμίευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

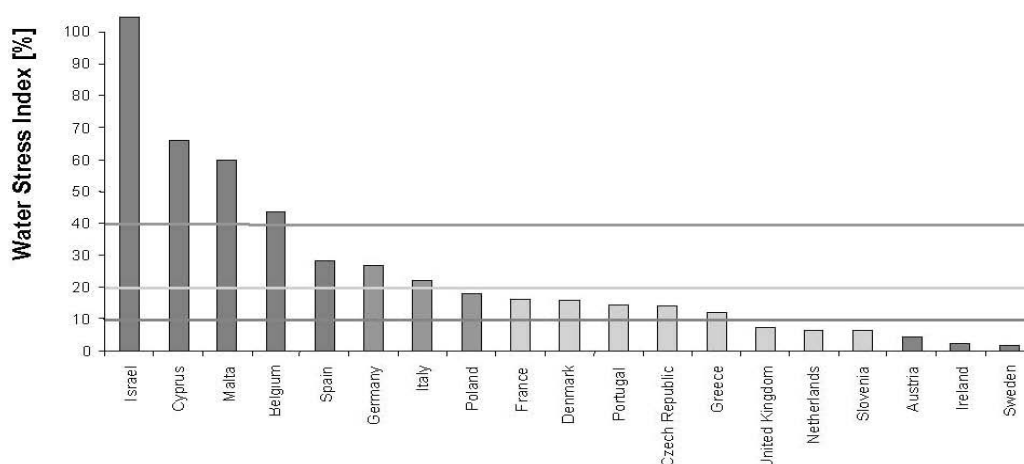
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

2.1 Εισαγωγή

2.1.1 Γενικά

Το συνεχώς διογκωμένο πρόβλημα της λειψυδρίας κάνει όλο και πιο επιτακτική την ανάγκη άμεσης αντιμετώπισης του. Όπως προαναφέρθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η αφαλάτωση αποτελεί μια τάση προς αυτή την κατεύθυνση και μια επιστημονική περιοχή που επιδέχεται περαιτέρω έρευνας.

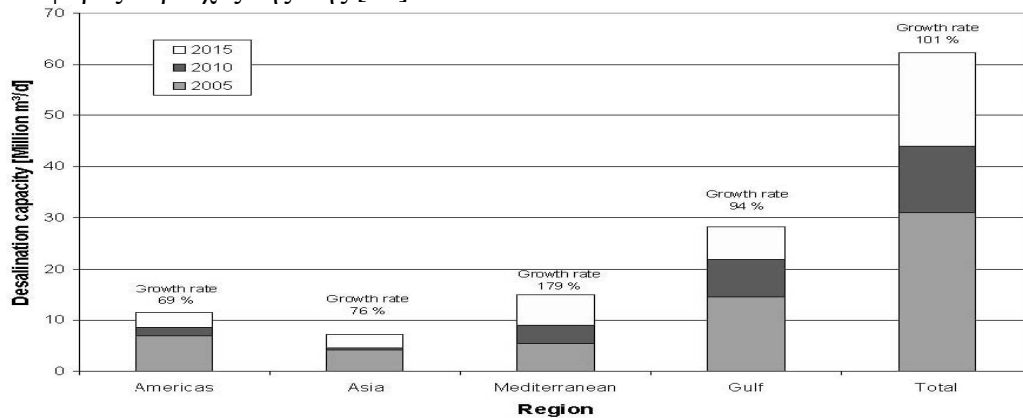
Ουσιαστικά, η έλλειψη πόσιμου νερού ανά τον κόσμο, χωρίς να επικεντρώνεται το ενδιαφέρον μόνο στις άνυδρες περιοχές, προκύπτει σαν η διαφορά προσφοράς και ζήτησης του (Σχήμα 2.1). Η υστέρηση αυτή των αποθεμάτων νερού οφείλεται κυρίως στη ρύπανση καθώς και στην αλόγιστη εκμετάλλευση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων πόρων. Από την άλλη, παράγοντες όπως η αύξηση του πληθυσμού, ο σύγχρονος τρόπος ζωής που επιβάλλει αυξημένη κατανάλωση νερού αλλά και η αύξηση της βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας είναι οι αιτίες για μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό.



Σχήμα 2.1 Δείκτης έλλειψης πόσιμου νερού σε διάφορες χώρες

Παρόλο που οι άμεσα εκμεταλλεύσιμοι υδάτινοι πόροι ολοένα και λιγοστεύουν, υπάρχουν πηγές που βρίσκονται σε αφθονία αλλά πρέπει πρώτα το νερό τους να υποστεί επεξεργασία πριν δοθεί προς κατανάλωση. Δεν πρέπει να ξεχνάμε το γεγονός ότι το θαλασσινό νερό αποτελεί το 97% των υδάτινων πόρων του πλανήτη, όμως λόγω της σύστασης του είναι ακατάλληλο για κάθε είδους χρήση. Σε αυτό βασίζεται η ιδέα της αφαλάτωσης όπου μέσω μιας σειράς διαδικασιών, όπως π.χ. η αφαίρεση αλάτων και μετάλλων από το θαλασσινό νερό, το μετατρέπει σε νερό κατάλληλο προς κατανάλωση. Μια μονάδα αφαλάτωσης έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί, εκτός από θαλασσινό, υφάλμυρο νερό αλλά και επεξεργασμένα λύματα. Έτσι, η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική πηγή προσφοράς πόσιμου νερού, το οποίο ειδικά θα έμενε ανεκμετάλλευτο, σε περιοχές που παρουσιάζεται πρόβλημα για ιδιωτική, βιομηχανική και αγροτική χρήση. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται το συνολικό μέγεθος των εγκατεστημένων

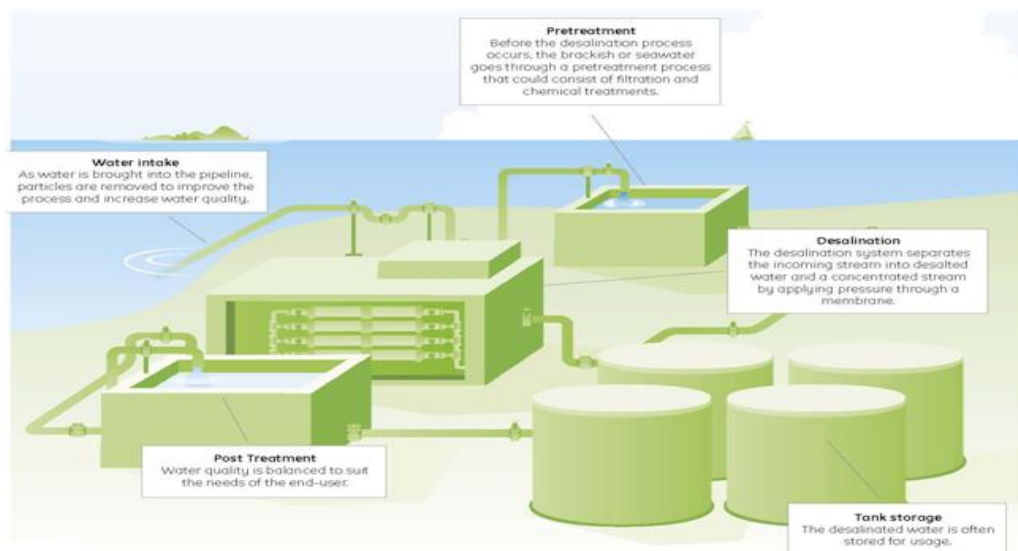
μονάδων αφαλάτωσης τα έτη 2005 και 2010, καθώς και η προβλεπόμενη ανάπτυξη για το έτος 2015 σε διάφορες περιοχές της Γης [24].



Σχήμα 2.2 Δυναμικότητα παραγωγής νερού εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης σε περιοχές της Γης και η προβλεπόμενη ανάπτυξη τους έως το 2015

2.1.2 Αρχές Λειτουργίας

Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω, η βασική διαδικασία και τα επιμέρους στάδια όλου του συστήματος παραμένουν ίδια. Σε αυτή την ενότητα, θα γίνει προσπάθεια να περιγραφεί ένα τυπικό σύστημα αφαλάτωσης (Σχήμα 2.3).

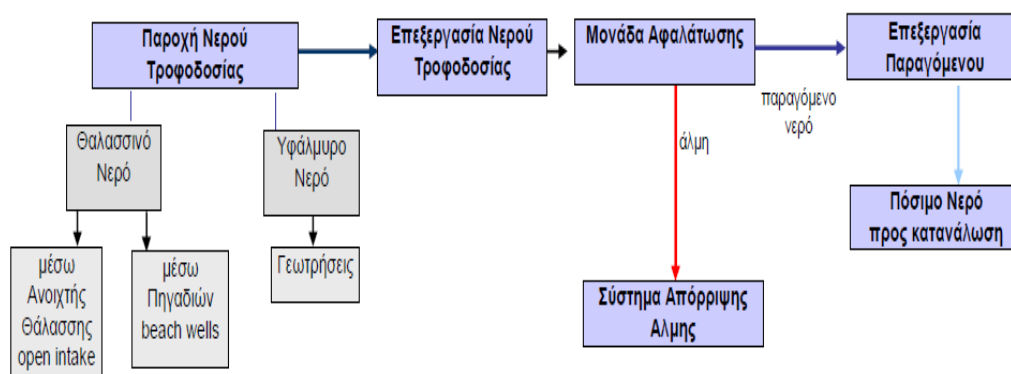


Σχήμα 2.3 Αναπαράσταση ενός τυπικού συστήματος αφαλάτωσης

Αρχικά, το θαλασσινό νερό συλλέγεται μέσω σωληνώσεων και συγχρόνως αφαιρούνται πιθανά σωματίδια προκειμένου να έχει καλύτερη απόδοση η διαδικασία αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού (*Water Intake*). Εν συνεχεία, το ρεύμα θαλασσινού νερού διέρχεται από μια διαδικασία, η οποία προηγείται της αφαλάτωσης, όπου φιλτράρεται ή και επεξεργάζεται χημικά αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης (*Pretreatment*). Το νερό μετά από αυτό το στάδιο είναι έτοιμο να διέλθει από το κύριο μέρος της εγκατάστασης (*Desalination*). Εδώ, το σύστημα αφαλάτωσης διαχωρίζει το ρεύμα εισόδου σε ένα ρεύμα με αφαλατωμένο νερό και σε ένα ρεύμα με συμπυκνωμένη άλμη.

Η μέθοδος με την οποία διαχωρίζεται το ρεύμα θαλασσινού νερού ποικίλει. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές διεργασίες αφαλάτωσης, βασικά στοιχεία των οποίων θα αναλυθούν σε αντίστοιχη ενότητα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η απόρριψη της παραγόμενης άλμης στη θάλασσα είναι πιθανόν να έχει επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα. Συνεπώς, είτε επιλέγεται η εκμετάλλευση της, όπως π.χ. παραγωγή άλατος, είτε η απόρριψή της γίνεται με συγκεκριμένες μεθόδους ώστε να επιβαρύνεται όσο το δυνατόν λιγότερο η υποθαλάσσια περιοχή απόρριψης.

Στη συνέχεια, το αφαλατωμένο νερό επεξεργάζεται εκ νέου για να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας προκειμένου να είναι κατάλληλο για χρήση (*Post Treatment*). Τέλος, πολλές φορές το παραγόμενο νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές στην περίπτωση που η εκμετάλλευση του δεν απαιτείται να είναι άμεση (*Water Storage*) [4,5].



Σχήμα 2.4 Τυπικό διάγραμμα μονάδας αφαλάτωσης [4,5]

2.2 Μέθοδοι Αφαλάτωσης

2.2.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες λόγω του αυξημένου ενδιαφέροντος έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης, άλλες από τις οποίες μόνο σε θεωρητικό επίπεδο και άλλες είναι πρακτικά εφαρμόσιμες, τις οποίες και θα αναλύσουμε στην ενότητα αυτή. Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα τον μηχανισμό διαχωρισμού, σε αυτές όπου το μέσο αλλάζει φάση εκμεταλλευόμενο κάποια πηγή θερμότητας και σε αυτές που μέσω μεμβρανών, με επιβολή πίεσης, γίνεται ο διαχωρισμός του θαλασσινού νερού.

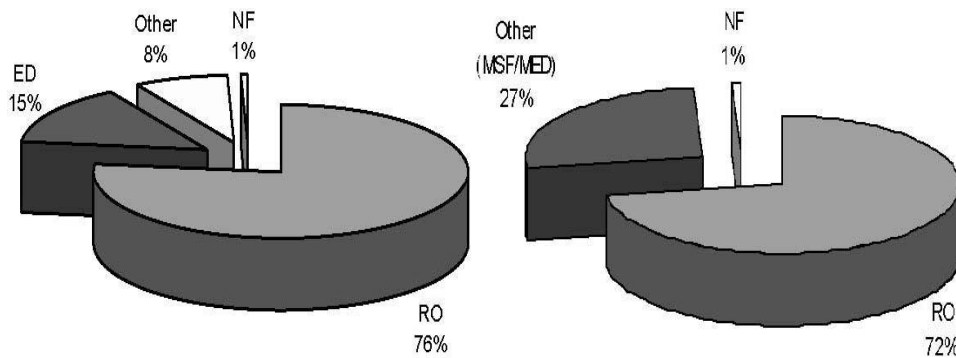
Συνεπώς, οι μέθοδοι αφαλάτωσης ομαδοποιούνται σε:

1. Αλλαγής φάσης (*Phase-change Processes*):

- Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (*MSF*)
- Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (*MED*)
- Απόσταξη με συμπύεση ατμών (*VC*)
- Ηλιακή απόσταξη (*Solar Distillation*)
- Πάγωμα
- Ύγρανση/Αφύγρανση

2. Διεργασίες Μεμβρανών (*Membrane Based Desalination Technologies*):

- Αντίστροφη Όσμωση (*RO*)
- Ηλεκτροδιάλυση (*ED*)
- Νανόφιλτρα (*NF*)

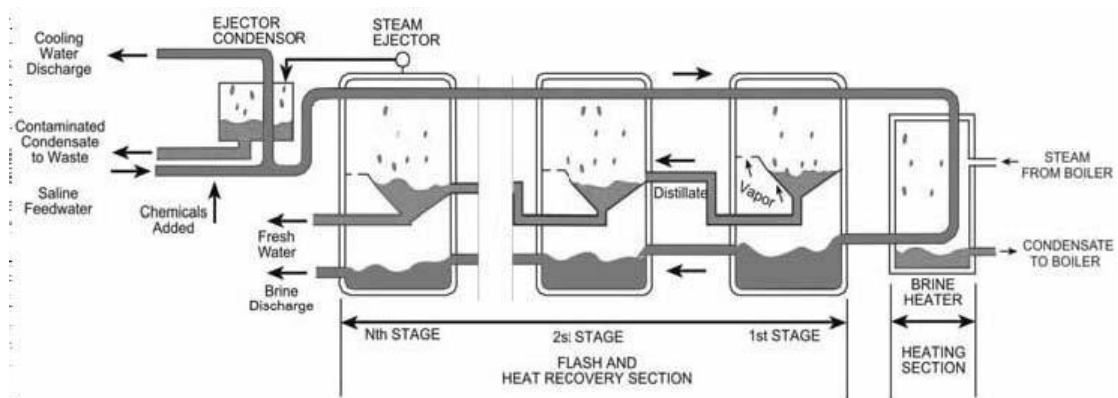


Σχήμα 2.5 Αγορά μεθόδων αφαλάτωσης υφάλμυρου (αριστερά) και θαλασσινού (δεξιά) νερού

Από τις παραπάνω μεθόδους (Σχήμα 2.5) αυτές που κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς της Ευρώπης για το θαλασσινό νερό είναι η αντίστροφη όσμωση (R.O.) και οι θερμικές (MSF/MED), ενώ αντίστοιχα για το υφάλμυρο νερό η αντίστροφη όσμωση (R.O.) και η Ηλεκτροδιάλυση (ED). Στις ενότητες που έπονται, δίνονται κάποια λειτουργικά στοιχεία για τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί εμπορικά [4,5,9].

2.2.2 Άμεση Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων - MSF

Η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων βασίζεται στη δημιουργία ατμού από το θαλασσινό νερό, η οποία οφείλεται σε μια απότομη μείωση της πίεσης όταν το ρεύμα του θαλασσινού νερού εισέρχεται σε έναν θάλαμο κενού. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έχοντας χαμηλότερη πίεση από θάλαμο σε θάλαμο. Η μέθοδος απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία ατμού θερμοκρασίας περίπου 100°C. Η απόδοση της περιορίζεται, λόγω του μέγιστου της θερμοκρασίας που επιτρέπεται, εξαιτίας της συγκέντρωσης άλατος. Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία της μεθόδου, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 Αρχή λειτουργίας μεθόδου MSF

Αναλυτικά, η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων αποτελεί μια μέθοδο αφαλάτωσης με επί μέρους στάδια επεξεργασίας (συνήθως 10-30). Σε κάθε στάδιο, συμπύκνωμα ατμού χρησιμοποιείται για να προθερμάνει το τροφοδοτούμενο θαλασσινό νερό. Με τον «διαχωρισμό» της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στη θερμή πηγή και στο θαλασσινό νερό, σε ένα μεγάλο αριθμό από στάδια (2°C πτώση θερμοκρασίας ανά στάδιο), το σύστημα αποκτά την ιδανική ολική λανθάνουσα θερμότητα.

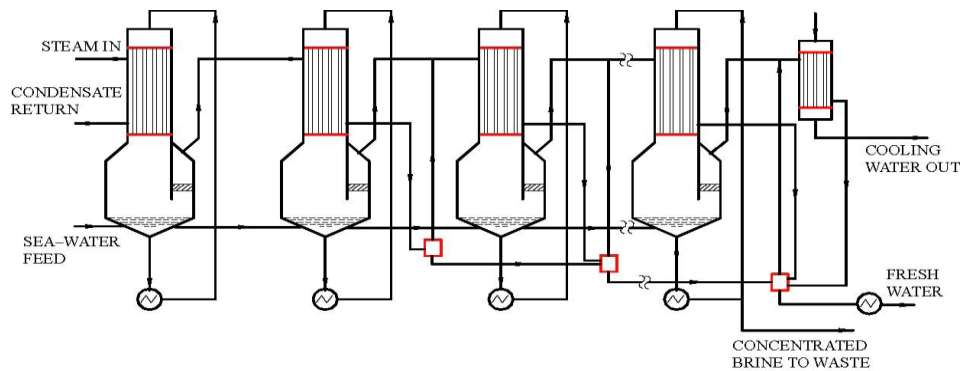
Το σύστημα, πρακτικά, διαιρείται σε ένα τμήμα ανάκτησης θερμότητας και σε ένα τμήμα απόρριψης θερμότητας [8]. Το θαλασσινό νερό τροφοδοτείται μέσω του τμήματος απόρριψης θερμότητας, το οποίο απορρίπτει θερμότητα από την μονάδα και αποβάλλει το παραγόμενο ρεύμα και το ρεύμα της άλμης στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία. Το θαλασσινό νερό αναμιγνύεται με μεγάλης μάζας νερό, το οποίο επανακυκλοφορεί συνεχώς μέσα στην μονάδα. Το αναμειγμένο ρεύμα στη συνέχεια διέρχεται μέσα από μια σειρά εναλλακτών θερμότητας για να αυξήσει την θερμοκρασία του. Μετά τους εναλλάκτες θερμότητας, το ρεύμα διέρχεται από τον θερμαντή της άλμης προκειμένου να αυξήσει την θερμοκρασία του τόσο ώστε να πλησιάσει την θερμοκρασία κορεσμού στη μέγιστη για το σύστημα πίεση. Έπειτα, εισάγεται στο πρώτο στάδιο μέσω μιας οπής (*orifice*) όπου έχουμε πτώση πίεσης. Έτσι, από τη στιγμή που βρισκόταν σε θερμοκρασία κορεσμού για υψηλότερη πίεση, τώρα υπερθερμαίνεται και μεταπίπτει σε ατμό. Ο παραγόμενος ατμός περνά μέσα από ένα διάτρητο δίσκο (*demister*) για να αφαιρεθούν υπολείμματα άλατος και από εκεί στον εναλλάκτη θερμότητας (1^ο στάδιο) όπου συμπυκνώνεται και συλλέγεται. Η ποσότητα που δεν ατμοποιείται περνά στο 2^ο στάδιο όπου επικρατεί χαμηλότερη πίεση, μειώνοντας έτσι το σημείο βρασμού. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και στα επόμενα στάδια. Ο ατμός που συμπυκνώνεται σε κάθε στάδιο συλλέγεται, ενώ μετά το τελευταίο στάδιο έχουμε την απόρριψη της άλμης.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται όταν υπάρχει απαίτηση για μεγάλη ημερήσια παραγωγή νερού υψηλής ποιότητας και είναι διαθέσιμη κάποια πηγή θερμότητας. Εκτός των συμβατικών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί και ηλιακοί συλλέκτες ως πηγή θερμότητας. Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι η ατμοποίηση προέρχεται από ρεύμα θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και όχι από τις θερμαινόμενες επιφάνειες στις οποίες η εξάτμιση προκαλεί σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης και επομένως σταδιακή μείωση των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η αργή εκκίνηση και η αυξημένη ειδική κατανάλωση ενέργειας [4,5,24].

2.2.3 Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης – MED

Η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης είναι η παλαιότερη μέθοδος αφαλάτωσης και με μεγάλο θερμικό βαθμό απόδοσης. Το *Σχήμα 2.7* είναι αντιπροσωπευτικό της αρχής λειτουργίας της μεθόδου.

Η μέθοδος λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από ατμοποιητές, αποκαλούμενα ως στάδια (*effects*) και χρησιμοποιεί την αρχή μειούμενης πίεσης περιβάλλοντος στα διάφορα στάδια [9]. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στο ρεύμα τροφοδοσίας να υποβληθεί σε πολλαπλή ατμοποίηση χωρίς να χρειάζεται πρόσδοση θερμότητας μετά το πρώτο στάδιο. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο πρώτο στάδιο και φτάνει στο σημείο βρασμού μετά την προθέρμανση του στους σωλήνες. Μάλιστα ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων του ατμοποιητή προκειμένου να επιταχυνθεί η ατμοποίηση. Οι σωλήνες, μέσω των οποίων μεταφέρεται ο ατμός, απορροφούν θερμότητα από τον ατμό που κυκλοφορεί. Ο ατμός (~70°C) συνήθως παρέχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό. Στο εσωτερικό των σωλήνων ο ατμός συμπυκνώνεται, ενώ το συμπύκνωμα ατμού επιστρέφει στον θερμοηλεκτρικό σταθμό. Μόνο ένα μέρος του θαλασσινού νερού που ψεκάζεται στο πρώτο στάδιο ατμοποιείται. Το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δεύτερο στάδιο και ψεκάζεται στη συστοιχία σωλήνων. Αυτοί οι σωλήνες, με τη σειρά τους, θερμαίνονται από τον ατμό που έχει δημιουργηθεί στο πρώτο στάδιο. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε καθαρό νερό το οποίο συλλέγεται, ενώ προσδίδει θερμότητα για να ατμοποιηθεί το υπόλοιπο θαλασσινό νερό στο επόμενο στάδιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο σε ολοένα χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία.



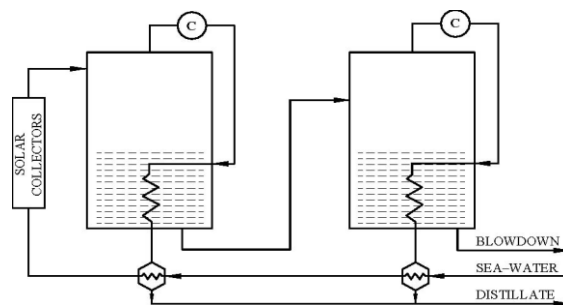
Σχήμα 2.7 Αρχή λειτουργίας μεθόδου MED

Όπως και στη μέθοδο MSF, απαιτείται ποσότητα ατμού κάτι το οποίο προϋποθέτει γειτονική θερμοηλεκτρική μονάδα ή ηλιακούς συλλέκτες. Έχει μικρότερη κατανάλωση ισχύος σε σχέση με την μέθοδο MSF και συγχρόνως υψηλότερο λόγο απόδοσης. Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να αναφερθεί η εξάτμιση που γίνεται στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας και καθιστά την διεργασία επιρρεπή στο σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης.

2.2.4 Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών - VC

Στην απόσταξη με συμπύεση ατμών (Σχήμα 2.8), η θερμότητα για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού προέρχεται από τη συμπύεση του ατμού. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται την αρχή σύμφωνα με την οποία η μείωση της θερμοκρασίας σημείου βρασμού επιτυγχάνεται μειώνοντας την πίεση [9]. Για την συμπύκνωση του ατμού, που θα προσδώσει θερμότητα προκειμένου να ατμοποιηθεί το θαλασσινό νερό, χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής. Ο συμπιεστής δημιουργεί κενό στον ατμοποιητή και στη συνέχεια συμπιέζει τον ατμό, προερχόμενο από τον ατμοποιητή, και τον συμπυκνώνει μέσα στη συστοιχία σωλήνων. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων και ατμοποιείται μερικώς, παράγοντας περισσότερο ατμό.

Αποτελεί μια μέθοδο απλή, αξιόπιστη και αποδοτική, η οποία απαιτεί μόνο ισχύ. Έχοντας μεγάλης ισχύος συμπιεστή, η διαδικασία γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 70°C, οπότε αποφεύγεται σε ένα βαθμό η διάβρωση. Χρησιμοποιείται για μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης, ενώ έχει χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.



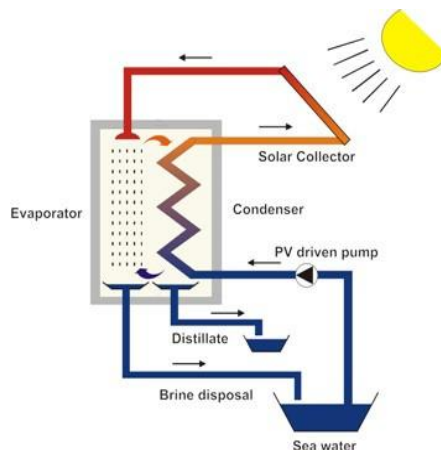
Σχήμα 2.8 Αρχή λειτουργίας μεθόδου VC

2.2.5 Ηλιακή Απόσταξη - SD

Η μέθοδος αυτή αποτελεί κομμάτι του υδρολογικού κύκλου. Το θαλασσινό νερό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9, διοχετεύεται μέσω σωλήνων στο εσωτερικό του ηλιακού συλλέκτη, όπου

θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου και παράγεται ατμός [4,9]. Στη συνέχεια, ο ατμός συμπυκνώνεται σε μια ψυχρή επιφάνεια και το συμπύκνωμα συλλέγεται ως πόσιμο νερό.

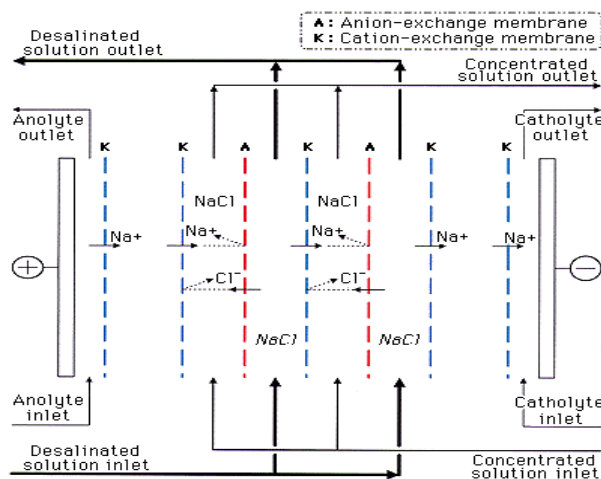
Η ηλιακή απόσταξη εφαρμόζεται σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά στα μειονεκτήματά της μεθόδου συγκαταλέγονται οι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και η χαμηλή απόδοση της.



Σχήμα 2.9 Αρχή λειτουργίας μεθόδου SD

2.2.6 Ηλεκτροδιάλυση - ED

Η ηλεκτροδιάλυση πραγματοποιείται μειώνοντας την αλατότητα του νερού με μεταφορά ιόντων μέσω μεμβρανών υπό την επιρροή ηλεκτρικού πεδίου (Σχήμα 2.10). Το αλμυρό νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα με θετικά και αρνητικά ιόντα. Τα ιόντα θα μετακινηθούν προς το αντίθετα φορτισμένο ηλεκτρόδιο περνώντας μέσα από μεμβράνες. Η κίνηση των ιόντων μειώνει τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας του θαλάμου, στο οποίο προϋπήρχαν, ενώ αυξάνει την συγκέντρωση στους γειτονικούς θαλάμους. Δεκάδες τέτοιοι θάλαμοι συναποτελούν μια μονάδα ηλεκτροδιάλυσης και δημιουργούν εναλλασσόμενα τμήματα καθαρού νερού και άλμης.



Σχήμα 2.10 Αρχή λειτουργίας μεθόδου ED

Για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης αντιστρέφεται η φορά της διεργασίας, αντιστρέφοντας τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, περίπου κάθε 20 λεπτά. Έτσι προλαμβάνεται η συσσώρευση ποσότητας άλατος στις μεμβράνες [4,9]. Η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για

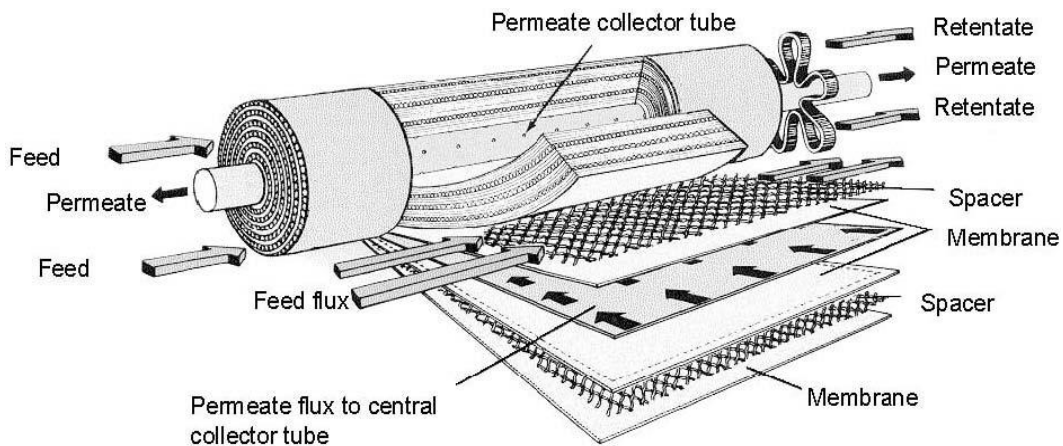
υφάλμυρο νερό, ενώ η απαίτηση για συνεχές ρεύμα καθιστά τα φωτοβολταϊκά ιδανική λύση για τη λειτουργία της μεθόδου.

2.2.7 Αντίστροφη Όσμωση - R.O.

2.2.7.1 Αρχή Λειτουργίας

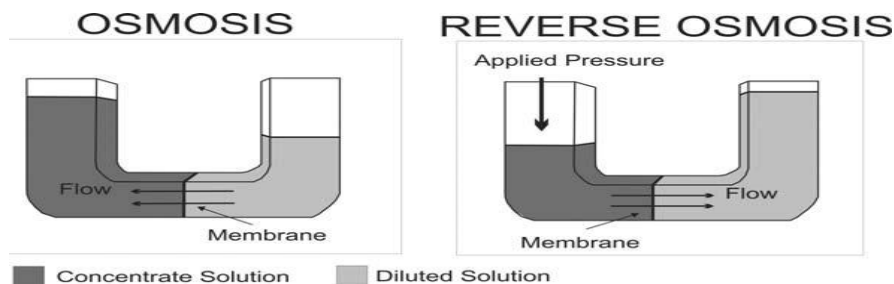
Η μέθοδος αντίστροφης όσμωσης αποτελεί την πλέον διαδεδομένη διεργασία αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί μεμβράνες (Σχήμα 2.11).

Η μέθοδος βασίζεται στην επιλεκτική διαπερατότητα ορισμένων πολυμερών τα οποία, ενώ είναι πολύ διαπερατά στο νερό, καθιστούν δύσκολη τη διέλευση διαφόρων ουσιών. Εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης δια μέσου της μεμβράνης, το ρεύμα θαλασσινού νερού αναγκάζεται να διέλθει από τη μεμβράνη. Πρέπει να τονιστεί ότι η εφαρμοζόμενη πίεση είναι αναγκαίο να υπερβαίνει την οσμωτική πίεση, που δημιουργείται εκατέρωθεν της μεμβράνης, προκειμένου να είναι δυνατή η διέλευση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. Σε εφαρμογές θαλασσινού νερού, η απαιτούμενη πίεση συνήθως κυμαίνεται από 55bar έως 68bar [10].



Σχήμα 2.11 Διαμόρφωση μεμβράνης μεθόδου RO [4,5]

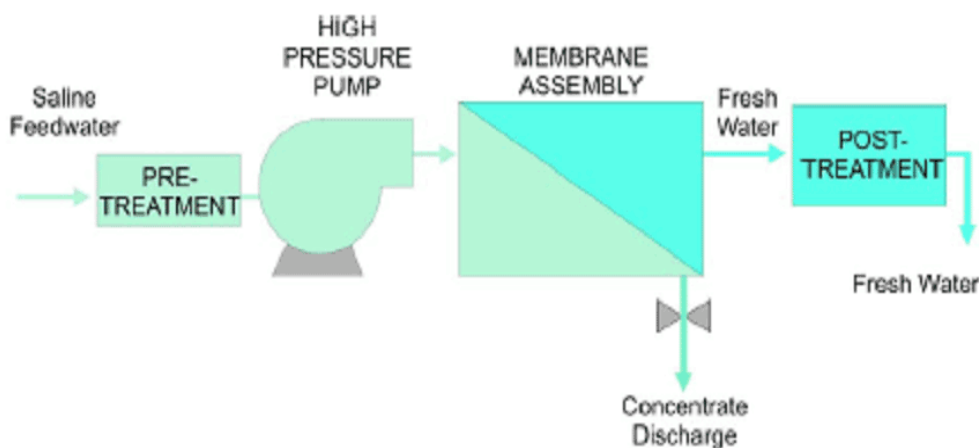
Το φαινόμενο της όσμωσης (Σχήμα 2.12) εμφανίζεται όταν μια ημιπερατή μεμβράνη χωρίζει δύο υδάτινα ρεύματα διαφορετικής συγκέντρωσης. Σε μηδενική διαφορά πίεσης και θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο πλευρές, η φορά ροής είναι από αυτή της μικρότερης σε αυτή της μεγαλύτερης συγκέντρωσης μέχρι να ισοσταθμιστούν οι συγκεντρώσεις τους. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο πλευρές να πάρει μια συγκεκριμένη τιμή που εξαρτάται από την αντίστοιχη διαφορά συγκεντρώσεων και ονομάζεται οσμωτική πίεση.



Σχήμα 2.12 Το φαινόμενο της όσμωσης και η επίτευξη της αντίστροφης όσμωσης [4,5]

Στη μέθοδο αυτή γίνεται προσπάθεια εξάλειψης του φαινομένου της όσμωσης, εφαρμόζοντας πίεση μεγαλύτερη της οσμωτικής έτσι ώστε να αντιστραφεί η ροή από την πλευρά της μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς αυτή της μικρότερης. Η πίεση που εφαρμόζεται στη πλευρά τροφοδοσίας είναι συνεχώς αυξανόμενη καλύπτοντας την οσμωτική. Έτσι προκύπτει ρεύμα εξόδου αμελητέας συγκέντρωσης σε σχέση με το ρεύμα εισόδου.

Η μονάδα αποτελείται από συστοιχία μεμβρανών για την παραγωγή καλύτερου ποιοτικά προϊόντος. Στο *Σχήμα 2.13* δίνεται μια γενική απεικόνιση ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης. Το ρεύμα θαλασσινού νερού, αφού πρώτα προεπεξεργάζεται (π.χ. αφαίρεση σωματιδίων), αντλείται σε υψηλή πίεση για να είναι σε θέση να διαπεράσει την συστοιχία των μεμβρανών από όπου προκύπτουν δύο ρεύματα. Το ρεύμα της άλμης που, αν δεν υπάρχει μέσο εκμετάλλευσής του, απορρίπτεται και το ρεύμα του πόσιμου νερού το οποίο, αφού επεξεργαστεί, τελικώς είναι διαθέσιμο για χρήση.



Σχήμα 2.13 Αλληλουχία υποσυστημάτων ενός συστήματος αφαλάτωσης RO

2.2.7.2 Συστήματα Ανάκτησης Ενέργειας

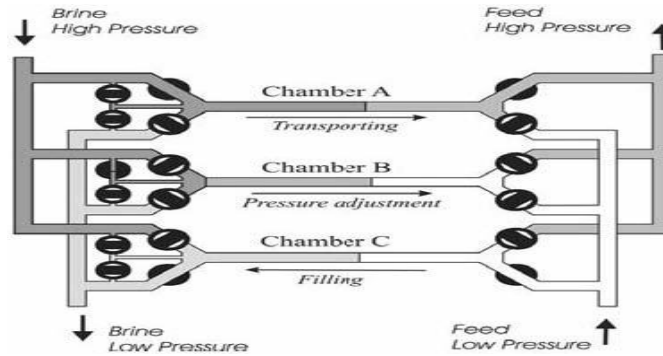
Η μέθοδος αντίστροφης όσμωσης οφείλει την επιτυχία της κυρίως στο σχετικά χαμηλό κόστος της αλλά και στις χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Αυτό επιτεύχθηκε με την εφαρμογή και την εξέλιξη των λεγόμενων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται την απομένουσα ενέργεια του ρεύματος της άλμης, που ειδάλτως απορρίπτεται, και παρέχουν την απαιτούμενη πίεση σε μέρος του ρεύματος τροφοδοσίας. Έτσι, μειώνεται η ισχύς της αντλίας ανύψωσης πίεσης του ρεύματος τροφοδοσίας και συγχρόνως οι ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας.

Τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας (*Energy Recovery Systems-ER*), που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αντίστροφης όσμωσης, κατηγοριοποιούνται σε [10]:

1. **Εναλλάκτες πίεσης (*Pressure Exchangers*)** οι οποίοι μεταφέρουν άμεσα πίεση από την άλμη σε μέρος του ρεύματος τροφοδοσίας
2. **Συστήματα στροβίλων (*Turbine Systems*)** τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια του ρεύματος της άλμης σε μηχανική, είτε τροφοδοτώντας την αντλία σαν συμπλήρωμα είτε άμεσα το ρεύμα τροφοδοσίας

Η γενική αρχή λειτουργίας των εναλλακτών πίεσης φαίνεται στο *Σχήμα 2.14*. Το θαλασσινό νερό οδηγείται σε έναν αγωγό που στη συνέχεια κλείνει από μια βάνα. Μια άλλη βάνα ανοίγει και επιτρέπει το υψηλής πίεσης ρεύμα άλμης να εισαχθεί στον αγωγό. Με αυτό το τρόπο το

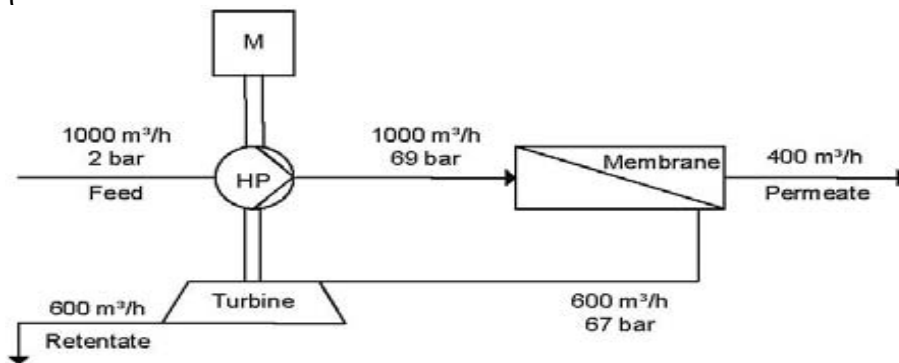
ρεύμα τροφοδοσίας αυξάνει την πίεση του. Στην συνέχεια, αναμιγνύεται με το ρεύμα τροφοδοσίας από την αντλία υψηλής πίεσης και οδηγούνται μαζί στις μεμβράνες. Χρησιμοποιώντας εναλλάκτες πίεσης μόνο ένα μέρος της συνολικής τροφοδοσίας χρειάζεται ανύψωση της πίεσης του από την αντλία υψηλής πίεσης.



Σχήμα 2.14 Αρχή λειτουργίας εναλλάκτη πίεσης

Από την άλλη, στα συστήματα στροβίλων η αντλία υψηλής πίεσης έχει να κάνει με το συνολικό ρεύμα τροφοδοσίας. Τα συστήματα αυτά είναι είτε ένας στρόβιλος Pelton είτε ένα σύστημα συνεργασίας αντλίας-στροβίλου (turbocharger).

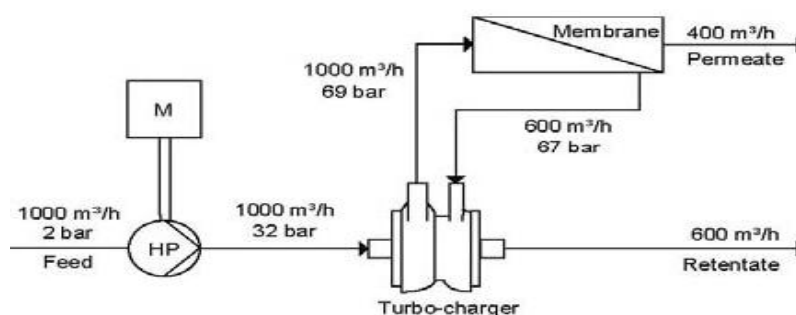
Στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας με στρόβιλο Pelton (Σχήμα 2.15), το απορριπτόμενο ρεύμα άλμης υψηλής πίεσης εισέρχεται στο στρόβιλο μέσω ενός ακροφύσιου. Η πίεση του ρεύματος μεταφέρεται στον ρότορα του στροβίλου, που με τη σειρά του μεταφέρει ισχύ στην αντλία υψηλής πίεσης μέσω της κοινής τους ατράκτου. Τέλος, η άλμη απορρίπτεται σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.



Σχήμα 2.15 Μέθοδος RO με στρόβιλο Pelton

Τα συστήματα συνεργασίας αντλίας-στροβίλου (turbochargers) αποτελούνται από μια αντλία και ένα στρόβιλο συνδεδεμένα σε ένα κιβώτιο. Τόσο η αντλία όσο και ο στρόβιλος περιέχουν μία απλή βαθμίδα ρότορα. Η υδραυλική ενέργεια του ρεύματος της άλμης μετατρέπεται σε μηχανική από τον ρότορα του στροβίλου. Στη συνέχεια, η αντλία ξαναμετατρέπει την ενέργεια σε πίεση με την οποία τροφοδοτεί το ρεύμα του θαλασσινού νερού. Η διεργασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.16, όπου η αντλία υψηλής πίεσης αυξάνει την πίεση της τροφοδοσίας σε μια μέση τιμή και στη συνέχεια αυξάνεται περαιτέρω από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας (turbocharger).

Συμπερασματικά, η εφαρμογή συστημάτων ανάκτησης πίεσης έχει ως αποτέλεσμα την μείωση ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης της μονάδας. Σε μονάδες εφοδιασμένες με συστήματα ανάκτησης ενέργειας, η ενεργειακή απαίτηση κυμαίνεται στις αρκετά χαμηλές τιμές των 2-4 kWh/m³ για θαλασσινό νερό [10,24].



Σχήμα 2.16 Μέθοδος RO με σύστημα συνεργασίας αντλίας-στροβίλου (turbocharger)

2.3 Παράμετροι Επιλογής Μεθόδου Αφαλάτωσης

2.3.1 Γενικά

Κατά τη μελέτη εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να εξετάζονται διαφορές παράμετροι για την τελική επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Ενδεικτικά, οι παράμετροι αυτές είναι [8]:

- Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας
- Ενεργειακές απαιτήσεις
- Το μέγεθος της παραγωγής και η ποιότητα του πόσιμου νερού
- Απαιτήσεις επεξεργασίας θαλασσινού νερού
- Το κόστος εξοπλισμού
- Η επιφάνεια γης που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού

2.3.2 Πηγή Ενεργειακής Τροφοδοσίας Μονάδας-Ενεργειακές Απαιτήσεις

Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση μιας μεθόδου ίσως αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα για την επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης. Στον Πίνακα 2.1 δίνονται κάποια στοιχεία σχετικά με τις απαιτήσεις σε μορφές ενέργειας των μεθόδων.

Διαδικασία	Απαιτούμενη Θερμότητα (kJ/kg)	Απαιτούμενη Μηχανική Ισχύ (kWh/m ³)	Αρχική Κατανάλωση Ενέργειας (kJ/kg) ^a
MSF	294	2.5–4 (3.7)	338.4
MED	123	2.2	149.4
VC	–	8–16 (16)	192
RO	–	5–13 (10)	120
ER-RO	–	4–6 (5)	60
ED	–	12	144
Solar Distillation	2330	0.3	2333.6
a	Θεωρώντας απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:30%		

Πίνακας 2.1 Μέθοδοι και ενεργειακές απαιτήσεις

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι διεργασίες αλλαγής φάσης (MSF, MED, Solar Distillation) απαιτούν για την λειτουργία τους παροχή ατμού. Αυτό προσθέτει ένα μειονέκτημα στις θερμικές μεθόδους, αφού είναι αναγκαία η παραγωγή ατμού που συνήθως γίνεται με την θερμότητα ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι η λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης αλλαγής φάσης σε περιοχές χωρίς σταθμούς, όπως είναι πολλά νησιά του Αιγαίου, είναι αδύνατη. Βέβαια, πρέπει να τονιστεί ότι σε περίπτωση ύπαρξης προεγκατεστημένου σταθμού παραγωγής ενέργειας, η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας του σταθμού. Σε αυτό συμβάλει και η χαμηλή απαίτηση μηχανικής ενέργειας που έχουν αυτές οι μέθοδοι. Η αλήθεια είναι ότι τέτοιου είδους μονάδες μπορούν να τροφοδοτηθούν και από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως η γεωθερμία και η ηλιακή ενέργεια [8]. Μάλιστα, έχει μελετηθεί ότι μονάδες αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από γεωθερμία είναι το ίδιο συμφέρουσες με αυτές που τροφοδοτούνται από μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Επικρατέστερη επιλογή από τις θερμικές διεργασίες αποτελεί η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME) που έχει, εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες, την μικρότερη κατανάλωση. Όσον αφορά τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις, η μέθοδος που υπερτερεί είναι της αντίστροφης όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας (ER-RO). Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά την μέθοδο RO την πρώτη επιλογή για μια μονάδα αφαλάτωσης, κάτι το οποίο δείχνει και η μεγάλη διείσδυση της στην αγορά τα τελευταία χρόνια. Ακολουθούν η αντίστροφης όσμωσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας (RO), η ηλεκτροδιάλυση (ED) και η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME).

Σχετικά με την ηλεκτροδότηση των μονάδων αφαλάτωσης στις οποίες δεν απαιτείται παροχή ατμού, όπως η αντίστροφης όσμωσης και η ηλεκτροδιάλυση, οι επιλογές ποικίλουν. Συνήθως, όταν η περιοχή εγκατάστασης είναι διασυνδεδεμένη η μονάδα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Όμως, η ανάγκη για ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και οι ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής (μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, τρόπος παροχής ηλεκτρισμού) καθιστούν τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης μια αρκετά ελκυστική επιλογή. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 2.2 [4,5,7] με πιθανούς συνδυασμούς μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών Α.Π.Ε.

Τεχνολογία Α.Π.Ε.	Νερό Τροφοδοσίας	Τεχνολογία Αφαλάτωσης
Solar thermal	Seawater	Multi-Effect Distillation (MED), Multi-Stage Flashing (MSF)
Photovoltaics	Seawater -Brackish Brackish	Reverse Osmosis (RO), Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater -Brackish Seawater	Reverse Osmosis (RO), Mechanical Vapor Compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multi-Effect Distillation (MED)

Πίνακας 2.2 Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης – Α.Π.Ε.

Κλείνοντας την υποενότητα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης φαίνεται να είναι η επικρατέστερη, αφού έχει τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση αλλά και μπορεί να συνεργαστεί με τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες Α.Π.Ε, όπως τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες. Η εφαρμογή των μελετών αυτού του επιστημονικού χώρου αποτελεί

ιδανική λύση για πολλά από τα νησιά του Αιγαίου, όπου παρουσιάζεται έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας και συγχρόνως το αιολικό και ηλιακό δυναμικό αφθονεί.

2.3.3 Κόστος Εξοπλισμού & Παραγωγής Πόσιμου Νερού

Τις τελευταίες δεκαετίες, το λειτουργικό κόστος των διαφόρων μεθόδων έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό, κάτι που οφείλεται στην προσπάθεια βελτιστοποίησης της λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και στη μαζικότερη παραγωγή του απαιτούμενου εξοπλισμού. Ένα ενδεικτικό εύρος κόστους εξοπλισμού, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του κόστους επένδυσης προς την ημερήσια δυνατότητα παραγωγής, για τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης, δίνεται στον Πίνακα 2.3. Να σημειωθεί ότι οι μικρότερες τιμές του ειδικού κόστους εξοπλισμού αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέγεθος μονάδας κάθε μεθόδου.

	MSF	MED	VC	RO	Solar Distillation
Μέγεθος Μονάδας	Μεσαία-Μεγάλη	Μικρή-Μεσαία	Μικρή	Μικρή-Μεγάλη	Μικρή
Κόστος Εξοπλισμού (€/m³/day)	950–1900	900–1700	1500–2500	900–2500 αντικατάσταση μεμβρανών κάθε 4-5 χρόνια	800–1000

Πίνακας 2.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης και κόστος εξοπλισμού [8]

Η ηλιακή απόσταση παρουσιάζει το χαμηλότερο κόστος, αλλά μειονεκτεί στο ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης για την εγκατάσταση της. Οι υπόλοιπες μέθοδοι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα, με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης να παρουσιάζει το μεγαλύτερο κόστος εξοπλισμού στις μικρές μονάδες, αλλά να είναι σε θέση να λειτουργήσει για κάθε μέγεθος εφαρμογής.

Σχετικά με το κόστος παραγωγής νερού ανά μέθοδο, ο Πίνακας 2.4 είναι ενδεικτικός της διακύμανσης του.

Μέθοδος Αφαλάτωσης	Δυναμικότητα Μονάδας (m ³ /day)	Κόστος (€/m ³)
MED	<100	2-8
	12.000-55.000	0,76-1,56
	>91.000	0,42-0,81
MSF	23.000-528.000	0,42-1,40
VC	1000-1200	1,61-2,13
RO	<100	1,2-15
	250-4800	0,56-3,14
	15.000-320.000	0,36-0,53

Πίνακας 2.4 Μέθοδοι αφαλάτωσης – Δυναμικότητα Μονάδας – Κόστος Παραγωγής Νερού [11]

Γενικά, μια μονάδα αφαλάτωσης κρίνεται συμφέρουσα όσο μεγαλύτερη η δυναμικότητά της, καθώς μικρού μεγέθους μονάδες παρουσιάζουν αρκετά υψηλό κόστος. Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης κρίνεται ιδιαίτερος ανταγωνιστική, ειδικά σε μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις, σε σύγκριση με τις θερμικές διεργασίες. Μάλιστα, τα στοιχεία για την αντίστροφη όσμωση δείχνουν πολύ μικρή διακύμανση του κόστους στα μεγάλα μεγέθη μονάδων.

Τέλος, ο παράγοντας του κόστους παραγωγής νερού είναι ο πλέον κρίσιμος για την απόφαση της εγκατάστασης μιας μονάδας, αφού αποτελεί το σημείο σύγκρισης με την υφιστάμενη κατάσταση παροχής νερού στην περιοχή και συγκεκριμένα στον ελλαδικό χώρο, όπου χρησιμοποιούνται υδροφόρες με κόστος μεταφοράς νερού της τάξης των 7-9€/m³.

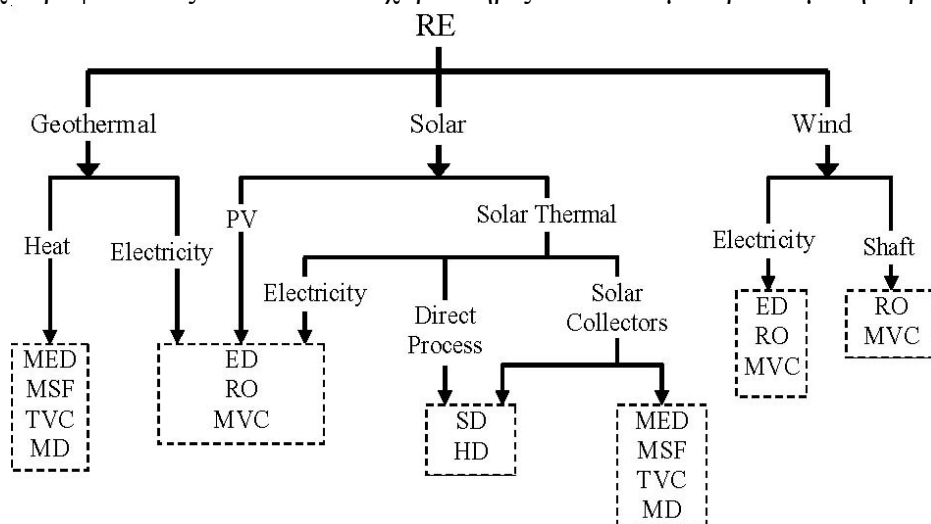
2.4 Αφαλάτωση με Α.Π.Ε.

2.4.1 Γενικά

Οι Α.Π.Ε. και οι μονάδες αφαλάτωσης αποτελούν δύο διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες όμως μπορούν να συνεργασθούν. Η συνεργασία τους στηρίζεται στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης με την ενέργεια που παράγουν συστήματα που εκμεταλλεύονται τις Α.Π.Ε. [12]. Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι θερμική, ηλεκτρική ή μηχανική, αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης και των διαθέσιμων πηγών ενέργειας. Οι δυνατοί συνδυασμοί τεχνολογιών Α.Π.Ε. και μεθόδων αφαλάτωσης δίνονται σχηματικά παρακάτω (Σχήμα 2.17).

Η γενικότερη τάση στο συνδυασμό μεθόδων αφαλάτωσης και Α.Π.Ε. είναι η συνεργασία τεχνολογιών παραγωγής θερμικής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία) με θερμικές μεθόδους (MSF, MED, SD), ενώ τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά) συνδυάζονται με μεθόδους που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ (RO, ED, VC).

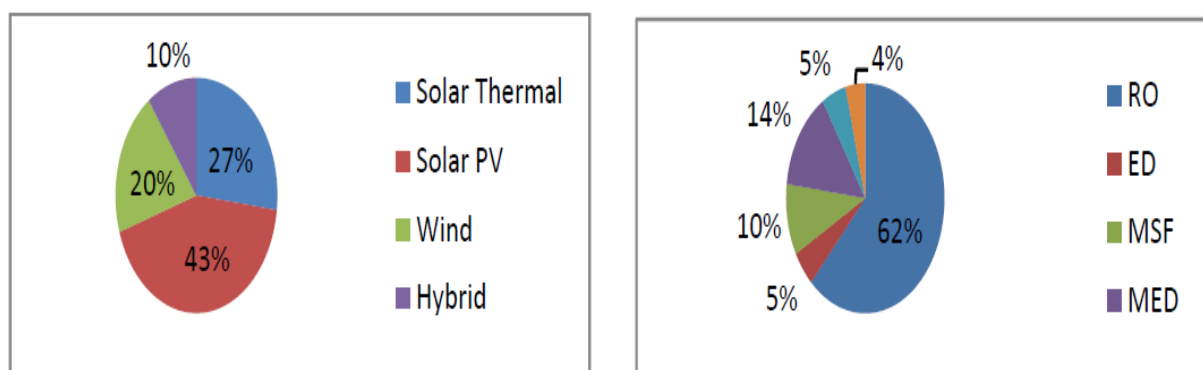
Η επιλογή της Α.Π.Ε., που θα τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης, εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την περιοχή εγκατάστασης (μετεωρολογικά δεδομένα, τοπογραφία κτλ). Πολλές φορές, ειδικά σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα ενώ επιβάλλεται η χρήση αποθηκευτικού μέσου, αφού οι μονάδες αφαλάτωσης απαιτούν σταθερή ισχύ τροφοδοσίας και οι Α.Π.Ε. χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενη παραγωγή.



Σχήμα 2.17 Συνδυασμοί τεχνολογιών Α.Π.Ε.- Μεθόδων αφαλάτωσης

Σχετικά με τη μέθοδο αφαλάτωσης, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέγουμε τη μέθοδο που έχει τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, παράγει νερό σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και μπορεί να συνεργαστεί με τεχνολογίες Α.Π.Ε. που αφθονούν στην περιοχή.

Βέβαια, δεν αποτελούν όλοι οι συνδυασμοί οικονομικά συμφέροντες αλλά και πρακτικά εφαρμόσιμοι. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι κάποιοι συνδυασμοί να παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον για έρευνα και να αποτελούν την πρώτη επιλογή για πιθανή εγκατάσταση. Στο Σχήμα 2.18 δίνονται κάποια ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία των προτιμήσεων σε εφαρμογές τέτοιου είδους συστημάτων.



Σχήμα 2.18 Προτίμηση Α.Π.Ε. σε μονάδες αφαλάτωσης (αριστερά) και προτίμηση μεθόδων σε μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούμενες από Α.Π.Ε. (δεξιά) [24]

Παρατηρούμε ότι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης (RO) επικρατεί σε εφαρμογές με Α.Π.Ε.. Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μόνο ηλεκτρική ή μηχανική τροφοδοσία, κάτι που καθιστά τη συνεργασία της με φωτοβολταϊκά ή/και με ανεμογεννήτρια δυνατή. Από τεχνολογικής άποψης, ο συνδυασμός αυτός αποτελεί την πιο ώριμη επιλογή. Η συνεχόμενη αύξηση της απόδοσης των τεχνολογιών Α.Π.Ε. σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους τους αλλά και η βελτίωση των ενεργειακών απαιτήσεων της μεθόδου RO είναι οι λόγοι που πλέον αποτελεί τον επικρατέστερο συνδυασμό αφαλάτωσης και Α.Π.Ε.. Παρότι ο συνδυασμός αυτός προτιμάται, υπάρχουν ακόμα πολλά περιθώρια βελτίωσης του. Έτσι, σε πολλές έρευνες που έχουν δημοσιευθεί, μελετώνται διάφοροι συνδυασμοί τεχνολογιών αλλά και διαφορετικές λογικές λειτουργίας των συστημάτων με σκοπό πάντα την παροχή σταθερής ισχύος. Σε αυτόνομα συστήματα Α.Π.Ε.-RO, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το θέμα της αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, αφού η στοχαστικότητα των Α.Π.Ε. είναι απαγορευτική για την παροχή σταθερής ισχύος στην αφαλάτωση.

Επιγραμματικά, τα αντικείμενα των μελετών γι' αυτόν το συνδυασμό, συνήθως, είναι:

- Συνεργασία διαφορετικών τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ
- Εισαγωγή βελτιωμένων ή νέων μέσων αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας
- Βέλτιστη διαχείριση των μονάδων αφαλάτωσης ανάλογα με τη διαθέσιμη ενέργεια
- Εφαρμογή νέων μεθόδων ελέγχου και διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας
- Χρήση διάφορων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης

2.4.2 Ενδεικτική Κατάσταση στην Ελλάδα

Το 1995 τέθηκε σε λειτουργία σύστημα ανεμογεννήτριας που τροφοδοτούσε μονάδα αφαλάτωσης στο Δρέπανο της Αχαΐας. Δώδεκα χρόνια αργότερα, και συγκεκριμένα μέσα στο 2007, ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης (R.O.) στη Μήλο με δυναμικότητα

2600 m³/ημέρα με ορίζοντα επέκτασης το 2015 κατά 1120 m³/ημέρα. Το εν λόγω σύστημα τροφοδοτείται από το υφιστάμενο αιολικό πάρκο στο οποίο προστέθηκε ανεμογεννήτρια ισχύος 850 kW, για να αντισταθμίζεται η ισχύς που καταναλώνει η αφαλάτωση από το δίκτυο.

Στα πλαίσια των αυτόνομων συστημάτων, αξίζει να γίνει μνεία στο σύστημα αφαλάτωσης με Α.Π.Ε. του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) που σχεδιάστηκε και λειτουργεί για ερευνητικούς λόγους. Το υπό λειτουργία σύστημα αυτόνομης μονάδας αφαλάτωσης λαμβάνει ισχύ από ένα υβριδικό σύστημα μίας ανεμογεννήτριας, εγκατεστημένης ισχύος 900 W, και μίας συστοιχίας φωτοβολταϊκών, εγκατεστημένης ισχύος 3,96 kWp, το οποίο τροφοδοτεί ένα σύστημα 12 συσσωρευτών σε σειρά. Το εν λόγω σύστημα έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί εντός του **Πάρκου Ενεργειακής Αγωγής** στη Κερατέα Αττικής.



Εικόνα 2.1 Ανεμογεννήτρια 900 W και μια συστοιχία φ/β τροφοδοτούν την αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης του Κ.Α.Π.Ε., εγκατεστημένη στο Πάρκο Ενεργειακής Αγωγής

Τέλος, δεν μπορεί να παραλειφθεί η αναφορά στην «Υδριάδα», την πρώτη αυτόνομη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο που είναι εξ' ολοκλήρου ελληνικής μελέτης και κατασκευής. Η «Υδριάδα» (Εικόνα 2.2) βρίσκεται αγκυροβολημένη στο λιμάνι της Ηρακλεία, των μικρών ανατολικών Κυκλάδων και παράγει ημερησίως περίπου 70 m³. Είναι ενεργειακά αυτόνομη λόγω της ανεμογεννήτριας και των επικουρικών φωτοβολταϊκών που διαθέτει, ενώ τα έξοδα συντήρησης ανέρχονται σε μόλις 0,2 €/m³ και ο έλεγχός της γίνεται εξ' αποστάσεως με σύστημα GPRS κινητής τηλεφωνίας. Η κατασκευή αυτή έχει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου ο άνεμος είναι ισχυρότερος, ενώ αντέχει σε δύσκολες καιρικές συνθήκες οπότε και η παραγωγή πόσιμου νερού είναι συνεχής. Η δυνατότητα μετακίνησης της μονάδας αποτελεί πλεονέκτημα αφού μπορεί να ικανοποιήσει ανάγκες πολλών μικρών άνυδρων νησιών. Ακόμα, εκτός των θετικών επιπτώσεων που θα έχει στον ελλαδικό χώρο, είναι ένα πρώτο βήμα για την κατασκευή πλωτών μονάδων.

Κατασκευαστικά αποτελείται από τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό, συνδεδεμένους με μεταλλικό δικτύωμα, σε μια γεωμετρία που να ελαχιστοποιεί την επίδραση των κυμάτων. Στους τρεις ορόφους του κεντρικού πλωτήρα βρίσκονται όλα τα συστήματα. Στον πάνω όροφο λειτουργεί η μονάδα αφαλάτωσης που βασίζεται στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης. Στον ενδιάμεσο όροφο βρίσκεται το κέντρο ελέγχου που παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού της εξέδρας από απόσταση, ενώ τέλος, ο κάτω όροφος χρησιμοποιείται

ως δεξαμενή για την αποθήκευση του παραγόμενου πόσιμου νερού. Η «Υδριάδα» έχει το ύψος μιας δεκαόροφης πολυκατοικίας, ζυγίζει 150 τόνους και η κατασκευή της κόστισε 2.800.000 €.



Εικόνα 2.2 Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης εγκατεστημένη ανοιχτά του λιμένα της Ηρακλείας

2.4.3 Η Ισχύουσα Νομοθεσία [4,5]

Αναφορικά με τον συνδυασμό αφαλάτωσης με ΑΠΕ ο ισχύων *Νόμος 3851: "Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής"* (ΦΕΚ Αρ.Φυλ.85-4/6/2010) δίνει προτεραιότητα στην αδειοδότηση μονάδων Α.Π.Ε. με αφαλάτωση εφόσον:

- Η ισχύς του σταθμού Α.Π.Ε. δεν υπερβαίνει κατά **25%** την ισχύ της αφαλάτωσης
- Και υπό την προϋπόθεση ότι έχουν συναφθεί συμβάσεις πώλησης του νερού

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την μονάδα Α.Π.Ε. συμψηφίζεται, σε ωριαία βάση, με την καταναλισκόμενη από την μονάδα αφαλάτωσης. Το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διατίθεται στο δίκτυο μέχρι ποσοστού **20%** της παραγόμενης ισχύος σύμφωνα με τα ισχύοντα για τους αυτοπαραγωγούς.

Παρακάτω παρατίθεται το μέρος του νόμου που αφορά τον συνδυασμό Αφαλάτωσης με ΑΠΕ επακριβώς:

Άρθρο 2: Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.

11. Στο Άρθρο 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, προστίθεται παράγραφος 12 ως εξής:

"12. Κατά τη χορήγηση της άδειας παραγωγής ή εξαίρεσης από την υποχρέωση λήψης της άδειας αυτής για σταθμούς Α.Π.Ε. σε νησιά, οι αιτήσεις για την εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. που συνδυάζονται με εγκατάσταση μονάδας παραγωγής πόσιμου νερού ή νερού άλλης χρήσης, μέσω αφαλάτωσης, εξετάζονται **κατ' απόλυτη προτεραιότητα**, εφόσον η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού Α.Π.Ε. δεν υπερβαίνει **κατά 25%** την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας αφαλάτωσης και υπό την προϋπόθεση ότι έχουν συναφθεί συμβάσεις μεταξύ του αιτούντος και της Γενικής

Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής ή του οικείου ή των οικείων Ο.Τ.Α. για τη διάθεση των παραγόμενων ποσοτήτων νερού. Στις περιπτώσεις αυτές, ο χρόνος ισχύος της χορηγούμενης άδειας συναρτάται προς το χρόνο ισχύος της σύμβασης. Η δυνατότητα ένταξης της ως άνω μονάδας Α.Π.Ε., κρίνεται κατόπιν ειδικής τεχνικοοικονομικής μελέτης η οποία εκπονείται από τον αιτούντα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα Α.Π.Ε. **συμψηφίζεται, σε ωριαία βάση,** με την καταναλισκόμενη από τη μονάδα αφαλάτωσης. Το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διατίθεται στο δίκτυο μέχρι ποσοστού **20%** της παραγόμενης ισχύος σύμφωνα με τα ισχύοντα για τους αυτοπαραγωγούς. Με τον Κανονισμό Αδειών που προβλέπεται στην παρ. 3 του άρθρου 5, καθορίζεται η διαδικασία χορήγησης και ανάκλησης σε περίπτωση μη υλοποίησης της μονάδας αφαλάτωσης της ανωτέρω άδειας και κάθε ειδικότερο θέμα και αναγκαία λεπτομέρεια για την εφαρμογή των διατάξεων της παρούσας."

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, εμφανίζονται ως μείζονα θέματα η κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης και οι επιπτώσεις της ενεργειακής δραστηριότητας στο περιβάλλον. Τον προηγούμενο αιώνα, η παραγωγή ενέργειας βασίστηκε στην καύση ορυκτών καυσίμων λόγω του αρκετά χαμηλού κόστους τους. Όμως, η ανεξέλεγκτη άντληση τους έχει οδηγήσει σήμερα σε μια επικείμενη εξάντληση των αποθεμάτων. Το πιο σημαντικό, όμως, μειονέκτημα των συμβατικών πηγών ενέργειας είναι οι επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον η εκμετάλλευση και η χρήση τους. Πλέον, η αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος επηρεάζει τη ζωή κάθε ανθρώπου. Γεγονότα σε παγκόσμιο επίπεδο όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, η μείωση των βροχοπτώσεων, η μείωση των υδάτινων αποθεμάτων, τα μη αναμενόμενα καιρικά φαινόμενα αποτελούν τα ορατά αποτελέσματα της ενεργειακής δραστηριότητας και φιλοσοφίας των προηγούμενων χρόνων. Γίνεται κατανοητό, λοιπόν, ότι πρέπει να ενισχυθούν άλλες, αναξιοποίητες μέχρι σήμερα, λύσεις για την παραγωγή ενέργειας, αφού μια μείωση της ζήτησης κρίνεται απίθανη λόγω του νέου τρόπου ζωής. Παράλληλα, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον αντίκτυπο που έχει η εκμετάλλευση κάθε πηγής ενέργειας στο περιβάλλον σε συνδυασμό με την βελτίωση των υπάρχουσών εγκαταστάσεων και την δημιουργία περιβαλλοντικής πολιτικής η οποία κρίνεται αναγκαία.

Η απαίτηση για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας αλλά και η προσπάθεια για μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος οδηγούν στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) που δίνουν σε μεγάλο βαθμό λύση στα παραπάνω θέματα. Πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδάτινη χαρακτηρίζονται ως ανανεώσιμες αφού ανανεώνονται συνεχώς και είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμες από τον άνθρωπο.

Οι Α.Π.Ε. έχοντας ξεπεράσει τα μειονεκτήματα του παρελθόντος κρίνονται πλέον ανταγωνιστικές για την παραγωγή ενέργειας. Η μαζικότερη παραγωγή και η εκτεταμένη έρευνα στο χώρο έχουν οδηγήσει σε μείωση του κόστους παραγωγής και σε αύξηση της απόδοσης των συστημάτων. Η τάση για εφαρμογή πειραματικών μελετών τεχνολογιών Α.Π.Ε. έχει συμβάλει στην ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ έχει συνεισφέρει στην ενεργειακή αυτάρκεια και ανάπτυξη απομονωμένων μέχρι σήμερα περιοχών. Τέλος, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας και το σημαντικότερο όλων είναι ότι αντικαθίστανται οι ρυπογόνοι τρόποι παραγωγής ενέργειας με φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα [24].

3.2 Δυναμικό Αιολικής Ενέργειας

Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας που κυρίως προκαλούνται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται

στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης.

3.2.1 Μεταβολή Ταχύτητας Ανέμου με το Ύψος

Όπως αναφέρεται και παρακάτω, το κύριο χαρακτηριστικό του ανέμου είναι η ταχύτητα του. Άλλωστε, ένδειξη για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής αποτελεί η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όμως, επειδή η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος, για να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη διαφορετικών περιοχών είτε πρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις στο ίδιο ύψος είτε να ανάγονται στο ίδιο ύψος σύμφωνα με τους εξής νόμους:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^\alpha \quad (\text{Εκθετικός Νόμος})$$

$$V_2 = \frac{V^*}{k} \ln \left(\frac{Z_2}{z_0} \right) \quad (\text{Λογαριθμικός Νόμος})$$

όπου:

V_1, V_2 : η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητα του ανέμου σε ύψος Z_1, Z_2 αντίστοιχα (m/s)

α : εκθέτης ενδεικτικός της επιφάνειας του εδάφους

Η τιμή του εκθέτη α αποτελεί ένδειξη της μορφής της επιφάνειας του εδάφους γιατί η τιμή του είναι συνάρτηση μόνο της τραχύτητας ή του μήκους τραχύτητας το οποίο δίνεται από πίνακες. Χαρακτηριστικές τιμές του εκθέτη α ανάλογα με το είδος της επιφάνειας δίδονται από τους *Warne* και *Calnan*. Για παράδειγμα, για ανοιχτά πεδία είναι $\alpha=0.17$, όπως η θάλασσα ή ο χώρος του αεροδρομίου, για μικρές πόλεις με μικρές κατασκευές είναι $\alpha=0.20$, ενώ για μεγάλες πόλεις με μεγάλες κατασκευές $\alpha=0.25$.

$V^* = \sqrt{\tau/\rho}$: η ταχύτητα τριβής (friction velocity) που εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα και την επιφανειακή τάση Reynolds

τ : η διατμητική τάση στην επιφάνεια του εδάφους

ρ : η πυκνότητα του αέρα

$k=0,35$: η σταθερά von Karman

z_0 : παράμετρος τραχύτητας ή μήκος τραχύτητας

Κατά *Warne* και *Calnan* οι παράγοντες z_0 και α συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha = 0,04 \ln(z_0) + 0,003[\ln(z_0)]^2 + 0,24$$

Σύμφωνα με τον *Goujeres*, ο λογαριθμικός νόμος είναι καταλληλότερος για ύψη 30-50m, ενώ ο εκθετικός είναι πιο ακριβής για μεγαλύτερα ύψη. Για ύψη κάτω των 30m και οι δύο νόμοι προσεγγίζουν με την ίδια αξιοπιστία την πραγματική μεταβολή της ταχύτητας, με την προϋπόθεση ότι το έδαφος είναι σχετικά ομαλό. Μεταξύ των δύο νόμων στα μετεωρολογικά προβλήματα προτιμάται ο εκθετικός νόμος λόγω της απλότητας του, καθώς επίσης χρησιμοποιείται και για την αναγωγή της μετρούμενης ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ, αφού σε αυτό το ύψος γίνεται η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου [17,18].

3.2.2 Μεταβολή Ταχύτητας του Ανέμου με το Χρόνο

Η ταχύτητα του ανέμου σε μια ορισμένη θέση στο χώρο δεν παραμένει σταθερή στο χρόνο, αλλά μεταβάλλεται κατά μέγεθος και διεύθυνση. Σημαντικά μεγέθη, αναφορικά με τα ανεμολογικά δεδομένα είναι η μέση ταχύτητα ανέμου, η τυπική απόκλιση και ο βαθμός της τύρβης.

Η μέση ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται δεδομένης μιας σειράς μετρήσεων από την σχέση:

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n$$

όπου:

\bar{V} : η μέση ταχύτητα ανέμου

V_n : η ταχύτητα του ανέμου στο n σημείο των μετρήσεων

$n=1,2,\dots,N$: ο αριθμός των μετρήσεων

Η τυπική απόκλιση σ δείχνει πόσο οι μετρήσεις αποκλίνουν από τη μέση τιμή του ανέμου:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (V_n - \bar{V})^2}$$

Με τον όρο τύρβη ονομάζεται η διαταραχή της ταχύτητας του ανέμου (διαφορές στιγμιαίας ταχύτητας από τη μέση τιμή ταχύτητας) και έχει ιδιαίτερη σημασία για την απόδοση των αιολικών μηχανών, αλλά και τον υπολογισμό της αντοχής λόγω των εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής.

Ο βαθμός της τύρβης S (αδιάστατη τιμή της έντασης της τύρβης) ορίζεται ως το πηλίκο της τυπικής απόκλισης της ταχύτητας προς τη μέση τιμή αυτής στο θεωρούμενο χρονικό διάστημα:

$$S = \frac{\sigma}{\bar{V}}$$

Το επίπεδο της τύρβης επιδρά σημαντικά τόσο στην απόδοση μιας Α/Γ όσο και στην διάρκεια ζωής της. Τέλος, η τιμή της τύρβης σε μία περιοχή είναι απαραίτητη για την επιλογή του κατάλληλου τύπου Α/Γ.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου σε μια περιοχή είναι απαραίτητο στοιχείο για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας μιας μηχανής. Η καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου εκφράζει το ποσοστό του χρόνου (π.χ. τις ώρες του έτους από τις 8760 ετησίως) για τις οποίες πνέει άνεμος ταχύτητας μεγαλύτερης μιας συγκεκριμένης τιμής. Η καμπύλη πυκνότητας πιθανότητας ταχύτητας $P(V)$ αποτελεί μια άλλη καμπύλη ισοδύναμη με την καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου και εκφράζει την πυκνότητα πιθανότητας ο άνεμος να έχει ταχύτητα μεταξύ δύο τιμών. Οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν την ίδια πληροφορία με διαφορετικό τρόπο. Η καμπύλη πυκνότητας πιθανότητας μπορεί να προκύψει με παραγωγή της καμπύλης διάρκειας πνοής του ανέμου. Το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζεται κάτω από τις καμπύλες διάρκειας πνοής ανέμου και πυκνότητας πιθανότητας είναι ίσο με τη μονάδα ή 8760 ώρες, δηλαδή το 100% του έτους [18].

3.2.3 Μετρήσεις Αιολικού Δυναμικού

Οι μετρήσεις του αιολικού δυναμικού πραγματοποιούνται με τα ανεμόμετρα, τα οποία καταγράφουν την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του αέρα, σε μηχανική ροπή που στρέφει έναν άξονα συνδεδεμένο με τη μετρητική συσκευή. Υπάρχουν άλλες διατάξεις, όπως τα Ανεμόμετρα "Sonic", Laser Doppler κ.α., που μετράνε την θερμική ενέργεια που μεταφέρεται από τον αέρα, σε ένα ηλεκτρισμένο καλώδιο εκτεθειμένο στον άνεμο. Στην πράξη για εφαρμογές αιολικής ενέργειας, οι μηχανικές διατάξεις είναι οι πιο διαδεδομένες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους καθώς και την μικρή

κατανάλωση ενέργειας, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε απομονωμένους μετρητικούς σταθμούς.

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στη μετεωρολογία γίνεται συνήθως στη κλίμακα Beaufort η οποία είναι μια περιγραφική κλίμακα. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 3.1 όπου γίνεται διαχωρισμός της ταχύτητάς του ανέμου με βάση τη κλίμακα Beaufort με παράλληλη αντιστοίχιση της αίσθησης του ανέμου και των συνθηκών της θάλασσας. Ωστόσο στο πεδίο των Α/Γ η μονάδα μέτρησής της ταχύτητας του ανέμου είναι τα m/s, ενώ άλλες συνηθισμένες μονάδες μέτρησης είναι: χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h) και ναυτικά μίλια ανά ώρα (mph), γνωστά και ως knots ($1\text{mph}=1\text{knot}=0,51\text{m/s}=1,836\text{km/h}$).

Οι μετρήσεις αιολικού δυναμικού, συνήθως γίνονται ανά 10 λεπτά, αλλά και η χρήση ανεμολογικών δεδομένων σε ωριαία βάση είναι επίσης αποδεκτή.

Κλίμακα Beaufort	Ταχύτητα ανέμου m/s	Αίσθηση ανέμου	Συνθήκες θάλασσας
0	0-0.5	Άπνοια	Επίπεδη
1	0.5-1.5	Ελάχιστη αισθητή αύρα	Ελαφρά ταραγμένη
2	1.5-3.5	Ελαφρά αισθητή αύρα	Ταραγμένη
3	3.5-5.5	Αισθητή αύρα	Πολύ ταραγμένη
4	5.5-8.0	Μέτριος άνεμος	Ελαφρά κυματώδης
5	8.0-10.5	Ισχυρός άνεμος	Κυματώδης
6	10.5-14	Πολύ ισχυρός άνεμος	Πολύ κυματώδης
7	14-17	Θυελλώδης άνεμος	Τρικυμιώδης
8	17-21	Θυελλώδης άνεμος	Τρικυμιώδης
9	21-25	Πολύ θυελλώδης άνεμος	Τρικυμιώδης
10	25-29	Πολύ θυελλώδης άνεμος	Τρικυμιώδης-Χαμηλή ορατότητα
11	29-33	Τροπική καταιγίδα	Τρικυμιώδης-Χαμηλή ορατότητα
12	>33	Τυφώνας	Τεράστια κύματα μηδενική ορατότητα

Πίνακας 3.1 Κλίμακα Beaufort [17]

3.2.4 Ρόδο Ανέμου

Μια σημαντική πληροφορία που δεν φαίνεται στις κατανομές ταχύτητας που περιγράψαμε πιο πάνω είναι η συχνότητα εμφάνισης κάθε κατεύθυνσης. Ο πίνακας διπλής εισόδου συχνότητας πνοής ανέμου ανά διεύθυνση μπορεί να παρασταθεί γραφικά με το ροδόγραμμα ανέμου. Το ροδόγραμμα ανέμου μιας περιοχής είναι ένα αρκετά εποπτικό διάγραμμα που δίνει αμέσως την κατεύθυνση ανέμου που επικρατεί στην περιοχή και τη διάρκεια πνοής ανέμου από κάθε κατεύθυνση, ενώ στο κέντρο εμφανίζεται το ποσοστό της άπνοιας ετησίως.

Για να φτιάξει κανείς το ρόδο ανέμου μιας περιοχής είναι απαραίτητο να κάνει μετρήσεις. Οι μετρήσεις πρέπει να έχουν μεγάλη χρονική διάρκεια (τουλάχιστον 10 χρόνια) για να θεωρούνται αξιόπιστες. Οι μετρήσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες, διότι μικρή απόκλιση στην εκτίμηση του

αιολικού δυναμικού, προκαλεί μεγάλη απόκλιση στην εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας (η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας).

3.2.5 Θεωρητικός Υπολογισμός Συχνοτήτων Κατανομής Ταχυτήτων Ανέμου

Η εμπειρία από μετρήσεις αιολικού δυναμικού έχει δείξει ότι η πυκνότητα πιθανότητας κατανομής ταχύτητας μπορεί να περιγραφεί αναλυτικά με πολύ καλή προσέγγιση από την κατανομή Weibull. Η κατανομή Weibull είναι μια διπαραμετρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας με παραμέτρους c και k και ορίζεται ως:

$$P(V) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1}e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

όπου:

V : η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου

c (m/s): η παράμετρος κλίμακας που είναι ευθέως ανάλογη της μέσης τιμής της ταχύτητας ($c \sim \bar{V}$)

k : η παράμετρος μορφής που σχετίζεται με την μορφή της κατανομής και είναι αντιστρόφως ανάλογη της διακύμανσης της ταχύτητας ($k \sim 1/\sigma^2$)

Η παράμετρος μορφής (k) καθορίζει το ύψος της κατανομής Weibull, ενώ η παράμετρος κλίμακας ταχύτητας (c) επηρεάζει την κατανομή κατά τον οριζόντιο άξονα. Οι παράμετροι κλίμακας ταχύτητας (c) και μορφής (k) της κατανομής Weibull είναι δυνατόν να υπολογιστούν αν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις στην περιοχή, προσαρμόζοντας με ελάχιστα τετράγωνα την αναλυτική σχέση στα πειραματικά δεδομένα.

Η μέση ταχύτητα του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί όταν δίνονται οι παράμετροι c και k της κατανομής Weibull από την σχέση:

$$\bar{V} = \int_{v=0}^{\infty} V * P(V) dV = c * \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

όπου:

Γ : η συνάρτηση Γάμα.

Με γνωστά την παράμετρο μορφής (k) και τη μέση ταχύτητα ανέμου υπολογίζεται εύκολα η παράμετρος κλίμακας (c).

Η διάρκεια πνοής ανέμου δίνεται από την σχέση:

$$P(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} P(V) dV = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k\right]$$

και εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος ταχύτητας μικρότερης της V_x ή αλλιώς το ποσοστό του χρόνου που φυσάει άνεμος ταχύτητας μικρότερης της V_x [17,18,20].

3.2.6 Ενέργεια & Ισχύς Ανέμου

Είναι γνωστό ότι η ισχύς ορίζεται ως ο ρυθμός χρήσης ή μετατροπής της ενέργειας και άρα εκφράζεται ως ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (1Watt=1Joule/sec). Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο είναι κινητική και ορίζεται ως:

$$E = \frac{1}{2} mV^2$$

και έχει μονάδες $\frac{kg \cdot m^2}{s^2} = N \cdot m$

Εισάγοντας την πυκνότητα του αέρα ($\rho=1.23kg/m^3$), υπολογίζουμε τη μάζα του αέρα που διέρχεται από το δαχτυλίδι κάθε δευτερόλεπτο:

$$\dot{m} = \rho AV$$

όπου:

\dot{m} : η μάζα του αέρα που διέρχεται από μια επιφάνεια A ανά δευτερόλεπτο

ρ : η πυκνότητα του αέρα

Αντικαθιστώντας τη μάζα προκύπτει η κινητική ενέργεια του ανέμου ανά δευτερόλεπτο ή διαφορετικά η ισχύς του ανέμου:

$$P = \dot{E} = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

Παρατηρούμε ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της επιφάνειας (A) μέσω της οποίας διέρχεται ο άνεμος (δηλαδή της επιφάνειας που καλύπτουν τα πτερύγια της Α/Γ) και του κύβου της ταχύτητας του. Για τον λόγο αυτόν είναι ανάγκη οι μονάδες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας να έχουν μεγάλες διαστάσεις. Να σημειωθεί ότι αυτή είναι η ισχύς που μεταφέρει ο άνεμος και σε καμία περίπτωση δεν είναι η ισχύς που δεσμεύει ή παράγει η ανεμογεννήτρια. Αυτό συμβαίνει λόγω σημαντικών απωλειών που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία δέσμευσης ενέργειας .

3.3 Συστήματα Αιολικής Ενέργειας

3.3.1 Τύποι Ανεμογεννητριών

Η ποικιλία των μηχανών που επινοήθηκαν και προτάθηκαν για να δεσμεύσουν την αιολική ενέργεια είναι σημαντική και περιλαμβάνει πρωτότυπες επινοήσεις. Από την εποχή εμφάνισης τους οι Α/Γ έχουν περάσει πολλά στάδια εξέλιξης ως προς τον τύπο, τα υποσυστήματα και τον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης και μεταφοράς της ενέργειας. Οι κύριοι λόγοι της χρήσης τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο μεγάλος βαθμός απόδοσης, η απευθείας χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας και η δυνατότητα απευθείας σύνδεσής τους στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η βασική ιδέα να παράγει η Α/Γ ηλεκτρική ενέργεια είναι αρκετά απλή, δηλαδή τα πτερύγιά της περιστρέφονται από την πίεση του ανέμου και μεταφέρουν την περιστροφική τους κίνηση, αρχικά μέσω ενός κεντρικού άξονα και στη συνέχεια μέσω ενός πολλαπλασιαστή στροφών (κιβωτίου ταχυτήτων), σε μια ηλεκτρογεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Κατάταξη ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει βάσει της θέσης του κύριου άξονα περιστροφής σε:

1. Α/Γ κατακόρυφου άξονα:

- δεν χρειάζονται πτερύγιο ή σύστημα προσανατολισμού
- το σύστημα μετατροπής της ενέργειας του δρομέα βρίσκεται στο έδαφος
- μικρότερο κόστος αυτοματισμών, συντήρησης και επισκευών.

2. Α/Γ οριζοντίου άξονα:

- υψηλότερη απόδοση
- λιγότερες ταλαντώσεις- καταπονήσεις
- καλύτερη ποιότητα ισχύος

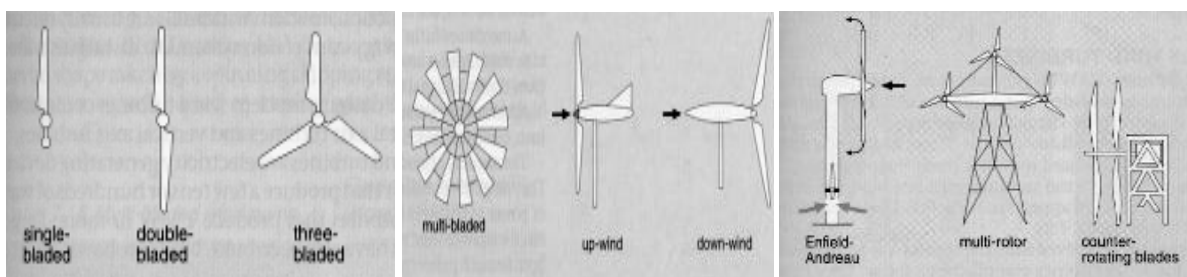
Επίσης μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη θέση του δρομέα ως προς τη διεύθυνση του ανέμου σε :

1. **Δρομέας ανάντι (upwind):** Η ύπαρξη μηχανισμού προσανατολισμού εξασφαλίζει την αποδοτικότερη και ασφαλέστερη λειτουργία
2. **Δρομέας κατάντι (downwind):** Μικρότερο κόστος αλλά με προβλήματα συστροφής καλωδίων και με μεγαλύτερη επίδραση της ατράκτου στην ταχύτητα του ανέμου.

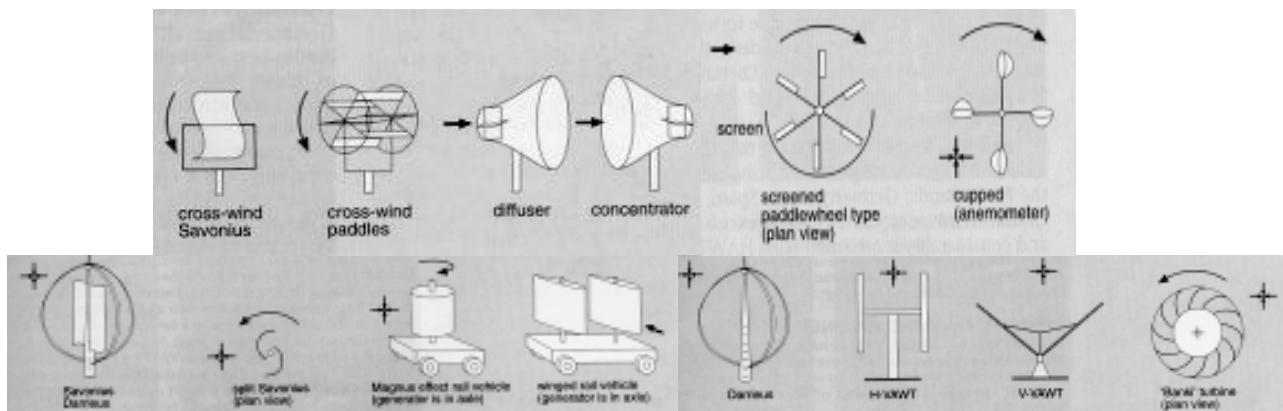
Τέλος, βάσει της ονομαστικής του ισχύος (kW) διακρίνονται σε:

1. **Μικρές Α/Γ :** Θεωρούνται γενικά οι Α/Γ έως 300 kW. Κυριότερες χρήσεις τους είναι η κάλυψη οικιακών αναγκών ή η συνεισφορά τους σε μικρά αυτόνομα δίκτυα.
2. **Μεγάλες Α/Γ:** Α/Γ με ισχύς μεγαλύτερη των 300kW νοούνται μεγάλες και η χρήση τους είναι η σύνδεση στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Διάφορα είδη μηχανών οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα έχουν προταθεί κατά καιρούς (Σχήμα 3.1 και 3.2).

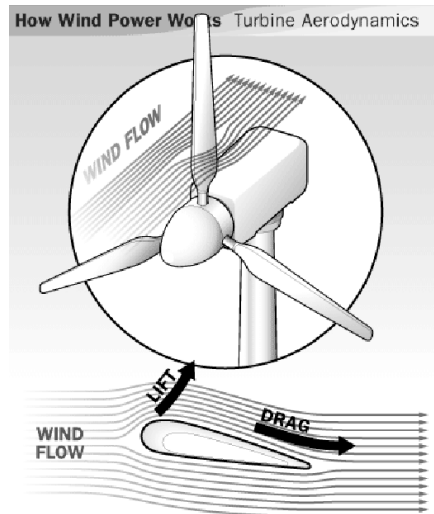


Σχήμα 3.1 Τύποι ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα [18]



Σχήμα 3.2 Τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα [18]

Χαρακτηριστική είναι η διαφορά που υπάρχει στην αρχή λειτουργίας των παραδοσιακών ανεμόμυλων με τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι κινούνται είτε με τη βοήθεια της αντίστασης των πτερυγίων τους στον άνεμο, είτε με (κακή) εκμετάλλευση της άνωσης που ασκείται πάνω τους. Στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες η κίνηση οφείλεται στην άνωση (lift), η οποία αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί να γίνει υπερδεκαπλάσια της αντίστασης (drag). Στις μέρες μας, ο πιο γνωστός τύπος ανεμοκινητήρα, που έχει εφαρμοσθεί ευρύτατα στην πράξη, είναι με δρομέα οριζοντίου άξονα.



Σχήμα 3.3 Άνωση και αντίσταση της ροής αέρα επάνω στο πτερύγιο μίας Α/Γ με δρομέα οριζοντίου άξονα [17]

Ο βαθμός απόδοσης C_P χαρακτηρίζει τους ανεμοκινητήρες και ονομάζεται και συντελεστής ισχύος. Ορίζεται ως:

$$C_P = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \rightarrow P = \frac{1}{2}\rho C_P AV^3$$

όπου P είναι η ισχύς που αποδίδεται από την Α/Γ και στον παρανομαστή είναι η ισχύς που έχει ο άνεμος ταχύτητας V που περνάει από επιφάνεια A (ρ : η πυκνότητα του ανέμου). Αυτό που είναι σημαντικό, το οποίο φαίνεται στη τελευταία σχέση, είναι ότι η ισχύς του ανέμου ανά τετραγωνικό μέτρο μετωπικής επιφάνειας της Α/Γ είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, όπως και η αποδιδόμενη ισχύς της Α/Γ. Για να υπολογίσουμε, λοιπόν, την ισχύ που παράγει μια συγκεκριμένη Α/Γ με γνωστό C_P , χρειαζόμαστε μόνο την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα.

Επίσης, πρέπει να σημειώσουμε ότι ο συντελεστής ισχύος έχει ως άνω όριο, όπως έδειξε ο Betz, την τιμή $C_P = \frac{19}{27}$, που ονομάζεται **όριο του Betz**. Συνεπώς, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού από την Α/Γ μπορεί να γίνει μόνο μέχρι ένα ποσοστό της τάξης του **59%**. Η μέγιστη αυτή τιμή στην πράξη δεν μπορεί να επιτευχθεί λόγω διαφόρων απωλειών κατά την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου, και ένα τυπικό εύρος τιμών του συντελεστή ισχύος είναι **20-40%**.

Ο συντελεστής ισχύος C_P εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μηχανής και είναι συνάρτηση της αδιάστατης ταχύτητας ακροπτερυγίου λ :

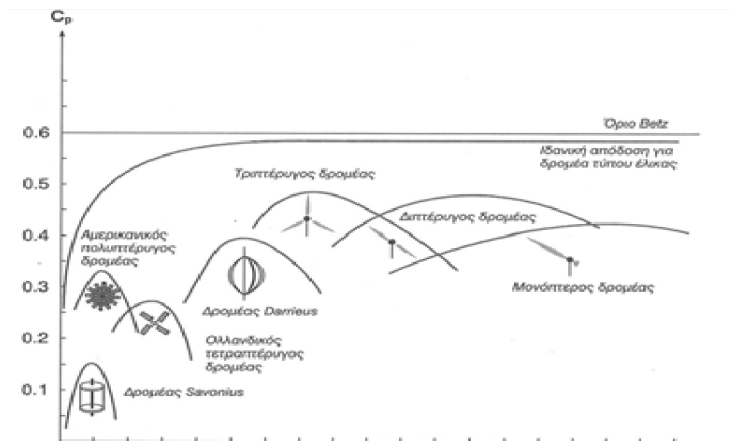
$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

όπου:

ω : η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα

R : η ακτίνα του

Έτσι, η αεροδυναμική σχεδίαση των πτερυγίων των σύγχρονων μηχανών, έχει οδηγήσει σε υψηλότερους συντελεστές ισχύος και μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή για δεδομένη ταχύτητα ανέμου. Τέλος, η αδιάστατη ταχύτητα ακροπτερυγίου καλείται και κατάσταση λειτουργίας του δρομέα.



Σχήμα 3.4 Συντελεστής ισχύος για διάφορα είδη ανεμογεννητριών [17]

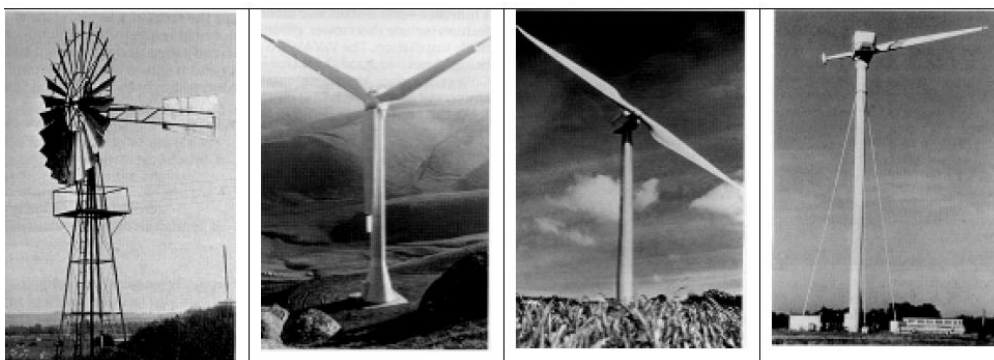
Στο Σχήμα 3.4 δίνονται τυπικές καμπύλες του συντελεστή ισχύος για διάφορα είδη μηχανών. Φαίνεται καθαρά ότι οι σύγχρονες μηχανές υπερέχουν των παραδοσιακών, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος και μάλιστα σε μεγάλες τιμές καταστάσεως λειτουργίας (μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα δρομέα).

3.3.2 Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου Άξονα

Οι Α/Γ οριζοντίου άξονα βάσει του αριθμού των πτερυγίων μπορεί να είναι:

1. **Μονόπτερες:** Μικρότερο κόστος αλλά θορυβώδεις και με 10% λιγότερη απόδοση από τις δίπτερες
2. **Δίπτερες:** Οικονομικότερες αλλά με μικρότερη απόδοση από τις τρίπτερες
3. **Τρίπτερες:** Μικρά φορτία στα πτερύγια, 5% περισσότερη απόδοση από τις δίπτερες. Θεωρούνται οπτικά φιλικότερες

Οι Α/Γ οριζοντίου άξονα αποτελούνται στην συντριπτική τους πλειοψηφία από τρία ή δύο πτερύγια και θυμίζουν έντονα έλικα αεροπλάνου ή ελικοπτέρου. Α/Γ με μεγαλύτερο αριθμό πτερυγίων εμφανίζονται ως πολύ στιβαρές κατασκευές, και βρίσκουν εφαρμογές σε ειδικές συνθήκες για άντληση νερού σε αγροκτήματα (Εικόνα 3.1).

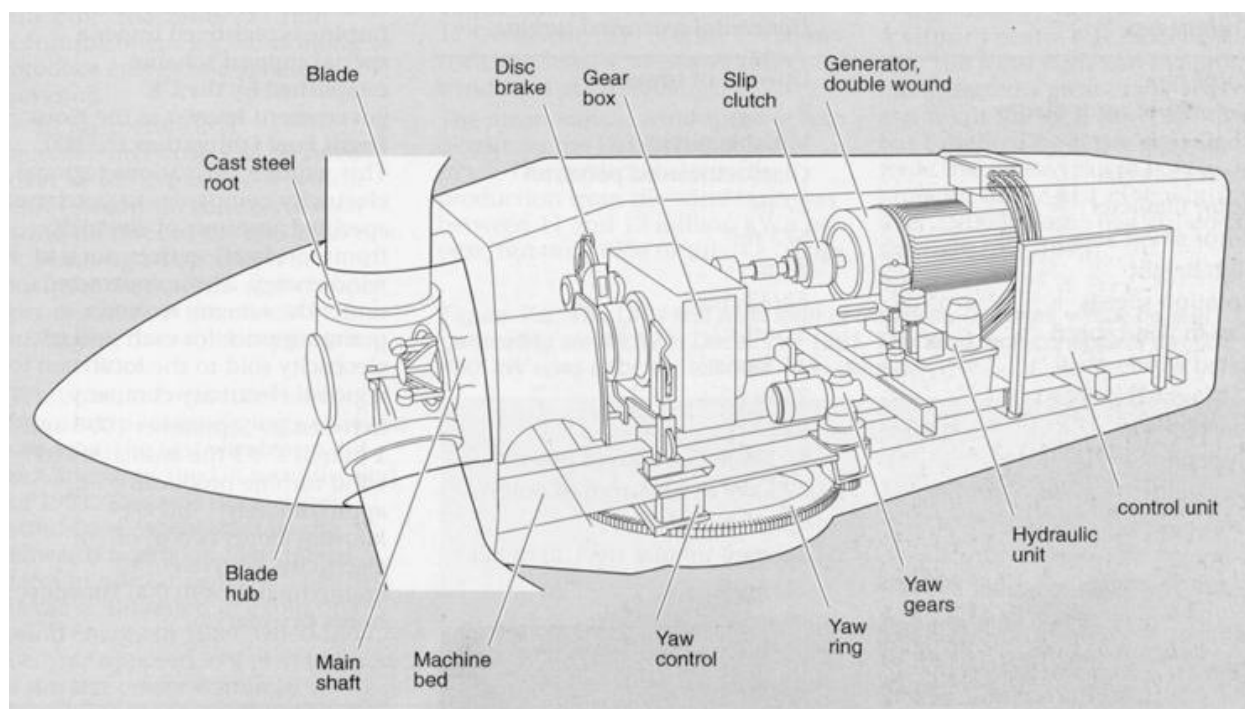


Εικόνα 3.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα (πολύπτερη, τρίπτερη, δίπτερη & μονόπτερη) [18]

Οι σύγχρονες Α/Γ έχουν μοντέρνα αεροδυναμική σχεδίαση, που οφείλεται στην πρόοδο που έχει επιτευχθεί τις τελευταίες δεκαετίες στο σχεδιασμό των αεροπορικών πτερυγίων και ελίκων. Οι μηχανές που έχουν την μεγαλύτερη εμπορική επιτυχία είναι τρίπτερες ή δίπτερες μεγέθους περίπου μέχρι 1MW, και κατασκευάζονται σε Δανία, Η.Π.Α., Αγγλία, Ολλανδία, Γερμανία,

Ιταλία, Ισπανία, Βέλγιο, Ιαπωνία, Αυστρία και Κίνα. Μονόπτερες μηχανές παράγονται κυρίως στην Γερμανία και την Ιταλία. Παρά την ασυνήθιστη εμφάνιση τους, οι ένθερμοι υποστηρικτές τους πιστεύουν ότι η εξέλιξη τους μπορεί να δώσει φθηνότερες, ελαφρύτερες και με μικρότερες καταπονήσεις μηχανές.

Επιγραμματικά, τα κύρια μέρη των Α/Γ οριζοντίου άξονα (Σχήμα 3.5) είναι το μηχανικό υποσύστημα που περιλαμβάνει το δρομέα ή ρότορα, την άτρακτο, τον άξονα μετάδοσης κίνησης, τον μετατροπέα στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) και το σύστημα πέδησης, και το ηλεκτρικό υποσύστημα, δηλαδή η ηλεκτρική γεννήτρια, ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος, το σύστημα προσανατολισμού στον άνεμο (yaw system) με το ανεμόμετρο και τον ανεμοδείκτη, το σύστημα ελέγχου, ο μετασχηματιστής ανύψωσης και τέλος ο πύργος στήριξης και τα θεμέλια.



Σχήμα 3.5 Κύρια μέρη Α/Γ οριζοντίου άξονα [18]

➤ Δρομέας

Δρομέας (*rotor*) ονομάζεται το στρεφόμενο μέρος της Α/Γ που συνδέεται στην άτρακτο και περιλαμβάνει τα πτερύγια (*blades*), την πλήμνη (*hub*), το μηχανισμό αλλαγής κλίσης των πτερυγίων (*pitch control*) και την αντικεραυνική προστασία. Κριτήρια επιλογής του δρομέα είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του κόστους. Ο έλεγχος της ισχύος μιας Α/Γ μπορεί να γίνει είτε μηχανικά είτε με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού συστήματος (στις νέες τεχνολογίες Α/Γ). Ο μηχανικός έλεγχος επιτυγχάνεται κυρίως με ρύθμιση της γωνίας κλίσης των πτερυγίων (*pitch control*).

Διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

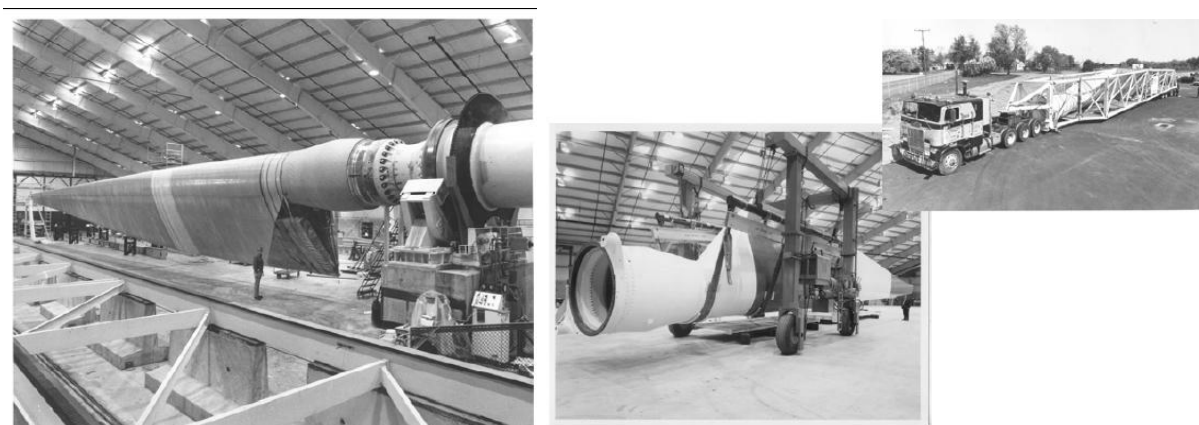
1. Α/Γ με πτερύγιο μεταβλητής γωνίας κλίσης
2. Α/Γ με σταθερό πτερύγιο και ρυθμιζόμενο ακροπτερύγιο
3. Α/Γ με πτερύγιο σταθερής γωνίας

Ως υλικά κατασκευής των πτερυγίων χρησιμοποιούνται κυρίως πολυουρεθάνη και πολυεστέρας με υαλόνημα σε πολλές εναλλασσόμενες στρώσεις. Η κατανομή του πλάτους των πτερυγίων προκύπτει από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα και οι αεροτομές

που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης και μικρό συντελεστή αντίστασης σε μια ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης.



Εικόνα 3.2 Τομή τυπικού πτερυγίου Α/Γ [17]



Εικόνα 3.3 Κατασκευή, έλεγχος και μεταφορά πτερυγίου Α/Γ [17]

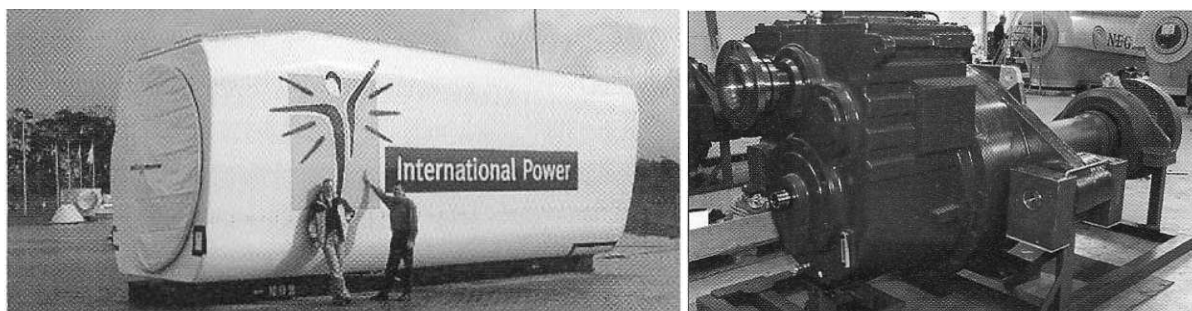
➤ **Άτρακτος**

Η άτρακτος ή νασέλλα (*nacelle*) περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα της Α/Γ και συγκεκριμένα:

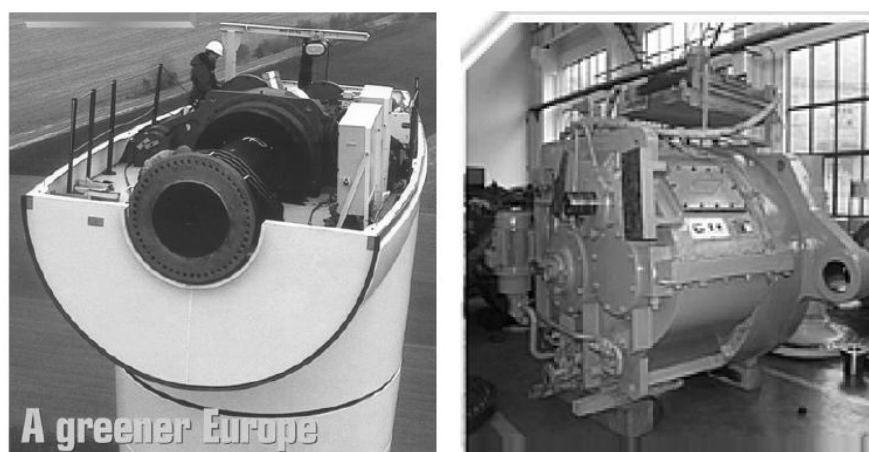
- Τον άξονα μετάδοσης κίνησης
- Τον μετατροπέα στροφών
- Την ηλεκτρική γεννήτρια με το μετατροπέα ισχύος (*inverter*)
- Το σύστημα πέδησης
- Το σύστημα προσανατολισμού στη διεύθυνση του ανέμου
- Τις απαραίτητες καλωδιώσεις
- Συστήματα μέτρησης σημάτων και επικοινωνίας με το σύστημα ελέγχου
- Μετασχηματιστής (στις σύγχρονες Α/Γ)

➤ **Μετατροπέας Στροφών (Κιβώτιο Ταχυτήτων)**

Ο μετατροπέας στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) μετατρέπει τις λίγες στροφές του δρομέα (20-60 rpm) σε πολλές στροφές (1.000-1.800 rpm) για να λειτουργήσει η ηλεκτρογεννήτρια. Ο μετατροπέας επιτυγχάνει την σύζευξη μεταξύ του δρομέα που στρέφεται με τη χαμηλή μηχανική ταχύτητα με τον άξονα της ηλεκτρικής γεννήτριας που στρέφεται με υψηλή ταχύτητα που αντιστοιχούν στην ηλεκτρική συχνότητα (50 Hz) του δικτύου στο οποίο συνδέεται η ανεμογεννήτρια. Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η χρήση κιβωτίου επιτρέπει τη χρήση απλούστερης και οικονομικότερης ηλεκτρικής γεννήτριας με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η κατασκευή της ατράκτου και το συνολικό σύστημα να έχει μικρότερη πολυπλοκότητα. Από την άλλη, το βασικό μειονέκτημα του είναι η μεγάλη φθορά που υφίσταται λόγω των δονήσεων και επομένως είναι επιρρεπές σε βλάβες. Τέλος επισημαίνεται ότι δεν έχουν όλες οι ανεμογεννήτριες κιβώτιο.



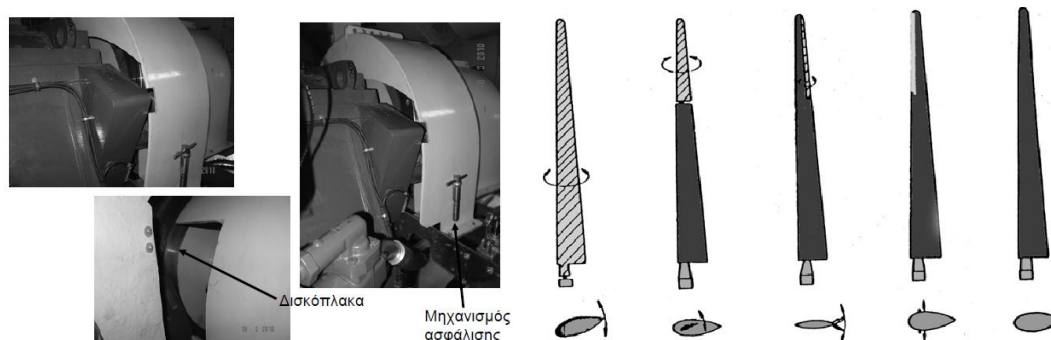
Εικόνα 3.4 Άτρακτος και μετατροπέας στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) Α/Γ [26]



Εικόνα 3.5 Μετατροπέας στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) Α/Γ [17]

➤ **Μηχανικό & αεροδυναμικό σύστημα πέδησης**

Το μηχανικό φρένο είναι τύπου δισκόφρενου και τοποθετείται συνήθως στο τμήμα υψηλών στροφών (μετά τον μετατροπέα στροφών). Επιπροσθέτως, το αεροδυναμικό σύστημα πέδησης επιτυγχάνεται κυρίως με ρύθμιση της γωνίας κλίσης των πτερυγίων (*pitch control*) σε Α/Γ με πτερύγιο μεταβλητής γωνίας κλίσης είτε σε Α/Γ με σταθερό πτερύγιο και ρυθμιζόμενο ακροπτερύγιο, ενώ αντίθετα δεν μπορεί να επιτευχθεί σε Α/Γ με πτερύγιο σταθερής γωνίας.



Εικόνα 3.6 Μηχανικό & αεροδυναμικό σύστημα πέδησης Α/Γ [17]

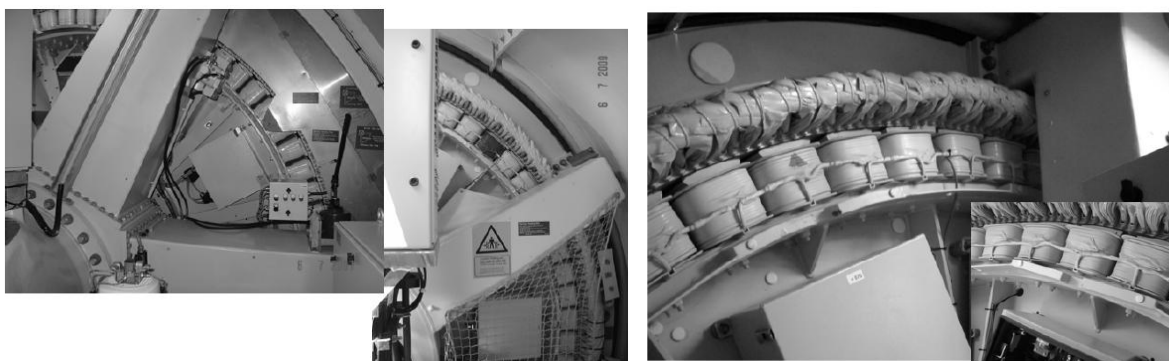
➤ **Η ηλεκτρογεννήτρια**

Χρησιμοποιούνται γεννήτριες συνεχούς και κυρίως εναλλασσόμενου ρεύματος οι οποίες συνδέονται στο δίκτυο είτε απευθείας είτε μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος:

- Ασύγχρονες γεννήτριες (συνήθως 4 πόλοι, 1500 rpm)
- Σύγχρονες γεννήτριες (Πολλοί πόλοι (60), λίγες στροφές (περίπου 30 rpm))
- Γεννήτριες με μόνιμους μαγνήτες



Εικόνα 3.7 Ασύγχρονες ηλεκτρογεννήτριες εγκατεστημένες στην άτρακτο της Α/Γ [17]



Εικόνα 3.8 Σύγχρονες ηλεκτρογεννήτριες εγκατεστημένες στην άτρακτο της Α/Γ [17]

➤ **Το σύστημα προσανατολισμού ατράκτου (yaw system)**

Το σύστημα προσανατολισμού περιστρέφει την άτρακτο της Α/Γ στην κατεύθυνση του ανέμου. Αποτελείται από έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες που δίνουν κίνηση σε οδοντωτούς τροχούς. Οι οδοντωτοί τροχοί συνεργάζονται με έναν μεγαλύτερο που βρίσκεται στην κορυφή του πύργου. Ο έλεγχος του συστήματος γίνεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου της Α/Γ και έναν ηλεκτρονικό ρυθμιστή και αναγκάζει το δρομέα να παρακολουθεί την κατεύθυνση του ανέμου και να παραμένει κάθετος σε αυτήν.



Εικόνα 3.9 Το σύστημα προσανατολισμού της ατράκτου (yaw system) όπου διακρίνονται οι ηλεκτροκινητήρες και οι οδοντωτοί τροχοί [17]

➤ Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου και ασφαλούς λειτουργίας

Τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου και ασφαλούς λειτουργίας αποτελούνται από ένα ή περισσότερα υποσυστήματα μικροϋπολογιστών που φροντίζουν για την ασφαλή, εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία της Α/Γ σε όλες τις συνθήκες. Το σύστημα ελέγχου βρίσκεται στο επίπεδο της πόρτας, ενώ ο μετασχηματιστής, εάν δεν είναι στην άτρακτο, εγκαθίσταται στο ισόγειο.

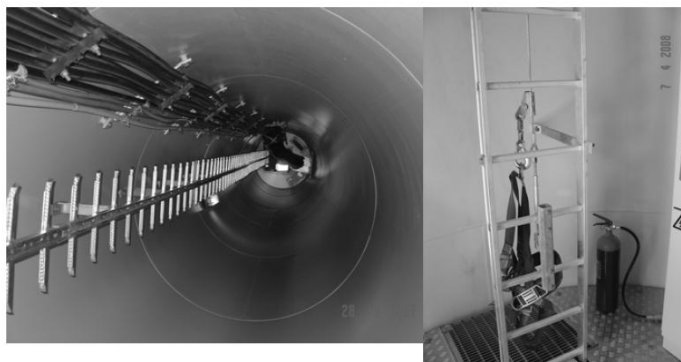


Εικόνα 3.10 Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου και ασφαλούς λειτουργίας στην είσοδο του πύργου και στην άτρακτο [17]

➤ Ο πύργος

Ο πύργος της Α/Γ στηρίζει τη νασέλλα και το δρομέα και γενικά προτιμάται να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερος. Ο πύργος έχει σχήμα κώνου που εξυπηρετεί στην αύξηση της αντοχής και στην εξοικονόμηση υλικών με τη διάμετρο να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε τη βάση. Υπάρχουν δύο τύποι πύργων, οι σωληνωτοί και οι τύπου δικτυώματος, οι οποίοι συναρμολογούνται επιτόπου με τη χρήση μεγάλων γερανών. Κριτήρια επιλογής του είδους του πύργου είναι το κόστος, η ευκολία μεταφοράς και ανέγερσής του.

Γενικά, ο δικτυωτός πύργος είναι ευκολότερος στην συναρμολόγηση καθώς είναι ελαφριάς κατασκευής, είναι αρκετά φθηνότερος αλλά έχει υψηλότερη ιδιοσυχνότητα από τον σωληνωτό πύργο. Από την άλλη, ο σωληνωτός πύργος είναι αισθητικά καλύτερος, το εσωτερικό του χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στην άτρακτο και την τοποθέτηση βοηθητικών μηχανημάτων κάτι που τον καθιστά ασφαλέστερος για το προσωπικό και τέλος, έχει χαμηλότερη ιδιοσυχνότητα. Εσωτερικά περιλαμβάνει ενδιάμεσα πατώματα για διευκόλυνση και ασφάλεια στην αναρρίχηση και κάθετη σκάλα ενώ σε μεγάλου ύψους Α/Γ (<80m) υπάρχει πλέον και ανελκυστήρας. Για αυτούς τους λόγους ο πύργος των σύγχρονων ανεμογεννητριών είναι ως επί το πλείστον σωληνωτός, χαλύβδινος, 2-3 τμημάτων, διαμέτρου βάσης 3-5 μέτρων και ύψους που ξεπερνά και τα 100 μέτρα.



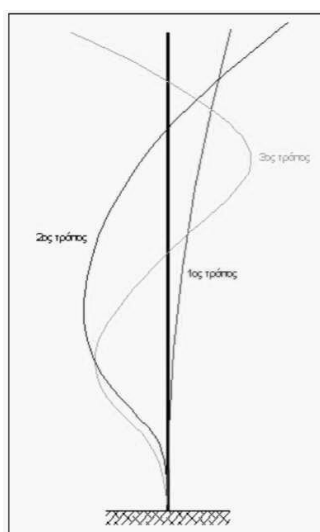
Εικόνα 3.11 Το εσωτερικό του σωληνωτού πύργου όπου διακρίνονται τα καλώδια, το ενδιάμεσο πάτωμα και η κάθετη σκάλα [4,17]

Ο πύργος καταπονείται στατικά και δυναμικά. Τα μεταβαλλόμενα αεροδυναμικά φορτία και η κακή ζυγοστάθμιση του δρομέα μπορούν να προκαλέσουν συνθήκες συντονισμού και για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η πρόβλεψη των φυσικών συχνοτήτων του συστήματος ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες καταστάσεις που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αστοχία όλη την κατασκευή. Η βάση του πύργου είναι το σημείο με τις περισσότερες καταπονήσεις που καταπονείται κυρίως θλιπτικά και καμπτικά.

Συντονισμός στους πύργους είναι δυνατόν να εμφανισθεί για αρκετούς λόγους όπως:

- Μη ζυγοσταθμισμένος δρομέας (1^{ος} τρόπος)
- Η συχνότητα περιστροφής του δρομέα είναι κοντά στη συχνότητα του πύργου (2^{ος} τρόπος)
- Η συχνότητα του ανέμου είναι κοντά στη συχνότητα του πύργου (3^{ος} τρόπος)

Γίνεται κατανοητό ότι πρέπει να αποφεύγεται οι συχνότητες της κατασκευής να είναι ίσες ή ακέραιο πολλαπλάσιο των συχνοτήτων διεγέρσεως (πχ συχνότητα περιστροφής του δρομέα).

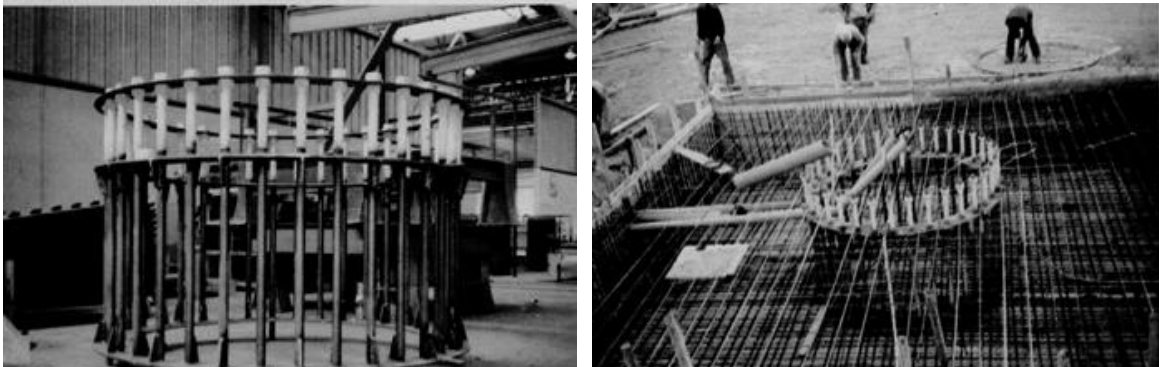


Σχήμα 3.6 Τρόποι συντονισμός του πύργου [17]

Η θεμελίωση κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και η σύνδεση με τον πύργο γίνεται με κοχλίες που φυτεύονται στο θεμέλιο. Για τη θεμελίωση απαιτείται γεωτεχνική μελέτη και μελέτη πολιτικού μηχανικού. Τέλος, μεγάλης σημασίας είναι η γείωση που πρέπει να έχει η μεταλλική κατασκευή της ανεμογεννήτριας. Η γείωση του πύργου και όλων των μεταλλικών μερών είναι θεμελιακή και συνδέεται και με τη γείωση του αιολικού πάρκου.



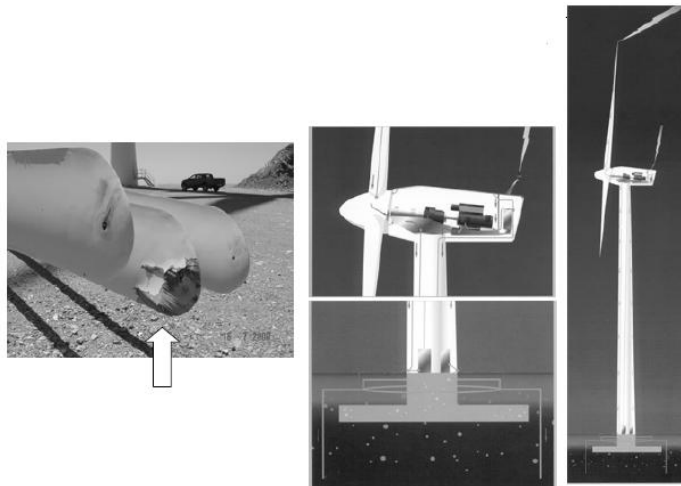
Εικόνα 3.12 Η βάση του πύργου είναι το σημείο με τις περισσότερες καταπονήσεις [17]



Εικόνα 3.13 Η θεμελίωση και η σύνδεση με τον πύργο μέσω κοχλιών [17]

➤ **Η αντικεραυνική προστασία**

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες διαθέτουν αποτελεσματικά συστήματα αντικεραυνικής προστασίας χωρίς βέβαια να μπορούν να αποκλειστούν οι αστοχίες.



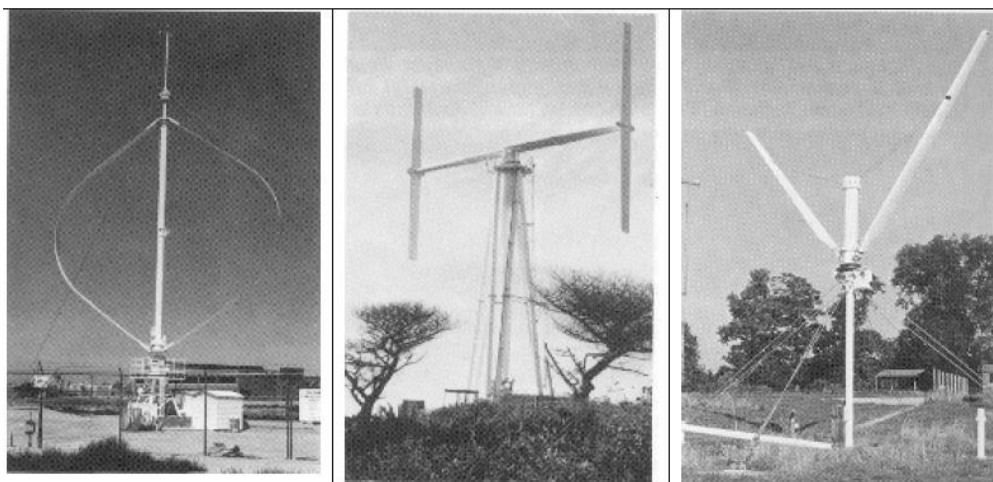
Εικόνα 3.14 Αστοχία αντικεραυνικής προστασίας [17]

3.3.3 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα δεν έχουν γνωρίσει την εμπορική ανάπτυξη που έχουν οι οριζοντίου άξονα. Εντούτοις, έχουν κάποια βασικά πλεονεκτήματα:

- Η κατακόρυφη συμμετρία συνεπάγεται αυτόματο προσανατολισμό του δρομέα προς τον άνεμο
- Το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου είναι τοποθετημένο το σύστημα μετατροπής σε άλλη μορφή ενέργειας
- Απλή κατασκευή του πύργου στήριξης και γενικότερα απλούστερη κατασκευή

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα (Σχήμα 3.8) στηρίζονται στις ιδέες του Georges Darrieus και τις επινοήσεις του γύρω στο 1925.

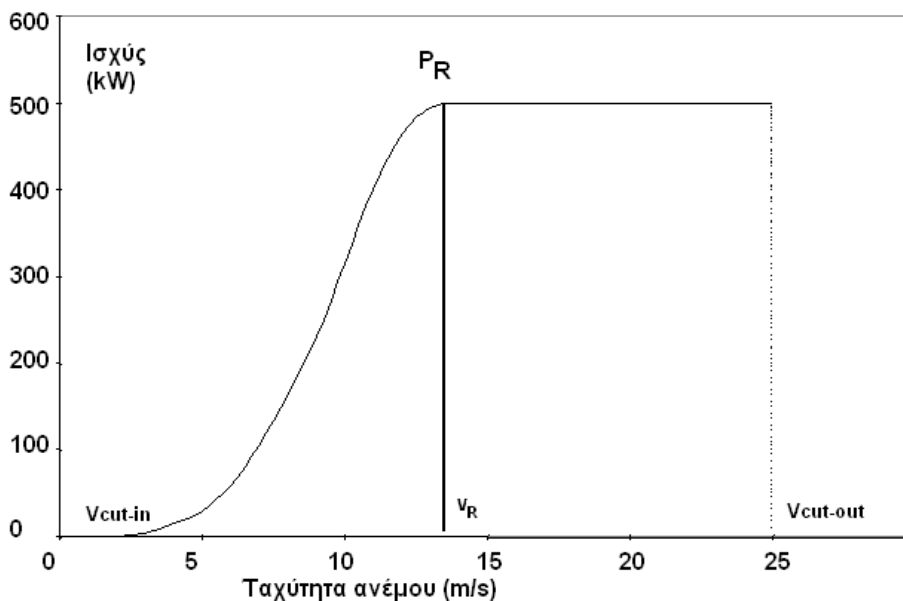


Εικόνα 3.15 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (Δίπτερη τύπου Darrieus, τύπου "H", τύπου "V") [18]

3.3.4 Παραγωγή Ενέργειας Ανεμογεννητριών

3.3.4.1 Καμπύλη Ισχύος

Η παραγωγή ισχύος μιας ανεμογεννήτριας μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου, και κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος της που εξαρτάται από τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά και το σχεδιασμό της. Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας (Σχήμα 3.9) χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (V_{cut-in}) όπου η ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ισχύ, την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας ($V_{cut-out}$) όπου η μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας για να προστατευθεί από τον πολύ δυνατό άνεμο, και η ονομαστική ταχύτητα (V_R) που είναι η μικρότερη ταχύτητα για την οποία η μηχανή παράγει την ονομαστική της ισχύ (P_R). Στην ονομαστική ισχύ, η ανεμογεννήτρια παρέχει τη μέγιστη ροπή.



Σχήμα 3.7 Τοπική Καμπύλη Ισχύος A/T

3.3.4.2 Παραγωγή Ενέργειας

Οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να παράγουν όση ενέργεια θα θέλαμε, και όση δηλώνει η ονομαστική ισχύς τους, διότι πολλές ώρες ετησίως λειτουργούν μακριά από αυτήν. Η παραγόμενη ενέργεια μιας αιολικής μηχανής εξαρτάται τόσο από την καμπύλη ισχύος της μηχανής, όσο και από το ρόδο του ανέμου στην περιοχή.

Για κάθε ταχύτητα ανέμου εντός των ορίων λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (ανάμεσα στην ταχύτητα έναρξης λειτουργίας V_{cut-in} και ταχύτητα διακοπής λειτουργίας V_F), η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει από το γινόμενο του αριθμού των ωρών εμφάνισης της συγκεκριμένης ταχύτητας ετησίως με την ισχύ που αντιστοιχεί (για δεδομένη καμπύλη ισχύος). Με αυτό το τρόπο μπορεί κανείς να φτιάξει την καμπύλη της κατανομής παραγόμενης ενέργειας. Η συνολική ετήσια ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας για όλες τις ταχύτητες ανέμου που έχουμε λειτουργία.

Αντίστοιχα, μπορεί κανείς να υπολογίσει την μέση ετήσια παραγόμενη ισχύ. Χωρίζουμε την περιοχή ταχυτήτων σε N διαστήματα. Με V_i συμβολίζουμε την ταχύτητα στο αριστερό άκρο του διαστήματος και με V_{i+1} την ταχύτητα στο δεξιό άκρο. Η μέση ετήσια ισχύς είναι:

$$\overline{P_g} = \sum_{i=1}^N P_g \left(\frac{V_i + V_{i+1}}{2} \right) P(V_i < V < V_{i+1})$$

όπου:

$P_g(V)$: η ισχύς της ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με την ταχύτητα (καμπύλη ισχύος)

$P(V_i < V < V_{i+1})$: η πυκνότητα πιθανότητας να πνέει άνεμος ταχύτητας μεγαλύτερης της V_i και μικρότερης της V_{i+1}

Η $P(V_i < V < V_{i+1})$ υπολογίζεται δεδομένου ότι:

$$P(V_i < V < V_{i+1}) = P(V < V_{i+1}) - P(V < V_i)$$

Στη συνέχεια, δεδομένης της μέσης ετήσιας ισχύς υπολογίζουμε την ετήσια παραγόμενη ενέργεια:

$$E = 8760 \overline{P_g}$$

Πρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια είναι η διαθεσιμότητα της μηχανής, οι απώλειες μεταφοράς και ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου.

Η διαθεσιμότητα εκφράζει το ποσοστό του χρόνου που είναι διαθέσιμη η ανεμογεννήτρια για να λειτουργήσει και εκφράζεται με τον συντελεστή διαθεσιμότητας (Σ.Δ.). Να υπογραμμισθεί ότι ο συντελεστής διαθεσιμότητας δεν σχετίζεται με το αιολικό δυναμικό, αλλά με το ποσοστό του χρόνου που προορίζεται για συντήρηση. Στο σύνολο του έτους υπάρχουν προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης που πρέπει να γίνουν, αλλά υπάρχει και η περίπτωση να σημειωθεί κάποια βλάβη (π.χ. απώλεια ενός πτερυγίου), οπότε αναγκαστικά μένει εκτός λειτουργίας η μηχανή μέχρι να επισκευαστεί. Τυπικές τιμές του είναι 0.97-0.98. Σε περιοχές με καλή παροχή υπηρεσιών και εύκολη πρόσβαση στο πάρκο, η συντήρηση, η επιδιόρθωση πιθανών βλαβών και η παραλαβή των αναγκαίων ανταλλακτικών μπορεί να είναι άμεση, οπότε ο συντελεστής διαθεσιμότητας είναι ιδιαίτερα υψηλός. Το αντίθετο συμβαίνει σε απομονωμένες περιοχές.

Ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου, εκφράζει τις απώλειες που έχουμε λόγω αλληλεπίδρασης ανεμογεννητριών σε αιολικά πάρκα, και οφείλεται κατά κύριο λόγο στο έλλειμμα της ταχύτητας που παρουσιάζεται στον ομόρροου της ανεμογεννήτριας.

3.3.4.3 Συντελεστής Εκμεταλλευσιμότητας

Ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας της ανεμογεννήτριας ορίζεται ως:

$$CF = \frac{E}{E_R} = \frac{\bar{P}}{P_R}, \text{ όπου } E_R = 8760P_R$$

και ουσιαστικά υποδηλώνει την ποιότητα σχεδίασης και κατασκευής της μηχανής, σε σχέση με το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας δείχνει πόση ενέργεια παράγεται πραγματικά ως ποσοστό της ενέργειας που θα παραγόταν αν η αιολική μηχανή ή το πάρκο λειτουργούσαν όλο το χρόνο (δηλαδή 8760 ώρες) με την ονομαστική τους ισχύ. Ένας ικανοποιητικός συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας είναι της τάξεως του 0,25-0,35.

3.3.4.4 Απώλειες Ενέργειας

Για πολλούς ετερόκλητους λόγους μία Α/Γ δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου. Μερικοί αντιπροσωπευτικοί είναι οι εξής:

- Αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα, μειωτήρα, γεννήτριας) και συνεπώς σε περιόδους με ταχύτητες μικρότερες της $V_{\text{cut-in}}$ η ενέργεια του ανέμου μένει ανεκμετάλλευτη, αφού δεν είναι σε θέση να δώσει ροπή στον δρομέα
- Για ταχύτητες μεγαλύτερης της ονομαστικής, επιδιώκεται να διατηρηθεί η παραγόμενη ισχύς σταθερή, αλλάζοντας τη γωνία κλίσης των πτερυγίων ή με τα ακροπτερύγια ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα. Άρα για ταχύτητες μεγαλύτερες της V_R χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού
- Για υψηλές ταχύτητες ανέμου πάνω από την $V_{\text{cut-out}}$ η Α/Γ παύει να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας και άρα η ενέργεια του ανέμου σε αυτές τις περιπτώσεις μένει τελείως αναξιοποίητη
- Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες (συντελεστής ισχύος)
- Κατά τη λειτουργία έχουμε ακόμα μηχανικές απώλειες στον άξονα, στον μειωτήρα και στη γεννήτρια. Ένα ποσοστό της τάξεως του 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής είναι αντιπροσωπευτικό των μηχανικών απωλειών

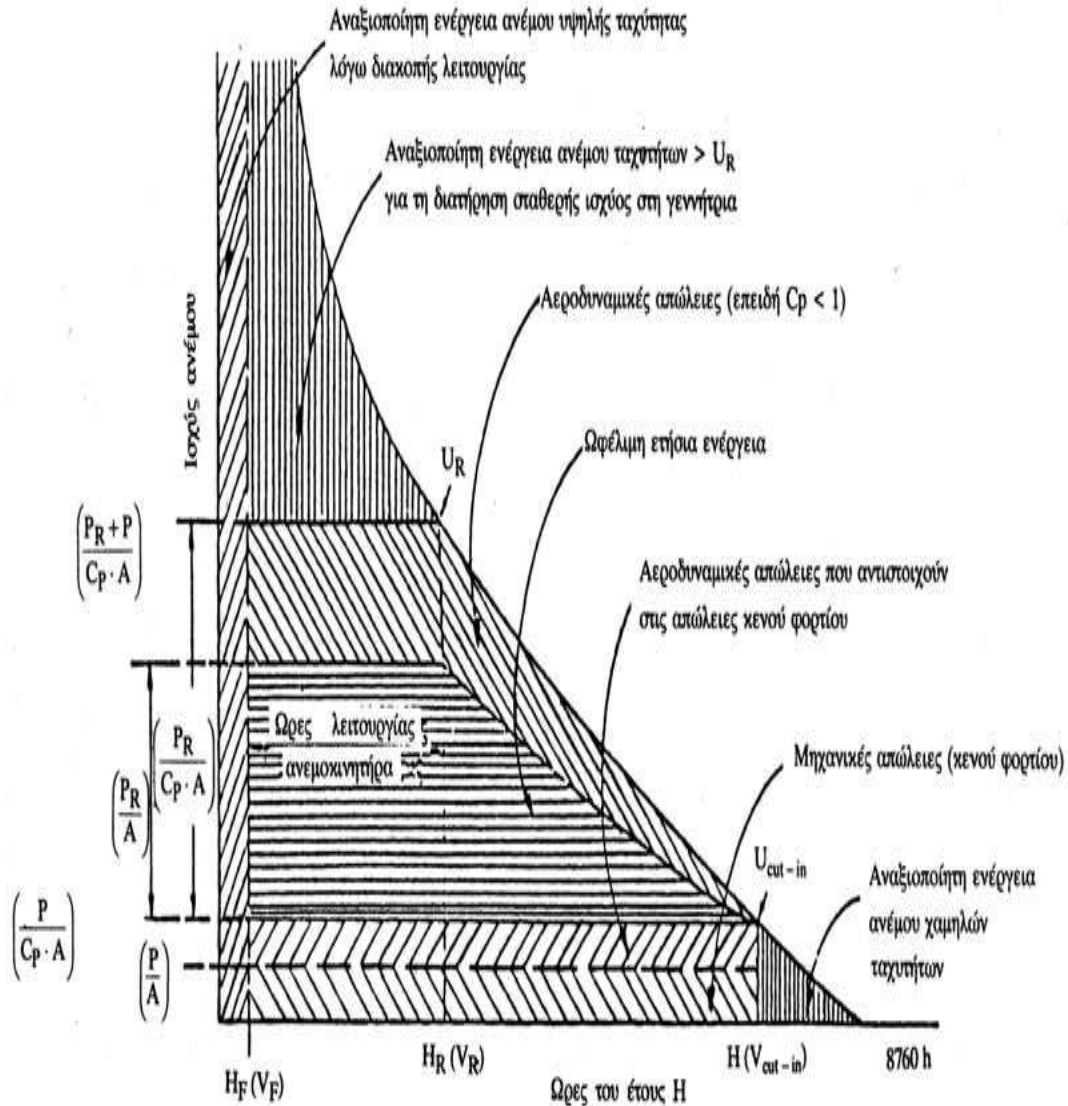
Το Σχήμα 3.10 παρουσιάζει τις ενεργειακές απώλειες μιας τυπικής Α/Γ βάσει της προηγούμενης περιγραφής. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι εκτός των απωλειών ενέργειας του ανέμου, παρατηρούνται απώλειες της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια κατά τη μεταφορά (καλώδια) αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου) έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία.

Έτσι αν υποθέσουμε ως E την παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ενέργεια, όπως υπολογίζεται από την καμπύλη ισχύος της για δεδομένη ταχύτητα ανέμου, τότε η ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο E_{net} θα είναι μειωμένη κατά ένα ποσοστό και θα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\text{net}} = n * E$$

όπου:

n : ο βαθμός απόδοσης του συστήματος Α/Γ με τυπικές τιμές από 0,75 έως 0,90



Σχήμα 3.8 Απώλειες ισχύος ανέμου κατά της εκμετάλλευση από Α/Γ [24]

3.3.5 Πιστοποίηση Ανεμογεννητριών [17]

Αρχικά γίνεται μια προσπάθεια ακριβούς απόδοσης των ορισμών διαδικασιών και φορέων που σχετίζονται με την πιστοποίηση των Α/Γ. Συγκεκριμένα:

- **Πιστοποίηση (Certification)**
 Διαδικασία με την οποία ένας τρίτος φορέας δίνει γραπτή εγγύηση ότι ένα προϊόν, μία διαδικασία ή μία υπηρεσία συμμορφώνονται σε καθορισμένες απαιτήσεις.
- **Λιαπίστευση (Accreditation)**
 Διαδικασία κατά την οποία μία Αρχή παρέχει επίσημη αναγνώριση ότι ένας φορέας είναι τεχνικά επαρκής για να φέρει σε πέρας συγκεκριμένες δραστηριότητες όπως πιστοποίηση, δοκιμές κ.λπ.
- **Φορέας πιστοποίησης**
 Ο φορέας ο οποίος παρέχει την πιστοποίηση

Οι Ευρωπαϊκές χώρες εφαρμόζουν πολύ διαφορετικούς κανόνες πιστοποίησης που μπορεί να ποικίλουν από καθόλου απαιτήσεις έως πλήρης πιστοποίηση τύπου μαζί με αξιολόγηση των συνθηκών της περιοχής εγκατάστασης και της σχεδίασης των θεμελίων. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, για την εγκατάσταση και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου απαιτείται η έγκριση του πιστοποιητικού τύπου των Α/Γ που πρόκειται να εγκατασταθούν μαζί με πιστοποίηση εκτέλεσης μετρήσεων ποιότητας ισχύος για το συγκεκριμένο τύπο ανεμογεννήτριας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο αιολικό πάρκο.

Το Κ.Α.Π.Ε. είναι από το νόμο η πιστοποιούσα αρχή για τις Α/Γ στην Ελλάδα και επομένως είναι υπεύθυνο για την έκδοση των παραπάνω δύο πιστοποιητικών. Γενικά το Κ.Α.Π.Ε. αποδέχεται πιστοποιητικά τύπου που έχουν εκδοθεί από εξουσιοδοτημένους οργανισμούς όπως οι *Germanischer Lloyd*, *Det Norske Veritas*, *TUV*. Όσον αφορά τις μετρήσεις ποιότητας ισχύος, το Κ.Α.Π.Ε. δέχεται εκθέσεις μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το πρότυπο *IEC 61400-21*, και έχουν εκδοθεί από διαπιστευμένο οργανισμό. Πιο συγκεκριμένα, το Κ.Α.Π.Ε. δέχεται πιστοποιητικά τύπου που έχουν εκδοθεί από:

- *Germanischer Lloyds*(Γερμανία)
- *Det Norske Veritas*(Δανία)
- *TUV*(Γερμανία)

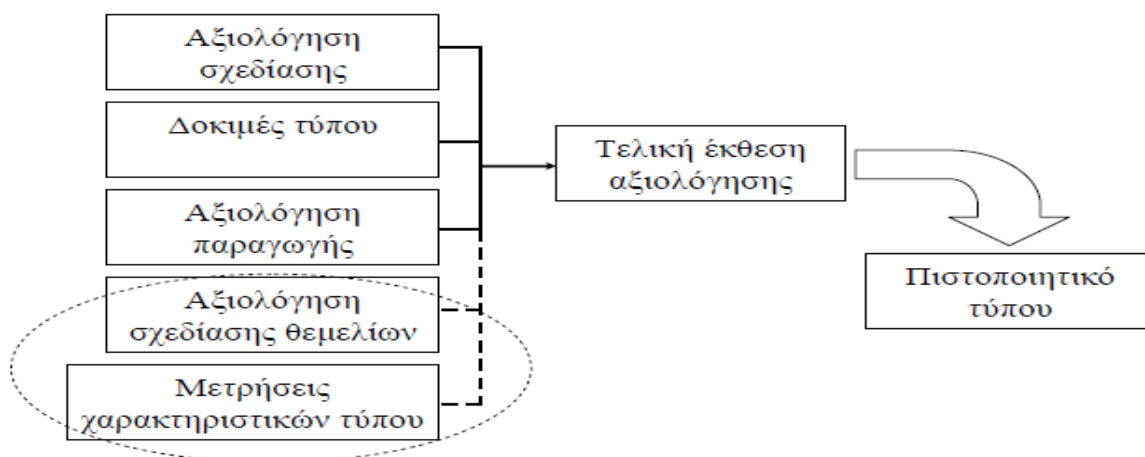
ή οποιοδήποτε άλλο οργανισμό διαπιστευμένο σύμφωνα με το πρότυπο *EN45001* για πιστοποίηση Α/Γ ακολουθώντας τα ακόλουθα κριτήρια:

- Κανονισμοί *Germanischer Lloyds*
- Δανέζικα και Ολλανδικά πρότυπα και κριτήρια
- *IEC 61400-1*

Επιπροσθέτως, το πρότυπο *IEC 61400-22* (ή *WT-01*) ορίζει πως πρέπει να λειτουργούν οι οργανισμοί που εκδίδουν πιστοποιητικά Α/Γ όπως:

- Πιστοποιητικά τύπου (Σχεδίαση κατά *IEC 61400-1* /Δοκιμές σε πρωτότυπο /Έχει κατασκευαστεί κατά *ISO 9001*)
- Πιστοποιητικά έργων (Πάρκα)
- Πιστοποιητικά εξαρτημάτων (για τα πτερύγια ή τον πύργο)

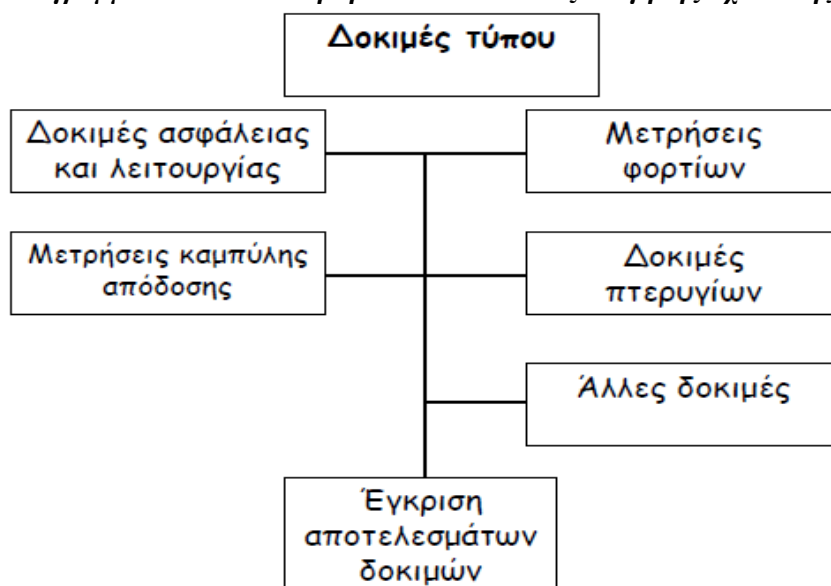
Σκοπός της πιστοποίησης τύπου είναι να επιβεβαιώσει ότι ο συγκεκριμένος τύπος Α/Γ είναι σχεδιασμένος, τεκμηριωμένος και κατασκευασμένος σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα και κανονισμούς. Ο κατασκευαστής είναι υποχρεωμένος να αποδείξει και στην πράξη ότι είναι δυνατό να εγκαταστήσει, να λειτουργήσει και να συντηρήσει τις Α/Γ σύμφωνα με όσα έχει περιγράψει στα σχετικά έγγραφα. Η πιστοποίηση τύπου περιλαμβάνει τα υποχρεωτικά και προαιρετικά στάδια (σημειώνονται εντός του κύκλου), όπως αναλυτικά φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Επισημαίνεται ότι η πιστοποίηση ισχύει για όλες τις ανεμογεννήτριες με κοινή σχεδίαση και κατασκευή.



Διάγραμμα 3.1 Διαδικασία για την έκδοση πιστοποιητικού τύπου



Διάγραμμα 3.2 Πιστοποίηση τύπου: Στάδια αξιολόγησης σχεδίασης



Διάγραμμα 3.3 Πιστοποίηση τύπου: Δοκιμές τύπου

A/Γ		I	II	III	IV	S
V_{ref}	(m/s)	50	42,5	37,5	30	Οι τιμές καθορίζονται από το σχεδιαστή
V_{ave}	(m/s)	10	8,5	7,5	6	
A	I_{15} (-)	0,18	0,18	0,18	0,18	
B	I_{15} (-)	0,16	0,16	0,16	0,16	

Πίνακας 3.2 Κλάσεις A/Γ σύμφωνα με το πρότυπο IEC61400-1

Τέλος, οι κλάσεις ανεμογεννητριών, σύμφωνα με το πρότυπο IEC61400-1, είναι πέντε (I, II, III, IV και S) και για κάθε μία από αυτές ισχύουν διαφορετικές ταχύτητες V_{ref} και V_{ave} στο ύψος πλήμνης, όπως παρατίθενται στον Πίνακα 3.2 αναλυτικά. Με "A" χαρακτηρίζεται η κατηγορία για υψηλά επίπεδα τύρβης, ενώ με "B" η κατηγορία για χαμηλά επίπεδα τύρβης, ενώ τέλος, " I_{15} " είναι η χαρακτηριστική παράμετρος της έντασης της τύρβης στα 15 m/s.

3.4 Η Ισχύουσα Νομοθεσία [17]

➤ Εγκατάσταση Μετεωρολογικών Ιστών (ΦΕΚ 202–19/8/2005)

- **Αρμόδιο Τοπικό Δασαρχείο:** Ο ενδιαφερόμενος πρέπει να αποστείλει στο αρμόδιο δασαρχείο ακριβή περιγραφή της υποψήφιας θέσης εγκατάστασης. Ο Δασάρχης, κατόπιν αυτοψίας γνωμοδοτεί για το εάν η θέση είναι δασική ή ανήκει σε ιδιώτη και στις περισσότερες περιπτώσεις γνωμοδοτεί θετικά για τις μη ιδιωτικές θέσεις, με την προϋπόθεση ότι ο ενδιαφερόμενος δεσμεύεται για την απεγκατάσταση του ιστού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Πολλές φορές εισηγείται και τη γνωμοδότηση του στρατού αλλά και την ενημέρωση του δήμου ή της κοινότητας στην οποία ανήκει η θέση.
- **Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.):** Η γνωμοδότηση της Υ.Π.Α. απαιτείται από το νόμο. Γενικά, απαιτείται η ημερήσια σήμανση του ιστού με ερυθρές και λευκές λωρίδες και η νυκτερινή σήμανση με κατάλληλο φανό αεροπλοΐας, ιδιαίτερα για φανούς άνω των 30 μέτρων

➤ Βασική Νομοθεσία

Η βασική νομοθεσία που διέπει την εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Α.Π.Ε. είναι η εξής:

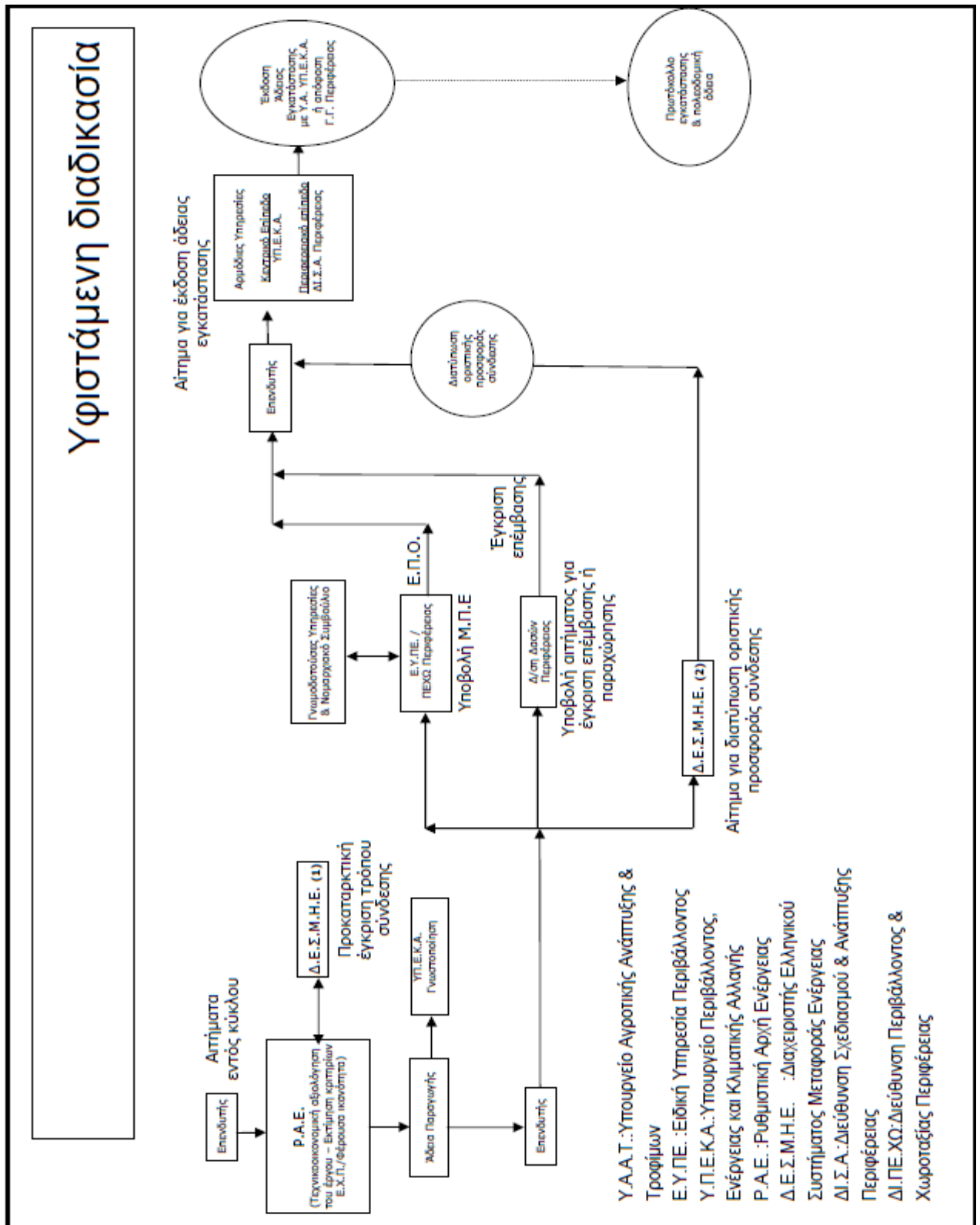
- Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ Α85/04.06.2010)
- Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ Α' /27.06.2006)
- Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (ΦΕΚ Β' 1442/02.10.2006, ΦΕΚ Β' 148/06.02.2007)
- Κανονισμός αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Α.Π.Ε. και μέσω Σ.Η.Θ.Υ.Α. (ΦΕΚ Β' 448/3.4.2007)
- Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Α.Π.Ε. (ΦΕΚ Β' 1153/07.2007)
- Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις Α.Π.Ε. (ΦΕΚ Β' 2464/03.12.2008)
- Νόμος για την προώθηση της συμπαραγωγής και τη ρύθμιση άλλων θεμάτων

➤ **Απαιτούμενες Άδειες**

- Άδεια παραγωγής
Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.)
Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
- Άδεια εγκατάστασης
Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε./Δ.Ε.Η.
Περιφέρειες
- Άδεια λειτουργίας
Περιφέρειες

➤ **Τιμολόγηση – Επιδοτήσεις**

- Έργα που αφορούν ιδιωτική χρήση, όπως η εγκατάσταση συστημάτων Α.Π.Ε. σε κατοικίες δεν επιδοτούνται από το κράτος.
- Επενδυτικά έργα μπορούν να ενταχθούν στον Αναπτυξιακό Νόμο και να επιδοτηθούν έως 55% της συνολικής επένδυσης.
- Για τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο αιολικά συστήματα η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, βάση Νόμου, καθορίζεται στα **87,85 €/MWh** για το διασυνδεδεμένο σύστημα και στα **99,45 €/MWh** για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά για χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50MW (με δικαίωμα αναπροσαρμογής). Αντίστοιχα, για χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης των 50MW για τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο αιολικά συστήματα η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται στα **250 €/MWh** είτε αφορά το διασυνδεδεμένο σύστημα είτε τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Οι τιμές αυτές μπορεί να αναπροσαρμόζονται μετά από γνώμη της Ρ.Α.Ε. και απόφαση ΥΠΑΝ στη βάση του σταθμικού μέσου όρου των αυξήσεων των τιμολογίων της Δ.Ε.Η.
- Ο αρμόδιος Διαχειριστής εισπράττει το επιπλέον ποσό που απαιτείται για την αγορά της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. μέσω Ειδικού Τέλους (Ν. 2773/99, άρθρο 40) που ορίζεται κάθε έτος με Υπουργική Απόφαση ως ενιαία τιμή ανά MWh για όλη την επικράτεια και καταβάλλεται από κάθε καταναλωτή.
- Προβλέπεται ανταποδοτικό τέλος 3% επί της προ φόρου τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. εκτός ΦΒ, στους ΟΤΑ (ΦΕΚ Β' 826/28.06.2001).



Διάγραμμα 3.4 Υφιστάμενη αδειοδοτική διαδικασία [17]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ

4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Νήσου Μυκόνου

4.1.1 Γεωγραφία & Διοίκηση

Η Μύκονος βρίσκεται στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου σε απόσταση 110 ναυτικών μιλίων από τον Πειραιά και υπάγεται στην Περιφέρεια Κυκλάδων (Νομός Κυκλάδων), μια νησιωτική περιφέρεια η οποία αριθμεί 39 συνολικά νησιά εκ των οποίων μόνο τα 24 κατοικούνται. Πρόκειται για μια νησιωτική περιφέρεια, η οποία συγκροτήθηκε με βάση κυρίως το κοινό ιστορικό και πολιτισμικό της παρελθόν. Ο Νομός Κυκλάδων είναι ένα νησιωτικό σύμπλεγμα που βρίσκεται από το νότιο μέχρι και το κεντρικό Αιγαίο, μεταξύ Κρήτης, Πελοποννήσου, Εύβοιας και των Νομών Σάμου και Δωδεκανήσου. Τα νησιά βρέχονται από το Αιγαίο, το Μυρτώο και το Κρητικό Πέλαγος. Τα κυριότερα νησιά των Κυκλάδων είναι η Νάξος, η Άνδρος, η Τήνος, η Πάρος, η Κέα, η Μήλος, η Αμοργός, η Ίος, η Σύρος, η Κύθνος, η Μύκονος, η Σίφνος, η Σέριφος, η Θήρα (ή Σαντορίνη), η Σίκινος, η Κίμωλος, η Φολέγανδρος, η Ανάφη, η Αντίπαρος, η Γυάρος, η Ηράκλεια, η Μακρόνησος, η Πολύαιγος, η Ρήνεια, η Δονούσα, η Κέρος, η Θηρασία, το Δεσποτικό και η Δήλος. Γύρω από τα νησιά αυτά υπάρχουν πολλές νησίδες και βραχονησίδες [25].



Εικόνα 4.1 Σύμπλεγμα νησιών Μυκόνου, Δήλου και Ρήνειας (Πηγή: Google Earth)

Διοικητικά, η Μύκονος ανήκει στην επαρχία Σύρου και συνιστά σήμερα έναν ενιαίο Δήμο, με πρωτεύουσα τη Χώρα που βρίσκεται στη δυτική πλευρά του νησιού, μετά την κατάργηση της Κοινότητας της Άνω Μεράς, με το σχέδιο "Καποδίστριας" το 1999. Διοικητικά αλλά και ιδιοκτησιακά, στη Μύκονο ανήκουν οι νησίδες Δήλος και Ρήνεια. Το σύμπλεγμα των νησιών Μυκόνου, Δήλου και Ρήνειας βρίσκεται στο κέντρο της γεωγραφικής και πολιτισμικής ενότητας

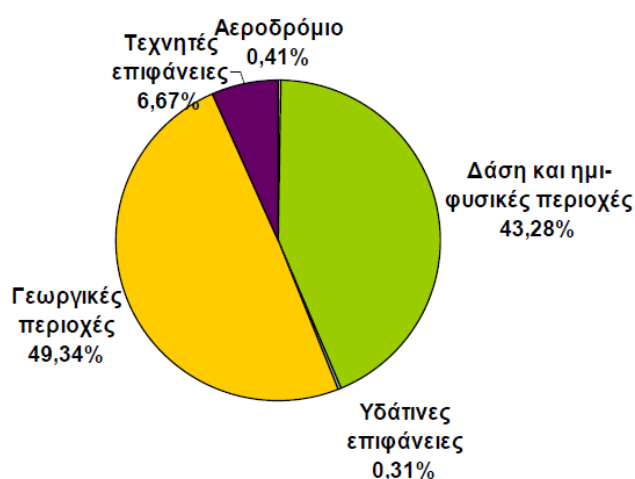
των Κυκλάδων, που είναι σπαρμένες στο Αιγαίο ολόγυρα από το αρχαίο κέντρο τους την ιερή Δήλο. Το νησί της Δήλου βρίσκεται μόλις 1,5 ναυτικό μίλι δυτικά της Χώρας Μυκόνου και ακόμη δυτικότερα σε μικρή απόσταση βρίσκεται η Ρήνεια.

Η Μύκονος έχει συνολικό μόνιμο πληθυσμό που ανέρχεται σε 10.134 άτομα σύμφωνα με την απογραφή του 2011 και περίπου 800 άτομα περισσότερα από των απογραφή του 2001 σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ). Ήταν από τα πρώτα ελληνικά νησιά που αναπτύχθηκε τουριστικά καθώς ήδη από τη δεκαετία του 1960 συνέρρεαν μαζικά τουρίστες προς το νησί.

4.1.2 Γεωμορφολογικά & Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

Η γεωμορφολογία του νησιού είναι τυπικά κυκλαδίτικη με εδάφη βραχώδη και ημιορεινά, τα οποία χαρακτηρίζονται από φτωχή βλάστηση και λίγους υδάτινους πόρους (λίγοι χείμαρροι και δύο υδροβιότοποι). Γενικά, η φυτοκάλυψη του νησιού χαρακτηρίζεται αραιή. Την εικόνα του τοπίου των Κυκλάδων και ειδικά της Μυκόνου συνθέτουν κατά κύριο λόγο η φρυγανική βλάστηση, η μακκία και τα ακάλυπτα βράχια. Ανάμεσα στα φρύγανα βρίσκουν προστασία πολλά είδη ετησίων και βολβωδών φυτών. Οι υγροβιότοποι της Μυκόνου έχουν ιδιαίτερο ορνιθολογικό ενδιαφέρον και είναι πάνω σε γραμμή περάσματος απειλούμενων μεταναστευτικών ειδών.

Συνολικά η επιφάνεια του συμπλέγματος των τριών νησιών είναι 102.500 στρέμματα. Η συνολική επιφάνεια της Μυκόνου είναι 86.319 στρέμματα και από αυτά το 49,34% είναι γεωργικές περιοχές, το 43,28% χαρακτηρίζονται ως δάση και ημι-φυσικές εκτάσεις, το 6,67% καταλαμβάνουν οι οικισμοί και το υπόλοιπο 0,72% αποτελούν τις υδάτινες επιφάνειες μαζί με το Αεροδρόμιο. Επίσης, το συνολικό μήκος της ακτογραμμής της Μυκόνου φτάνει τα 97 km. Ο σχηματισμός πολλών ορμίσκων στην ακτογραμμή της Μυκόνου με νότιο προσανατολισμό που αντιστοιχούν σε πολυάριθμες, μικρού μεγέθους και καλά προστατευμένες από το βοριά παραλίες γρανιτικής άμμου, χαρακτηρίζει το μυκονιάτικο τοπίο και έχει αναμφίβολα συμβάλει στην προβολή του τόπου ως προνομιούχου τουριστικού προορισμού σε διεθνές επίπεδο.



Σχήμα 4.1 Στατιστικά στοιχεία χρήσης γης σύμφωνα με το Corine Land Use [25]

Η επιφάνεια του νησιού παρουσιάζει λοφώδεις εξάρσεις μικρού γενικά υψομέτρου, ενώ δεσπόζουν δύο υψηλότερες κορυφές:

- ο Προφήτης Ηλίας ο Βορنيώτης με υψόμετρο 386m μαζί με την κορυφή Βάρδιες (υψόμετρο: 372m) στα βορειοδυτικά του νησιού και
- ο Προφήτης Ηλίας ο Ανωμερίτης με υψόμετρο 341m στα ανατολικά

Το γεωλογικό υπόστρωμα έχει γενικώς γρανιτική σύσταση με περιορισμένα τμήματα άλλης σύστασης, κυρίως ασβεστολιθικά. Η Μύκονος διαθέτει και ορυκτό πλούτο (μόλυβδος, άργυρο και κυρίως βαρύτη), που υπήρξε αντικείμενο μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στο παρελθόν.

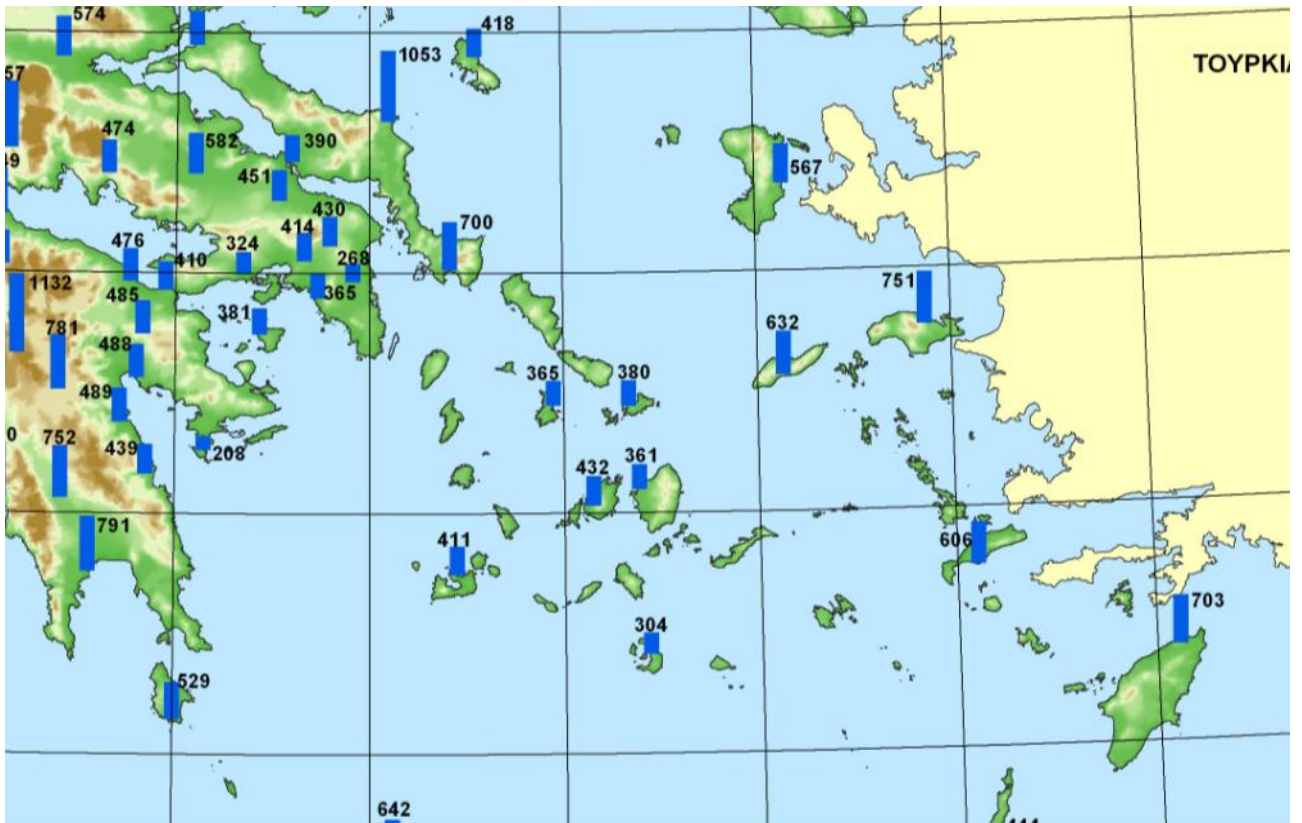
4.1.3 Κλίμα

Το κλίμα της Μυκόνου είναι αντιπροσωπευτικό του κλίματος του κεντρικού Αιγαίου. Είναι εύκρατο νησιωτικό με ξηρό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ηλιοφάνεια διάρκειας 2700 ωρών, μεγάλες περιόδους ανομβρίας και δυνατά μελτέμια.

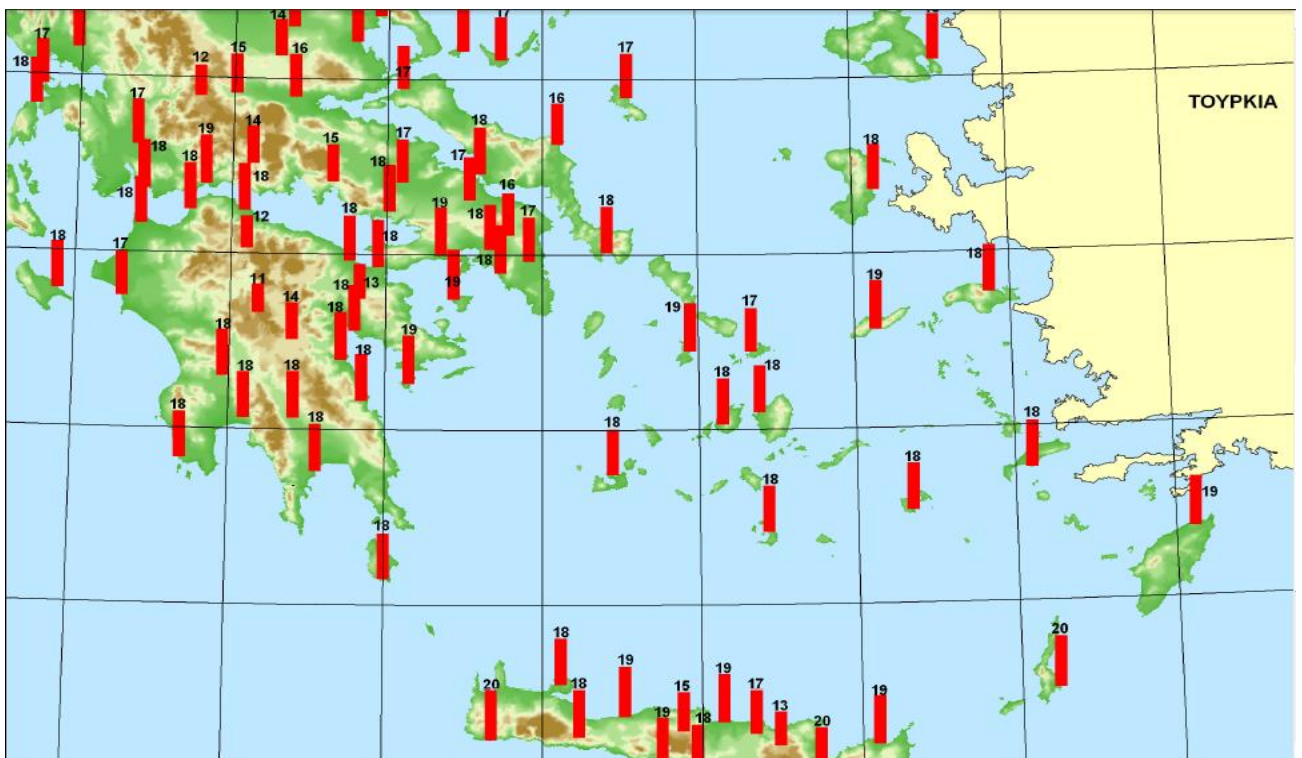
Η Μύκονος όπως και οι υπόλοιπες Κυκλάδες είναι από τις περιοχές της χώρας όπου πνέουν ισχυροί άνεμοι, τα γνωστά μελτέμια που πνέουν ιδιαίτερα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι βόρειοι με ποσοστό εμφάνισης 38,2% και βορειοανατολικοί με ποσοστό εμφάνισης 16,3%. Η ταχύτητα τους μπορεί να φτάνει τα 6-7 Beaufort, με ριπές ανέμου της τάξης των 8-9 Beaufort.

Οι Χάρτες 4.1-4.4 δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης με τίτλο «Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδάτινων Πόρων» που εκπονήθηκε από την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και του Τομέα Υδάτων και Περιβάλλοντος του Ε.Μ.Π. τον Φεβρουάριο του 2008 [3]. Ο Χάρτης 4.1 αποτελεί μέρος του χάρτη που απεικονίζει την μέση ετήσια βροχόπτωση στους μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι ανά την Ελλάδα. Σε ότι αφορά το νησί της Μυκόνου, η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 380mm, με 56 ημέρες βροχής κατά την διάρκεια του έτους. Ξηρότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με καθόλου βροχοπτώσεις, ενώ πιο βροχερός είναι ο Δεκέμβριος με μέσο ύψος βροχόπτωσης τα 85,9mm. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν σημαντικό τεκμήριο που δικαιολογεί μεγάλα έργα, όπως τα δύο φράγματα του νησιού και την λειτουργία εργοστασίου αφαλάτωσης από το 1989 με τη σταδιακή αύξηση της δυναμικότητά των μονάδων αφαλάτωσης από τότε.

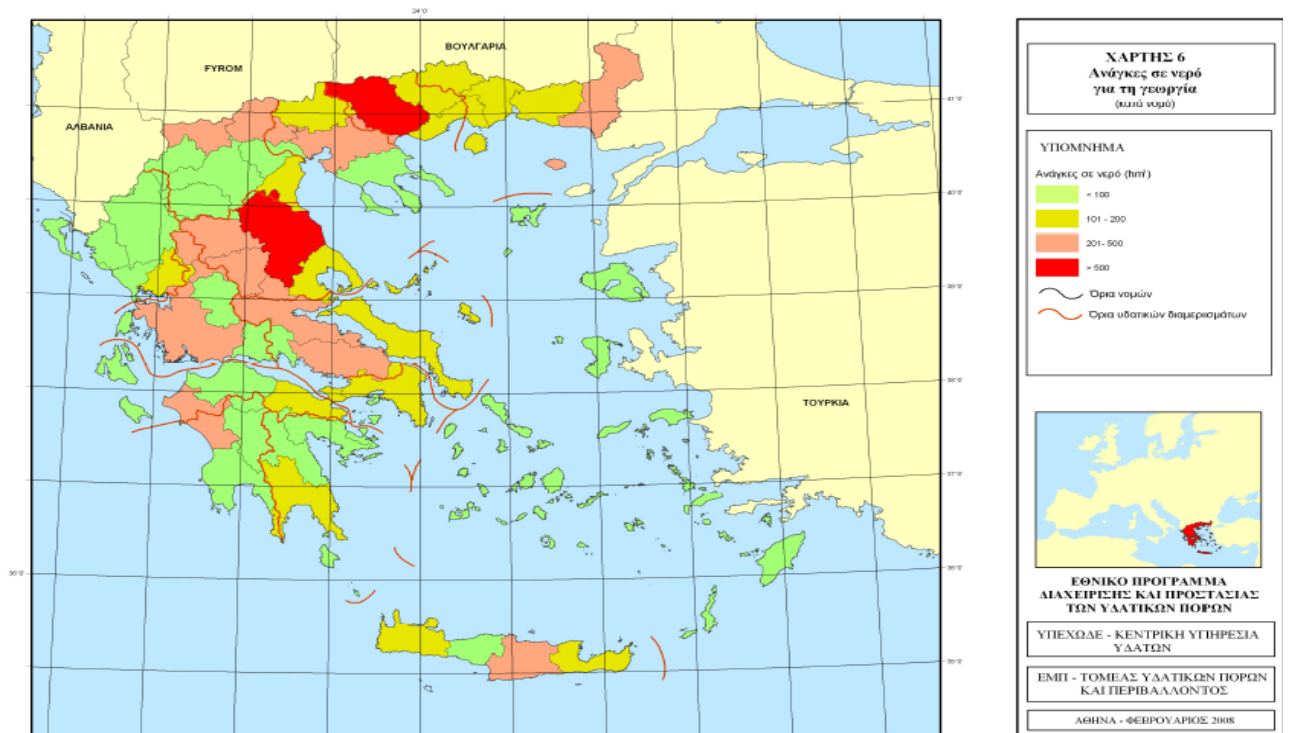
Τέλος, η μέση ετήσια θερμοκρασία (Χάρτης 4.2) ανέρχεται σε 17°C, με θερμότερο μήνα τον Αύγουστο με θερμοκρασία 24,5°C και ψυχρότερο τον Ιανουάριο με 10,1°C αντίστοιχα. Η μέση μέγιστη ετήσια θερμοκρασία είναι 19,4°C, με αντίστοιχη μέση ελάχιστη ετήσια τους 14,1°C. Επιπροσθέτως, η σχετική υγρασία στην περιοχή είναι της τάξης του 68,8%.



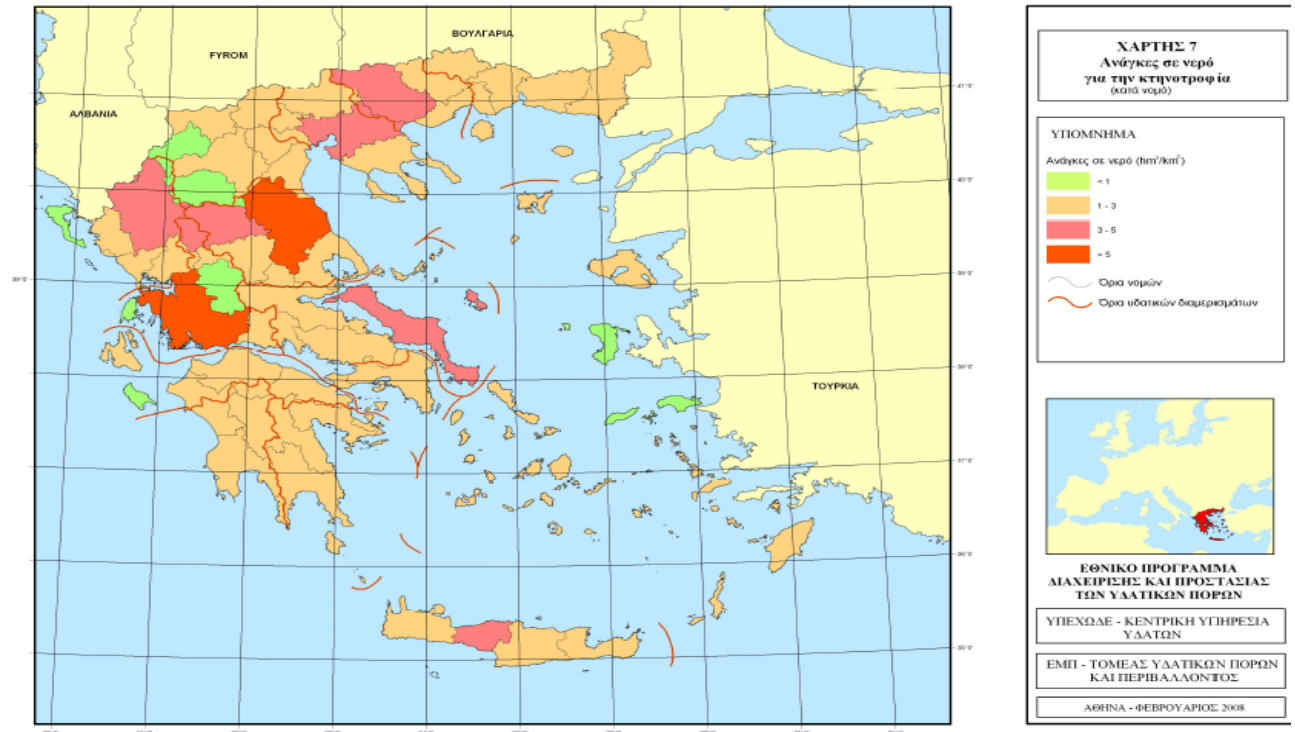
Χάρτης 4.1 Μέση ετήσια βροχόπτωση σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Ελλάδας (σε mm) [3]



Χάρτης 4.2 Μέση ετήσια θερμοκρασία σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Ελλάδας (σε °C) [3]



Χάρτης 4.3 Ανάγκες σε νερό για την γεωργία κατά νομό [3]



Χάρτης 4.4 Ανάγκες σε νερό για την κτηνοτροφία κατά νομό [3]

4.2 Κάλυψη Αναγκών Ύδρευσης & Άρδευσης

Στην Ελλάδα και κυρίως στα τουριστικά νησιά, όπως η Μύκονος, λόγω των ιδιαίτερως χαμηλών βροχοπτώσεων αλλά και της παρατεταμένης ανομβρίας κατά περιόδους παρατηρείται δραματική μείωση των αποθεμάτων νερού. Η κατάσταση αυτή κάνει επιτακτική τη λήψη δραστικών μέτρων ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή επάρκεια νερού, μέσω κατάλληλων έργων αποθήκευσης νερού με παράλληλη μείωση των απωλειών του και εξεύρεση νέων πηγών, όπως εργοστάσια αφαλάτωσης, γεωτρήσεις και μεταφορά νερού από αλλού.

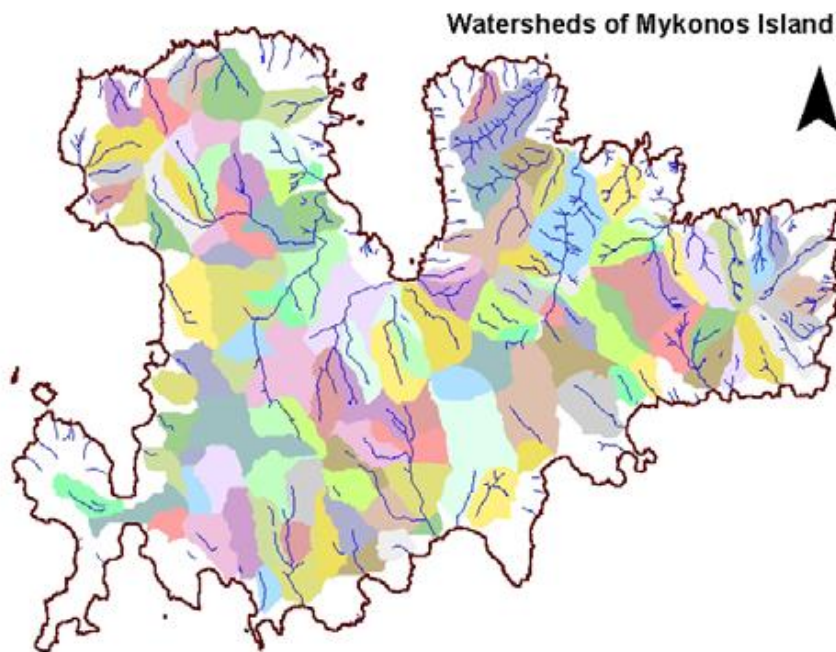
Το καλοκαίρι δεδομένης της μεγάλης ζήτησης λόγω υψηλής προσέλευσης τουριστών παρατηρείται έλλειψη νερού. Τις τελευταίες δεκαετίες, τα περιορισμένα αποθέματα νερού των μικρών πηγαδιών που υπάρχουν σε όλο το νησί οδήγησε στη κατασκευή μεσαίου βάθους γεωτρήσεων των 80-150 m ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες σε οικίες, ξενοδοχειακές μονάδες, καλλιέργειες και κτηνοτροφία (Χάρτες 4.3-4.4). Και πάλι όμως, σύμφωνα με το Υπουργείο Ανάπτυξης, το 2008 τα υπόγεια διαθέσιμα ύδατα του νησιού κάλυπταν μόνο το 14,27% της υδρευτικής απαίτησης του νησιού, γεγονός που αιτιολογεί τα έργα που κατασκευάστηκαν τις δύο τελευταίες δεκαετίες στο νησί.

Νερό - απαιτήσεις και κάλυψη των αναγκών

Ετήσια κάλυψη Υδρευτικών Αναγκών ανά Είδος Προσφοράς (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2008):

Αφαλατώσεις (%)	Μεταφερόμενες ποσότητες (%)	Ταμειυτήρες (%)	υπόγεια (%)	Κάλυψη ύδρευσης (%)	Υδρευτική απαίτηση(m ³)
29,75		37,27	14,27	81,29	1.597.541

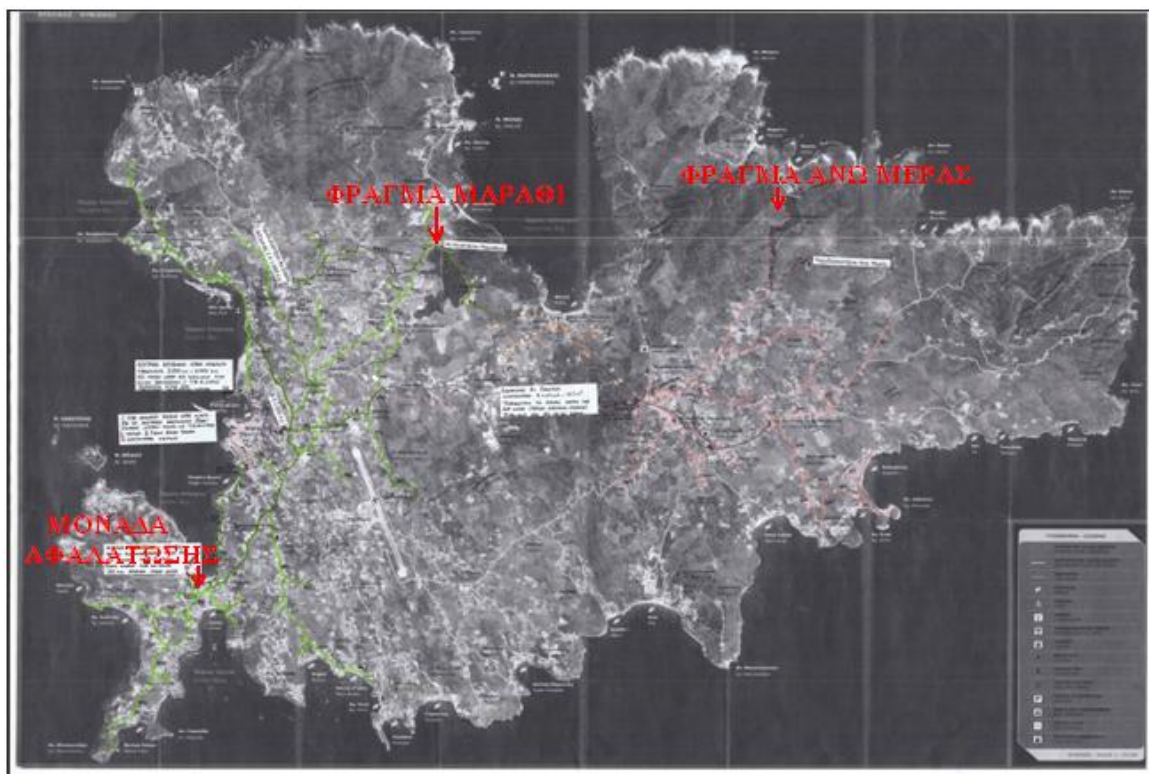
Πίνακας 4.1 Ετήσια κάλυψη υδρευτικών αναγκών ανά είδος προσφοράς για το έτος 2008, χωρίς να υπολογίζεται η συνεισφορά της νέας μονάδας αφαλάτωσης [19]



Χάρτης 4.5 Χάρτης Μυκόνου που απεικονίζει τις λεκάνες απορροής του νησιού (National Observatory of Athens)

Από την άλλη, η Μύκονος διαρρέεται από ένα υδρογραφικό δίκτυο μικρού μήκους με περιορισμένη σημασία στην υδρολογία του νησιού. Οι τελικοί υδάτινοι αποδέκτες είναι η θάλασσα περιοχή που περιβάλλει το νησί με την απορροή των επιφανειακών υδάτων προς τη θάλασσα να γίνεται μέσω των ρεμάτων της λεκάνης απορροής. Η μεγαλύτερη λεκάνη απορροής είναι η λεκάνη στην περιοχή Μαράθι ενώ ακολουθεί η λεκάνη της Άνω Μεράς (Μαού Λαγκάδα) τα νερά της οποίας ρέουν βόρεια προς τη περιοχή του όρμου Φωκού. Στο *Χάρτη 4.5* φαίνονται οι υδρογεωλογικές λεκάνες που αναπτύσσονται στο νησί καθώς και το δίκτυο επιφανειακής απορροής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χειμάρροι αυτοί και τα ρέματα είναι στο σύνολό τους παροδικής ροής και εμφανίζουν επιφανειακή απορροή μόνο μετά από έντονες βροχοπτώσεις.

Εκμεταλλεόμενοι τις δύο μεγαλύτερες λεκάνες απορροής του νησιού, το 1992 και το 1997 κατασκευάζονται στη Μύκονο δυο φράγματα-ταμιευτήρες, στις περιοχές Μαράθι και Άνω Μερά αντίστοιχα (*Χάρτης 4.6*). Το φράγμα στο Μαράθι κατασκευάστηκε στη βορειοδυτική πλευρά του νησιού επί του χειμάρρου Μαράθι, 4 km περίπου σε ευθεία απόσταση από την Χώρα και σε απόσταση 500 m περίπου από την θάλασσα. Ο ταμιευτήρας του φράγματος έχει ωφέλιμο όγκο 2.900.000 m³ και επιφάνεια 500.000 m². Σκοπός του έργου είναι η αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών για την αντιμετώπιση των αναγκών σε νερό ύδρευσης αλλά και άρδευσης λόγω των αυξημένων αναγκών που παρουσιάζονται κατά τους θερινούς μήνες. Από την άλλη, το φράγμα της Άνω Μεράς που βρίσκεται στη βορειοανατολική πλευρά του νησιού επί του χειμάρρου Μαού Λαγκάδα, σε ευθεία απόσταση 10km περίπου από τη Χώρα και σε απόσταση 600 m περίπου από τη θάλασσα. Ο ταμιευτήρας του φράγματος έχει χωρητικότητα 1.000.000 m³ και επιφάνεια 150.000 m². Σκοπός και αυτού του έργου είναι η αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών για την αντιμετώπιση των αναγκών σε νερό άρδευσης αλλά και ύδρευσης. Σύμφωνα με το Υπουργείο ανάπτυξης οι δύο ταμιευτήρες του νησιού συμβάλλουν στο 37,27% της ετήσιας κάλυψης υδρευτικών αναγκών (*Πίνακας 4.1*).



Χάρτης 4.6 Χάρτης Μυκόνου με οριοθετημένα φράγματα, την μονάδα αφαλάτωσης και τα δίκτυα ύδρευσης του νησιού

Παρακάτω παρατίθενται, αναλυτικά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων του νησιού καθώς και πληροφορίες σχετικά με το έτος περάτωσης και τις δαπάνες κατασκευής τους και ακολουθούν φωτογραφίες των φραγμάτων του νησιού.

	Φράγμα Μαραθιού	Φράγμα Άνω Μεράς
Τύπος	RCC με στεγανωτική πλάκα σκυροδέματος ανάντι	RCC με στεγανωτική πλάκα σκυροδέματος ανάντι
Τροφοδοσία	Από τον χείμαρρο Μαραθή	Από τον χείμαρρο Άνω Μερά
Ύψος Αναχώματος	30 m	31 m
Μήκος Στέψης	265 m	170 m
Πλάτος Στέψης	4,5 m	4,5 m
Όγκος Αναχώματος	32.500 m ³	44.000 m ³
Ωφέλιμος Όγκος	2.900.000 m ³	1.000.000 m ³
Επιφάνεια Ταμιευτήρα	500.000 m ²	150.000 m ²
Στεγανοποίηση Ταμιευτήρα	Φυσική στεγανότητα (γρανίτες)	Φυσική στεγανότητα (γρανίτες)
Χρήση Νερού	Άρδευση - Ύδρευση	Άρδευση - Ύδρευση
Έτος Περάτωσης	1992	1997
Δαπάνη Κατασκευής	3.442.400 €	3.259.000 €

Πίνακας 4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά φραγμάτων-ταμιευτήρων της Μυκόνου



Εικόνα 4.2 Άποψη Φράγματος στη περιοχή Μαραθή



Εικόνα 4.3 Αποψη Φράγματος Άνω Μεράς [28]

Ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '80 είχε γίνει φανερή η ανάγκη εγκατάστασης εργοστασίου αφαλάτωσης στο νησί προς αντιμετώπιση της εποχικής αύξησης του πληθυσμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Το 1989 εγκαταστάθηκαν στον Κόρφο Μυκόνου δύο μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης μέγιστης δυναμικότητας 1.200 m³/ημέρα. Το 2001 οι παλαιές μονάδες αντικαταστάθηκαν με τρεις νεότερες μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης μέγιστης δυναμικότητας 2.250 m³/ημέρα. Τέλος, το 2008 στην ίδια περιοχή κατασκευάστηκε από την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης-Αποχέτευσης Μυκόνου (Δ.Ε.Υ.Α.Μ.) η νέα μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης με μέγιστη δυναμικότητα παραγωγής 4500 m³/ημέρα καθαρού νερού. Όλο το αφαλατωμένο νερό, που παράγεται, αποθηκεύεται σε δεξαμενές χωρητικότητας 200m³ και μεταφέρεται μέσω πιεστικού σωλήνα (Φ200 PVC) στις κεντρικές δεξαμενές της Χώρας.

Από την άλλη, στη περιοχή Αγία Σοφία Τούρλου λειτουργεί, από το 2000, ταχυδιωλιστήριο με δυνατότητα παραγωγής 5.000 m³ νερού, που τροφοδοτείται από το αντλιοστάσιο του φράγματος του Μαραθίου μέσω πιεστικού σωλήνα (Φ355). Από εκεί με φυσική ροή, μέσω σωλήνα Φ355, το νερό καταλήγει στις κεντρικές δεξαμενές της Χώρας.

Οι 4 κεντρικές δεξαμενές της Χώρας έχουν συνολικά δυνατότητα αποθήκευσης 8000m³. Συνολικά, η τροφοδοσία των κεντρικών δεξαμενών της Χώρα γίνεται από το εργοστάσιο αφαλάτωσης, το ταχυδιωλιστήριο της Αγίας Σοφίας και σε περίπτωση ανάγκης από υδροφόρο πλοίο. Βέβαια, η μεταφορά νερού με υδροφόρο πλοίο στη Μύκονο έχει σταματήσει από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Εκεί λειτουργεί αντλιοστάσιο που υδροδοτεί το δίκτυο του Περιφερειακού δρόμου της Χώρας, του ταχυδιωλιστήριου της Αγίας Σοφίας και κατά αποκλειστικότητα το δίκτυο ύδρευσης της Χώρας.

Σε ότι αφορά τις ανάγκες για νερό της Άνω Μεράς στο λόφο Ανώνυμο λειτουργεί, από το 2002, ταχυδιωλιστήριο με δυνατότητα παραγωγής 1750 m³ νερού, που τροφοδοτείται αντίστοιχα από το αντλιοστάσιο του ταμιευτήρα της Άνω Μεράς. Επιπλέον, στον *Χάρτη 4.8*, που αποτυπώνεται η Άνω Μερά, διακρίνονται οι δεξαμενές στο ύψωμα του Αγίου Παταπίου με συνολική χωρητικότητα 120 m³ όπου τροφοδοτούν τον παλιό δίκτυο της Άνω Μεράς (περιοχές Κουκουλού και Πλατείας) που αντίστοιχα προμηθεύονται το νερό από το αντλιοστάσιο που βρίσκεται επί του κεντρικού δρόμου της Άνω Μεράς.



Χάρτης 4.7 Μέρος χάρτη Μυκόνου με σχεδιασμένο το δίκτυο ύδρευσης της Χώρας



Χάρτης 4.8 Μέρος χάρτη της Ανω Μέρης με σχεδιασμένο το τοπικό δίκτυο ύδρευσης

Από το 2014, στην είσοδο του κέντρου της Άνω Μεράς, καθώς και στην περιοχή Λάκκα Χώρας Μυκόνου, έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν, εντός προκατασκευασμένου οικίσκου, μονάδες επεξεργασίας νερού του δημοτικού δικτύου ύδρευσης και βελτίωσής του σε πόσιμο, με την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης με δυνατότητα παραγωγής 6.000 λίτρων ημερησίως. Προς το παρόν λειτουργούν χωρίς αντίτιμο για να γίνουν ευρέως γνωστά και στο μέλλον θα παρέχουν πόσιμο νερό με μικρό αντίτιμο ανά λίτρο κλιμακωτά ανάλογα με την επιθυμητή ποσότητα νερού. Αδιαμφισβήτητα, αποτελεί μια εξαιρετική υλοποίηση που αν συντηρηθεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές θα μας παρέχει για χρόνια φθινό πόσιμο νερό στους κατοίκους του νησιού. Στην *Εικόνα 4.4* φαίνεται η μονάδα της Άνω Μεράς, που είναι μία από τις 55 μονάδες που έχουν εγκατασταθεί στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου.



Εικόνα 4.4 Οικίσκος-μονάδα επεξεργασίας νερού του δημοτικού δικτύου ύδρευσης και βελτίωσής του σε πόσιμο

Τέλος, στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρατίθενται στοιχεία της σημερινής τιμολόγησης του καταναλισκόμενου νερού στη Μύκονο. Η τιμολόγηση (€/m³) του καταναλισκόμενου νερού γίνεται κλιμακωτά, με τα πρώτα 50 m³ να τιμολογούνται σε δύο κλίμακες και έπειτα για κάθε 50m³ να υπάρχει αλλαγή κλίμακας. Η τιμολόγηση ξεκινά από 0,73 €/m³ για τα πρώτα 30 m³ καταναλισκόμενου νερού και καταλήγει σε 2,44 €/m³ στην τελευταία βαθμίδα των 201 m³ και άνω, δηλαδή 1,71 €/m³ ακριβότερο της πρώτης βαθμίδας. Επιπροσθέτως, για τη τελική τιμολόγηση του καταναλισκόμενου νερού επιβάλλονται ειδικό και πάγιο τέλος, καθώς και Φ.Π.Α. επί των τελών αυτών και Φ.Π.Α. της αξίας κατανάλωσης νερού. Το ακριβότερο αυτών είναι το ειδικό τέλος που είναι ίσο με το 80% της αξίας κατανάλωσης. Τα στοιχεία είναι ενδεικτικά της πολιτικής που ακολουθεί η Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου προκειμένου να επιβάλει στους κατοίκους, με έναν επιπλέον μοχλό πίεσης, την συνετή, δίχως περιττές σπατάλες, κατανάλωση του νερού που τόσο δύσκολα συλλέγεται, παρασκευάζεται, μεταφέρεται και αποθηκεύεται στο νησί.

ΕΥΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (m ³)	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ (€/m ³)
0-30	0,73
31-50	1,06
51-100	1,39
101-150	1,63
151-200	2,12
201- ΑΝΩ	2,44

Πίνακας 4.3 Κλίμακα τιμολόγησης καταναλισκόμενου νερού [1]

Ειδικό Τέλος	80% *(Αξία Κατανάλωσης)
Πάγιο Τέλος	2,93€
Φ.Π.Α. Κατανάλωσης	9%*(Αξία Κατανάλωσης)
Φ.Π.Α. Ειδικού Τέλους	16% *(Ειδικό Τέλος)
Φ.Π.Α. Παγίου	9%*(Πάγιο Τέλος)

Πίνακας 4.4 Ειδικό και πάγιο τέλος και Φ.Π.Α επί τελών αυτών και της αξίας κατανάλωσης νερού

4.3 Υφιστάμενη Κατάσταση Ηλεκτροπαραγωγής & Προοπτικές Ανάπτυξης Α.Π.Ε.

4.3.1 Ηλεκτροπαραγωγή

Η Μύκονος είναι ένα αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα με τοπικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (Α.Σ.Π.). Σύμφωνα με στοιχεία του Ενεργειακού Γραφείου Ίου-Αιγαίου για το έτος 2008, στον τοπικό σταθμό της Μυκόνου υπήρχαν 20 θερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (*Diesel*), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 45.4 MW. Η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το ίδιο έτος ήταν 112,13 GWh με αιχμή ίση με 34,60 MW, ενώ ταυτοχρόνως ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της υπολογίζονταν στο 6%. Για την κάλυψη αυτής της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, οι συμβατική παραγωγή συνείσφερε 110,40 GWh, με την ενέργεια προερχόμενη από μονάδες Α.Π.Ε. να υπολογίζεται στα 1,73 GWh. Να σημειωθεί ότι το 2008 η εγκατεστημένη ισχύς από Α.Π.Ε. που ήταν συνδεδεμένη στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού ισούταν με 1,20 MW [19].

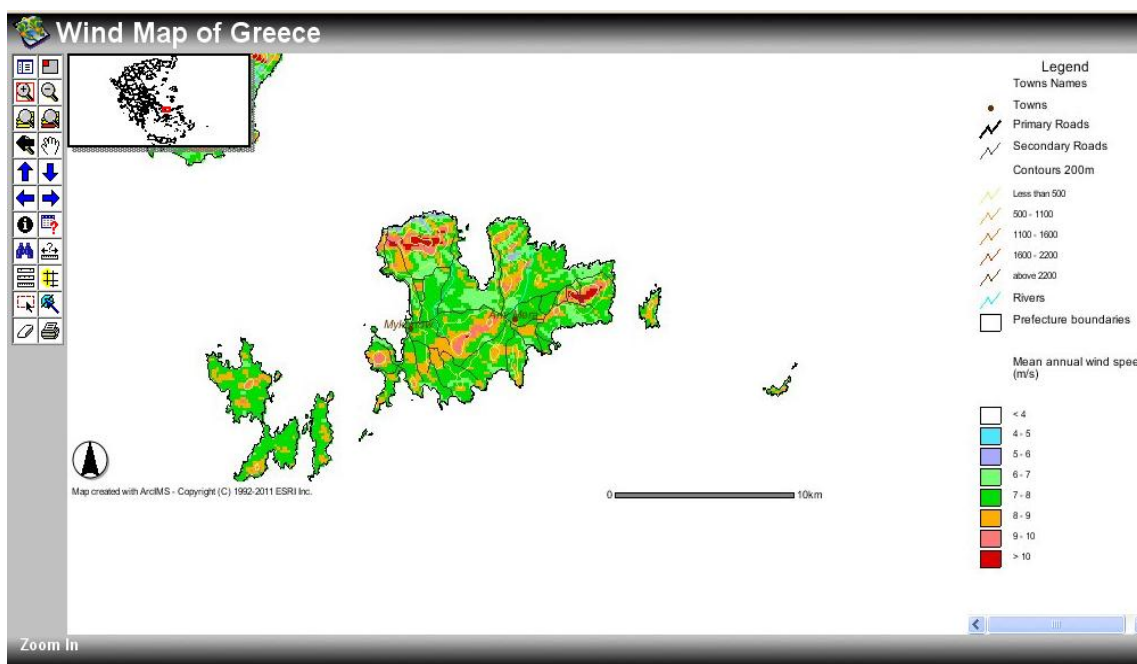
Στον Πίνακα 4.5 παρατίθενται συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής από θερμικές μονάδες και μονάδες Α.Π.Ε. για τη Μύκονο στο διάστημα 2011-2015, σύμφωνα με τα μηνιαία πληροφοριακά δελτία που δίνονται από τον Διαχειριστή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.). Με την πάροδο των ετών, η εγκατεστημένη ισχύς θερμικών μονάδων μειώθηκε από 65,27 MW το 2011 σε 49,84 MW το 2015 με την αντίστοιχη μέγιστη ετήσια αιχμή ζήτησης να αυξάνεται, έπειτα από μια μείωση την τριετία 2012-2014, από 37,80 MW σε 42,00 MW. Να σημειωθεί ότι η εγκατεστημένη ισχύς θερμικών μονάδων και η μέγιστη ετήσια αιχμή κάθε έτους καθορίζεται βάσει στοιχείων του προηγούμενου έτους και οι αιχμές ζήτησης είναι στιγμιαίες ακαθάριστες. Η παραγόμενη ενέργεια θερμικών μονάδων το διάστημα αυτό

αυξήθηκε κατά ποσοστό της τάξης του 15,18% με έτος βάσης το 2011, εν αντιθέσει με την ενέργεια μονάδων Α.Π.Ε. που παρέμεινε σχεδόν σταθερή η συνεισφορά της στην ηλεκτροπαραγωγή με ποσοστά συμμετοχής από 4,33% το 2014 έως 5,18% το 2013. Να σημειωθεί, τέλος, ότι η παραγόμενη ενέργεια θερμικών μονάδων παρουσιάζει κατά τη διάρκεια του έτους υψηλή διακύμανση λόγω εποχικότητας της ζήτησης. Από τον Μάιο έως και τον Οκτώβριο σημειώνεται έως και τετραπλασιασμός της παραγόμενης ενέργειας των θερμικών μονάδων συγκριτικά με τους χειμερινούς μήνες, με αιχμή τον Αύγουστο λόγω της υψηλής προσέλευσης τουριστών στο νησί.

	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ				
	Εγκατ. Ισχύς Θερμικών Μονάδων (MW)	Μέγιστη Ετήσια Αιχμή Ζήτησης (MW)	Ενέργεια Θερμικών Μονάδων (MWh)	Ενέργεια Μονάδων Α.Π.Ε. (MWh)	Ποσοστό Συμμετοχής Α.Π.Ε. στην Ηλεκ/αγωγή
2011	65,27	37,80	108.685,01	5.137,24	5,01%
2012	65,27-61,10	37,80-34,60	108.136,53	4.884,49	4,93%
2013	61,10-49,84	34,60-35,15	107.849,96	5.127,70	5,18%
2014	49,84	35,40	121.097,68	4.546,63	4,33%
2015	49,84	42,00	125.182,99	4.995,78	4,59%

Πίνακας 4.5 Συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής από θερμικές μονάδες και μονάδες Α.Π.Ε. στο διάστημα 2011-2015 [27]

4.3.2 Υφιστάμενη Κατάσταση Μονάδων Α.Π.Ε.



Χάρτης 4.9 Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Μυκόνου [32]

Το νησί της Μυκόνου είναι από τα πλέον ανεμόπληκτα μέρη του Αιγαίου και ολόκληρης της Ελλάδας (Χάρτης 4.9). Δεν είναι τυχαίο ότι η Δ.Ε.Η. το επέλεξε για να εγκαταστήσει την πρώτη πειραματική της Α/Γ στα τέλη της δεκαετίας του '80. Η Α/Γ αυτή καταστράφηκε, όταν σε συνθήκες θύελλας έχασε το ηλεκτρικό της φορτίο και δεν ενεργοποιήθηκαν τα αεροδυναμικά φρένα για να κρατήσουν τις στροφές της. Το φθινόπωρο 1996, ο Δήμος Μυκόνου αποδέχθηκε την πρόταση του Κ.Α.Π.Ε. να αναλάβει την υλοποίηση ενός επιδεικτικού έργου στα πλαίσια του Προγράμματος "THERMIE" της 17ης Γενικής Διεύθυνσης Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, έχοντας και την υποστήριξη της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κυκλάδων.

Έτσι, τον Ιούλιο του 2000 εγκαταστάθηκε στο νησί μια Α/Γ ισχύος 300 kW, αεροδυναμικής αποκόλλησης, με διάμετρο δρομέα 31 m και σωληνωτό πυλώνα 35 m, στην λόφο Ανώνυμο στην Άνω Μερά (Εικόνα 4.5). Βρίσκεται σε απόσταση 2 km από το κέντρο της Άνω Μεράς και περίπου 500 m από γειτονικές κατοικίες. Φορέας υλοποίησης του έργου και δικαιούχος είναι η Δ.Ε.Υ.Α Μυκόνου, η οποία πωλεί την παραγόμενη ενέργεια αποκλειστικά στην Δ.Ε.Η. με σκοπό τον συμψηφισμό των ηλεκτρικών καταναλώσεων του εργοστασίου της αφαλάτωσης και της παραγόμενης ενέργειας από την λειτουργία της Α/Γ. 6 χρόνια αργότερα, μία ακόμη Α/Γ, και συγκεκριμένα το μοντέλο E-44 στα 900 kW με ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων για τον έλεγχο ισχύος, της εταιρείας Enercon ιδιοκτησίας της μονοπρόσωπης εταιρείας EVERWIND ΕΠΕ, λειτουργεί στη περιοχή Μερσίνη Άνω Μεράς συμβάλλοντας στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού (Εικόνα 4.6).

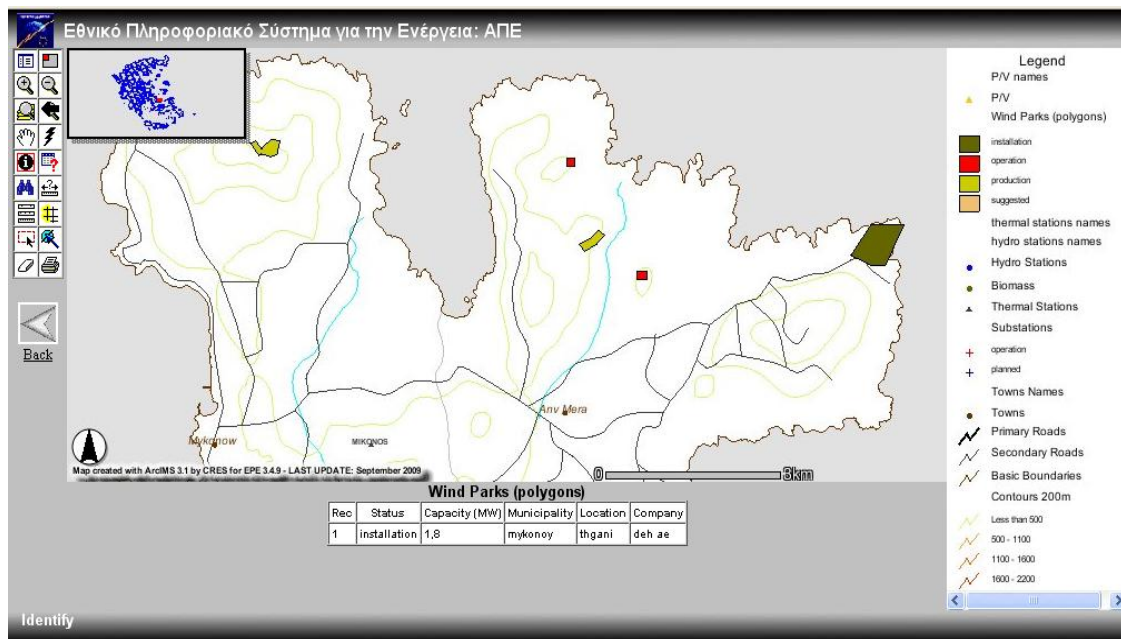


Εικόνα 4.5 Ανεμογεννήτρια NEG MICON 300kW που λειτουργεί από το 2000 στη περιοχή Ανώνυμο Άνω Μεράς ιδιοκτησίας της Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου



Εικόνα 4.6 Ανεμογεννήτρια Epercon E-44, 900kW, που λειτουργεί από το 2006 στη περιοχή Μερσίνη, ιδιοκτησίας της μονοπρόσωπης εταιρείας EVERWIND ΕΠΕ

Συλλέγοντας στοιχεία από το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια (Ε.Π.Σ.Ε.) για τη Μύκονο, παρουσιάζεται στον *Χάρτη 4.10* η χωροθέτηση των αιολικών πάρκων που βρίσκονται σε λειτουργία ή έχουν άδεια παραγωγής. Τα δύο κόκκινα ορθογώνια στην ανατολική και βόρεια πλευρά του νησιού καταδεικνύουν την ακριβή θέση των δύο Α/Γ που περιγράψαμε παραπάνω. Το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια (Ε.Π.Σ.Ε.) του Υπουργείου Περιβάλλοντος- Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.) αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) και το Υ.Π.Ε.Κ.Α. στα πλαίσια του *Μέτρου 3.4.9* του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας του Δεύτερου Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης.



Χάρτης 4.10 Χάρτης Μυκόνου με χωροθέτηση των Αιολικών Πάρκων που βρίσκονται σε λειτουργία ή με άδεια παραγωγής

Σε ότι αφορά τις αιτήσεις για μονάδες Α.Π.Ε., υπάρχουν 10 αιτήσεις για αιολικά πάρκα, συνολικής ισχύος 20,1 MW (Πίνακας 4.6) και 43 αιτήσεις για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, συνολικής ισχύος 5.148,50 kW. Σύμφωνα με στοιχεία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) για το έτος 2009, οι άδειες παραγωγής από αιολικά πάρκα είναι 5, συνολικής ισχύος 6,0 MW (Πίνακας 4.7), ενώ το όριο διείσδυσης αιολικής ενέργειας σύμφωνα με τον κανόνα του 73% της μέσης ετήσιας ζήτησης που θα αναλυθεί παρακάτω, με έτος αναφοράς το 2008, είναι 9,34 MW. Αντιστοίχως, το όριο διείσδυσης φωτοβολταϊκών σταθμών βάσει Ρ.Α.Ε. τίθεται ίσο με 4.132,50 kW.

Ισχύς (MW)	Θέση	Αριθμός αίτησης	Κατάσταση	εταιρεία
3.4	ΦΑΝΑΡΙ	Γ-00516	Σε εκκρεμότητα	ΑΙΟΛΟΣ ΑΕΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΕ
1.7	ΒΑΡΔΙΕΣ	Γ-00369	Σε εκκρεμότητα	ΚΑΡΛΕΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
1.2	ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ	Γ-00480	Άδεια Παραγωγής	ΕΝΕΡΚΑ ΑΕ
3.8	ΜΥΚΟΝΟΣ	Γ-00541	Σε εκκρεμότητα	WINDSPEED REGENERATIVE ENERGY
0.9	ΜΕΡΣΙΝΗ	Γ-00245	Άδεια Λειτουργίας	EVERWIND LTD
1.8	ΜΑΟΥ ΛΑΓΚΑΔΑ (ΦΥΛΛΑΔΙΑ - ΣΟΥΖ)	Γ-00502	Άδεια Παραγωγής	ΕΝΤΕΚΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΑΕ -ΛΑΔΑΚΑΚΟΣ ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ &
0.3	ΑΝΩΝΥΜΟ ΑΝΩ ΜΕΡΑΣ	00512	Άδεια Λειτουργίας	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ
1.8	ΤΗΓΑΝΙ	Β-00272	Άδεια Παραγωγής	ΤΗΓΑΝΙ
3.6	ΜΥΚΟΝΟΣ	Γ-00496	Σε εκκρεμότητα	ΑΙΟΛΙΚΗ ΟΛΥΜΠΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ ΑΕ
1.6	ΕΛΙΑ	Γ-01034	Σε εκκρεμότητα	ΣΚΟΥΛΑΤΟΣ Α. ΦΡΑΓΚΟΣ Ι. ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΥΚΟΝΟΥ & ΣΙΑ ΟΕ

Πίνακας 4.6 Αναλυτικά στοιχεία των αιτήσεων για Αιολικά Πάρκα στη Μύκονο [19]

Αρ. Μητρώου Αδειών	Αρ. πρωτ. ΥΠΙΑΝ	Ημερ. Έκδοσης	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	Αρ. Γνωμ. ΡΑΕ	Αρ. Αίτ.	ΙΣΧΥΣ (MW)	Τεχνολογία	Θέση
ΑΔ-00028	Δ6/ Φ17.620/ 9426	18/ 6/ 2001	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ	ΡΑ-00096	512	0.30	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΑΝΩ ΜΕΡΙΑ, ΜΑΟΥ ΑΝΩΝΥΜΟ
ΑΔ-00206	Δ6/ Φ17.382/ 15416	1/ 12/ 2008	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ	ΡΑ-05639	Β-00272	1.80	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΤΗΓΑΝΙ
ΑΔ-00625	Δ6/ Φ17.746/ οικ. 5907	31/ 3/ 2005	EVERWIND LTD	ΡΑ-02505	Γ-00245	0.90	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΜΕΡΣΙΝΗ
ΑΔ-00628	Δ6/ Φ17.893/ 22031	10/ 2/ 2004	ΕΝΤΕΚΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ - ΛΑΔΑΚΑΚΟΣ ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ & ΣΙΑ ΕΕ ΚΑΙ ΣΙΑ ΟΕ	ΡΑ-01601	Γ-00502	1.80	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΜΑΟΥ ΛΑΓΚΑΔΑ (ΦΥΛΛΑΔΙΑ -ΣΟΥΖΟΣ)
ΑΔ-00657	Δ6/ Φ17.872/ 22928	10/ 2/ 2004	ΕΝΕΡΚΑ ΑΕ	ΡΑ-01606	Γ-00480	1.20	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ
ΑΔ-00663	Δ5/ ΗΛ/ Α/ Φ17/ 491/ 5840	19/ 4/ 2004	ΔΕΗ Α.Ε	0-06276		5.00	Η/ Ζ	ΑΣΠ ΜΥΚΟΝΟΥ
ΑΔ-00743	Δ5/ ΗΛ/ Α/ Φ18/ 418/ 7184	2/ 4/ 2009	ΔΕΗ Α.Ε	0-29297	Ι-72429	5.88	Η/ Ζ	ΑΣΠ ΜΥΚΟΝΟΥ
ΑΔ-00795	Δ5/ ΗΛ/ Α/ Φ17/ 788/ 7959	12/ 5/ 2005	ΔΕΗ Α.Ε	ΡΑ-02571	Ι-26972	21.00	Η/ Ζ	ΑΣΠ ΜΥΚΟΝΟΥ
ΑΔ-01034	Δ5/ ΗΛ/ Α/ Φ17/ 412/ 8259	14/ 4/ 2009	ΔΕΗ Α.Ε	0-29309	Γ-01796	26.78	Η/ Ζ	ΑΣΠ ΧΙΟΥ - ΑΣΠ ΜΥΚΟΝΟΥ - ΑΣΠ ΜΗΛΟΥ - ΑΣΠ ΣΥΡΟΥ

Πίνακας 4.7 Άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα και Η/Ζ (Ρ.Α.Ε.) [19]

Στον Πίνακα 4.8 παρατίθενται συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα που είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν στη Μύκονο για το διάστημα 2011-2015, σύμφωνα με τα μηνιαία πληροφοριακά δελτία που δίνονται από τον Διαχειριστή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.).

Την πενταετία αυτήν, η εγκατεστημένη ισχύς των Α/Γ παραμένει ίση με 1,20 MW εν αντιθέσει με την ισχύ από φωτοβολταϊκά που αυξήθηκε από 0,02 MW σε 1,04 MW. Αντίστοιχα, η παραγωγή ενέργειας από τις δύο εν λειτουργία Α/Γ μειώνεται από 5.114,33 MWh σε 3.929,91 MWh το 2015, με ακόμη μικρότερη παραγωγή το 2014 (3.124,18 MWh). Η μείωση αυτή, τα τελευταία χρόνια, οφείλεται στα τεχνικά προβλήματα που έχουν παρουσιαστεί στη λειτουργία της Α/Γ της Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου με αποτέλεσμα παρατεταμένες περιόδους να βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Από την άλλη, η παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκά σκαρφάλωσε από τις 22,91 MWh, που παρήγαγαν τα 20 kW φωτοβολταϊκών το 2011, στις 1.065,87 MWh το 2015. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 2014 το 31,3% της συνολικής παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. στο νησί προήλθε από φωτοβολταϊκά, ήτοι 1.422,44 MWh στις 4.546,63 MWh.

	Εγκατεστημένη Ισχύς Α.Π.Ε. (MW)		Παραγωγή Ενέργειας Α.Π.Ε. (MWh)	
	Α/Π	ΦΒ	Α/Π	ΦΒ
2011	1,20	0,02	5.114,33	22,91
2012	1,20	0,02	4.862,10	22,39
2013	1,20	0,02-1,04	4.108,29	1.019,41
2014	1,20	1,04	3.124,18	1.422,44
2015	1,20	1,04	3.929,91	1.065,87

Πίνακας 4.8 Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος και παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. στο διάστημα 2011-2015 [27]

4.3.3 Τεχνικά Ζητήματα σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

4.3.3.1 Περιορισμοί Διείσδυσης Α.Π.Ε.

➤ Επιτρεπόμενο Όριο Διείσδυσης Α.Π.Ε. [19]

Η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στα αυτόνομα – μη διασυνδεδεμένα νησιά, καθορίζεται από τους τεχνικούς περιορισμούς των τοπικών δικτύων. Συνήθως, τα νησιά χαρακτηρίζονται από καλό αιολικό δυναμικό, αλλά όταν είναι μη διασυνδεδεμένα αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της περικοπής αιολικής ισχύος από τον διαχειριστή του συστήματος. Είναι σημαντικό πριν εισαχθεί η ιδέα της αντλησιοταμίευσης ως μέσο περαιτέρω ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας, να εξεταστεί η ανάπτυξη και η συνεισφορά που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς συστήματα αποθήκευσης.

Κατά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, δημιουργήθηκε έντονο ενδιαφέρον για επενδύσεις στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και ιδιαίτερα στην Κρήτη, λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού και της υψηλότερης, σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα, τιμής πώλησης της παραγόμενης ενέργειας. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης διασύνδεσης με την

κυρίως Ελλάδα, καθορίστηκε με την **Υ.Α.8295/95** ως μέγιστο όριο εγκατεστημένης ισχύος (όριο διείσδυσης) για κάθε μη διασυνδεδεμένο νησί το ποσοστό του 30% της μέγιστης μέσης ωριαίας ζήτησης ισχύος του προηγούμενου έτους. Η ίδια Υπουργική Απόφαση έδινε το δικαίωμα στον διαχειριστή του συστήματος να απορρίπτει ισχύ παραγόμενη από τα αιολικά πάρκα τις ώρες χαμηλής ζήτησης, εξασφαλίζοντας ωστόσο έναν ελάχιστο συγκεκριμένο αριθμό ωρών λειτουργίας για τα αιολικά πάρκα (6000 Συμβατικές Ανηγμένες Ωρες Λειτουργίας).

Μετά την κατάργηση της Υ.Α.8295/95, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) όρισε νέα διαδικασία-μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της επιτρεπόμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος στα μη-διασυνδεδεμένα νησιά και την χορήγηση των αδειών παραγωγής των μονάδων Α.Π.Ε. στα νησιά. Σύμφωνα λοιπόν με τους νέους κανόνες, το περιθώριο νέας ισχύος Α.Π.Ε. που μπορεί να εγκατασταθεί και το αντίστοιχο όριο απορρόφησης θα καθορίζονται ανά νησί και θα αναθεωρούνται ανά διετία. Σύμφωνα με αυτά θα προκηρύσσεται προθεσμία υποβολής αιτήσεων αδειών παραγωγής. Το περιθώριο της νέας ισχύος και το όριο απορρόφησης θα υπολογίζονται ώστε να διασφαλίζουν έναν ελάχιστο συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας (*Capacity Factor*) της τάξεως του 27,5%, λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη των φορτίων, τους υπάρχοντες συμβατικούς σταθμούς και μονάδες Α.Π.Ε. παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα ανεμολογικά δεδομένα του νησιού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εν λόγω διαδικασία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά την Άνοιξη του 2003.

Η μεθοδολογία της Ρ.Α.Ε. περιορίζεται στην εξέταση του θέματος από τεχνικής πλευράς. Η οικονομική εξέταση του θέματος απαιτεί την αναλυτική προσομοίωση του ηλεκτρικού συστήματος και τη μοντελοποίηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας. Είναι ξεκάθαρο ότι με την ένταξη αιολικής ενέργειας σε ένα σύστημα προκύπτουν οφέλη από την εξοικονόμηση καυσίμου. Από την άλλη πλευρά, είναι πιθανό η ένταξη της αιολικής ενέργειας να απαιτήσει επιπλέον διαθέσιμη θερμή εφεδρεία από τις συμβατικές μονάδες για να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία του συστήματος οπότε το κόστος λειτουργίας των συμβατικών μονάδων μπορεί να επιβαρυνθεί. Στόχος, επομένως, της οικονομικής ανάλυσης είναι να υπολογιστεί πώς το κόστος της παραγόμενης ενέργειας του συστήματος μπορεί να μειωθεί ως αποτέλεσμα της ένταξης της αιολικής ενέργειας στο σύστημα. Επιπρόσθετα πρέπει να συνυπολογιστούν οικονομικά οφέλη από τη μείωση των εκπομπών CO₂.

Εξετάζοντας το θέμα αποκλειστικά με τεχνικούς όρους, **το επιτρεπόμενο όριο διείσδυσης αιολικής ενέργειας στα αυτόνομα ελληνικά νησιά μπορεί να θεωρηθεί το 73% του μέσου ετήσιου φορτίου**. Ως μέσο ετήσιο φορτίο ορίζεται η ετήσια ζήτηση ενέργειας δια 8760 ώρες, όσο δηλαδή διαρκεί ένα έτος. Από τη σύγκριση των δύο προσεγγίσεων (του 30% της αιχμής και του 73% του μέσου ετήσιου φορτίου), προκύπτει ότι υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανά νησί, ιδιαίτερα στα νησιά με χαμηλό συντελεστή φορτίου. Ωστόσο, η αθροιστική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στα αυτόνομα ελληνικά νησιά δεν διαφοροποιείται ιδιαίτερα με τον κανόνα του 73% του μέσου ετήσιου φορτίου σε σχέση με την εκτίμηση του 30% της αιχμής. Επιπλέον, λαμβάνονται σοβαρά υπόψη οι υφιστάμενες άδειες παραγωγής, οι εκκρεμείς αιτήσεις και το γενικότερο επενδυτικό ενδιαφέρον, βασικοί χωροταξικοί περιορισμοί κατά περίπτωση (όπως π.χ. η οικιστική ανάπτυξη), καθώς και η κοινωνική αποδοχή των Α/Γ.

Συγκεκριμένα για το νησί της Μυκόνου, για το 2008 το όριο διείσδυσης αιολικής ενέργειας, σύμφωνα με τον κανόνα του 73% του μέσου ετήσιου φορτίου, είναι **9,34 MW**, καθώς η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ισούταν με 112,13 GWh, η οποία διαιρούμενη με 8760 ώρες μας δίνει το μέσο ετήσιο φορτίο, που είναι ίσο με 12,8 MW.

➤ **Κριτήριο Μέγιστης Επιτρεπόμενης Πυκνότητας Αιολικών Εγκαταστάσεων σε Επίπεδο Πρωτοβάθμιου Ο.Τ.Α.** [35]

Η Ρ.Α.Ε. κατ' εφαρμογή των κανόνων και κριτηρίων χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων, σύμφωνα με το *Παράρτημα V*, της *Κ.Υ.Α.49828/12.11.2008* με τίτλο "*Έγκριση ειδικού χωροταξικού σχεδιασμού και αιφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού*" (*Φ.Ε.Κ.2464/03.12.2008*), προχώρησε στον έλεγχο του κριτηρίου της μέγιστης επιτρεπόμενης πυκνότητας αιολικών εγκαταστάσεων σε επίπεδο Ο.Τ.Α., βάσει των διαθέσιμων, στην Αρχή, στοιχείων και δεδομένων αναφορικά με τα όρια των Ο.Τ.Α. και τις συντεταγμένες των Α/Γ των αιολικών σταθμών. Τα σχετικά αποτελέσματα για τη Μύκονο παρουσιάζονται στον *Πίνακα 4.9* που ακολουθεί.

Έλεγχος του Κριτηρίου της Μέγιστης Επιτρεπόμενης Πυκνότητας Αιολικών Εγκαταστάσεων σε Επίπεδο Πρωτοβάθμιου Ο.Τ.Α.					
Δήμος	Έκταση (στρέμματα)	Μέγιστη Επιτρεπόμενης Κάλυψης (Τυπικές Α/Γ /1000 στρ.)	Μέγιστος Επιτρεπόμενος Αρ. Τυπικών Α/Γ	Αριθμός Ισοδύναμων Τυπικών Α/Γ με ΑΔ. Παραγωγής	Αριθμός Ισοδύναμων Τυπικών Α/Γ με ΑΔ. Παρ. ή σε ΠΠΕΑ
Δ.ΜΥΚΟΝΟΥ	105.793,06	0,53	56,07	5,20	5,20

Πίνακας 4.9 Έλεγχος του κριτηρίου της μέγιστης επιτρεπόμενης πυκνότητας Αιολικών Εγκαταστάσεων σε επίπεδο πρωτοβάθμιου Ο.Τ.Α. [35]

Συγκεκριμένα, στον πίνακα αναγράφεται: α) ο Δήμος, β) η έκτασή του, γ) ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός τυπικών Α/Γ ανά Ο.Τ.Α., όπως αυτός καθορίζεται στην ανωτέρω Κ.Υ.Α., δ) η τρέχουσα πυκνότητα αιολικών εγκαταστάσεων ανά Ο.Τ.Α., ήτοι ο αριθμός ισοδύναμων τυπικών Α/Γ των αιολικών σταθμών για τους οποίους έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής, όπως αυτή ισχύει, ή θετική γνωμοδότηση από τη Ρ.Α.Ε., καθώς επίσης και ε) ο αριθμός ισοδύναμων τυπικών Α/Γ ανά Ο.Τ.Α., για τον υπολογισμό του οποίου ελήφθησαν υπόψη, πέραν των αδειών παραγωγής και θετικών γνωμοδοτήσεων κατά τα προηγούμενα, και οι αιτήσεις για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικούς σταθμούς για τις οποίες έχει διαβιβαστεί από τη Ρ.Α.Ε. η Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την τήρηση της Διαδικασίας Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης.

Η Ρ.Α.Ε. επαναλαμβάνει τον ως άνω έλεγχο και δημοσιοποιεί τα σχετικά αποτελέσματα κάθε μήνα λαμβάνοντας υπόψη τις συντελεσθείσες, εντός του ανωτέρω χρονικού διαστήματος μεταβολές, ήτοι α) έκδοση βεβαιώσεων για μεταβολή τεχνικών στοιχείων αδειών παραγωγής (αριθμός Α/Γ ή/και ισχύς) η οποία δε συνεπάγεται τροποποίηση βάσει του *Ν.3468/2006*, όπως ισχύει και του Κανονισμού Αδειών Παραγωγής από Α.Π.Ε. και μέσω ΣΗΘΥΑ (*Φ.Ε.Κ.448/03.04.2007*), β) έκδοση τροποποιήσεων αδειών παραγωγής για αιολικούς σταθμούς ως προς τα ως άνω στοιχεία και γ) έκδοση νέων αδειών ή διαβίβαση από τη ΡΑΕ νέων αιτήσεων για την τήρηση της διαδικασίας Π.Π.Ε.Α.

4.3.3.2 Μελέτες Διασύνδεσης Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα [19]

Υπάρχουν διάφορες μελέτες που εξετάζουν τεχνικά και οικονομικά την διασύνδεση των Κυκλάδων με την ηπειρωτική Ελλάδα:

- Της Δ.Ε.Η. (1990) όπου διαπιστώθηκαν, για εκείνη την εποχή, τεχνικές και οικονομικές δυσκολίες για την πραγματοποίηση της διασύνδεσης
- Προμελέτη Σκοπιμότητας [E.M.P., 2004]
- Προμελέτη Σκοπιμότητας [P.A.E.-ΔΕΣΜΗΕ-Δ.Ε.Η., 2005, ΜΑΣΜ 2006-2010]
- Η "Στρατηγική Μελέτη" διασυνδέσεων νησιών Αιγαίου [E.M.P. με ανάθεση της P.A.E., 2006]
- Επικαιροποίηση της "Στρατηγικής Μελέτης" [E.M.P. & P.A.E., 2008]
- Μελέτη Διασυνδέσεων Νησιών του Αιγαίου με το Σύστημα [ΔΕΣΜΗΕ, 2010]

Η διασύνδεση των Κυκλάδων έχει εν μέρει υλοποιηθεί, έχει δρομολογηθεί ένα μέρος της επέκτασης της ("Κυκλάδες I, Στάδιο 1"), ενώ μελετάται η επέκταση της στα πιο απομακρυσμένα μεγάλα Κυκλαδονήσια ("Κυκλάδες I, Στάδιο 2"). Με το έργο αυτό θα υπάρχει η δυνατότητα σταδιακής σύνδεσης αιολικών πάρκων μέχρι 2x200=400 MW λόγω ΚΥΤ Λαυρίου με περιορισμό μονάδων ΘΗΣ Λαυρίου στο τεχνικό ελάχιστο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέγιστη ζήτηση των Κυκλάδων το 2008 ανήλθε σε 180 MW. Επιπροσθέτως, βάσει του σχεδίου "Κυκλάδες II" πρόκειται να κατασκευαστεί διασύνδεση αποκλειστικά για την σύνδεση των αιολικών πάρκων στην Νότια Εύβοια και την Άνδρο στο ΚΥΤ Παλλήνης, για την οποία εκκρεμεί η έκδοση ΕΠΟ, με δυνατότητα απορρόφησης ισχύος μέχρι 600 MW. Η συνολική διασύνδεση παρουσιάζει τεχνικά-σχεδιαστικά ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του σημαντικού μήκους των υποβρύχιων διασυνδέσεων που απαιτούνται και της μεγάλης και συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης των επιμέρους νησιών αλλά και συνολικά του συμπλέγματος. Τα άνωθεν αποτελούν την *Φάση Α'* της διασύνδεσης των Κυκλάδων, ενώ κατά την *Φάση Β'* θα καθοριστούν η ακριβής σύνθεση και χάραξη των δικτύων, καθώς και οι λεπτομέρειες διασύνδεσης των σχεδίων "Κυκλάδες I" και "Κυκλάδες II" μεταξύ τους για λόγους εφεδρείας. Στη συνέχεια περιγράφονται οι υφιστάμενες διασυνδέσεις των Κυκλάδων με την ηπειρωτική Ελλάδα και αυτές που έχουν δρομολογηθεί μεσοπρόθεσμα (*Χάρτης 4.11*):

1. Υποβρύχια καλώδια 150 kV:
 - Άνδρος – Τήνος – Ηπειρωτική Ελλάδα
 - Σύρος – Πάρος
 - Σύρος – Μύκονος
 - Πάρος – Νάξος
 - Νάξος – Μύκονος
2. Σύρος – Λαύριο, με υποβρύχια διασύνδεση μεταφορικής ικανότητας 400MW (στο *Στάδιο 1* θα έχει μεταφορική ικανότητα ίση με 200 MW, με επαύξηση στο *Στάδιο 2* σε 2x200=400 MW) με καλώδιο υψηλής τάσης HVAC (εναλλασσόμενου ρεύματος) ή HVDC (συνεχούς ρεύματος) των 150 kV

Η κατασκευή νέων γραμμών υψηλής τάσης (150 kV) στα νησιά απαγορεύεται, συνεπώς θα απαιτηθούν νέοι υποσταθμοί, οι οποίοι θα χωροθετηθούν μετά από μελέτη σε προσεκτικά επιλεγμένες περιοχές. Τέλος, διαμορφώνεται η δυναμική για διασύνδεση της Μήλου, υπό την προϋπόθεση αξιοποίησης σε μεγάλη κλίμακα του γεωθερμικού πεδίου για ηλεκτροπαραγωγή.



Χάρτης 4.11 Επέκταση διασύνδεσης Κυκλάδων βάσει σχεδίου "Κυκλάδες Ι" (Στάδιο 1)

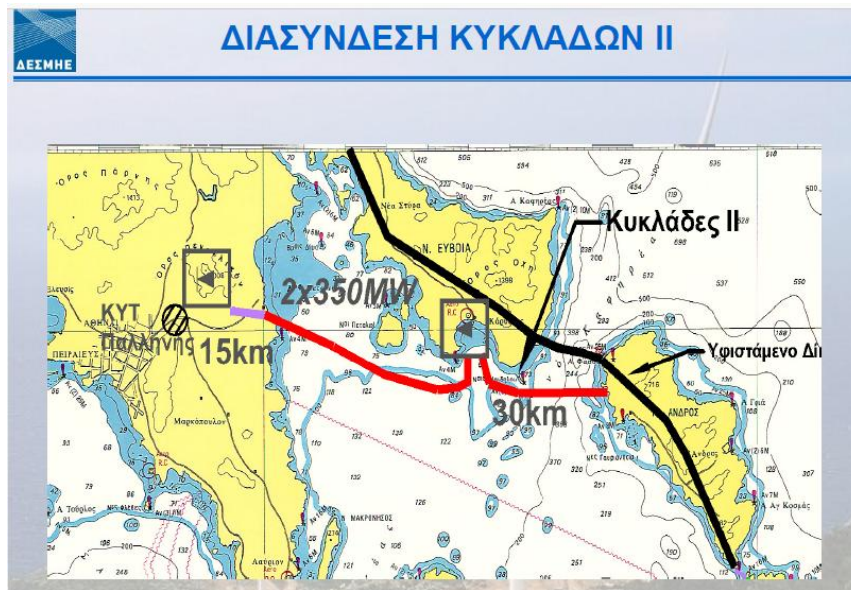
Η διασυνδέσεις αυτής της φάσης έχουν εγκριθεί και αναμένεται να υλοποιηθούν, εκτός από την διασύνδεση της Μήλου, που εξαρτάται από την πορεία της γεωθερμικής αξιοποίησης. Τα οφέλη από την διασύνδεση των Κυκλάδων συνοψίζονται στα εξής:

- Βελτιώνεται η αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος των νησιών
- Μειώνεται η χρήση των γεννητριών Diesel, με επακόλουθη μείωση των ρύπων
- Μπορεί να αρχίσει σταδιακά η απεγκατάσταση των τοπικών αυτόνομων σταθμών
- Γίνεται καλύτερη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού με διάχυση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Λαύριο δίπλα από την Αθήνα που είναι το κέντρο της κατανάλωσης

Παράλληλα, η επέκταση της διασύνδεσης της Σαντορίνης με την Πάρο μέσω Ίου εξετάζεται στα πλαίσια της στρατηγικής μελέτης διασύνδεσης των ελληνικών νησιών με την κυρίως Ελλάδα (Χάρτης 4.12) [E.M.Π (2006), ανάθεση από P.A.E.].



Χάρτης 4.12 Επέκταση της διασύνδεσης των Κυκλάδων βάσει σχεδίου "Κυκλάδες Ι" (Στάδιο 2) και μελλοντική διασύνδεση της Μήλου για αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού



Χάρτης 4.13 Σύνδεση αιολικών πάρκων στην Νότια Εύβοια και την Άνδρο στο ΚΥΤ Παλλήνης βάσει του σχεδίου "Κυκλάδες II" (ο τρόπος κατασκευής της διασύνδεσης είναι ενδεικτικός)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΝΕΑ ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ

5.1 Τεχνολογική Περιγραφή Μονάδας Αφαλάτωσης

Το 2008 δημοπρατήθηκε και κατασκευάστηκε από την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Μυκόνου (Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου) η νέα μονάδα αφαλάτωσης με επέκταση της υπάρχουσας στη περιοχή Κόρφος Μυκόνου. Το έργο, που χρηματοδοτήθηκε κατά το ήμισυ από το ΥΠ.ΕΣ. (για την λειψυδρία) και κατά το υπόλοιπο από την Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου, έχει δυναμικότητα παραγωγής έως 4500 m³/ημέρα καθαρού νερού σε πλήρη λειτουργία και, μαζί με την υπάρχουσα αφαλάτωση (1800 m³/ημέρα), η Μύκονος έχει τη δυνατότητα παραγωγής έως 6300 m³ καθαρού νερού ημερησίως. Όλο το αφαλατωμένο νερό που παράγεται, αποθηκεύεται σε δεξαμενές χωρητικότητας 200 m³ και μεταφέρεται μέσω πιεστικού σωλήνα (Φ200 PVC) στις κεντρικές δεξαμενές της Χώρας Μυκόνου. Ενδεικτικά, κατά την διάρκεια όλου του έτους 2010 η μονάδα N^ο1 λειτούργησε 1.772 ώρες παράγοντας 100.991 m³ πόσιμο νερού, η μονάδα N^ο2 λειτούργησε 1.537 ώρες παράγοντας 98.095 m³ πόσιμο νερού, ενώ τέλος, η μονάδα N^ο3 λειτούργησε 1.860 ώρες παράγοντας 109.141 m³ πόσιμο νερού, όπως αναλυτικά παρουσιάζονται μηνιαίως στον Πίνακα 5.1.

	Μονάδα N ^ο 1		Μονάδα N ^ο 2		Μονάδα N ^ο 3	
	Ώρες λειτουργίας (h)	Παραγωγή πόσιμου νερού (m ³)	Ώρες λειτουργίας (h)	Παραγωγή πόσιμου νερού (m ³)	Ώρες λειτουργίας (h)	Παραγωγή πόσιμου νερού (m ³)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	100	5.488	121	7.135	126	6.888
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	24	1.342	99	5.790	114	6.690
ΜΑΡΤΙΟΣ	91	5.003	90	5.159	97	5.614
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	106	5.873	123	6.093	117	6.012
ΜΑΙΟΣ	140	7.201	29	1.483	126	7.955
ΙΟΥΝΙΟΣ	178	10.302	6	326	187	10.878
ΙΟΥΛΙΟΣ	186	10.164	177	10.774	199	11.319
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	226	13.326	260	16.304	254	14.806
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	306	18.891	278	17.557	303	17.976
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	215	12.471	205	19.718	220	13.980
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	170	9.573	66	2.898	46	2.697
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	30	1.357	83	4.858	71	4.326
ΣΥΝΟΛΟ	1.772	100.991	1.537	98.095	1.860	109.141

Πίνακας 5.1 Ώρες λειτουργίας και παραγόμενο πόσιμο νερό ανά μονάδα αφαλάτωσης για το έτος αναφοράς 2010

5.1.1 Παράμετροι Σχεδιασμού Μονάδας [2]

➤ Ανάλυση Θαλασσινού Νερού

Η ανάλυση του θαλασσινού νερού που λαμβάνεται υπ' όψιν για τον σχεδιασμό της κάθε μονάδας είναι αυτή που περιλαμβάνεται στα τεύχη δημοπράτησης του έργου σύμφωνα με τις οδηγίες της Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου και καταγράφεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Ασβέστιο	560 ppm ως ιόν	Όξινα Ανθρακικά	156 ppm ως ιόν
Μαγνήσιο	1480 ppm ως ιόν	Ανθρακικά	30 ppm ως CaCO ₃
Νάτριο	13200 ppm ως ιόν	Θειικά	2700 ppm ως ιόν
Κάλιο	415 ppm ως ιόν	Χλωριούχα	23920 ppm ως ιόν
Στρόντιο	8 ppm ως ιόν	Φθοριούχα	0,5 ppm ως ιόν
Βάριο	0,01 ppm ως ιόν	Νιτρικά	2,1 ppm ως ιόν
Σίδηρος	0,001 ppm ως ιόν	Διοξειδίο του άνθρακα	0,5 ppm
TDS ως ιόντα	42500 ppm	Διοξειδίο του πυριτίου	3 ppm
pH	8,25	Βόριο	4,5 ppm

Πίνακας 5.2 Ανάλυση θαλασσινού νερού

➤ Θερμοκρασία

Σαν βάση σχεδιασμού έχει ληφθεί ως θερμοκρασία του θαλασσινού νερού αυτή των 21°C, η οποία είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία.

➤ Απαιτούμενη Ποιότητα Παραγόμενου Πόσιμου Νερού

Το παραγόμενο νερό είναι πόσιμο σύμφωνα με την ισχύουσα υγειονομική διάταξη του Ελληνικού Κράτους, δηλαδή την Κοινή Υπουργική Απόφαση **Υ2/2600/2001**, σε συμμόρφωση με την 98/83 οδηγία του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 03-11-1998, όπως δημοσιεύτηκε στο **ΦΕΚ/τεύχος 2/αρ.φύλλον 892** της **11-07-2001**.

➤ Απαιτούμενη Ποσότητα Παραγόμενου Πόσιμου Νερού

Κατά τον σχεδιασμό της κάθε μίας εκ των τριών μονάδων ελήφθη μέριμνα ώστε η ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού στα τρία πρώτα χρόνια της λειτουργίας της να είναι άνω των 1500m³/ημέρα, δηλαδή ανηγμένη σε ετήσια βάση ποσότητα ίση με 547.500 m³.

➤ Βαθμός Ανάκτησης

Ο βαθμός ανάκτησης λαμβάνεται ίσος με 38,88% ώστε να διατηρούνται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα (κάτω από 70.000 ppm) τα TDS της απορριπτόμενης άλμης και συνεπώς η οσμωτική πίεση του νερού, ενώ ελέγχονται και εξουδετερώνονται ευχερέστερα οι συνέπειες από τη χημική σύσταση του νερού, δηλαδή η τάσεις ανάπτυξης καθαλατώσεων στις μεμβράνες, δεδομένου ότι αυτές αυξάνονται όταν αυξάνεται ο βαθμός ανάκτησης. Πράγματι με αυτόν τον βαθμό ανάκτησης με μικρή όξινηση, ο δείκτης καθαλάτωσης του θαλασσινού νερού **STIFF&DAVIS** παραμένει μηδενικός στην απορριπτόμενη άλμη. Με την χρήση του συστήματος ανάκτησης ενέργειας PX ,λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης που επιτυγχάνει, η ενέργεια της άλμης εξοικονομείται, οπότε εκλείπει η ανάγκη υψηλών βαθμών ανάκτησης, δηλαδή μείωση της ποσότητας της απορριπτόμενης άλμης, που υποχρεωτικά υιοθετείται σε άλλα συστήματα ανάκτησης με μικρότερους βαθμούς απόδοσης.

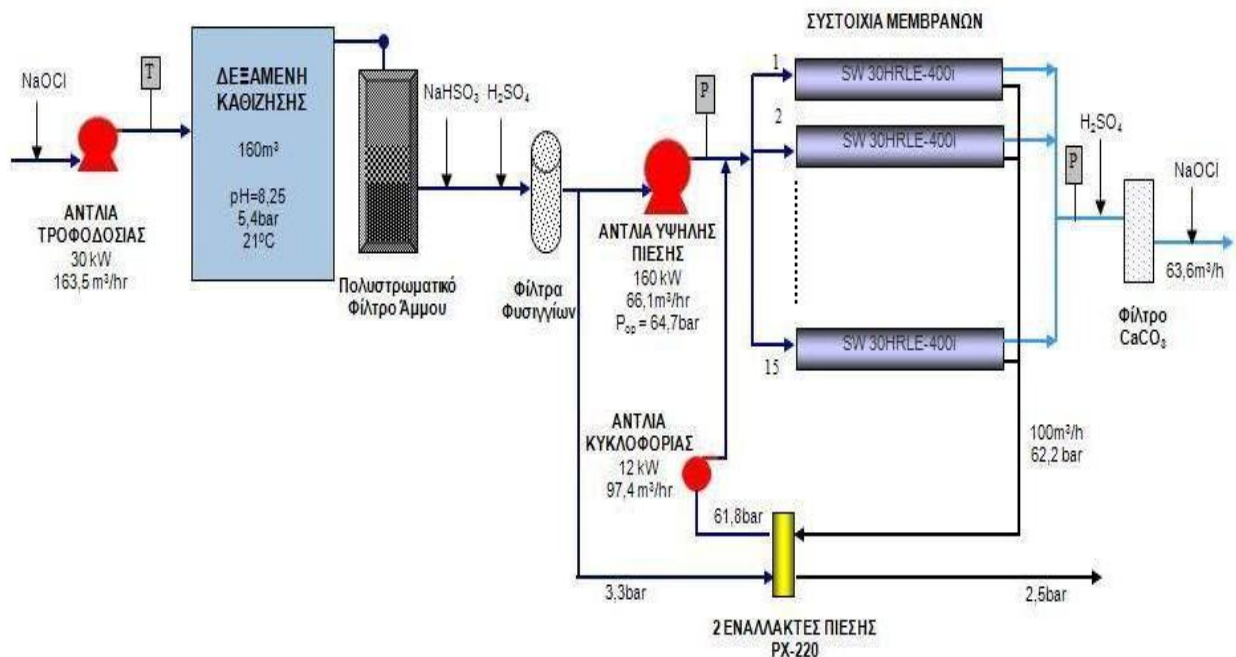
➤ **Συντελεστής Απόφραξης (Fouling Factor)**

Ο συντελεστής απόφραξης της επιφάνειας των μεμβρανών (*Fouling Factor*) έχει ληφθεί ίσος με 85%, ήτοι απώλεια επιφάνειας ετησίως 5% για διάστημα τριών ετών συνεχούς λειτουργίας. Το γεγονός εγγυάται τις αποδόσεις των μεμβρανών στο χρονικό σημείο μετά από τρία έτη λειτουργίας και όχι στην αρχή. Στην αρχική περίοδο των τριών ετών, οι αποδόσεις ήταν καλύτερες και το λειτουργικό κόστος που αναλύεται παρακάτω χαμηλότερο.

5.1.2 Τεχνική Περιγραφή Διεργασίας Αφαλάτωσης & Εγκατεστημένου Εξοπλισμού [1,2]

Πριν υποστεί την διαδικασία αφαλάτωσης, το θαλασσινό νερό πρέπει να υποστεί κατάλληλη προκατεργασία ώστε να γίνει από χημικής και φυσικής άποψης κατάλληλο για την διεργασία της αφαλάτωσης. Η αντίστροφη όσμωση απαιτεί το νερό το οποίο φθάνει στις μεμβράνες να έχει SDI θολότητα (δείκτης ρυπαρότητας θαλασσινού νερού), pH, οργανικές ουσίες και σίδηρο σε τιμές μικρότερες από τα όρια που θέτει ο κατασκευαστής των μεμβρανών, ώστε να εξασφαλίζονται η ποιότητα και η ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού.

Στο Διάγραμμα 5.1 παρουσιάζονται λεπτομερώς όλα τα μέρη της μίας εκ των τριών μονάδων της νέας μονάδας αφαλάτωσης της Μυκόνου, σημειώνοντας παράλληλα, όπου κρίνεται απαραίτητο, τεχνικές λεπτομέρειες τους. Αναλυτικά η πλήρης εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα.



Διάγραμμα 5.1 Εγκατεστημένος εξοπλισμός μίας εκ των τριών πανομοιότυπων μονάδων αφαλάτωσης δυναμικότητας 1500m³/ημέρα σε πλήρη λειτουργία [1]

5.1.2.1 Υδροληψία Θαλασσινού Νερού

Η υδροληψία του θαλασσινού νερού στις μονάδες αφαλάτωσης γίνεται μέσω αγωγού από μια δεξαμενή εξισορρόπησης. Το θαλασσινό νερό οδηγείται μέσω δύο αγωγών, που είναι εμβαπτισμένοι στη θάλασσα, σε απόσταση 5 μέτρων στην ακτή στην δεξαμενή καθίζησης ωφέλιμου όγκου 160 m³, η οποία αποτελείται από δύο όμοια διαμερίσματα 80m³ το καθένα.

Στην μία πλευρά βρίσκεται το αντλιοστάσιο με εγκατεστημένες 4 αντλίες οι οποίες καταθλίβουν το νερό διαμέσου αγωγών Φ225 στο γήπεδο των εγκαταστάσεων και στη συνέχεια στα φίλτρα. Η ονομαστική παροχή της κάθε αντλίας τροφοδοσίας είναι 163,6 m³/h με απορροφούμενη ισχύς ηλεκτροκινητήρα, που είναι συνδεδεμένος με αυτήν, 30 kW.

5.1.2.2 Απολύμανση

Το ακατέργαστο θαλασσινό νερό, ακόμη κι αν είναι διαυγές και άχρωμο, είναι δυνατόν να περιέχει βλαβερές για τον άνθρωπο ουσίες. Τέτοιες ουσίες ως επί το πλείστον αντιπροσωπεύονται από οργανική ύλη, βακτηριολογική μόλυνση, σίδηρο, αμμωνία κ.α. Παράλληλα, οι ουσίες αυτές είναι επιβαρυντικές για τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και προκαλούν πρόωρη γήρανση και φθορά.

Για να αδρανοποιηθούν οι ουσίες αυτές ή τουλάχιστον να καταστούν ικανές να κατακρατηθούν εύκολα στο επόμενο στάδιο που είναι η φίλτρανση, πρέπει να οξειδωθούν. Η οξείδωση αυτή, που έχει σαν αποτέλεσμα την απολύμανση του νερού, επιτυγχάνεται με έγχυση κατάλληλης δόσης υποχλωριώδους νατρίου (*NaClO*) στο θαλασσινό νερό με την βοήθεια 4 κατάλληλων πλήρως εγκατεστημένων αυτόματων τροφοδοτικών αντλιών, τύπου μεμβράνης, (η μία ως εφεδρική) μέγιστης απορροφούμενης ισχύος 50W.

5.1.2.3 Παραμονή Θαλασσινού Νερού σε Δεξαμενή Αποθήκευσης- Εξισορρόπησης

Για να γίνει με επάρκεια η απολύμανση του νερού πρέπει να διατεθεί στο υποχλωριώδες νάτριο (*NaClO*) ο απαραίτητος χρόνος επαφής με το θαλασσινό νερό για να αντιδράσει. Τούτο επιτυγχάνεται με τη δεξαμενή του αντλιοστασίου όγκου 160 m³, η οποία είναι κοινή και για τις τρεις μονάδες.

5.1.2.4 Άντληση Θαλασσινού Νερού από τη Δεξαμενή

Από την δεξαμενή 4 αντλίες κατασκευασμένες εξ' ολοκλήρου από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316 L (η μία ως εφεδρική) καταθλίβουν το θαλασσινό νερό προς την προκατεργασία της κάθε μονάδας αφαλάτωσης. Στην αναρρόφηση και στη κατάθλιψη των αντλιών υπάρχουν βάνες απομόνωσης καθώς επίσης στη κατάθλιψη των αντλιών υπάρχει και βαλβίδα αντεπιστροφής. Από κάθε αντλία ξεκινά ένας αγωγός PE Φ225 και μετά τις βάνες απομόνωσης οι 4 αγωγοί PE συνενώνονται σε συλλέκτη (*collector*) από τον οποίον αναχωρούν 3 αγωγοί PE Φ225 και μήκους 350 m, οι οποίοι καταλήγουν στα φίλτρα πολλαπλών στρώσεων άμμου της προκατεργασίας.

Το σύστημα άντλησης χλωριώνεται με αντλίες που βρίσκονται στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου μέσω 2 σωλήνων PVC Φ8/10 μήκους 350 m. Ο κάθε σωλήνας συνδέεται με τον αντίστοιχο σωλήνα Φ500 εισόδου του νερού από τη θάλασσα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιοδική έκπλυση των αγωγών με χλώριο για την αποφυγή συγκέντρωσης βιολογικών ρύπων στους σωλήνες.

5.1.2.5 Φίλτρανση σε Πολλαπλά Στρώματα Άμμου

Σε συνέχεια της άντλησης του θαλασσινού νερού από τη δεξαμενή, το νερό οδηγείται σε 3 παράλληλα συγκροτήματα φίλτρανσης με 3 παράλληλα δοχεία φίλτρου το κάθε συγκρότημα για να φιλτραρισθεί. Η φίλτρανση επιτυγχάνεται με την βοήθεια του συγκροτήματος *FILTRCLEER* της εταιρείας *Culligan*. Το σύστημα φίλτρανσης καθιστά δυνατό να περιοριστεί η τιμή του

δείκτη ρυπαρότητας του θαλασσινού νερού (*SDI*) εντός των μεγίστων ορίων που είναι αποδεκτά από τις μεμβράνες της αντίστροφης όσμωσης, ακόμα και στη περίπτωση που χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό κακής ποιότητας.



Εικόνα 5.1 Πολυστρωματικά Φίλτρα Άμμου

Τρία υλικά φίλτρανης διαφορετικής κοκκομετρίας τοποθετούνται σε κλίνες έτσι ώστε το υλικό με το μεγαλύτερο μέγεθος κόκκου να βρίσκεται στο άνω μέρος του φίλτρου. Το αφιτράριστο νερό διέρχεται μέσα από τις κλίνες φίλτρανης με ροή από πάνω προς τα κάτω και βαθμιαία αφήνει την θολότητά του στη μάζα των υλικών φίλτρανης. Έτσι η επιτυγχανόμενη ποιότητα του φιλτραρισμένου νερού σε συνδυασμό με τα στάδια της προκατεργασίας που ακολουθούν, υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις του κατασκευαστή των μεμβρανών. Στην φάση αυτή απομακρύνεται η θολότητα του νερού, ο σίδηρος, τα κolloειδή και μεγάλο μέρος οργανικής ύλης.

5.1.2.6 Αποχλωρίωση με Έγχυση NaHSO_3

Το ελεύθερο χλώριο που υπάρχει στο νερό που εξέρχεται από το σύστημα φίλτρανης πρέπει να εξουδετερωθεί πριν φτάσει στον αφαλατωτή, διότι η δράση του είναι καταστρεπτική για τις μεμβράνες. Η εξουδετέρωση αυτή γίνεται με την έγχυση κατάλληλης δόσης όξινου θειώδους νατρίου, το οποίο αντιδρά ακαριαία με το χλώριο. Η προσθήκη του διαλύματος NaHSO_3 γίνεται με 4 αυτόματες δοσομετρικές αντλίες τύπου μεμβράνης (η μία ως εφεδρική), μέγιστης απορροφούμενης ισχύος 50 W, που αναρροφούν από δοχείο παρασκευής του διαλύματος.

5.1.2.7 Διόρθωση pH

Με σκοπό τη μέγιστη δυνατή απόδοση των μεμβρανών της αντίστροφης όσμωσης και προς αποφυγή καθαλάτωσης ανθρακικού ασβεστίου, το pH του θαλασσινού νερού πρέπει να ελαττωθεί διότι το πολύ αλκαλικό pH ευνοεί την απόθεση ανθρακικού ασβεστίου μέσα στη μεμβράνη προκαλώντας έμφραξη της. Μέσω pH-μέτρου ελέγχεται αυτόματα η έγχυση θεικού οξέος (H_2SO_4) στο θαλασσινό νερό, η οποία πραγματοποιείται μέσω 4 αυτόματων πλήρως εγκατεστημένων τροφοδοτικών αντλιών τύπου μεμβράνης (η μία σαν εφεδρική) μέγιστης απορροφούμενης ισχύος 50W.

5.1.2.8 Φίλτρανση μέσω Φυσιγγίων Ασφαλείας

Σωματίδια ή κάθε υλικό το οποίο πιθανόν να διέφυγε από το σύστημα φίλτρανσης ή να προστέθηκε λόγω της έγχυσης των χημικών διαλυμάτων πρέπει να κατακρατηθεί πριν από την μονάδα της αντίστροφης όσμωσης, ώστε να προληφθεί κάθε ζημιά στις μεμβράνες και στις αντλίες υψηλής πίεσης. Προς τον σκοπό αυτόν, το θαλασσινό νερό διέρχεται μέσω 3 συστοιχιών παράλληλων φίλτρων κατασκευασμένων από ανοξείδωτο χάλυβα Duplex SS, με αντικαθιστώμενα φυσιγγια, διπλής πλέξης, τα οποία κατακρατούν όλα τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 1 μικρόν.



Εικόνα 5.2 Φίλτρο φυσιγγίου ασφαλείας



Εικόνα 5.3 Σύστημα ανάκτησης ενέργειας απορριπτόμενης άλμης τύπου εναλλάκτη πίεσης (Pressure Exchanger)

5.1.2.9 Αντλητικό Συγκρότημα Υψηλής Πίεσης με Εναλλάκτη Πίεσης

Για να υπερνικηθεί τόσο η οσμωτική πίεση, όσο και η πτώση πίεσης στις μεμβράνες και στις σωληνώσεις είναι απαραίτητο να αντληθεί το νερό σε υψηλή πίεση. Προς τούτο χρησιμοποιείται για κάθε μονάδα ένα αντλητικό συγκρότημα αποτελούμενο από δύο υποσυστήματα εν παραλλήλω, που περιλαμβάνουν αντλίες πολυβάθμιες, φυγοκεντρικές και κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα.

Ο ένας κλάδος περιλαμβάνει μια αντλία τύπου BME υψηλής πίεσης, η οποία κινείται μέσω ηλεκτρικού κινητήρα εξωτερικά συνδεδεμένου μέσω τροχαλιών και ιμάντων. Η ονομαστική παροχή της κάθε αντλίας υψηλής πίεσης είναι 66,1 m³/h με απορροφούμενη ισχύς ηλεκτροκινητήρα ίση με 163 kW.

Ο άλλος κλάδος περιλαμβάνει δύο παράλληλα συστήματα ανάκτησης ενέργειας της απορριπτόμενης άλμης τύπου εναλλάκτη πίεσης (Pressure Exchanger) και συγκεκριμένα το μοντέλο PX-220 της εταιρείας *Energy Recovery, Inc.*, το τεχνικό φυλλάδιο του οποίου παρατίθεται στο Παράρτημα στο τέλος της διπλωματικής. Ο εναλλάκτης πίεσης κινείται από την άλμη και μεταδίδει την ενέργειά της προς το θαλασσινό νερό, το οποίο έτσι καταθλίβεται σε υψηλή πίεση.

Σε σειρά με τους εναλλάκτες πίεσης ακολουθεί μια ηλεκτραντλία τύπου ΒΜ η οποία λειτουργεί σαν βοηθητική. Αυτό σημαίνει ότι προσδίδει μικρή επιπλέον πίεση στο θαλασσινό νερό, έτσι ώστε να εξομοιωθεί με την πίεση της ΒΜΕ και σε αυτή την πίεση, καθώς και στο άθροισμα των παροχών, να τροφοδοτήσει τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Η ονομαστική παροχή της κάθε αντλίας κυκλοφορίας είναι $97,4 \text{ m}^3/\text{h}$ με απορροφούμενη ισχύς ηλεκτροκινητήρα ίση με 12kW .

5.1.2.10 Αφαλάτωση με Αντίστροφη Όσμωση

Η αφαλάτωση διεξάγεται για κάθε μονάδα σε έναν αφαλατωτή μέσω μεμβρανών "υψηλής απόρριψης και χαμηλής ενέργειας", οι οποίες έχουν την ικανότητα κατακρατήσεως αλάτων μεγαλύτερη του 99%. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στη μεμβράνη όπου γίνεται ο διαχωρισμός του προϊόντος (αφαλατωμένου νερού) από το απόρριμμα (άλμη). Το απόρριμμα με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων απορρίπτεται στην αποχέτευση, ενώ το προϊόν καθαρό νερό οδηγείται προς το αντίστοιχο δοχείο συλλογής αφαλατωμένου νερού της συσκευής αφαλάτωσης που βρίσκεται πλησίον αυτής και από εκεί στην δεξαμενή καθαρού νερού μέσω φίλτρου πρόσδοσης σκληρότητας.

Οι μεμβράνες είναι διατεταγμένες σε 15 παράλληλα δοχεία πίεσεως που περιέχουν από 7 μεμβράνες έκαστο (τύπου *SW 30 HRLE-400i* της εταιρείας *Filmtec*). Σε κάθε δοχείο πίεσεως οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες εν σειρά, δηλαδή το απόρριμμα της πρώτης αποτελεί τροφοδοσία της δεύτερης κλπ. Τέλος, σημειώνεται ότι η παροχή αφαλατωμένου νερού μετά από τα 3 πρώτα χρόνια (λειτουργία στους 21°C) είναι $63,6 \text{ m}^3/\text{h}$ με πίεση λειτουργίας τα $64,3 \text{ bar}$ και βαθμό ανάκτησης $38,88\%$.



Εικόνα 5.4 Άποψη των 3 νέων μονάδων αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης όπου διακρίνονται τα 15 δοχεία πίεσης ανά μονάδα αφαλάτωσης, τα δοχεία έκπλυσης (*Draw Back Tank*) και ο κινητήρας της αντλίας υψηλής πίεσης της μεσαίας μονάδας [1]

5.1.2.11 Αύξηση Σκληρότητας, Αλκαλικότητας και Διόρθωση pH

Για να καταστεί το αφαλατωμένο νερό πόσιμο, σύμφωνα με την ισχύουσα υγειονομική διάταξη του Ελληνικού Κράτους, είναι απαραίτητο, πλην της εξουδετέρωσης του pH που έχει το αφαλατωμένο νερό, να γίνει και αύξηση της σκληρότητάς του καθώς επίσης και ανάλογη αύξηση της αλκαλικότητας, ώστε να φτάσουν σε τέτοιο επίπεδο που το νερό δεν θα είναι διαβρωτικό. Οι δύο αυτές διεργασίες επιτυγχάνονται με την διέλευση του αφαλατωμένου νερού μέσω ενός κλειστού δοχείου, το οποίο περιέχει ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$), το οποίο προοδευτικά διαλύεται καθώς περνά το νερό, αντιδρώντας με το περιεχόμενο σε αυτό CO_2 , με συνέπεια την αύξηση της σκληρότητας και του pH του. Επειδή όμως η αύξηση της σκληρότητας με αυτόν τον τρόπο δεν φθάνει στα επιθυμητά επίπεδα, γίνεται πριν την είσοδο στο δοχείο έγχυση ποσότητας θεικού οξέος (H_2SO_4) μέσω 4 αυτόματων δοσομετρικών αντλιών (η μία ως εφεδρική) τύπου μεμβράνης, μέγιστης απορροφούμενης ισχύος 50 W. Το θεικό οξύ αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο και έτσι το νερό εξέρχεται από το φίλτρο με διορθωμένα στα προβλεπόμενα επίπεδα τα ως άνω χαρακτηριστικά.



Εικόνα 5.5 Φίλτρο ανθρακικού ασβεστίου

5.1.2.12 Μεταχλωρίωση

Το πόσιμο νερό, πριν οδηγηθεί στην δεξαμενή αποθήκευσης της εγκατάστασης, εφοδιάζεται με την απαραίτητη ποσότητα ελεύθερου χλωρίου με έγχυση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου ($NaOCl$) μέσω 4 τροφοδοτικών αντλιών τύπου μεμβράνης (η μία ως εφεδρική) μέγιστης απορροφούμενης ισχύος 50 W.

5.1.2.13 Αποθήκευση Πόσιμου Νερού

Εν συνεχεία του σταδίου της μεταχλωρίωσης, το νερό και από τις 3 μονάδες οδηγείται σε δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού, συνολικού όγκου $112 m^3$, η οποία έχει κατασκευαστεί στον εξωτερικό χώρο των εγκαταστάσεων δίπλα στην παλαιά δεξαμενή πόσιμου νερού.

5.1.2.14 Αντλιοστάσιο Πόσιμου Νερού

Από τη δεξαμενή αποθήκευσης και μέσω κατάλληλου αντλιοστασίου (πιεστικού συγκροτήματος) τροφοδοτείται το υπάρχον δίκτυο ύδρευσης με τα έργα σύνδεσης να άπτονται

της ευθύνης της Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου. Το αντλητικό συγκρότημα ύδρευσης περιλαμβάνει 2 αντλίες ικανές να τροφοδοτήσουν το δίκτυο με τουλάχιστον 187,5 m³/h στα 15 bar. Συγκεκριμένα, αποτελείται από αντλίες δυνατότητας παροχής 2x95 m³/h=190 m³/h, αντίστοιχου μανομετρικού 15 ΜΥΣ και βαθμού απόδοσης 98%. Ο κινητήρας είναι διπολικός, ασύγχρονος, βραχυκυκλωμένου δρομέα, βαθμού απόδοσης 95% και ισχύος 75 kW.

5.1.3 Υπολογισμός Ισχύος Ενεργοβόρων Αντλιών & Βασικών Ενεργειακών Συντελεστών Μιας Μονάδας Αφαλάτωσης [4,16]

5.1.3.1 Οσμωτική Πίεση Αιγαίου Πελάγους

Η οσμωτική πίεση, P_{osm} , ενός διαλύματος μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά από την μέτρηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο διάλυμα σύμφωνα με την σχέση:

$$P_{osm} = 1.19(T + 273) * \sum(m_i)$$

όπου:

P_{osm} : οσμωτική πίεση, psi

T : θερμοκρασία, °C

$\sum(m_i)$: άθροισμα συγκεντρώσεων moles όλων των συστατικών ενός διαλύματος (molarity)

Μια προσέγγιση για τον υπολογισμό της οσμωτικής πίεσης μπορεί να επιτευχθεί υποθέτοντας ότι 1000 ppm TDS αλατότητας ισοδυναμούν με 0,76 bar οσμωτικής πίεσης. Σε αυτήν την προσέγγιση βασιζόμαστε για να βρούμε την οσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού του Αιγαίου Πελάγους, η αλατότητα του οποίου αριθμεί 42500 ppm TDS. Συνεπώς:

$$P_{osm_ΑΙΓΑΙΟΥ\ ΠΕΛΑΓΟΥΣ} = 32.3bar = 31,8801atm = 468,35psi$$

(Υπενθυμίζεται ότι 1 bar=0,987atm=14,5psi)

5.1.3.2 Βαθμός Ανάκτησης Αφαλατωτή (Recovery Ratio)

Ο βαθμός ανάκτησης, R, είναι μια σημαντική παράμετρος στον σχεδιασμό και την λειτουργία του συστήματος αντίστροφης όσμωσης. Ο βαθμός ανάκτησης επιδρά στο αριθμό περασμάτων του άλατος (salt passages) και στη παροχή του παραγόμενου νερού και υπολογίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$R = \frac{Q_p}{Q_f} * 100\%$$

$$Q_f = Q_b + Q_p$$

όπου:

Q_f : παροχή θαλασσινού νερού, m³/sec

Q_b : παροχή άλμης, m³/sec

Q_p : παροχή καθαρού νερού, m³/sec

Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση, για κάθε μία από τις τρεις μονάδες αφαλάτωσης οι παραπάνω παράμετροι παίρνουν τις εξής τιμές:

$$Q_p = 63,6 m^3/h$$

$$Q_b = 100 m^3/h$$

Συνεπώς:

$$Q_f = Q_b + Q_p = 163,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Recovery Ratio} = \frac{63,6}{163,6} * 100\% = 38,88\%$$

5.1.3.3 Ισχύς Αντλίας Τροφοδοσίας Θαλασσινού Νερού (*Seawater Booster Pump*)

Η ισχύς που απαιτείται για την λειτουργία της αντλίας τροφοδοσίας θαλασσινού νερού δίνεται από τον τύπο:

$$P_{BP} = \frac{\rho * g * h * Q}{n_p}$$

όπου:

ρ : πυκνότητα θαλασσινού νερού στους 25°C , kg/m^3

h : μανομετρικό ύψος, m

g : επιτάχυνση της ταχύτητας, $9,81 \text{ m}/\text{sec}^2$

Q : παροχή θαλασσινού νερού, m^3/sec

n_p : βαθμός απόδοσης αντλίας, %

Με εφαρμογή της παραπάνω σχέσης και με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας, τα οποία δίνονται στην τεχνική έκθεση της αφαλάτωσης [2], συμπληρώνεται κατάλληλα ο πίνακας που ακολουθεί:

Παροχή Q (m^3/h)	163,6
Παροχή Q (m^3/s)	0,045
Βαθμός Απόδοσης n_p	0,81
Μανομετρικό Ύψος (m)	49
g (m/s^2)	9,81
ρ (Kg/m^3)	1026
P_{BP} (kW)	27,67

Πίνακας 5.3 Ισχύς αντλίας τροφοδοσίας θαλασσινού νερού

(Υπενθυμίζεται ότι $1\text{W} = 1\text{Kg} * \text{m}^2/\text{s}^3$)

5.1.3.4 Ισχύς Αντλίας Κυκλοφορίας (*ERI Booster Pump*)

Η απαιτούμενη ισχύς για την λειτουργία της αντλίας κυκλοφορίας του συστήματος εναλλαγής πίεσης υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$P_{ERI_BP} = \frac{\rho * g * h * Q_f}{n_p}$$

όπου:

ρ : πυκνότητα θαλασσινού νερού στους 25°C , kg/m^3

h : μανομετρικό ύψος, m

g : επιτάχυνση της ταχύτητας, $9,81 \text{ m}/\text{sec}^2$

Q_f : παροχή θαλασσινού νερού, m^3/sec

n_p : βαθμός απόδοσης αντλίας, %

Με εφαρμογή της παραπάνω σχέσης και βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών της επιλεγθείσας αντλίας συμπληρώνεται κατάλληλα ο παρακάτω πίνακας:

Παροχή Q_f (m ³ /h)	97,4
Παροχή Q_f (m ³ /s)	0,027
Βαθμός Απόδοσης n_p	0,764
Μανομετρικό Ύψος (m)	28,93
g (m/s ²)	9,81
ρ (Kg/m ³)	1026
P_{ERL_BP} (kW)	10,3

Πίνακας 5.4 Ισχύς αντλίας κυκλοφορίας

(Υπενθυμίζεται ότι 1m μανομετρικού ύψους = 0.1bar = 0,0987atm)

5.1.3.5 Ισχύς Αντλίας Υψηλής Πίεσης με Ανάκτηση Ενέργειας (*High Pressure Pump*)

Η αντλία υψηλής πίεσης αποτελεί το πιο ενεργοβόρο κομμάτι κάθε μονάδας αφαλάτωσης. Για την εύρεση της απαιτούμενης ισχύος για τη λειτουργία της χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$P_{HPP_with_ER} = \frac{P_f * Q_f}{n_p}$$

όπου:

P_{HPP} : ισχύς αντλίας, kW

P_f : πίεση τροφοδότησης, N/m²

Q_f : παροχή θαλασσινού νερού, m³/sec

n_p : βαθμός απόδοσης αντλίας, %

Από την εφαρμογή του παραπάνω τύπου και από τη τεχνική έκθεση της αφαλάτωσης συμπληρώνεται ο πίνακας που ακολουθεί:

Παροχή Q_f (m ³ /h)	66,1
Παροχή Q_f (m ³ /s)	0,018
Βαθμός Απόδοσης n_p	0,727
Πίεση Κατάθλιψης P_f (N/m ²)	6.470.000
$P_{HPPwith ER}$ (kW)	163,4

Πίνακας 5.5 Ισχύς αντλίας υψηλής πίεσης με ανάκτηση ενέργειας

(Υπενθυμίζεται ότι 1bar= 10⁵N/m²)

5.1.3.6 Εκτιμώμενη Ισχύς Αντλίας Υψηλής Πίεσης Χωρίς Ανάκτηση Ενέργειας

Για τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας που ακολουθεί, είναι απαραίτητος ο προηγούμενος υπολογισμός της ισχύος της αντλίας υψηλής πίεσης στη περίπτωση που η ίδια μονάδα αφαλάτωσης δεν είχε σύστημα εναλλαγής πίεσης. Σε μια τέτοια περίπτωση το σύνολο του θαλασσινού νερού θα παρέχονταν στον αφαλατωτή αποκλειστικά από την αντλία υψηλής πίεσης. Για την εύρεση της απαιτούμενης ισχύος για τη λειτουργία της χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$P_{HPP_without_ER} = \frac{P_f * Q_f}{n_p}$$

όπου:

P_{HPP} : ισχύς αντλίας, kW
 P_f : πίεση τροφοδότησης, N/m²
 Q_f : παροχή θαλασσινού νερού, m³/sec
 η_p : βαθμός απόδοσης αντλίας, %

Με εφαρμογή του παραπάνω τύπου συμπληρώνεται ο πίνακας που ακολουθεί και βρίσκεται η εκτιμώμενη ισχύς της αντλίας υψηλής πίεσης:

Παροχή Q_f (m ³ /h)	163,6
Παροχή Q_f (m ³ /s)	0,045
Βαθμός Απόδοσης η_p	0,9
Πίεση Κατάθλιψης P_f (N/m ²)	6.470.000
$P_{HPP\text{without ER}}$ (kW)	326,7

Πίνακας 5.6 Εκτιμώμενη ισχύς αντλίας υψηλής πίεσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας
 (Υπενθυμίζεται ότι 1bar= 10⁵N/m²)

5.1.3.7 Ανακτώμενη Ισχύς

Η ισχύς που ανακτάται από τις συσκευές ανάκτησης ενέργειας, δηλαδή τους δύο εναλλάκτες πίεσης ανά μονάδα αφαλάτωσης, δίνεται από την σχέση:

$$ER = Pr_b * Q_b * \eta_t$$

όπου:

Pr_b : πίεση άλμης, N/m²
 Q_b : παροχή άλμης, m³/sec
 η_t : βαθμός απόδοσης εναλλάκτη πίεσης, %

Με εφαρμογή του παραπάνω τύπου συμπληρώνεται ο πίνακας που ακολουθεί και βρίσκεται η συνολική ανακτώμενη ισχύς:

Πίεση Pr_b (N/m ²)	6.220.000
Παροχή Q_b (m ³ /h)	100
Παροχή Q_b (m ³ /s)	0,028
Βαθμός Απόδοσης η_t	0,943
Ανακτώμενη Ισχύς ER (kW)	162,93

Πίνακας 5.7 Ανακτώμενη ισχύς

(Υπενθυμίζεται ότι 1bar= 10⁵N/m² και 1W=1N*m/s)

Το ποσοστό της ανακτώμενης ισχύος από τους δύο εναλλάκτες ενέργειας ανά μονάδα αφαλάτωσης προκύπτει από την σχέση:

$$\text{Ποσοστό Ανακτώμενης Ισχύος ή Ενέργειας} = \frac{ER}{P_{HPP\text{without ER}}}$$

Από την εφαρμογή της προκύπτει ποσοστό ίσο με **50%**.

5.1.3.8 Ισχύς Πιεστικού Συγκροτήματος Αντλιών Τροφοδοσίας Αφαλατωμένου Νερού

Το δίκτυο ύδρευσης θα τροφοδοτείται από ένα πιεστικό συγκρότημα δύο αντλιών με δυνατότητα τροφοδοσίας 190 m³/h. Η απαιτούμενη ισχύς για την λειτουργία του υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$P_{PERMEATE_WATER} = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot Q}{n_p}$$

όπου:

ρ : πυκνότητα αφαλατωμένου νερού στους 25°C, kg/m³

h : μανομετρικό ύψος, m

g : επιτάχυνση της ταχύτητας, 9,81m/sec²

Q : παροχή αφαλατωμένου νερού, m³/sec

n_p : βαθμός απόδοσης αντλίας, %

Με εφαρμογή της παραπάνω σχέσης και βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών των αντλιών συμπληρώνεται κατάλληλα ο παρακάτω πίνακας:

Παροχή Q (m ³ /h)	190
Παροχή Q (m ³ /s)	0,053
Βαθμός Απόδοσης n _p	0,98
Μανομετρικό Ύψος (m)	150
g (m/s ²)	9,81
ρ (Kg/m ³)	999
P_{PERMEATE_WATER} (kW)	79,17

Πίνακας 5.8 Ισχύς αντλίας τροφοδοσίας αφαλατωμένου νερού

(Υπενθυμίζεται ότι 1m μανομετρικού ύψους =0.1bar =0,0987atm και 1W= 1Kg*m²/s³)

5.1.3.9 Ισχύς Αντλίας Έκπλυσης Μεμβρανών

Η ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας έκπλυσης μεμβρανών μετά την παύση της κανονικής λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης δίνεται από τον τύπο:

$$P_{MFP} = \frac{P \cdot Q}{n_p}$$

όπου:

P : πίεση νερού, N/m²

Q : παροχή νερού, m³/s

n_p : βαθμός απόδοσης αντλίας, %

Από την εφαρμογή του παραπάνω τύπου και από τη τεχνική έκθεση της αφαλάτωσης συμπληρώνεται κατάλληλα ο πίνακας που ακολουθεί:

Πίεση P (N/m ²)	270.538
Παροχή Q (m ³ /h)	36
Παροχή Q (m ³ /s)	0,01
Βαθμός Απόδοσης n _p	0,69
P_{MFP} (kW)	3,92

Πίνακας 5.9 Ισχύς αντλίας έκπλυσης μεμβρανών και αντλίας υψηλής πίεσης

(Υπενθυμίζεται ότι $1atm = 101.325N/m^2$)

5.1.3.10 Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας

Η ενεργειακή κατανάλωση ανά κυβικό παραγόμενου νερού υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{Ειδ. Κατ. Ενέργειας} = \frac{(P_{bp} + P_{HPP_without_ER} - ER) * 24hours}{Q_p}$$

όπου:

P_{bp} : ισχύς αντλίας τροφοδοσίας θαλασσινού νερού, kW

$P_{HPP_without_ER}$: ισχύς αντλίας υψηλής πίεσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας, kW

ER : ανακτώμενη ισχύς, kW

Q_p : ημερήσια παροχή αφαλατωμένου νερού, m^3/day

Εφαρμόζοντας κατάλληλα την παραπάνω σχέση υπολογίζεται η ειδική κατανάλωση ενέργειας για κάθε μια από τις τρεις μονάδες αφαλάτωσης:

P_{bp} (kW)	27,67
$P_{HPP_without_ER}$ (kW)	326,7
ER (kW)	162,93
Q_p (m^3/day)	1505,4
Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m^3)	3,052

Πίνακας 5.10 Ειδική κατανάλωση ενέργειας

5.1.4 Διαστασιολόγηση Μερών Μίας Μονάδας Αφαλάτωσης [4,16]

5.1.4.1 Χωρητικότητα Δοχείου Έκπλυσης (Draw Back Tank)

Ο όγκος του νερού που περιέχεται στις μεμβράνες και στα δίκτυα υψηλής πίεσης πρέπει να εκτοπίζεται σε κατάσταση στάσης της συσκευής για την αποφυγή διαβρώσεων που προκαλεί η επαφή με το θαλασσινό νερό. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιείται δοχείο αφαλατωμένου νερού για έκπλυση και μία αντλία έκπλυσης. Η χωρητικότητα του δοχείου, σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας *Filmtec*, προκύπτει από την σχέση:

$$V = 25 * (\text{Αριθμός Μεμβρανών}) - (\text{Όγκος Σωληνώσεων Σύνδεσης Μεμβρανών} - \text{Δοχείου (συνήθως αμελητέο)})$$

Συνήθως ο όγκος σωληνώσεων σύνδεσης Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της αφαλάτωσης κάθε μια μονάδα αφαλάτωσης αποτελείται από 15 δοχεία πίεσεως με 7 στοιχεία μεμβρανών ανά δοχείο. Συνολικά, λοιπόν, έχουμε 105 στοιχεία μεμβρανών και προκύπτει ότι:

$$V = 25 * 105 = 2625 \text{ lt}$$

Το δοχείο έκπλυσης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 2625 lt και συνεπώς επιλέγεται δοχείο έκπλυσης 3000lt ανά αφαλατωτή.

5.1.4.2 Χωρητικότητα Δοχείου Χημικού Καθαρισμού

Σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρείας *Filmtec*, το δοχείο χημικού καθαρισμού πρέπει να έχει χωρητικότητα ίση με το άθροισμα του όγκου των άδειων δοχείων πίεσης και του όγκου των σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής του χημικού διαλύματος.

➤ Όγκος δοχείων πίεσης

Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της αφαλάτωσης, κάθε μονάδα αφαλάτωσης αποτελείται από 15 παράλληλα δοχεία πίεσης, διαμέτρου 8 ιντσών το καθένα, με 7 στοιχεία μεμβρανών ανά δοχείο. Επίσης κάθε δοχείο πίεσης έχει μήκος ίσο με 7661mm. Με βάσει τα στοιχεία αυτά, με κατάλληλες μετατροπές μονάδων, υπολογίζεται ο όγκος του κάθε δοχείου και συνάμα ο συνολικός όγκος των 15 δοχείων πίεσης ανά αφαλατωτή συμπληρώνοντας τον πίνακα που ακολουθεί σύμφωνα με τους τύπους:

$$V_{\text{vessel}} = \frac{3,14 \cdot (4\text{in})^2 \cdot (25,13\text{ft}) \cdot (7,48\text{gal}/\text{ft}^3)}{144\text{in}^2/\text{ft}^2}$$

$$V_{15_vessels} = 105 * V_{\text{vessel}}$$

Εσωτερική Διάμετρος Δοχείων Πίεσης(in)	8
Μήκος δοχείου (mm)	7661
Μήκος δοχείου (ft)	25,13
V_{vessel} (gal)	65,63
$V_{15_vessels}$ (gal)	984,4
$V_{15_vessels}$ (m ³)	3,73

Πίνακας 5.11 Υπολογισμός όγκου δοχείων πίεσης

(Υπενθυμίζεται ότι $1\text{m}=3,28084\text{ft}$, $1\text{ft}^3=7,48\text{gal}$, $1\text{ft}^2=144\text{in}^2$ και $1\text{gal}=0,003785\text{m}^3$ περίπου)

➤ Όγκος Σωλήνων Προσαγωγής & Επιστροφής

Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση, χρησιμοποιούνται περίπου 40m σωληνώσεων προσαγωγής και επιστροφής με διάμετρο 4 ίντσες. Με εφαρμογή του παρακάτω τύπου συμπληρώνεται κατάλληλα ο πίνακας που ακολουθεί:

$$V_{\text{pipe}} = \frac{\pi \cdot (4\text{in})^2 \cdot (131,23\text{ft}) \cdot (7,48\text{gal}/\text{ft}^3)}{144\text{in}^2/\text{ft}^2}$$

$$V_{\text{pipe}} = 85,66\text{gal}$$

Μήκος Σωλήνων (m)	40
Μήκος Σωλήνων (ft)	131,23
Διάμετρος Σωλήνων (in)	4
V_{pipe} (gal)	85,66
V_{pipe} (m ³)	0,32

Πίνακας 5.12 Υπολογισμός όγκου σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής

(Υπενθυμίζεται ότι $1m=3,28084ft$, $1ft^3=7,48gal$, $1ft^2=144in^2$ και $1gal=0,003785m^3$ περίπου)

Από τους παραπάνω δύο πίνακες υπολογίζουμε ότι η συνολική χωρητικότητα του δοχείου χημικού καθαρισμού ανά μονάδα αφαλάτωσης είναι:

$$V_{15vessels+pipe} = 4,05m^3$$

5.2 Σενάρια Λειτουργίας των Τριών Νέων Μονάδων Αφαλάτωσης

Για τον υπολογισμό της συνολικά απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία της καθεμίας από τις τρεις μονάδες αφαλάτωσης, αρχικά, γίνεται ο διαχωρισμός των φορτίων της κάθε μονάδας βάσει της κατάστασης λειτουργίας της. Διαχωρίζουμε, λοιπόν, τη λειτουργία των μονάδων σε:

- Κανονική λειτουργία
- Διαδικασία ξεπλύματος

Με βάση αυτόν τον διαχωρισμό υπολογίζουμε την εκάστοτε ετήσια απαιτούμενη ενέργεια κάθε μονάδας ξεχωριστά και την συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργεια και των τριών μονάδων αφαλάτωσης.

Η κάθε μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί κανονικά για μεταβλητό αριθμό ωρών ανά ημέρα σύμφωνα με τις ανάγκες. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας κανονικής λειτουργίας λαμβάνονται υπόψη οι αναλισκόμενες ισχύς των τριών κυριότερων αντλιών (αντλία υψηλής πίεσης, αντλία τροφοδοσίας θαλασσινού νερού, αντλία κυκλοφορίας) καθώς και η ισχύς 15 τροφοδοτικών αντλιών χημικών ανά μονάδα αφαλάτωσης. Βάσει των διαθέσιμων στοιχείων της τεχνικής έκθεσης συμπληρώνεται ο πίνακας που ακολουθεί και υπολογίζεται ότι η συνολική αναλισκόμενη ισχύς κάθε μίας από τις τρεις μονάδες στην κανονική λειτουργία είναι ίση με 204,9 kW [2].

P_{bp} (kW)	29,6
$P_{HPP_with_ER}$ (kW)	163
P_{cp} (kW)	12
Τροφοδοτικές Αντλίες Χημικών (kW)	0,3
Συνολική Αναλισκόμενη Ισχύς (kW)	204,9

Πίνακας 5.13 Συνολική αναλισκόμενη ισχύς ανά μονάδα αφαλάτωσης

Από την άλλη, η διαδικασία έκπλυσης των μεμβρανών και της αντλίας υψηλής πίεσης λαμβάνει χώρα καθημερινά για 20 λεπτά, όταν η μονάδα αφαλάτωσης τίθεται εκτός λειτουργίας. Η

μοναδική αντλία που λαμβάνει μέρος σε αυτήν την διαδικασία είναι η εγκατεστημένη αντλία έκπλυσης, η ισχύς της οποίας είναι 4 kW. Η αντλία λειτουργεί 122 ώρες ανά έτος και η τελική ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 488 kWh, ανεξαρτήτως των σεναρίων κανονικής λειτουργίας των μονάδων.

$P_{\text{ΑΝΤΛΙΑ_ΕΚΠΛΥΣΗΣ}}$ (kW)	4
Ωρες Λειτουργίας ανά Έτος (h)	122
Ημερήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	1,33
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	488

Πίνακας 5.14 Ημερήσια και Ετήσια κατανάλωσης ενέργειας διαδικασίας ξεπλύματος

Τέλος, επισημαίνεται ότι στη μελέτη μας το έτος ισούται με 366 μέρες, λόγω του ότι μελετάμε τα ανεμολογικά στοιχεία της Μυκόνου του Κ.Α.Π.Ε. για την χρονική περίοδο Ιούλιος 1999-Ιούνιος 2000 και το 2000 ήταν ένα δίσεκτο έτος.

5.2.1 Σενάριο Ν^ο1: Λειτουργία αφαλάτωσης 8 ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24 ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριος

➤ Κατανάλωση Ενέργειας Κανονικής Λειτουργίας

Το πρώτο σενάριο λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης είναι ένα συντηρητικό σενάριο με λίγες ώρες λειτουργίας από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο, λαμβάνοντας υπόψη το τέλος της τουριστικής περιόδου τον Οκτώβριο και την επανέναρξή της τον Μάιο. Γίνονται, λοιπόν, υπολογισμοί βάσει του σεναρίου ότι η κάθε μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί κανονικά για 8 ώρες/ημέρα για 6 μήνες (Νοέμβριο με Απρίλιο) και 24 ώρες/ημέρα για τους υπόλοιπους 6 μήνες (Μάιο με Οκτώβριο). Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί, στον οποίο βρίσκουμε ότι κατά την κανονική λειτουργία ετησίως κάθε μονάδα καταναλώνει 1.190.731 kWh.

ΜΟΝΑΔΑ Ν^ο1/Ν^ο2/Ν^ο3	
Συνολική Αναλισκόμενη Ισχύς (kW)	204,9
Ωρες Λειτουργίας ανά Έτος (h)	5.811
Ετήσια Παραγωγή Νερού (m ³)	369.597
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	1.190.731
Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m³)	3,22

Πίνακας 5.15 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κανονικής λειτουργίας ανά μονάδα

Να σημειωθεί ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας, που γίνεται αναφορά στον παραπάνω πίνακα, προκύπτει από την διαίρεση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας με την ετήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού.

➤ **Κατανάλωση Ενέργειας Διαδικασίας Ξεπλύματος (FLUSHING)**

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία ξεπλύματος υπολογίζεται όπως προηγουμένως και είναι ίση με 488 kWh ανά μονάδα αφαλάτωσης.

➤ **Ετήσια Κατανάλωσης Ενέργειας Τριών Μονάδων Αφαλάτωσης**

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας υπολογισμού της ετήσιας κατανάλωσης του νέου εργοστασίου αφαλάτωσης βάσει του οποίου θα γίνει η σωστή επιλογή του μεγέθους της ανεμογεννήτριας για το πρώτο σενάριο λειτουργίας του.

Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας Μονάδας Ν ^ο 1/Ν ^ο 2 /Ν ^ο 3 (kWh)	1.191.219
Συνολική Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	3.573.658

Πίνακας 5.16 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας 3 μονάδων αφαλάτωσης

Συνεπώς, η ενέργειας που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία των τριών νέων μονάδων αφαλάτωσης είναι 3.573.658 kWh.

5.2.2 Σενάριο Ν^ο2: Λειτουργία αφαλάτωσης 12 ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24 ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριος

➤ **Κατανάλωση Ενέργειας Κανονικής Λειτουργίας**

Κατά το δεύτερο σενάριο λειτουργίας, αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο από 8 ώρες ημερησίως σε 12 για την κάθε μονάδα, ενώ για τους υπόλοιπους μήνες λειτουργούν 24 ώρες/ημέρα. Όπως και προηγουμένως, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί, από τον οποίο βρίσκουμε ότι κατά την κανονική λειτουργία ετησίως κάθε μονάδα καταναλώνει 1.339.898 kWh.

ΜΟΝΑΔΑ Ν^ο1/Ν^ο2/Ν^ο3	
Συνολική Αναλισκόμενη Ισχύς (kW)	204,9
Ώρες Λειτουργίας ανά Έτος (h)	6539
Ετήσια Παραγωγή Νερού (m ³)	415.898
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	1.339.898
Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m³)	3,22

Πίνακας 5.17 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κανονικής λειτουργίας ανά μονάδα

➤ **Κατανάλωση Ενέργειας Διαδικασίας Ξεπλύματος (FLUSHING)**

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία ξεπλύματος υπολογίζεται όπως προηγουμένως και ισούται με 488 kWh ανά μονάδα αφαλάτωσης.

➤ **Ετήσια Κατανάλωσης Ενέργειας Τριών Μονάδων Αφαλάτωσης**

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας υπολογισμού της ετήσιας κατανάλωσης του νέου εργοστασίου αφαλάτωσης βάσει του οποίου θα γίνει η σωστή επιλογή του μεγέθους της ανεμογεννήτριας.

Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας Μονάδας Ν°1/Ν°2 /Ν°3 (kWh)	1.340.387
Συνολική Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	4.021.159

Πίνακας 5.18 Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας 3 μονάδων αφαλάτωσης

Συνεπώς, η ενέργεια που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία των τριών νέων μονάδων αφαλάτωσης είναι 4.021.159 kWh.

5.2.3 Σενάριο Ν°3: Λειτουργία αφαλάτωσης 24 ώρες/ημέρα όλο το έτος ("Worst Case Analysis")

➤ Κατανάλωση Ενέργειας Κανονικής Λειτουργίας

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο λειτουργίας των αφαλατώσεων αναλύεται η πιο ενεργοβόρα περίπτωση λειτουργίας του εργοστασίου αφαλάτωσης, σύμφωνα με το οποίο η κάθε μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί κανονικά για 24 ώρες/ημέρα για 366 ημέρες σε ένα έτος. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 1.775.094 kWh, αυξάνοντας στο μέγιστο βαθμό την καταναλισκόμενη ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία της καθεμίας μονάδας αφαλάτωσης.

ΜΟΝΑΔΑ Ν°1/Ν°2/Ν°3	
Συνολική Αναλισκόμενη Ισχύς (kW)	204,9
Ώρες Λειτουργίας ανά Έτος (h)	8.663
Ετήσια Παραγωγή Νερού (m ³)	550.981
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	1.775.094
Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m³)	3,22

Πίνακας 5.19 Ετήσια κατανάλωση ενέργειας κανονικής λειτουργίας ανά μονάδα

➤ Κατανάλωση Ενέργειας Διαδικασίας Ξεπλύματος (FLUSHING)

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία ξεπλύματος υπολογίζεται όπως προηγουμένως και είναι ίση με 488 kWh ανά μονάδα αφαλάτωσης.

➤ Ετήσια Κατανάλωσης Ενέργειας Τριών Μονάδων Αφαλάτωσης

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας υπολογισμού της ετήσιας κατανάλωσης του νέου εργοστασίου αφαλάτωσης βάσει του οποίου θα γίνει η σωστή επιλογή του μεγέθους της ανεμογεννήτριας.

Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας Μονάδας Ν°1/Ν°2 /Ν°3 (kWh)	1.775.582
Συνολική Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	5.326.745

Πίνακας 5.20 Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας 3 μονάδων αφαλάτωσης

Συνεπώς η ενέργεια που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία των τριών νέων μονάδων αφαλάτωσης είναι 5.326.745 kWh.

5.3 Οικονομική Ανάλυση Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης [2]

Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση, το κόστος λειτουργίας απαρτίζεται από:

- Κόστος ενέργειας
- Κόστος χημικών
- Κόστος προσωπικού
- Κόστος συντήρησης

Αναλυτικά το κάθε κόστος ανά παραγόμενο κυβικό αφαλατωμένου νερού έχει ως εξής:

5.3.1 Κόστος Ενέργειας

Όπως υπολογίστηκε παραπάνω, για κάθε μονάδα αφαλάτωσης η αναλίσκόμενη ισχύς (P1) που είναι η ισχύς που καταγράφει ο μετρητής της Δ.Ε.Η., είναι 204,9 kW, δηλαδή ωριαία καταναλώνονται 204,9 kWh και παράγονται 63,6 m³, οπότε η ειδική κατανάλωση ενεργείας είναι 3,2217 kWh/m³ παραγομένου νερού. Με 0,08 €/kWh που είναι ένα ενδεικτικό τιμολόγιο μέσης τάσης της Δ.Ε.Η., το κόστος ενέργειας είναι 0,25774 €/m³.

5.3.2 Κόστος Χημικών

➤ Υποχλωριώδες Νάτριο (NaOCL 14%)

Η δόση υποχλωριώδους νατρίου 14% για την προχλωρίωση κατά μέσο όρο είναι 10 ppm (mg/l) και αυτό διότι το θαλασσινό νερό έχει μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα και απαιτεί μεγάλη δόση για την οξείδωση των συστατικών του και την απολύμανση του. Σε μία ώρα χλωριώνονται 163,6 m³ με δόση 10 mg/l (gr/m³), συνεπώς αναλώνονται 1636 gr, ενώ παράγονται 63,6 m³. Άρα καταναλώνονται 25,7 gr/m³.

Η δόση της μεταχλωρίωσης κατά μέσο όρο είναι 0,2 ppm, διότι το νερό είναι καθαρό και ως προερχόμενο από αντίστροφη όσμωση είναι απαλλαγμένο οργανικού φορτίου. Σε μία ώρα χλωριώνονται 63,6 m³ με δόση 0,2 mg/l και πυκνότητα διαλύματος 14%. Συνεπώς αναλώνονται 90,86gr και παράγονται 63,6 m³. Άρα καταναλώνονται 1,4 gr/m³. Συνεπώς η ολική κατανάλωση υποχλωριώδους νατρίου 14% είναι 27,2 gr/m³.

Η τιμή του υποχλωριώδους νατρίου 14% είναι ίση με 0,152 €/kg και συνεπώς το κόστος προκύπτει ίσο με 0,00413 €/m³.

➤ Θειικό Οξύ (H₂SO₄ 98%)

Η δόση θειικού οξέος για την ταπείνωση του pH του θαλασσινού νερού στα 7,49, όπως καθορίζεται στο φύλλο υπολογισμού της *Filmtec*, είναι 25,36 ppm. Σε μία ώρα τροφοδοτούνται στην συσκευή αντίστροφης όσμωσης 163,6 m³ νερό με δόση οξίνισης 25,36 mg/l και πυκνότητα διαλύματος 98%. Συνεπώς αναλώνονται 4233,6 gr οξέος ενώ παράγονται 63,6 m³ πόσιμο νερό. Άρα καταναλώνονται 66,57 gr/m³. Η δόση θειικού οξέος για την ταπείνωση του pH του αφαλατωμένου νερού, όπως προκύπτει από τους αντίστοιχους υπολογισμούς, είναι 69,6 ppm. Σε μία ώρα οξινίζονται 63,6 m³ νερό με δόση 69,6 mg/l οξέος πυκνότητας 98%. Συνεπώς αναλώνονται 4516,9 gr οξέος και παράγονται 63,6 m³. Άρα καταναλώνονται 71,02 gr/m³. Συνεπώς, η ολική κατανάλωση θειικού οξέος πυκνότητας 98% είναι 137,59 gr/m³. Η τιμή του θειικού οξέος πυκνότητας 98% είναι ίση με 0,21 €/kg και συνεπώς το κόστος ανέρχεται σε 0,02889 €/m³.

➤ **Όξινο Θειώδες Νάτριο**

Αντίστοιχα υπολογίζεται ότι για μέση ασφαλή δοσολογία όξινου θειώδους νατρίου 2 ppm, η κατανάλωση είναι $5,14 \text{ gr/m}^3$ παραγομένου νερού και για τιμή του χημικού 0,3 €/kg το κόστος είναι $0,00154 \text{ €/m}^3$.

➤ **Ανθρακικό Ασβέστιο**

Η ανάλωση ανθρακικού ασβεστίου για την αύξηση της σκληρότητας και της αλκαλικότητας του αφαλατωμένου νερού, όπως προκύπτει από τους αντίστοιχους υπολογισμούς, είναι 142 gr/m^3 . Το κόστος ανθρακικού ασβεστίου ισούται με 0,53 €/kg, και συνεπώς το κόστος είναι $0,07526 \text{ €/m}^3$.

Τέλος, αθροιστικά το ολικό κόστος χημικών προκύπτει ίσο με $0,10982 \text{ €/m}^3$.

5.3.3 Κόστος Προσωπικού

Οι απαιτήσεις σε προσωπικό περιορίζονται σε απλή παρακολούθηση, καταγραφή των δεδομένων λειτουργίας σε τακτά διαστήματα, όπως ορίζουν τα εγχειρίδια λειτουργίας της μονάδας, τυχόν ρυθμίσεις απορρυθμισμένων δοσομετρητών, βαλβίδων κλπ, συμπλήρωση των κάρδων με χημικά και εκτέλεση τυχόν χημικών καθαρισμών. Το προσωπικό που ήδη απασχολείται από τη Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου στην υπάρχουσα μονάδα αφαλάτωσης επαρκεί.

Τα παραπάνω αντιστοιχούν σε εργασία περίπου δεκαέξι ωρών ημερησίως συνολικά.

5.3.4 Κόστος Συντήρησης

➤ **Αντικατάσταση Φυσιγγίων Προφίλτρων**

Η αντικατάσταση των φυσιγγίων προβλέπεται να γίνεται ανά 3 μήνες λειτουργίας. Σε πλήρη λειτουργία, σε 3 μήνες έχουν παραχθεί κατά μέσο όρο: $3*30*1500=135.000 \text{ m}^3$ ποσίμου νερού. Τα προφίλτρα περιέχουν 60 φυσιγγια, που η αντικατάστασή τους ενδεικτικά κοστίζει $60*10\text{€}=600 \text{ €}$. Συνεπώς η κατανάλωση φυσιγγίων είναι $0,00444 \text{ €/m}^3$.

➤ **Μεμβράνες Αντίστροφης Όσμωσης**

Το προσφερόμενο σύστημα έχει υπολογιστεί για 3 χρόνια λειτουργίας των μεμβρανών και στην χειρότερη περίπτωση τότε θα χρειαστούν αντικατάσταση οι μισές μεμβράνες. Σε τρία χρόνια θα έχουν παραχθεί $1.642.500 \text{ m}^3$ νερού.

Η τιμή μίας μεμβράνης (εσωτερικό στοιχείο μόνον, διότι το κέλυφος δεν θα αντικατασταθεί) είναι 1.000 € και χρησιμοποιούνται 105 μεμβράνες, οπότε το κόστος αντικατάστασης είναι, για 53 μεμβράνες, ίσο με 53.000 €.

Άρα το κόστος είναι $0,03227 \text{ €/m}^3$ και συνεπώς το ολικό κόστος συντήρησης ανέρχεται σε $0,03671 \text{ €/m}^3$.

Οι παραπάνω υπολογισμοί είναι ενδεικτικοί και αποσκοπούν στον προσδιορισμό ενός ενδεικτικού λειτουργικού κόστους. Συνολικά, λοιπόν, αθροίζοντας τα παραπάνω επιμέρους κόστη προκύπτει ότι το ολικό ενδεικτικό κόστος ισοδυναμεί με $0,40427 \text{ €/m}^3$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

6.1 Υπολογισμός Εκτιμώμενης Ενεργειακής Παραγωγής Α/Γ με Δύο Μεθόδους & Εφαρμογή σε 16 Εμπορικές Α/Γ

6.1.1 Ανάπτυξη Μεθόδων Υπολογισμού Εκτιμώμενης Παραγωγής Ενέργειας Α/Γ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες υπολογισμού της εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας των 16 εξεταζόμενων Α/Γ. Με την πρώτη μεθοδολογία γίνεται προσπάθεια λεπτομερούς προσέγγισης της καμπύλης ισχύος κάθε Α/Γ με πολυωνυμικές γραμμές τάσης, ενώ η δεύτερη καλύπτει την εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* του Κ.Α.Π.Ε. Εκτενής ανάλυση των μεθόδων παρουσιάζεται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

6.1.1.1 1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης [1,4]

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από μια Α/Γ για ένα χρονικό διάστημα Δt είναι απαραίτητα τα εξής:

1. η γνώση της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος της πλήμνης
2. η διαθεσιμότητα της Α/Γ (το ποσοστό του χρόνου που η μηχανή είναι σε λειτουργική ετοιμότητα)
3. η καμπύλη ισχύος της Α/Γ που δίνει ο κατασκευαστής

Έτσι προκύπτει ότι η παραγόμενη ενέργεια για ένα έτος (kWh) θα είναι:

$$E_w = \sum P_w(U_{Hub}(t)) * AV(t) * \Delta t$$

όπου:

P_w : η παραγόμενη ισχύς δεκαλέπτου (kW), η οποία υπολογίζεται από την αντίστοιχη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης (U_{Hub}) και την καμπύλη ισχύος της Α/Γ.

AV : η διαθεσιμότητα της Α/Γ σε επίπεδο δεκαλέπτου (0 εάν είναι εκτός ή 1 εάν είναι εντός). Σημειώνεται ότι στην εν λόγω μελέτη πάντα ισούται με την μονάδα καθώς η παραγόμενη ενέργεια (E_w) πολλαπλασιάζεται με έναν γενικός συντελεστής απωλειών που εμπεριέχει, εκτός των άλλων, και έναν ενδεικτικό συντελεστή διαθεσιμότητας Α/Γ.

Δt : το ένα δεκάλεπτο εκφρασμένο σε ώρες (1/6 h)

Από την μετρημένη ταχύτητα (U_{ref}) στο ύψος του ιστού μέτρησης ανέμου (H_{ref}) υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ βάσει του λεγόμενου «εκθετικού νόμου»:

$$\frac{U_{Hub}}{U_{ref}} = \left(\frac{H_{Hub}}{H_{ref}} \right)^a$$

όπου:

a: ο εκθέτης του εκθετικού νόμου

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιούνται οι εξής δύο τιμές:

- $a=0,04$: για μια τυπική, ασφαλή προσέγγιση της ταχύτητας πλήμνης και
- $a=0,00$: για μια συντηρητική προσέγγιση, για την περίπτωση που η θέση μέτρησης είναι τέτοια ώστε να παρουσιάζεται υπερτάχυνση στα χαμηλά ύψη (ύψος ιστού) και πιο ψηλά να σταθεροποιείται

Από την άλλη, η καμπύλη ισχύος της εκάστοτε Α/Γ είτε διατίθεται έτοιμη από τον κατασκευαστή είτε δίνεται ο πίνακας αντιστοιχίας ταχύτητας ανέμου στη πλήμνη και παραγόμενης ισχύος. Για την εύρεση της παραγόμενης ισχύος 10λέπτου (P_w), γνωρίζοντας την ταχύτητα ανέμου πλήμνης δεκαλέπτου, χωρίζεται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ σε 2-4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου. Κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια Πολυωνμική Γραμμή Τάσης (*Polynomial Trendline*) από αυτές που είναι διαθέσιμες από το πρόγραμμα *Microsoft Office Excel 2010*. Βασικός γνώμονας για την τελική επιλογή της πολυωνμικής γραμμής τάσης είναι ο συντελεστής παλινδρόμησης (R^2). Κατά σύμβαση, έγκυρες θεωρούνται οι γραμμές τάσης με R^2 (*goodness of fit*) μεγαλύτερο του 0,98. Τιμές του συντελεστή παλινδρόμησης κοντά στην μονάδα, δείχνουν ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται ικανοποιητικά από την επιλεγθείσα πολυωνμική γραμμή τάσης. Ο συντελεστής παλινδρόμησης (R^2) υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSM}$$

όπου:

$$SSE = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SSM = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

με $\hat{y} = ax + b$ (a, b οι συντελεστές της γραμμικής παρεμβολής)

Αντικαθιστώντας ,τέλος, στην εξίσωση της πολυωνμικής γραμμής τάσης την ταχύτητα ανέμου πλήμνης (U_{Hub}) βρίσκεται η εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα δεκάλεπτα ενός έτους 366 ημερών λόγω του ότι μελετάμε τα ανεμολογικά δεδομένα Μυκόνου του Κ.Α.Π.Ε. για την χρονική περίοδο Ιούλιος 1999-Ιούνιος 2000 και το 2000 ήταν ένα δίσεκτο έτος.

Επιπροσθέτως, για τις παραπάνω δύο τιμές του εκθέτη του εκθετικού νόμου (a) υπολογίζεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) σύμφωνα με τον τύπο:

$$CF = \frac{E_R(kWh)}{P_n(kW) * 8760(h)}$$

όπου:

E_R : ετήσια παραγόμενη ενέργεια Α/Γ

P_n : ονομαστική ισχύς Α/Γ

Υπενθυμίζεται ότι, ως συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που πραγματικά παράγει μια μηχανή σε ένα χρόνο προς την ενέργεια που θα μπορούσε θεωρητικά να παράγει η μηχανή αν λειτουργούσε συνεχώς με την ονομαστική ισχύ.

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε αποκλειστικά για τους σκοπούς της εν λόγω μελέτης οπότε και διατηρείται το αποκλειστικό δικαίωμα χρήσης του όρου.

6.1.1.2 2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose του Κ.Α.Π.Ε. [1,33]

Με χρήση των ανεμολογικών δεδομένων του Κ.Α.Π.Ε. για τη Μύκονο σε συνδυασμό με την εισαγωγή ακριβών δεδομένων κάθε Α/Γ (καμπύλη ισχύος, τύπος ελέγχου ισχύος της Α/Γ κ.α.) μέσω του προγράμματος *WindRose* είμαστε σε θέση να εξάγουμε ασφαλή αποτελέσματα για την παραγόμενη ενέργεια και τον συντελεστή χρησιμοποίησης κάθε μιας εκ των 16 μοντέλων που μελετώνται. Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας μιας Α/Γ βασίζεται στην γνώση της ταχύτητας ανέμου στο ύψος της πλήμνης (εκεί όπου μετριέται εξάλλου και για την καμπύλη ισχύος της). Αν δεν μετριέται στο ύψος της πλήμνης, τότε ανάγεται σε αυτό πάλι βάσει του εκθετικού νόμου. Και σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες τιμές για τον εκθέτη a ($a=0,00$ και $a=0,04$).

Έχοντας υπολογίσει την ταχύτητα στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ, η παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται με βάση την «διορθωμένη» καμπύλη ισχύος της Α/Γ. Σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα, η καμπύλη ισχύος δίδεται στο ύψος της θάλασσας όπου $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$. Ο υπολογισμός της πυκνότητας σε συγκεκριμένο υψόμετρο γίνεται με 3 διαφορετικές μεθόδους (π.χ. ανάλογα με το αν υπάρχουν μετρήσεις θερμοκρασίας, κλπ). Στην συνέχεια, η «τοπική» πυκνότητα αέρα σε συνδυασμό με τον τύπο ελέγχου ισχύος της Α/Γ (π.χ. pitch, stall) παράγει την «διορθωμένη» λόγω υψομέτρου καμπύλη ισχύος της Α/Γ, σύμφωνα με το πρότυπο *IEC-61400-12-1*. Τέλος, ο συνδυασμός της αναθείσης ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης με την «διορθωμένη» καμπύλη ισχύος δίνει την δυνατότητα του ακριβούς υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας της Α/Γ.

Τα αποτελέσματα της παραγόμενης ενέργειας και του συντελεστή χρησιμοποίησης για κάθε Α/Γ, και για τις δύο μεθόδους, αναφέρονται στους ακροδέκτες της Α/Γ χωρίς την επιρροή παραγόντων όπως π.χ. οι ωμικές απώλειες του ηλεκτρικού δικτύου. Συγκεντρώνοντας όλους τους παράγοντες, καταλήγουμε στον παρακάτω ενδεικτικό γενικό συντελεστή απωλειών που δίνεται από τον τύπο:

$$LF = AVF * (1 - GL) * (1 - AO)$$

όπου:

- LF*: Γενικός Συντελεστής Απωλειών
- AVF*: Συντελεστής Διαθεσιμότητας Α/Γ
- GL*: Ωμικές Απώλειες Δικτύου
- AO*: Βοηθητικές Λειτουργίες

Με βάση ενδεικτικές τιμές αυτών των παραμέτρων, όπως παρατίθενται στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί, υπολογίζεται ότι ο γενικός συντελεστής απωλειών είναι ίσος με 0,875 [1].

Συντελεστής Διαθεσιμότητας Α/Γ (AVF)	0,95
Ωμικές Απώλειες Δικτύου (GL)	0,03
Βοηθητικές Λειτουργίες (AO)	0,05
Γενικός Συντελεστής Απωλειών (LF)	0,875

Πίνακας 6.1 Γενικός συντελεστής απωλειών (LF) [1]

Επισημαίνεται ότι ο συγκεκριμένος συντελεστής απωλειών εκτιμάται ότι υπεισέρχεται κατά την διασύνδεση Α/Γ στο ηλεκτρικό δίκτυο της Μυκόνου με την προϋπόθεση της διασύνδεσης των Κυκλάδων με την Ηπειρωτική Ελλάδα, όπως εκτενώς αναλύεται παραπάνω στη παράγραφο 4.3.3.2 του Κεφαλαίου 4.

Από τον πολλαπλασιασμό του γενικού συντελεστή απωλειών με την παραγόμενη ενέργεια και τον συντελεστή χρησιμοποίησης κάθε Α/Γ βρίσκεται αντίστοιχα η τελικά εγγεόμενη ενέργεια στο δίκτυο (Net_{E_W}) για ένα έτος και ο συντελεστής χρησιμοποίησης δικτύου (Net_{CF}) αντίστοιχα.

$$Net_{E_W} = LF * E_W$$

και

$$Net_{CF} = LF * CF$$

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των εν λόγω δύο μεθόδων, που εφαρμόστηκαν σε 16 μοντέλα εμπορικών Α/Γ, παρουσιάζουν μικρές σχετικές αποκλίσεις που κυμαίνονται από 0,008% έως 5%, γεγονός που αποδεικνύει ότι η εφαρμογή της μεθόδου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής παρέχει μια ικανοποιητική εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής εμπορικών Α/Γ [1,23].

6.1.2 Εφαρμογή των Μεθόδων Υπολογισμού της Εκτιμώμενης Ενεργειακής Παραγωγής σε 16 Εμπορικές Α/Γ

6.1.2.1 ENERCON E44-900kW

➤ Τεχνικά Χαρακτηριστικά [36]

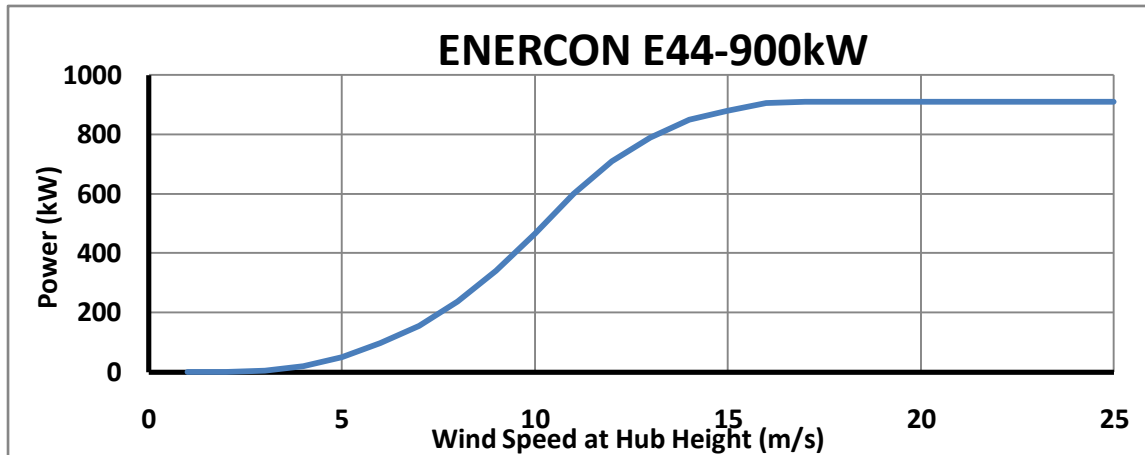
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *E44-900kW* της εταιρείας *ENERCON* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Διάμετρος Ρότορα	44m
Ύψος πλήμνης	65m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IA ($V_{av}=10m/s$, $V_{ext}=70m/s$)
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 12-34rpm
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Δακτυλιοειδής ηλεκτρογεννήτρια Enercon άμεσης μετάδοσης
Τροφοδοσία Δικτύου	ENERCON inverter
Φρενάρισμα	3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων με παροχή ισχύος έκτακτης ανάγκης, φρένο & κλείδωμα ρότορα για την επισκευή και συντήρησή του

Πίνακας 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ENERCON E44-900kW

➤ **Εκτίμηση Ενέργειακής Παραγωγής**

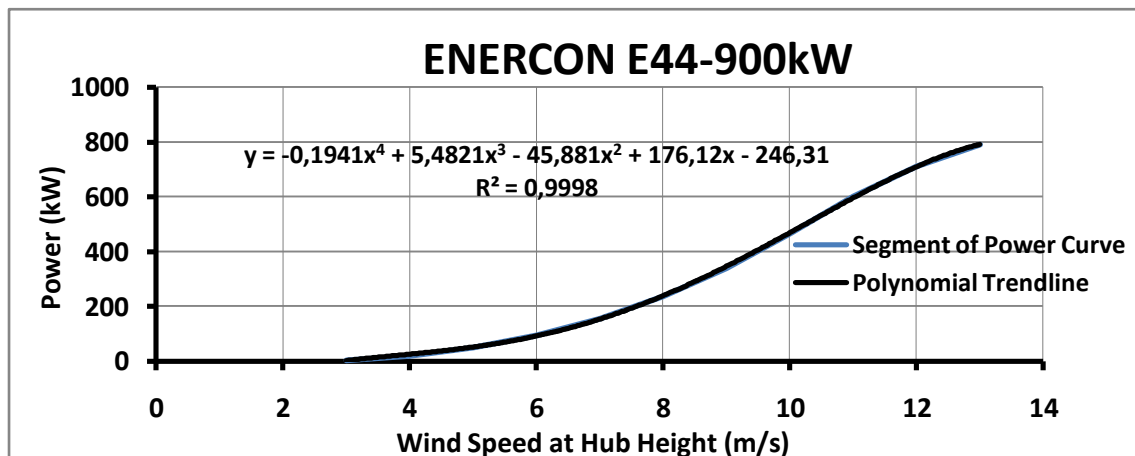
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.1* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος καθώς και της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



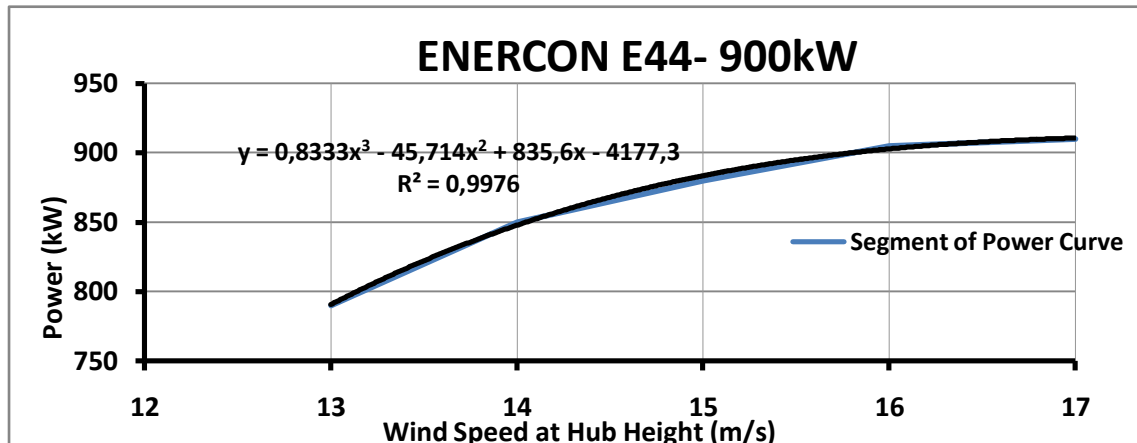
Γράφημα 6.1 Καμπύλη ισχύος ENERCON E44-900kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον *Πίνακα 6.3* συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.2 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^ο βαθμού που το προσομοιώνει



Γράφημα 6.3 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ov} βαθμού που την προσομοιώνει

ENERCON E44-900kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-3	y=0	1
3-13	y=-0,1941x ⁴ +5,4821x ³ -45,881x ² +176,12x-246,31	0,9888
13-17	y=0,8333x ³ -45,714x ² +835,6x-4177,3	0,9976
17-25	y=910	1

Πίνακας 6.3 Πολυώνυμα προσέγγισης καμπύλης ισχύος ανά εύρος ταχυτήτων ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.4, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	65	65
$(H_{hub}/H_{ref})^{\alpha}$	1	1,078

Πίνακας 6.4

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	3.496.371	43,7	3.914.974	49,0
Με Απώλειες	3.060.811	38,3	3.427.266	42,9

Πίνακας 6.5 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_W), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ

(P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.5.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *Enercon E44-900kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.6 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	391.693	57,9	413.635	61,1
Αύγουστος	374.464	55,4	397.850	58,8
Σεπτέμβριος	242.668	37,1	262.739	40,1
Οκτώβριος	256.096	37,9	272.532	40,3
Νοέμβριος	386.568	59,0	406.489	62,0
Δεκέμβριος	209.659	31,1	225.401	33,4
Ιανουάριος	314.416	46,5	335.041	49,5
Φεβρουάριος	273.375	43,2	294.433	46,5
Μάρτιος	238.972	35,3	257.111	38,0
Απρίλιος	163.308	24,9	181.352	27,7
Μάιος	226.371	33,4	242.078	35,8
Ιούνιος	411.247	62,9	428.565	65,6
Χωρίς Απώλειες	3.488.835	43,7	3.717.224	46,6
Με Απώλειες	3.054.213	38,3	3.254.151	40,8

Πίνακας 6.6 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.2 ENERCON E48-800kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [36]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *E48-800kW* της εταιρείας *ENERCON* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

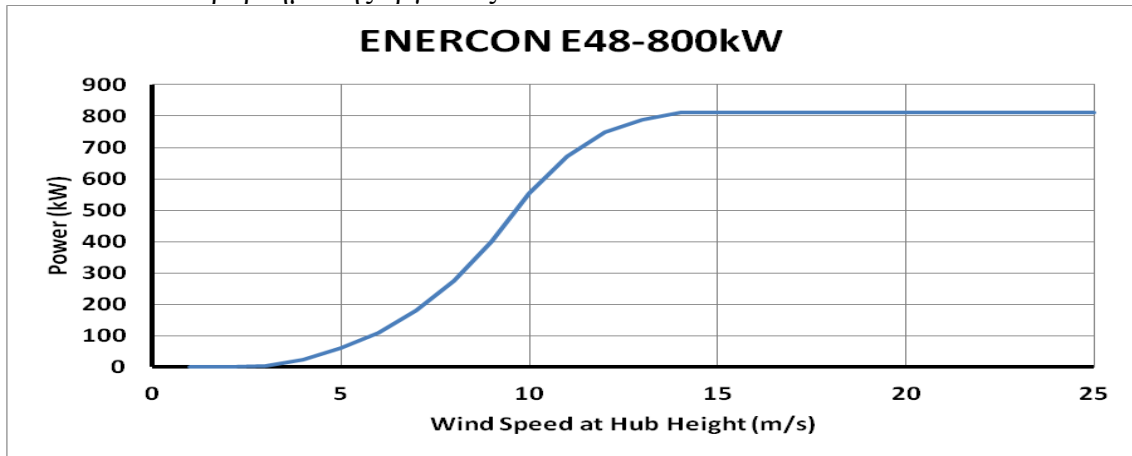
Διάμετρος Ρότορα	48m
Ύψος πλήμνης	60m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN ΙΙΑ ($V_{av}=8,5m/s$, $V_{ext}=59,5m/s$)
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 16-31rpm

Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Δακτυλοειδής ηλεκτρογεννήτρια Enercon άμεσης μετάδοσης
Τροφοδοσία Δικτύου	ENERCON inverter
Φρενάρισμα	3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων με παροχή ισχύος έκτακτης ανάγκης, φρένο & κλείδωμα ρότορα για την επισκευή και συντήρησή του

Πίνακας 6.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά ENERCON E48-800kW

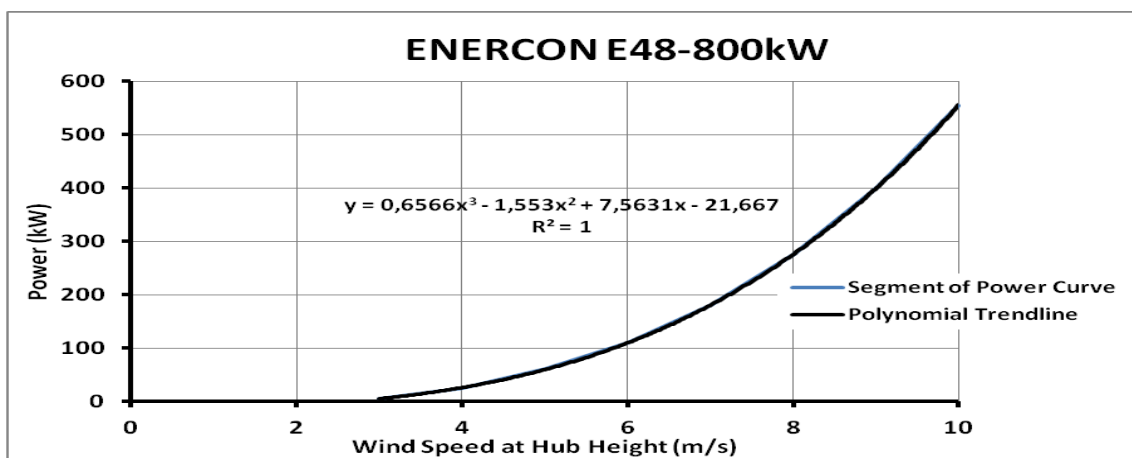
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.4* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος καθώς και της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



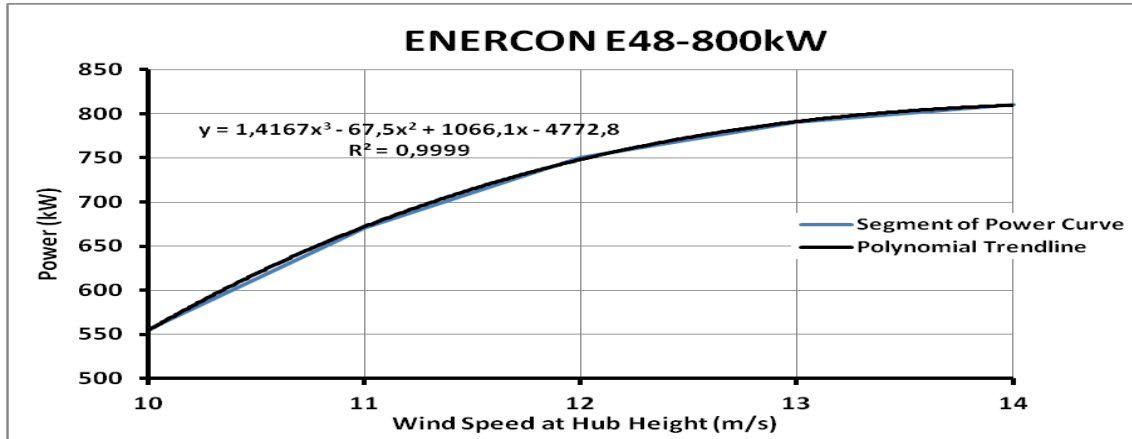
Γράφημα 6.4 Καμπύλη ισχύος ENERCON E48-800kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνομικές Γραμμές Τάσης**



Γράφημα 6.5 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.8 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.6 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

ENERCON E48-800kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολύωνμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-3	$y=0$	1
3-10	$y=0,6566x^3-1,553x^2+7,5631x-21,667$	1
10-14	$y=1,4167x^3-67,5x^2+1066,1x-4772,8$	0,9999
14-25	$y=810$	1

Πίνακας 6.8 Πολύωνμο προσέγγισης καμπύλης ισχύος ανά εύρος ταχυτήτων ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.9, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	60	60
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,074

Πίνακας 6.9

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	3.640.191	51,2	3.974.138	55,9
Με Απώλειες	3.186.714	44,8	3.479.059	48,9

Πίνακας 6.10 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.10.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *Enercon E48-800kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.11 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	408.161	67,7	425.810	70,7
Αύγουστος	395.362	65,7	415.046	68,9
Σεπτέμβριος	262.825	45,1	281.380	48,3
Οκτώβριος	265.113	44,1	279.945	46,5
Νοέμβριος	397.103	68,1	413.290	70,9
Δεκέμβριος	216.706	36,1	232.174	38,7
Ιανουάριος	328.134	54,5	347.011	57,6
Φεβρουάριος	291.668	51,7	311.459	55,2
Μάρτιος	250.395	41,5	267.935	44,5
Απρίλιος	177.983	30,5	196.800	33,8
Μάιος	235.710	39,1	250.243	41,5
Ιούνιος	412.132	70,8	425.786	73,2
Χωρίς Απώλειες	3.641.293	51,3	3.846.878	54,1
Με Απώλειες	3.187.679	44,9	3.367.653	47,4

Πίνακας 6.11 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.3 ENERCON E53-800kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [36]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *E53-800kW* της εταιρείας *ENERCON* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

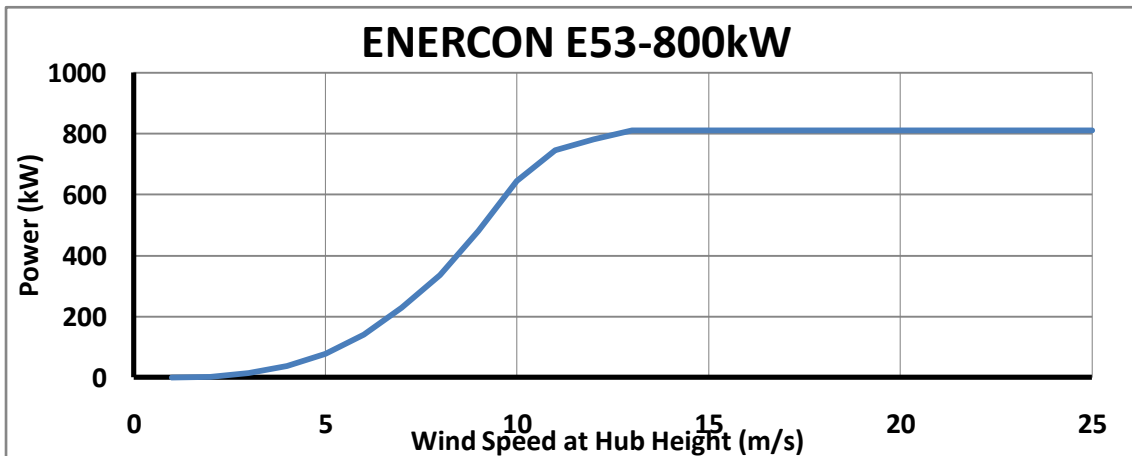
Διάμετρος Ρότορα	52,9m
Ύψος πλήμνης	60m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN Class S ($V_{av}=7,5m/s$, $V_{ext}=57m/s$)
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)

Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 12-28,3rpm
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Δακτυλιοειδής ηλεκτρογεννήτρια Enercon άμεσης μετάδοσης
Τροφοδοσία Δικτύου	ENERCON inverter
Φρενάρισμα	3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων με παροχή ισχύος έκτακτης ανάγκης, φρένο & κλείδωμα ρότορα για την επισκευή και συντήρησή του

Πίνακας 6.12 Τεχνικά χαρακτηριστικά ENERCON E53-800kW

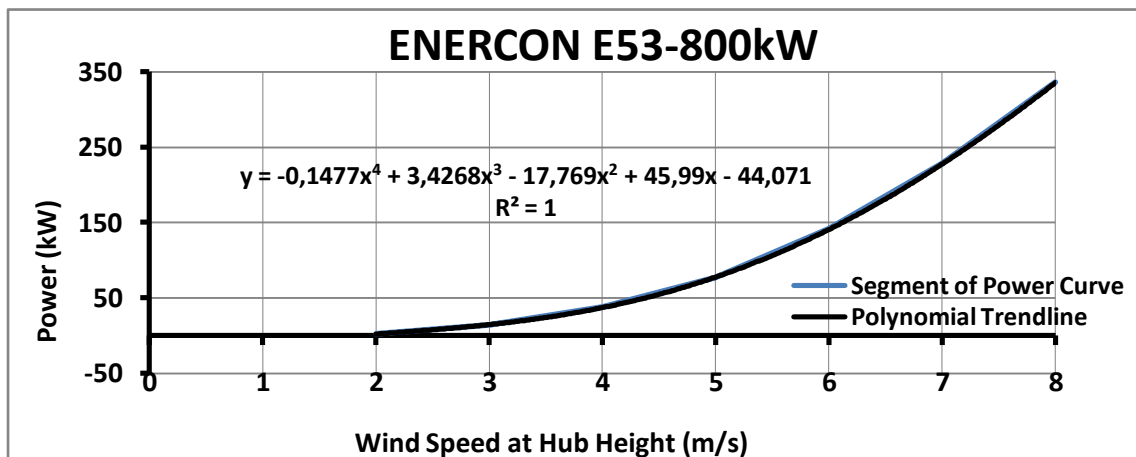
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.7* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος καθώς και της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



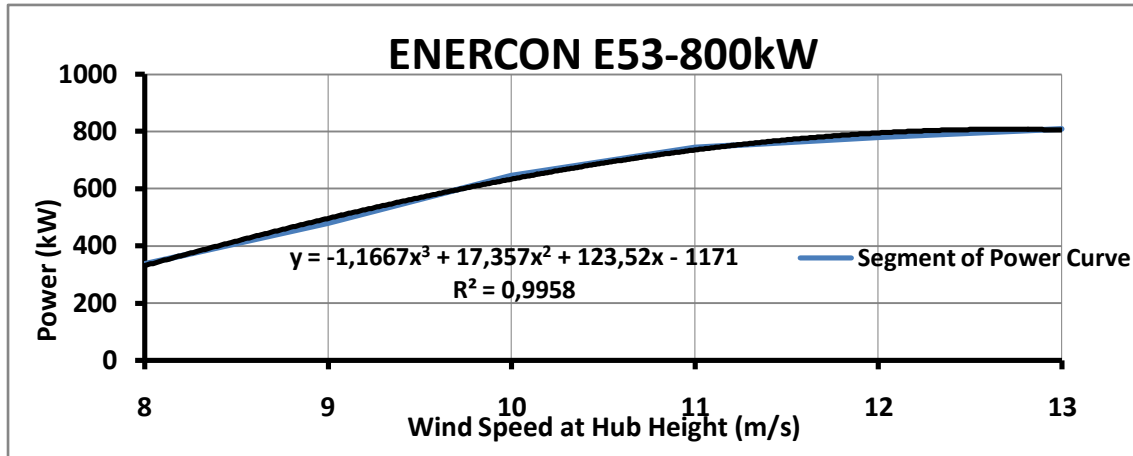
Γράφημα 6.7 Καμπύλη Ισχύος ENERCON E53-800kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**



Γράφημα 6.8 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.13 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.9 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

ENERCON E53-800kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-2	$y=0$	1
2-8	$y=-0,1477x^4+3,4268x^3-17,769x^2+45,99x-44,071$	1
8-13	$y=-1,1667x^3+17,357x^2+123,52x-1171$	0,9958
13-25	$y=810$	1

Πίνακας 6.13 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.14, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	60	60
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,074

Πίνακας 6.14

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.15.

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	3.976.460	55,9	4.283.093	60,2
Με Απώλειες	3.481.092	48,9	3.749.527	52,7

Πίνακας 6.15 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης A/G χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *Enercon E53-800kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.16 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	437.700	72,6	453.474	75,2
Αύγουστος	428.130	71,1	446.179	74,1
Σεπτέμβριος	291.656	50,1	310.132	53,2
Οκτώβριος	287.745	47,8	302.768	50,3
Νοέμβριος	423.886	72,7	438.649	75,2
Δεκέμβριος	238.621	39,7	255.460	42,5
Ιανουάριος	357.260	59,3	376.112	62,5
Φεβρουάριος	322.178	57,1	341.952	60,7
Μάρτιος	276.253	45,8	294.675	48,9
Απρίλιος	204.500	35,1	225.113	38,6
Μάιος	257.551	42,7	272.584	45,2
Ιούνιος	434.280	74,6	446.857	76,8
Χωρίς Απώλειες	3.959.759	55,7	4.163.954	58,6
Με Απώλειες	3.466.472	48,8	3.645.230	51,3

Πίνακας 6.16 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης A/G χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.4 GENERAL ELECTRIC POWER 1,5SLE-1.500kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [37]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *1,5SLE-1.500kW* της εταιρείας *GENERAL ELECTRIC POWER* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

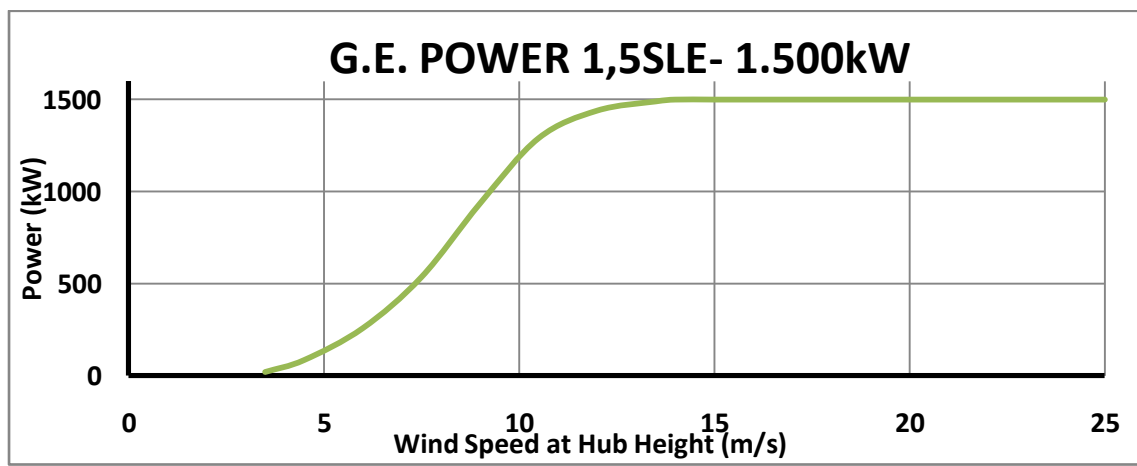
Διάμετρος Ρότορα	77m
Ύψος πλήμνης	80m

Κλάση Α/Γ	Wind class (IEC): IEC/NVN IIA ($V_{e50} = 55\text{m/s}$ $V_{ave} = 8,5\text{m/s}$)
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)

Πίνακας 6.17 Τεχνικά χαρακτηριστικά G.E. Power 1,5SLE-1.500kW

➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

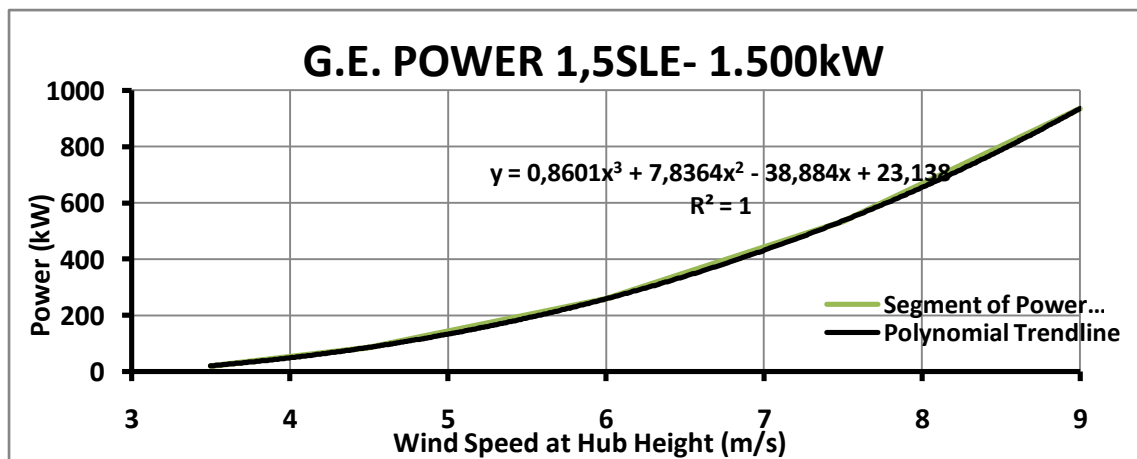
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.10* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



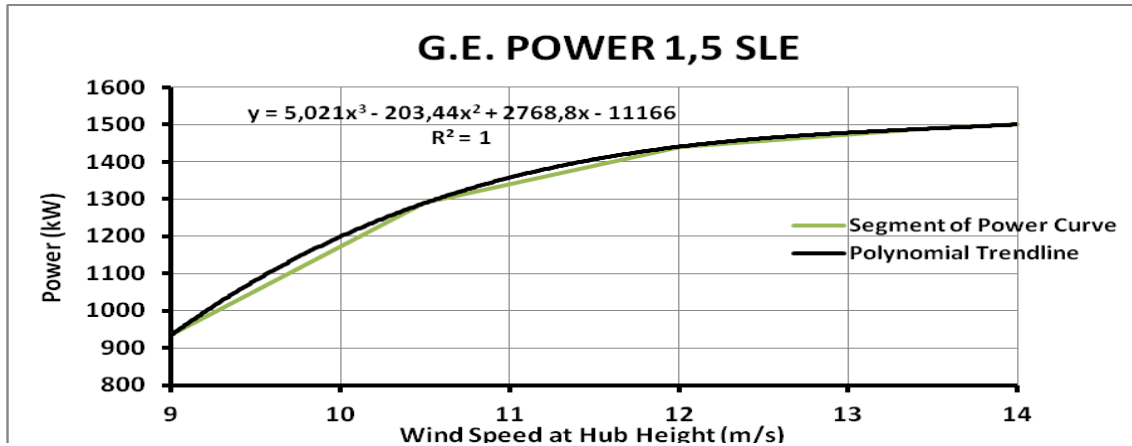
Γράφημα 6.10 Καμπύλη Ισχύος General Electric POWER 1,5SLE

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον *Πίνακα 6.18* συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.11 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.12 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

GENERAL ELECTRIC POWER 1,5SLE-1.500kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-3,5	y=0	1
3,5-9	y=0,8601x ³ +7,8364x ² -38,884x+23,138	1
9-14	y=5,021x ³ -203,44x ² +2768,8x-11166	1
14-25	y=1500	1

Πίνακας 6.18 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.19, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	80	80
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,087

Πίνακας 6.19

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	7.327.392	55,6	7.978.943	60,6
Με Απώλειες	6.414.582	48,7	6.984.966	53,0

Πίνακας 6.20 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.20.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *G.E. 1,5SLE-1.500kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.21:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	807.409	72,3	840.896	75,3
Αύγουστος	791.034	71,0	828.245	74,3
Σεπτέμβριος	538.418	49,9	577.299	53,5
Οκτώβριος	529.806	47,6	562.617	50,5
Νοέμβριος	782.694	72,5	814.411	75,4
Δεκέμβριος	441.088	39,7	478.726	43,1
Ιανουάριος	662.119	59,4	702.015	63,0
Φεβρουάριος	597.765	57,3	640.070	61,3
Μάρτιος	511.883	45,9	552.037	49,5
Απρίλιος	380.080	35,2	425.560	39,4
Μάιος	474.196	42,5	506.894	45,4
Ιούνιος	802.429	74,5	829.583	77,0
Χωρίς Απώλειες	7.318.920	55,6	7.758.354	59,0
Με Απώλειες	6.407.166	48,7	6.791.857	51,6

Πίνακας 6.21 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.5 GENERAL ELECTRIC POWER 1,5XLE–1.500kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά [37]**

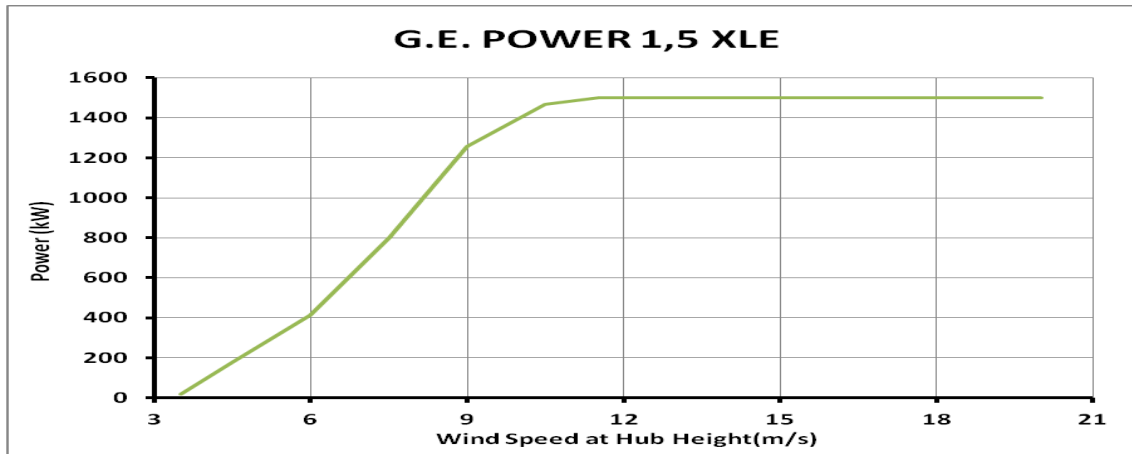
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *1,5XLE-1.500kW* της εταιρείας *GENERAL ELECTRIC POWER* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Διάμετρος Ρότορα	82,5m
Ύψος πλήμνης	80m
Κλάση Α/Γ	Wind class (IEC): IEC/NVN III B ($V_{e50}=52,5m/s$ $V_{ave}=8,0m/s$)
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)

Πίνακας 6.22 Τεχνικά χαρακτηριστικά *G.E. Power 1,5XLE-1.500kW*

➤ **Εκτίμηση Ενέργειακής Παραγωγής**

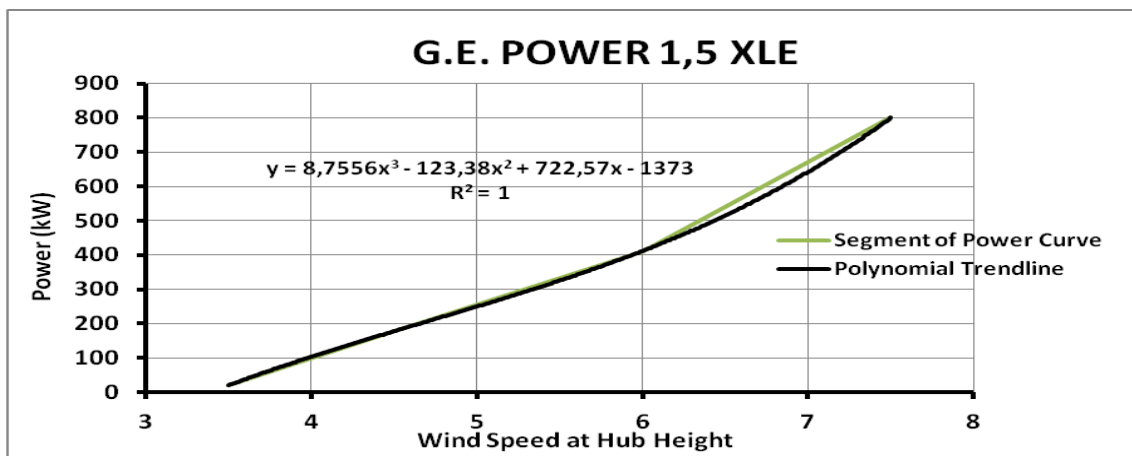
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.13* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



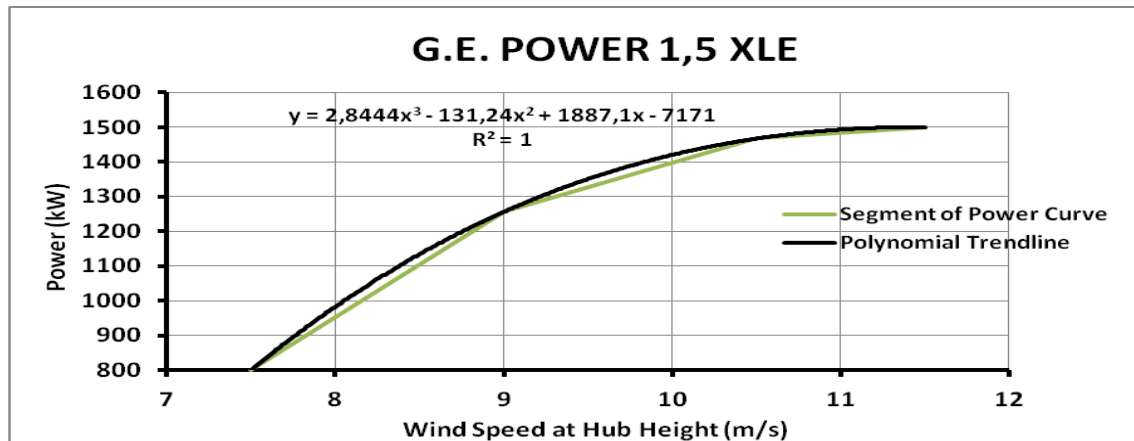
Γράφημα 6.13 Καμπύλη Ισχύος General Electric 1,5XLE

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον *Πίνακα 6.23* συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.14 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.15 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

GENERAL ELECTRIC POWER 1,5XLE-1.500kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-3,5	y=0	1
3,5-7,5	y=8,755x ³ -123,3x ² +722,5x-1373	1
7,5-11,5	y=2,844x ³ -131,2x ² +1887x-7171	1
11,5-20	y=1500	1

Πίνακας 6.23 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.24, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	80	80
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,087

Πίνακας 6.24

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	8.377.645	63,6	8.835.221	67,1
Με Απώλειες	7.334.000	55,7	7.734.573	58,7

Πίνακας 6.25 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνομικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του

συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.25.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *G.E. 1,5XLE-1.500kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.26:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	893.388	80,1	919.502	82,4
Αύγουστος	887.092	79,6	915.600	82,1
Σεπτέμβριος	633.002	58,7	669.314	62,0
Οκτώβριος	605.194	54,3	639.287	57,4
Νοέμβριος	860.292	79,7	886.246	82,1
Δεκέμβριος	519.600	46,7	562.758	50,6
Ιανουάριος	759.815	68,2	796.882	71,5
Φεβρουάριος	698.794	66,9	738.568	70,7
Μάρτιος	589.286	52,8	630.900	56,5
Απρίλιος	477.579	44,2	528.942	49,0
Μάιος	546.653	49,0	581.646	52,1
Ιούνιος	864.981	80,3	888.172	82,4
Χωρίς Απώλειες	8.335.675	63,4	8.757.816	66,6
Με Απώλειες	7.297.258	55,5	7.666.811	58,3

Πίνακας 6.26 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.6 GAMESA G52-850kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [38]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *G52-850kW* της εταιρείας *GAMESA* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

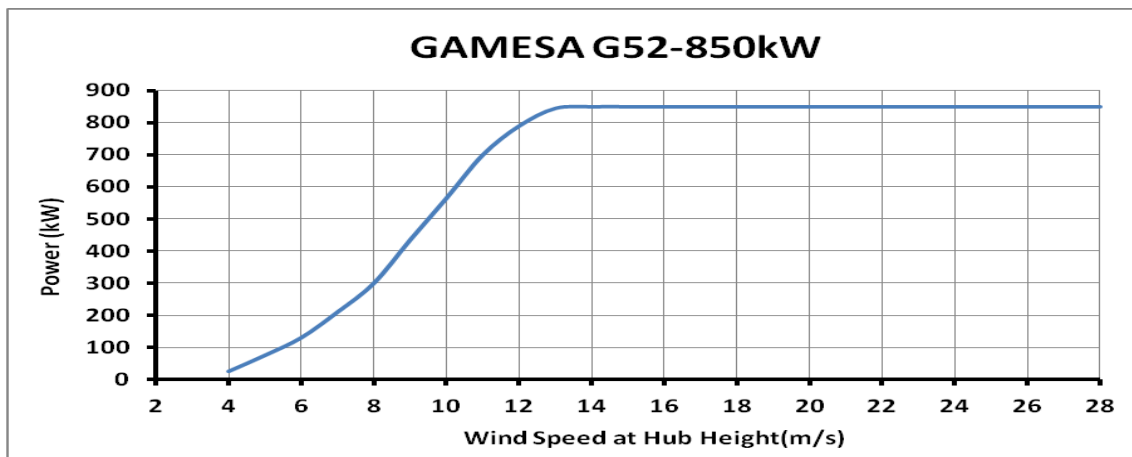
Διάμετρος Ρότορα	52m
Ύψος πλήμνης	55m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IA
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 14,6-30,8 rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Λόγος: 1:61,74 (50 Hz)

Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Ηλεκτρογεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFM), 4 πόλοι, Ταχύτητα περιστροφής: 1,000-1,950 rpm (50 Hz)
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό πρωτεύον φρένο & ένα υδραυλικά ενεργοποιούμενο μηχανικό δισκόφρενο, για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, που είναι εγκατεστημένο στο κιβώτιο ταχυτήτων στον άξονα υψηλής ταχύτητας

Πίνακας 6.27 Τεχνικά χαρακτηριστικά GAMESA G52-850kW

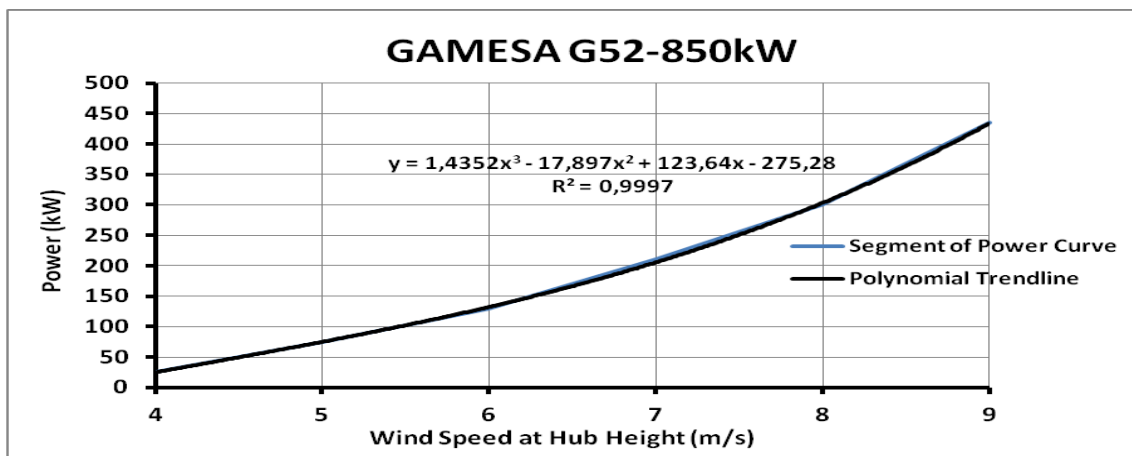
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.16* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



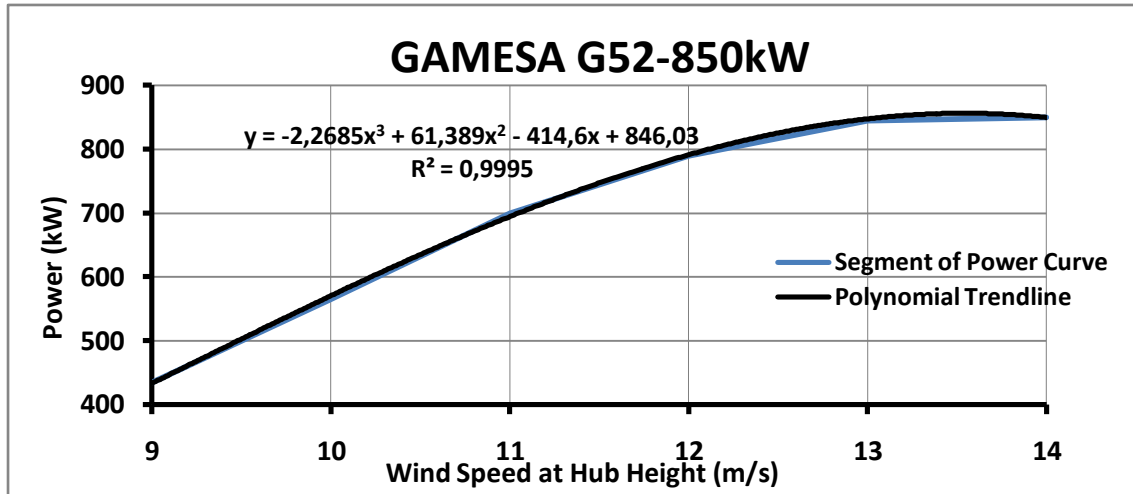
Γράφημα 6.16 Καμπύλη Ισχύος GAMESA G52-850kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**



Γράφημα 6.17 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.28 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.18 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

GAMESA G52-850kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-4	$y=0$	1
4-9	$y=1,435x^3-17,89x^2+123,6x-275,2$	0,9997
9-14	$y=-2,268x^3+61,38x^2-414,6x+846$	0,9995
14-28	$y=850$	1

Πίνακας 6.28 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.29, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	55	55
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,071

Πίνακας 6.29

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	3.861.961	51,7	4.195.964	56,2
Με Απώλειες	3.380.857	45,3	3.673.251	49,2

Πίνακας 6.30 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.30.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *GAMESA G52-850kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.31

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	430.675	68,1	448.301	70,9
Αύγουστος	416.753	66,0	436.268	69,1
Σεπτέμβριος	278.304	45,5	296.587	48,5
Οκτώβριος	280.306	44,4	295.310	46,8
Νοέμβριος	418.704	68,4	434.959	71,1
Δεκέμβριος	231.128	36,7	246.633	39,1
Ιανουάριος	347.489	55,0	366.039	57,9
Φεβρουάριος	308.933	52,2	328.594	55,5
Μάρτιος	266.129	42,1	283.739	44,9
Απρίλιος	190.511	31,1	209.349	34,2
Μάιος	249.659	39,5	264.086	41,8
Ιούνιος	435.176	71,3	448.772	73,5
Χωρίς Απώλειες	3.853.767	51,7	4.058.635	54,4
Με Απώλειες	3.373.684	45,3	3.553.031	47,7

Πίνακας 6.31 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.7 GAMESA G58-850kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [38]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *G58-850kW* της εταιρείας *GAMESA* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

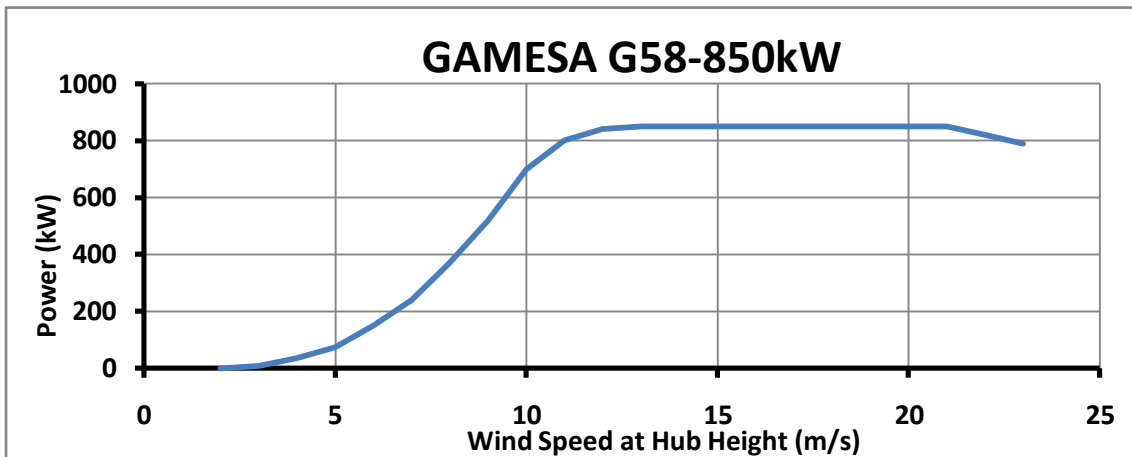
Διάμετρος Ρότορα	58m
Ύψος πλήμνης	55m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN ΠΑ/ΠΒ
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 14,6-30,8 rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Λόγος: 1:61,74 (50 Hz)

Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Ηλεκτρογεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFM), 4 πόλοι, Ταχύτητα περιστροφής: 1.000-1.950 rpm (50 Hz)
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό πρωτεύον φρένο & ένα υδραυλικά ενεργοποιούμενο μηχανικό δισκόφρενο, για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, που είναι εγκατεστημένο στο κιβώτιο ταχυτήτων στον άξονα υψηλής ταχύτητας

Πίνακας 6.32 Τεχνικά χαρακτηριστικά GAMESA G58-850kW

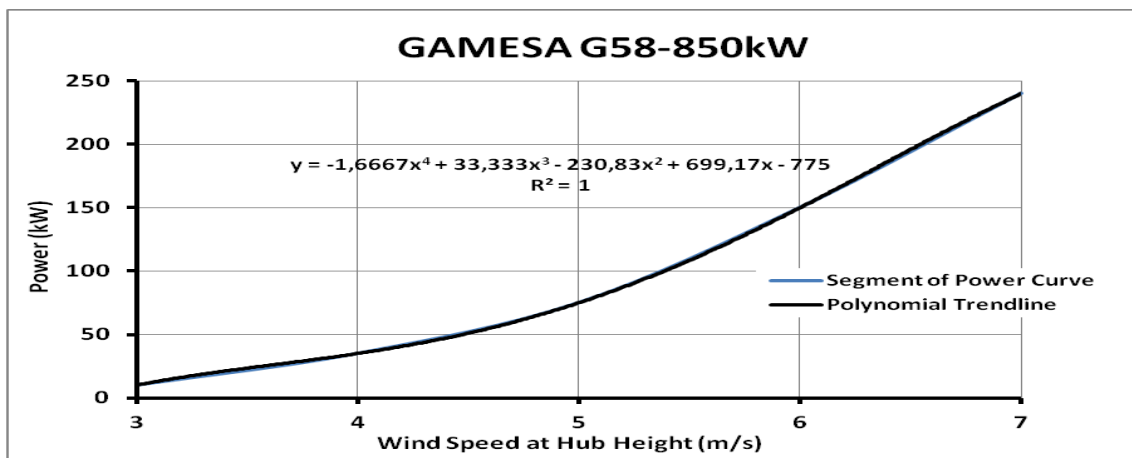
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.19* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



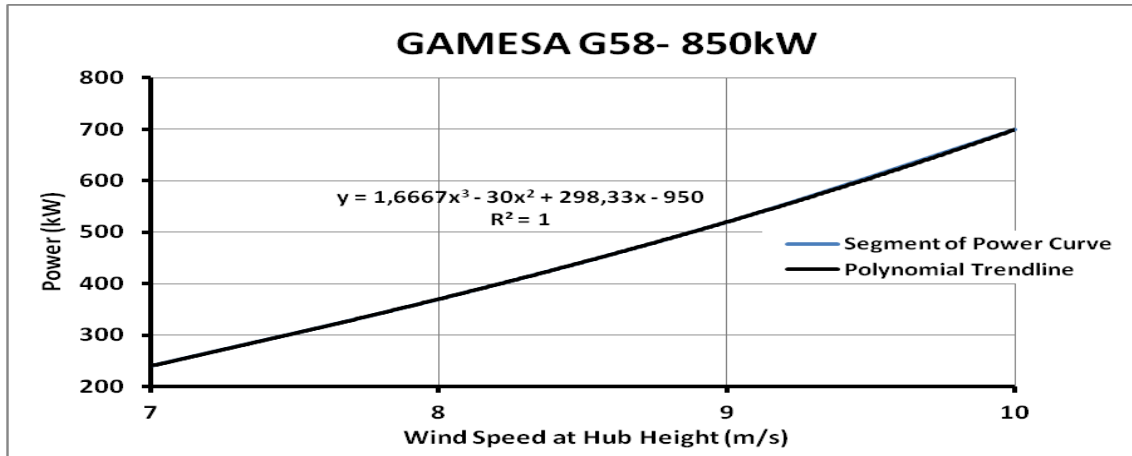
Γράφημα 6.19 Καμπύλη Ισχύος GAMESA G58-850kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

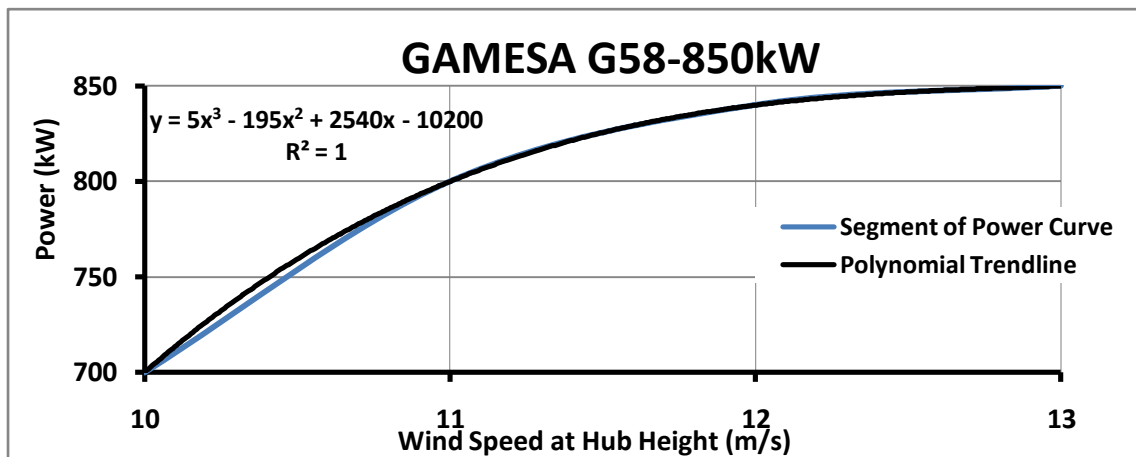


Γράφημα 6.20 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

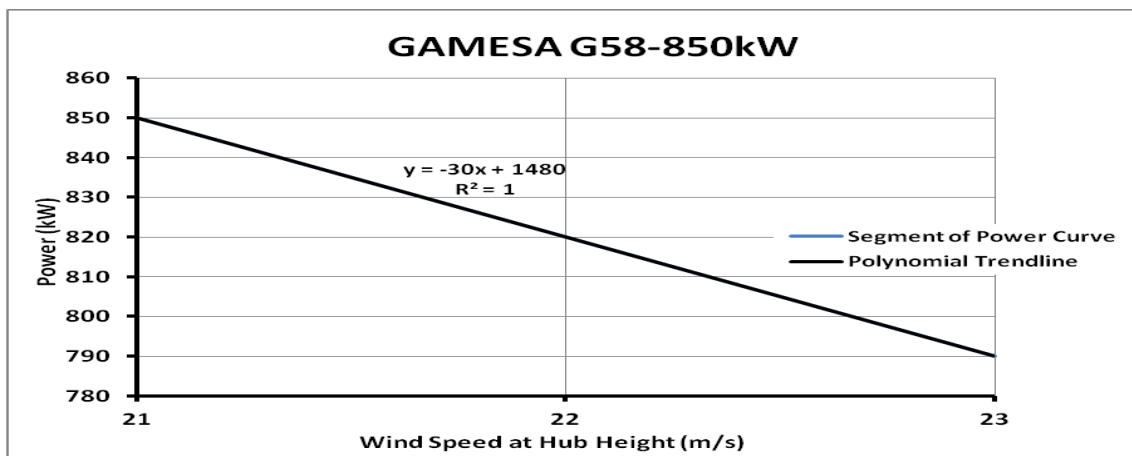
Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 6 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.33 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.21 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.22 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.23 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 1^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

GAMESA G58-850kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-3	y=0	1
3-7	y=-1,666x ⁴ +33,33x ³ -230,8x ² +699,1x-775	1
7-10	y=1,666x ³ -30x ² +298,3x-950	1
10-13	y=5x ³ -195x ² +2540x-10200	1
13-21	y=850	1
21-23	y=-30x+1480	1

Πίνακας 6.33 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.34, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	55	55
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,071

Πίνακας 6.34

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	4.221.110	56,5	4.519.421	60,5
Με Απώλειες	3.695.266	49,5	3.956.414	53,0

Πίνακας 6.35 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.35.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *GAMESA G58-850kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.36 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	466.513	73,8	482.021,6	76,2
Αύγουστος	457.423	72,4	475.191,1	75,2
Σεπτέμβριος	311.634	51,0	330.203,0	54,0
Οκτώβριος	305.556	48,4	320.597,1	50,8
Νοέμβριος	451.309	73,7	465.868,8	76,1
Δεκέμβριος	252.865	40,1	270.056,6	42,9
Ιανουάριος	380.811	60,3	399.807,8	63,3
Φεβρουάριος	344.548	58,2	364.513,7	61,6
Μάρτιος	293.455	46,4	311.872,7	49,3
Απρίλιος	218.103	35,7	239.286,4	39,1
Μάιος	273.486	43,2	288.634,3	45,6
Ιούνιος	460.839	75,5	473.203,1	77,5
Χωρίς Απώλειες	4.216.541	56,6	4.421.256	59,3
Με Απώλειες	3.691.266	49,5	3.870.478	51,9

Πίνακας 6.36 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.8 MADE AE-61-1.320kW

➤ Τεχνικά Χαρακτηριστικά [39]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου AE-61-1.320kW της εταιρείας MADE παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

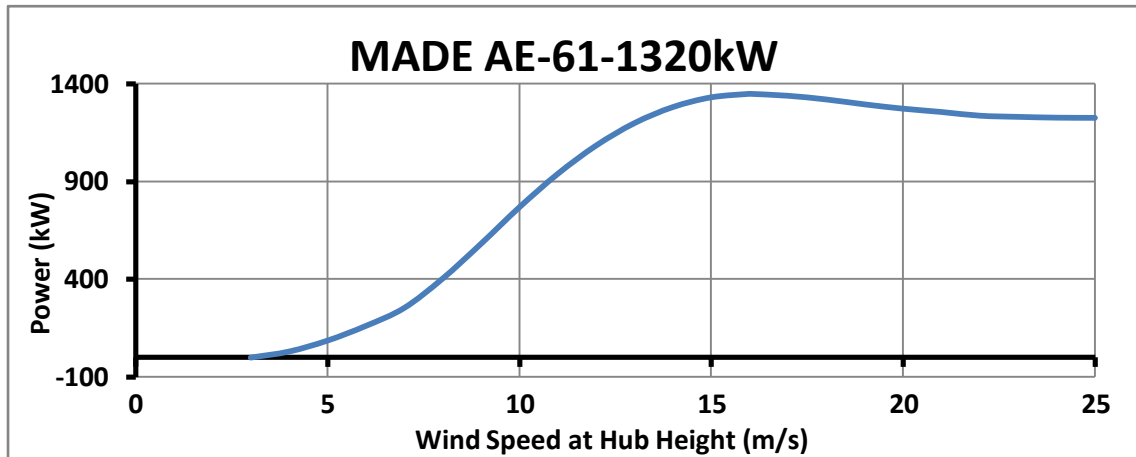
Διάμετρος Ρότορα	61m
Ύψος πλήμνης	60m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IA
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 13-18,8 rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Λόγος: 1:81 (50 Hz), Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Ασύγχρονη, Μέγιστη Ταχύτητα περιστροφής: 1.520 rpm (50 Hz)

Φρενάρισμα	Ακροπετέρυγια & ένα υδραυλικά ενεργοποιούμενο μηχανικό δισκόφρενο, για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, που είναι εγκατεστημένο στο κιβώτιο ταχυτήτων στον άξονα υψηλής ταχύτητας
-------------------	--

Πίνακας 6.37 Τεχνικά χαρακτηριστικά MADE AE-61-1.320kW

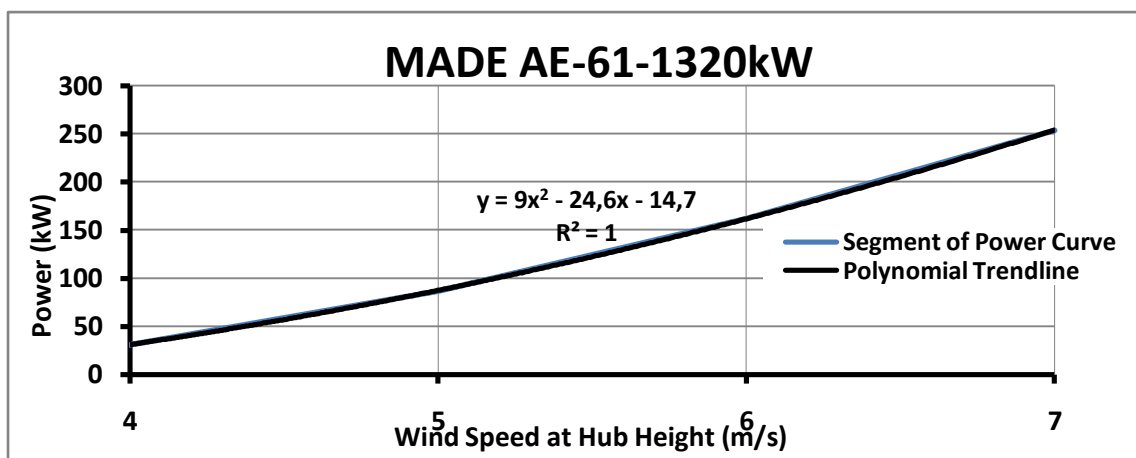
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.24* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος καθώς και της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



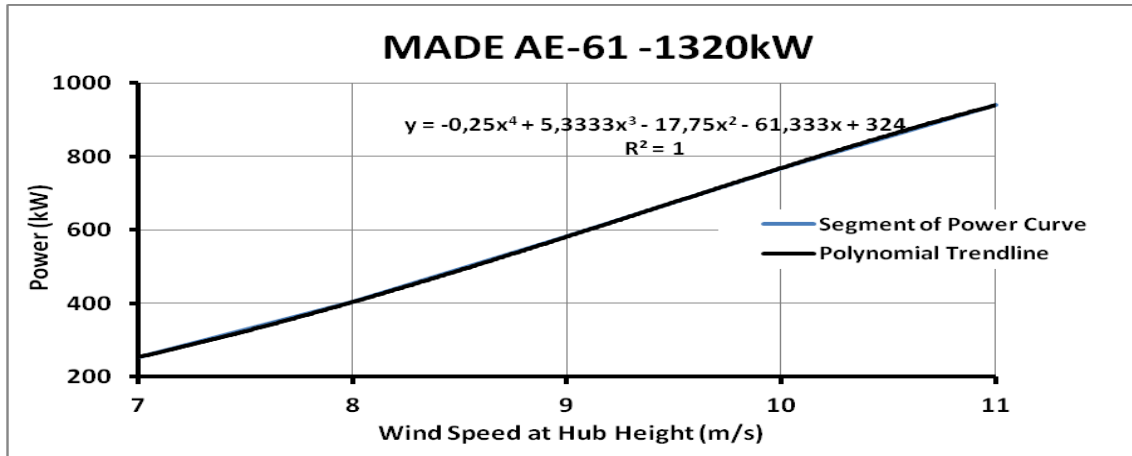
Γράφημα 6.24 Καμπύλη Ισχύος MADE AE-61-1.320kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

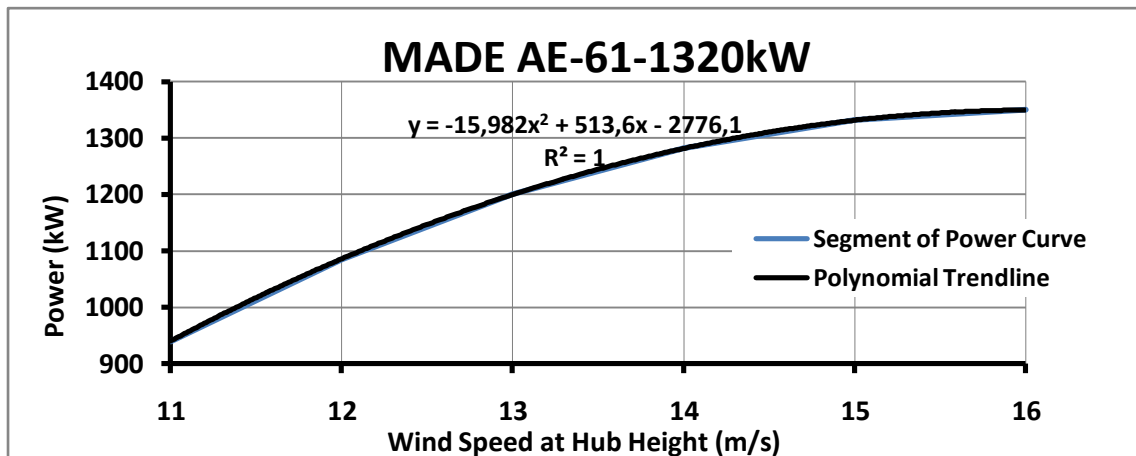


Γράφημα 6.25 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 2^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

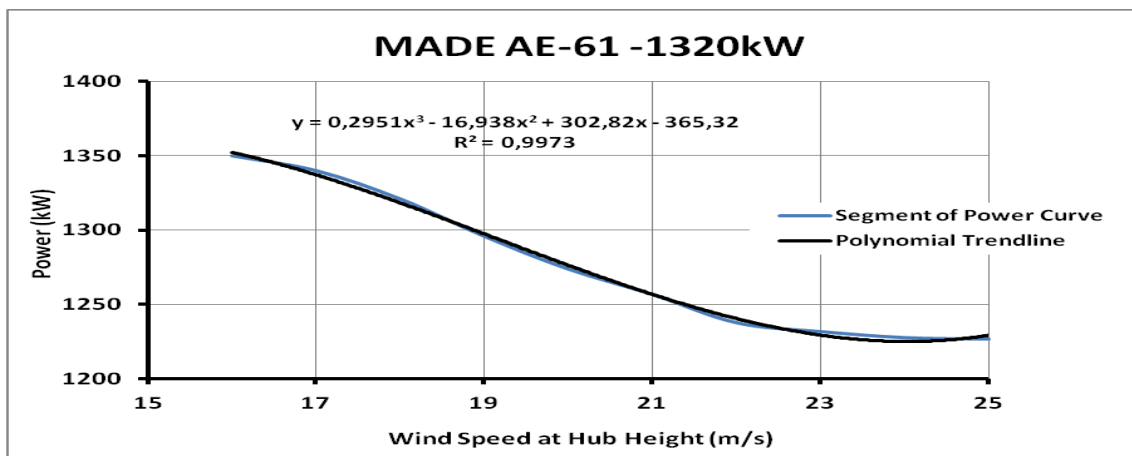
Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 5 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.38 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.26 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.27 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 2^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.28 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

MADE AE-61-1.320kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-4	y=0	1
4-7	y= 9x ² -24,6x-14,7	1
7-11	y= -0,25x ⁴ +5,333x ³ -17,75x ² -61,33x+324	1
11-16	y=-15,98x ² +513,6x-2776	1
16-25	y=0,295x ³ -16,93x ² +302,8x-365,3	0,9973

Πίνακας 6.38 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.39, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	60	60
$(H_{hub}/H_{ref})^{\alpha}$	1	1,074

Πίνακας 6.39

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	5.442.111	45,9	6.013.097	50,7
Με Απώλειες	4.764.160	40,2	5.264.015	44,4

Πίνακας 6.40 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.40.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *MADE AE-61-1.320kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.41 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	607.326	60,5	637.425	63,5
Αύγουστος	584.191	58,2	616.340	61,4
Σεπτέμβριος	383.323	39,5	411.919	42,4
Οκτώβριος	397.344	39,6	420.953	42,0
Νοέμβριος	596.759	61,4	624.129	64,2
Δεκέμβριος	326.021	32,6	349.519	34,9
Ιανουάριος	490.432	48,9	519.696	51,8
Φεβρουάριος	429.939	45,8	460.177	49,0
Μάρτιος	372.734	37,1	399.342	39,8
Απρίλιος	260.629	26,8	288.054	29,6
Μάιος	351.874	35,0	374.690	37,3
Ιούνιος	628.926	64,9	652.751	67,3
Χωρίς Απώλειες	5.429.498	45,9	5.754.996	48,6
Με Απώλειες	4.753.118	40,1	5.038.068	42,5

Πίνακας 6.41 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.9 NORDEX S77-1.500kW

➤ Τεχνικά Χαρακτηριστικά [40]

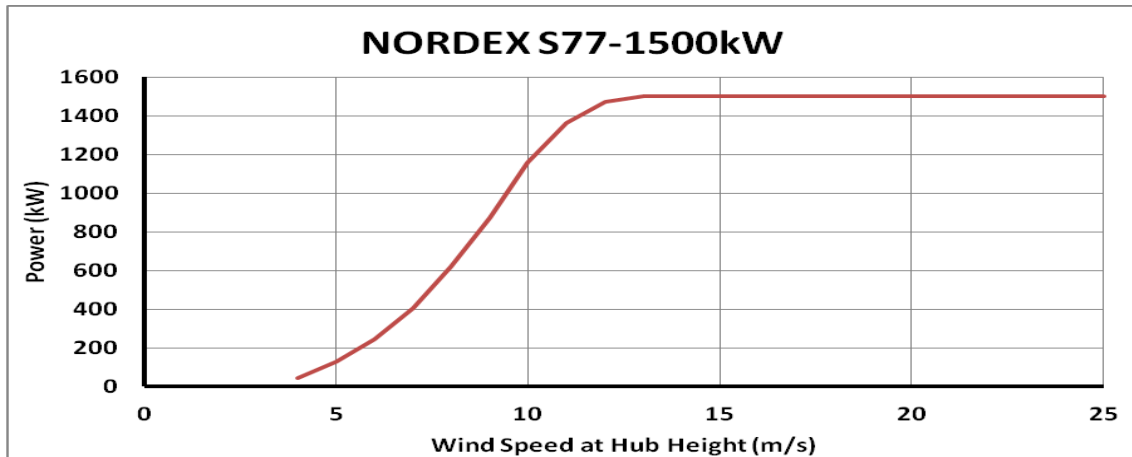
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου S77-1.500kW της εταιρείας NORDEX παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Διάμετρος Ρότορα	77m
Ύψος πλήμνης	70m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN II A
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Ασύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFM)
Φρενάρισμα	3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων & μηχανικό δισκόφρενο

Πίνακας 6.42 Τεχνικά χαρακτηριστικά NORDEX S77-1.500kW

➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

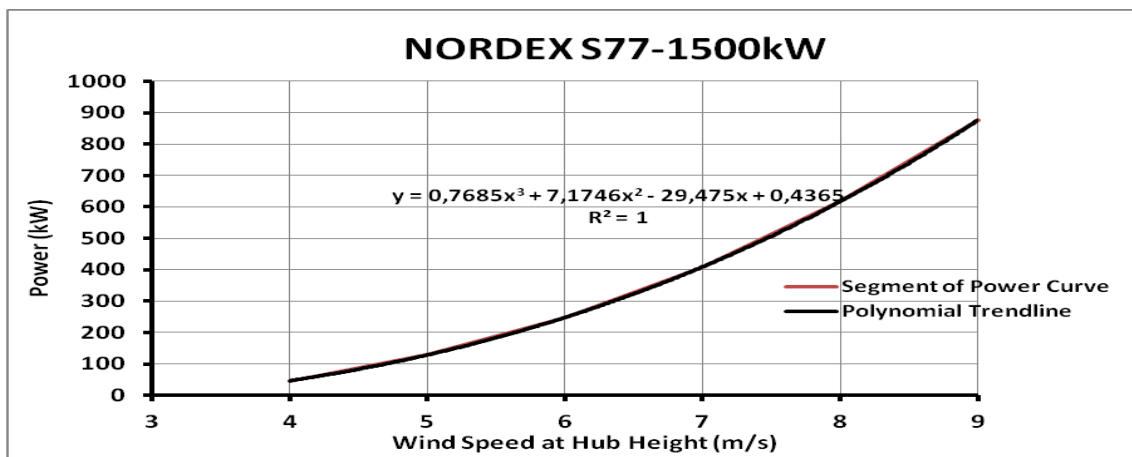
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.29* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



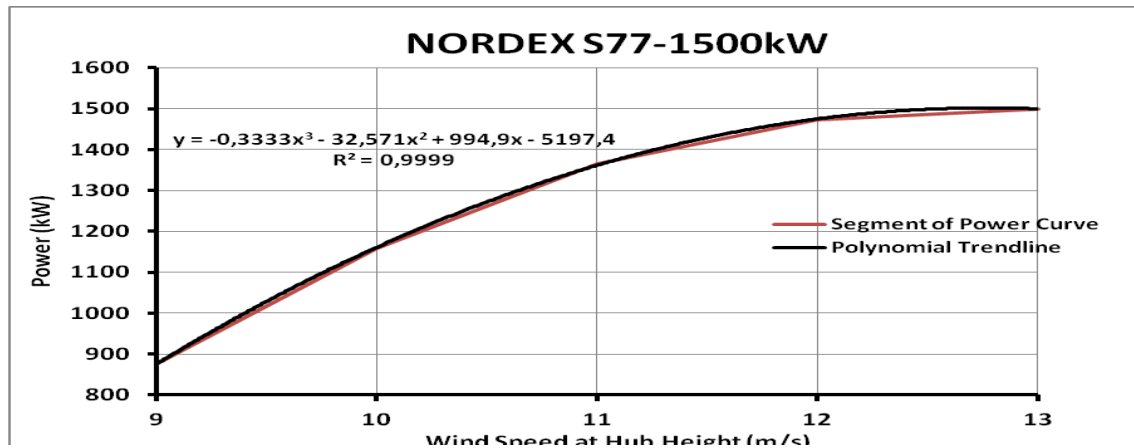
Γράφημα 6.29 Καμπύλη Ισχύος NORDEX S77-1.500kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον *Πίνακα 6.43* συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.30 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.31 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

NORDEX S77-1.500kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-4	y=0	1
4-9	y=0,768x ³ +7,174x ² -29,47x+0,436	1
9-13	y=-0,3333x ³ -32,57x ² +994,9x-5197	0,9999
13-25	y=1500	1

Πίνακας 6.43 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.44, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	70	70
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,081

Πίνακας 6.44

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	7.264.194	55,1	7.889.807	59,9
Με Απώλειες	6.359.257	48,3	6.906.934	52,4

Πίνακας 6.45 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνομικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του

συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.45.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *NORDEX S77-1.500kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.46 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	805.792	72,2	838.509	75,1
Αύγουστος	787.147	70,6	824.043	73,9
Σεπτέμβριος	531.530	49,3	568.848	52,7
Οκτώβριος	523.842	47,0	554.658	49,8
Νοέμβριος	780.309	72,3	810.874	75,1
Δεκέμβριος	432.267	38,9	466.544	42,0
Ιανουάριος	654.406	58,7	692.825	62,2
Φεβρουάριος	589.137	56,4	629.718	60,3
Μάρτιος	502.749	45,0	540.444	48,4
Απρίλιος	367.499	34,0	409.599	37,9
Μάιος	468.020	41,9	498.197	44,6
Ιούνιος	800.853	74,3	826.559	76,7
Χωρίς Απώλειες	7.243.551	55,1	7.660.818	58,2
Με Απώλειες	6.341.186	48,2	6.706.472	51,0

Πίνακας 6.46 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.10 NORDEX S82 -1.500kW [40]

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά**

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *S82-1.500kW* της εταιρείας *NORDEX* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

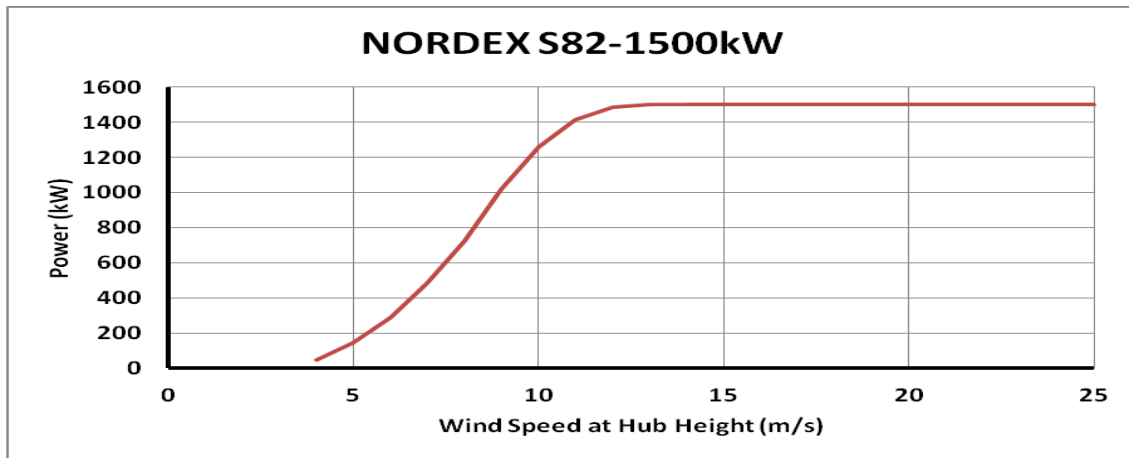
Διάμετρος Ρότορα	82m
Ύψος πλήμνης	80m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IIIA
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Στάδια: 3

Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Ασύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFM)
Φρενάρισμα	3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων & μηχανικό δισκόφρενο

Πίνακας 6.47 Τεχνικά χαρακτηριστικά NORDEX S82-1.500kW

➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

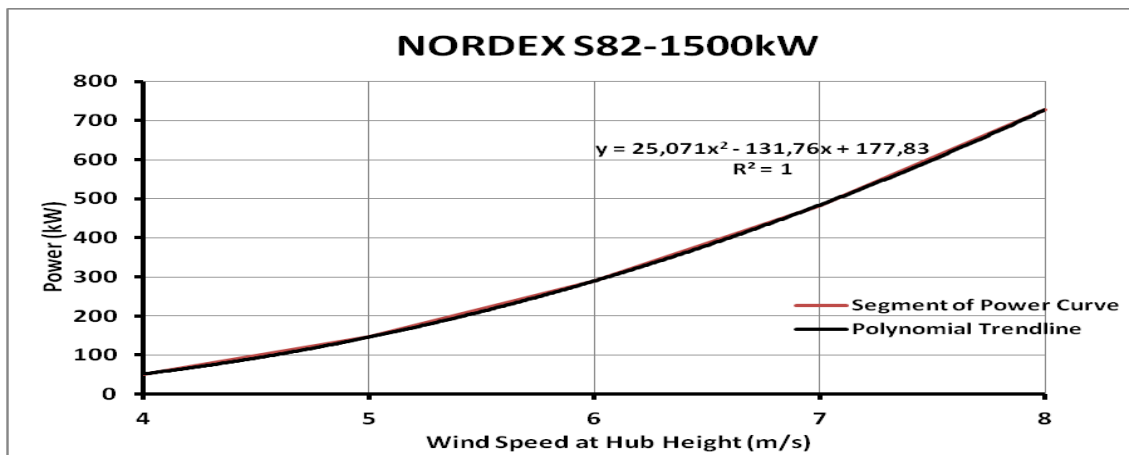
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.32* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



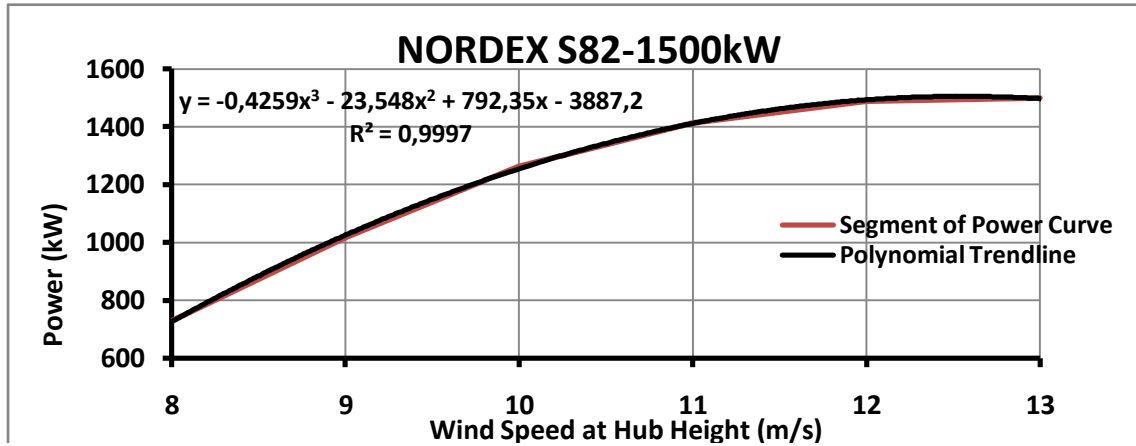
Γράφημα 6.32 Καμπύλη Ισχύος NORDEX S82-1.500kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον *Πίνακα 6.48* συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.33 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 2^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.34 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

NORDEX S82-1.500kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-4	y=0	1
4-8	y=25,07x ² -131,7x+177,8	1
8-13	y=-0,425x ³ -23,54x ² +792,3x-3887	0,9997
13-25	y=1500	1

Πίνακας 6.48 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.49, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	80	80
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,087

Πίνακας 6.49

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	7.649.123	58,1	8.267.446	62,7
Με Απώλειες	6.696.234	50,8	7.237.529	54,9

Πίνακας 6.50 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απολειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.50.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *NORDEX S82-1.500kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.51 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	837.162	75,0	869.035	77,9
Αύγουστος	823.739	73,9	859.402	77,1
Σεπτέμβριος	565.686	52,4	604.502	56,0
Οκτώβριος	549.729	49,3	583.108	52,3
Νοέμβριος	809.550	75,0	839.811	77,8
Δεκέμβριος	460.201	41,4	499.617	44,9
Ιανουάριος	690.329	61,9	730.555	65,5
Φεβρουάριος	627.286	60,1	670.045	64,2
Μάρτιος	535.597	48,0	577.345	51,7
Απρίλιος	403.306	37,4	451.283	41,8
Μάιος	493.552	44,2	526.635	47,2
Ιούνιος	824.950	76,6	851.156	79,0
Χωρίς Απώλειες	7.621.087	57,9	8.062.494	61,3
Με Απώλειες	6.671.690	50,7	7.058.109	53,7

Πίνακας 6.51 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.11 NORDEX S70-1.500kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [40]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *S70-1.500kW* της εταιρείας *NORDEX* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

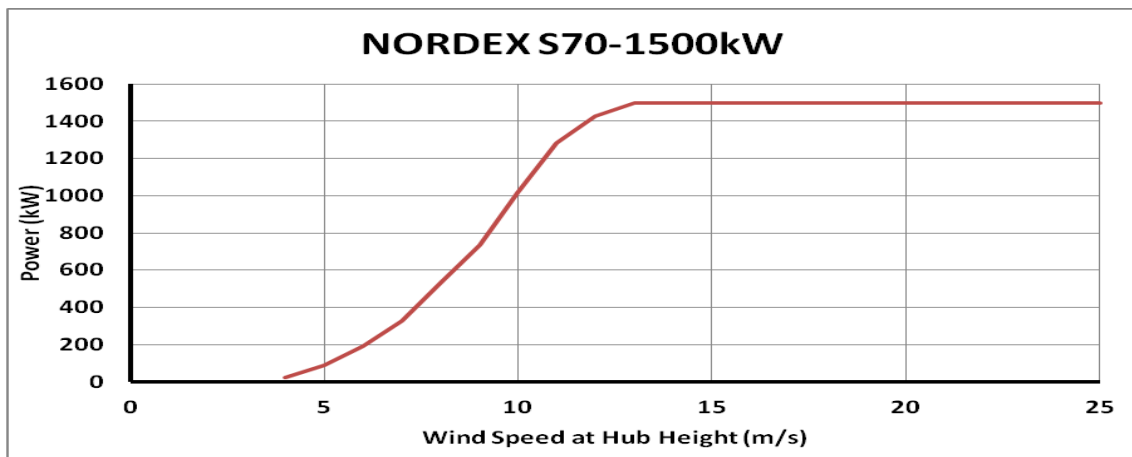
Διάμετρος Ρότορα	70m
Ύψος πλήμνης	70m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IA
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)

Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Ασύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFM)
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό φρενάρισμα με 3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων & μηχανικό δισκόφρενο

Πίνακας 6.52 Τεχνικά χαρακτηριστικά NORDEX S70-1.500kW

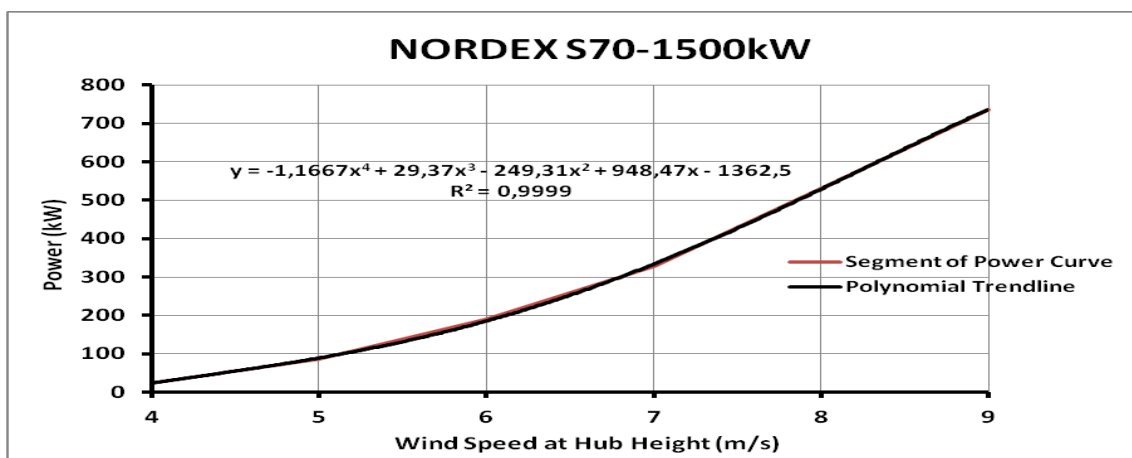
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.35* και χαράχτηκε βάσει των τιμών ταχύτητας ανέμου πλήμνης και ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνονται στο Παράρτημα της εργασίας.



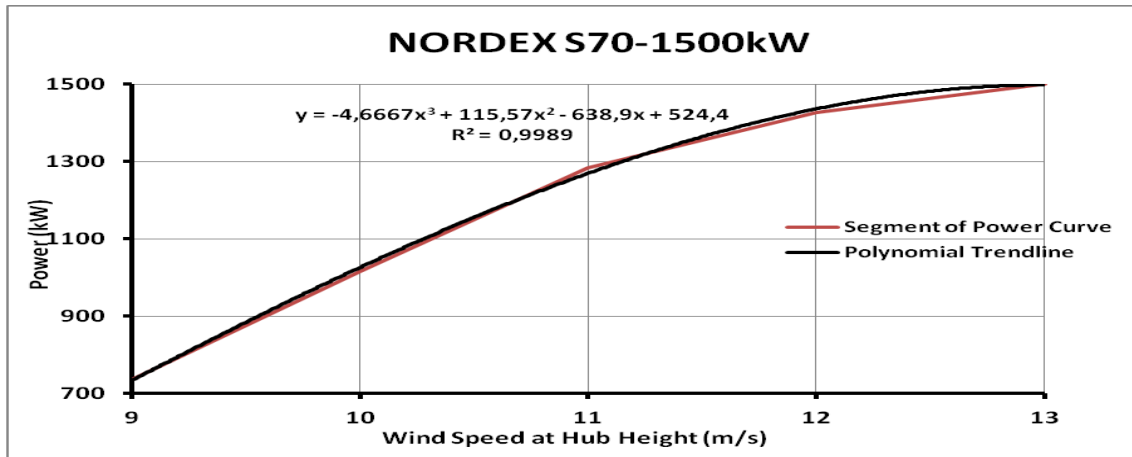
Γράφημα 6.35 Καμπύλη Ισχύος NORDEX S70-1.500kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**



Γράφημα 6.36 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.53 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.37 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

NORDEX S70-1.500kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-4	$y=0$	1
4-9	$y=-1,166x^4+29,37x^3-249,3x^2+948,4x-1362$	0,9999
9-13	$y=-4,666x^3+115,5x^2-638,9x+524,4$	0,9989
13-25	$y=1500$	1

Πίνακας 6.53 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.54, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	70	70
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,081

Πίνακας 6.54

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	6.782.842	51,5	7.455.354	56,6
Με Απώλειες	5.937.870	45,1	6.526.604	49,5

Πίνακας 6.55 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.55.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *NORDEX S70-1.500kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.56 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	764.954	68,5	800.831	71,8
Αύγουστος	741.013	66,5	779.832	70,0
Σεπτέμβριος	489.373	45,4	525.787	48,7
Οκτώβριος	492.079	44,2	520.967	46,8
Νοέμβριος	742.769	68,8	774.756	71,7
Δεκέμβριος	399.445	35,9	429.928	38,7
Ιανουάριος	611.175	54,8	648.488	58,2
Φεβρουάριος	544.011	52,1	582.990	55,8
Μάρτιος	464.186	41,6	498.868	44,7
Απρίλιος	327.361	30,3	364.515	33,8
Μάιος	436.838	39,1	465.249	41,7
Ιούνιος	770.213	71,5	796.725	73,9
Χωρίς Απώλειες	6.783.417	51,6	7.188.935	54,6
Με Απώλειες	5.938.372	45,1	6.293.374	47,8

*Πίνακας 6.56 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$*

6.1.2.12 SUZLON S64-1.250kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [41]

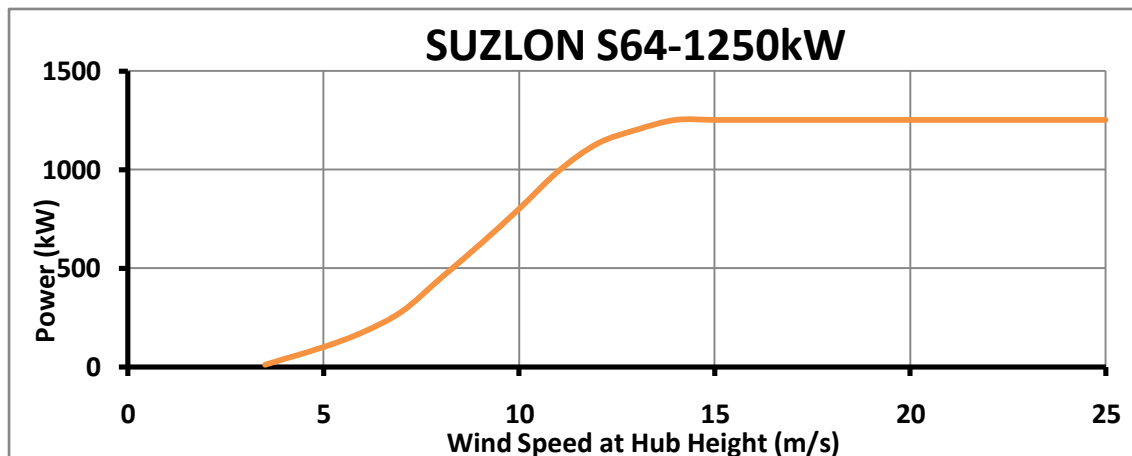
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *S64-1.250kW* της εταιρείας *SUZLON* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Διάμετρος Ρότορα	64m
Ύψος πλήμνης	65m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN II
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 13,5-20,3rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	1.390kW, Λόγος: 1:74,9 (50 Hz), Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Επαγωγική ηλεκτρογεννήτρια διπλής ταχύτητας (ασύγχρονη), Ταχύτητα ονομαστικής ισχύος: 1.006/1.506rpm(300/1250kW), 1.007/1.509rpm (250/1250kW)
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό φρενάρισμα με 3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων & μηχανικό φρενάρισμα με υδραυλικό δισκόφρενο

Πίνακας 6.57 Τεχνικά χαρακτηριστικά SUZLON S64-1.250kW

➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

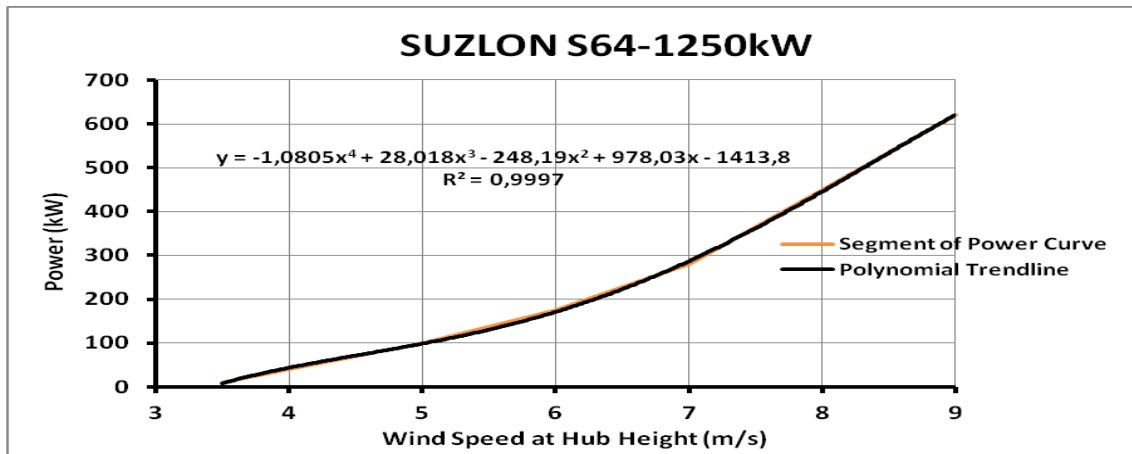
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.38* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



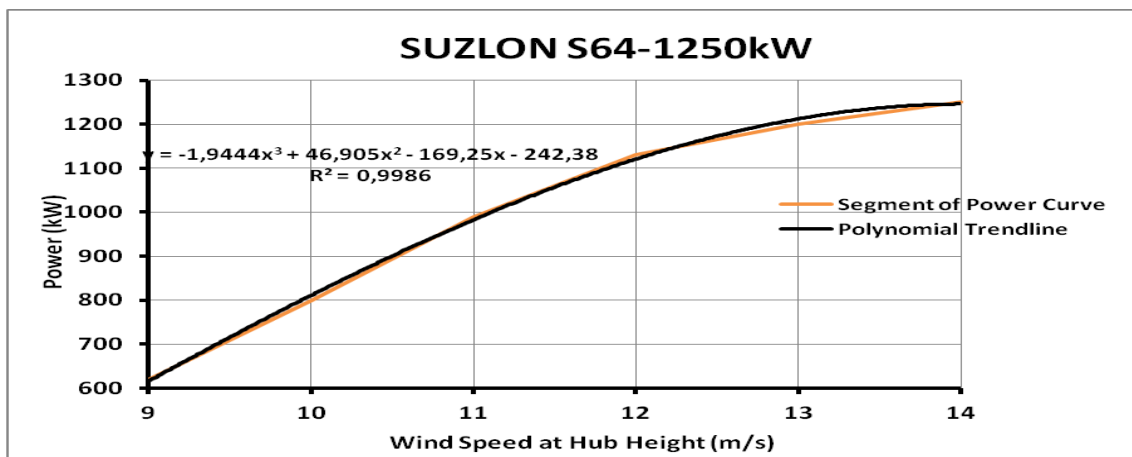
Γράφημα 6.38 Καμπύλη Ισχύος SUZLON S64 -1.250kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.58 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.39 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.40 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

SUZLON S64-1.250kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολύωνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-3,5	$y=0$	1
3,5-9	$y=-1,08x^4+28,01x^3-248,1x^2+978x-1413$	0,9997
9-14	$y=-1,944x^3+46,9x^2-169,2x-242,3$	0,9986
14-25	$y=1250$	1

Πίνακας 6.58 Πολύωνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.59, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	65	65
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,078

Πίνακας 6.59

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	5.561.184	50,6	6.101.872	55,6
Με Απώλειες	4.868.400	44,3	5.341.731	48,6

Πίνακας 6.60 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.60.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *SUZLON S64-1.250kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.61 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	617.754	66,4	646.172	69,5
Αύγουστος	597.304	64,3	628.202	67,6
Σεπτέμβριος	397.339	44,2	425.907	47,4
Οκτώβριος	403.188	43,4	426.846	46,0
Νοέμβριος	602.431	66,9	628.503	69,8
Δεκέμβριος	332.053	35,8	356.563	38,5
Ιανουάριος	498.880	53,7	528.072	56,8
Φεβρουάριος	442.833	50,9	473.425	54,4
Μάρτιος	382.113	41,1	409.555	44,0
Απρίλιος	272.767	30,3	302.037	33,6
Μάιος	358.688	38,6	381.731	41,0
Ιούνιος	628.109	70,0	650.293	72,4

Χωρίς Απώλειες	5.533.460	50,5	5.857.306	53,4
Με Απώλειες	4.844.130	44,2	5.127.632	46,8

Πίνακας 6.61 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $a=0,00$ και $0,04$

6.1.2.13 SUZLON S66-1.250kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [41]

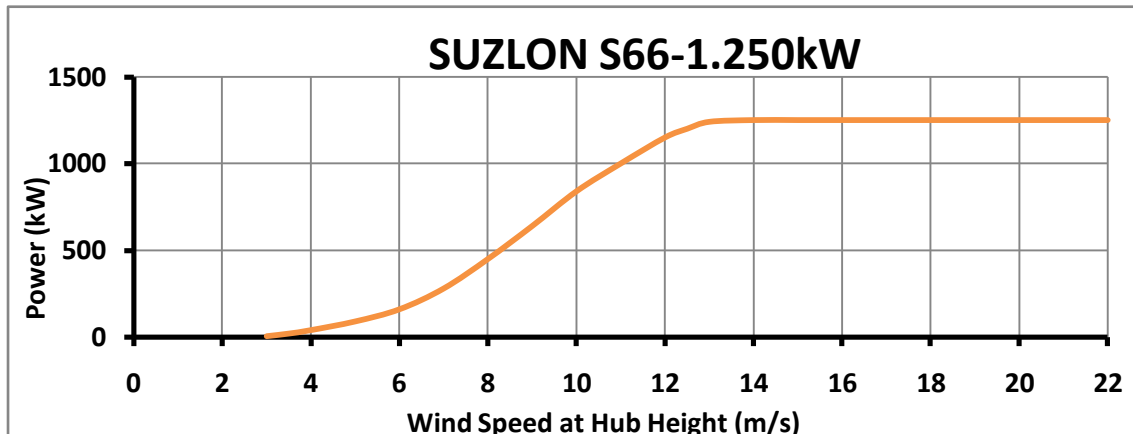
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου S66-1.250kW της εταιρείας SUZLON παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Διάμετρος Ρότορα	66m
Ύψος πλήμνης	65m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN III
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 13,5-20,3rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	1.390kW, Λόγος: 1:74,9 (50 Hz), Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Επαγωγική ηλεκτρογεννήτρια διπλής ταχύτητας (ασύγχρονη), Ταχύτητα ονομαστικής ισχύος: 1.006/1.506rpm(300/1250kW), 1.007/1.509rpm (250/1250kW)
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό φρενάρισμα με 3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων & μηχανικό φρενάρισμα με υδραυλικό δισκόφρενο

Πίνακας 6.62 Τεχνικά χαρακτηριστικά SUZLON S66-1.250kW

➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

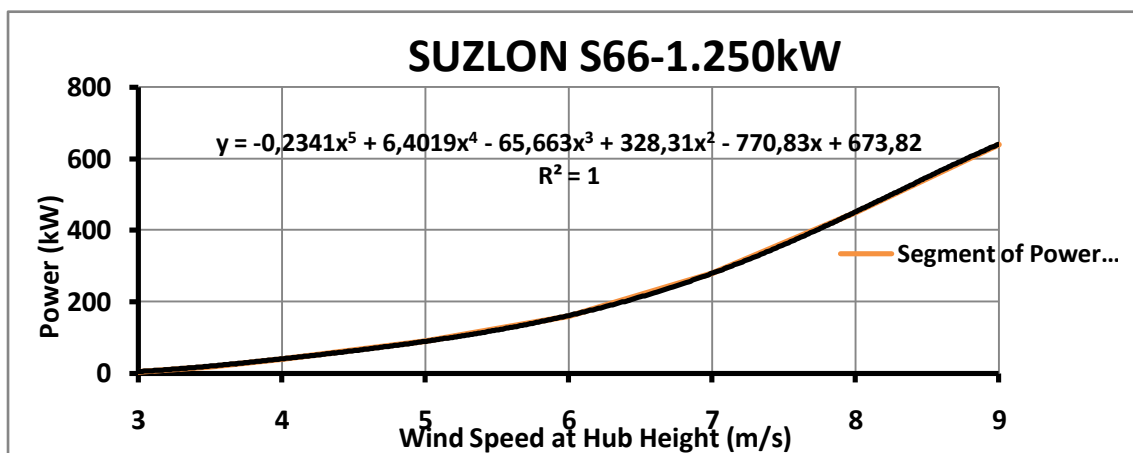
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.41* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



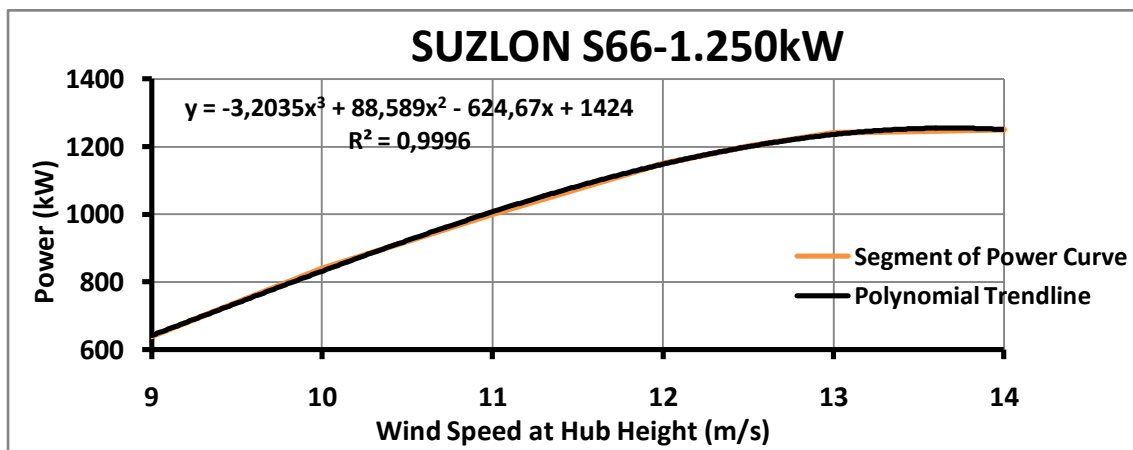
Γράφημα 6.41 Καμπύλη Ισχύος SUZLON S66-1.250kW

➤ 1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.63 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.42 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 5^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.43 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

SUZLON S66 -1.250kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-3	y=0	1
3-9	$y=-0,234x^5+6,401x^4-65,66x^3+328,3x^2-770,8x+673,8$	1
9-14	$y=-3,203x^3+88,58x^2-624,6x+1424$	0,9996
14-22	y=1250	1

Πίνακας 6.63 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.64, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	65	65
$(H_{hub}/H_{ref})^{\alpha}$	1	1,078

Πίνακας 6.64

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	5.621.608	51,2	6.140.999	55,9
Με Απώλειες	4.921.296	44,8	5.375.984	49,0

Πίνακας 6.65 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.65.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *SUZLON S66 -1.250kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.66 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	628.235	67,6	656.460	70,6
Αύγουστος	608.479	65,5	639.545	68,8
Σεπτέμβριος	404.576	45,0	433.666	48,2
Οκτώβριος	408.519	44,0	432.279	46,6

Νοέμβριος	610.858	67,9	636.939	70,8
Δεκέμβριος	334.677	36,1	359.013	38,7
Ιανουάριος	506.133	54,5	535.784	57,7
Φεβρουάριος	449.773	51,7	481.017	55,3
Μάρτιος	383.268	41,2	410.599	44,2
Απρίλιος	275.629	30,6	305.388	33,9
Μάιος	363.232	39,1	386.530	41,6
Ιούνιος	635.194	70,7	657.061	73,2
Χωρίς Απώλειες	5.608.572	51,2	5.934.280	54,1
Με Απώλειες	4.909.884	44,8	5.195.017	47,4

Πίνακας 6.66 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $a=0,00$ και $0,04$

6.1.2.14 SUZLON S82-1.500kW

➤ Τεχνικά Χαρακτηριστικά [41]

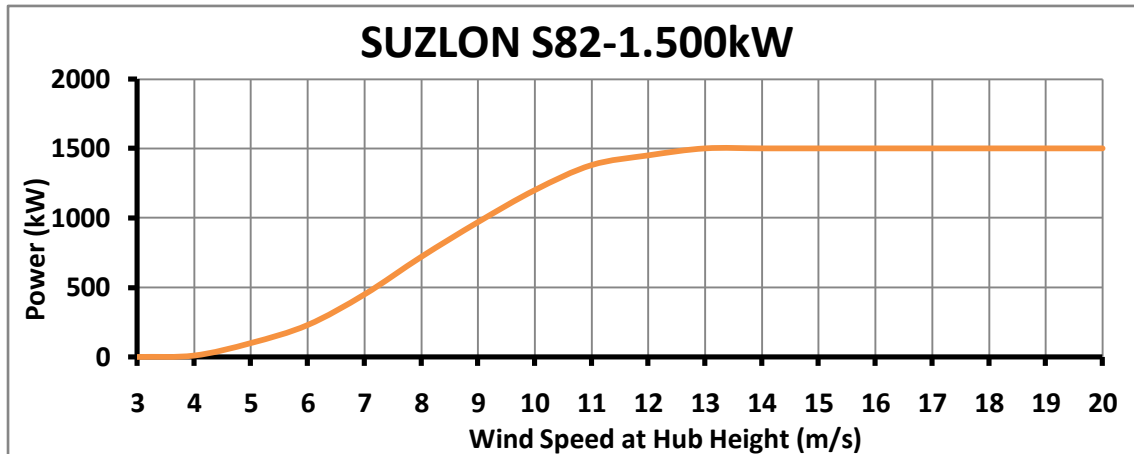
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου S82-1.500kW της εταιρείας SUZLON παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Διάμετρος Ρότορα	82m
Ύψος πλήμνης	78,5m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IIIA
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control)
Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 15,6-18,4rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	1.650kW, Λόγος: 1:95,09 (50 Hz), Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Επαγωγική ηλεκτρογεννήτρια μονής ταχύτητας με δακτυλίους ολίσθησης, μεταβλητή αντίσταση δρομέα μέσω συστήματος ολίσθησης Suzlon Flexi, Ταχύτητα ονομαστικής ισχύος: 1.511rpm
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό φρενάρισμα με 3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων & μηχανικό φρενάρισμα με υδραυλικό δισκόφρενο

Πίνακας 6.67 Τεχνικά χαρακτηριστικά SUZLON S82-1.500kW

➤ **Εκτίμηση Ενέργειακής Παραγωγής**

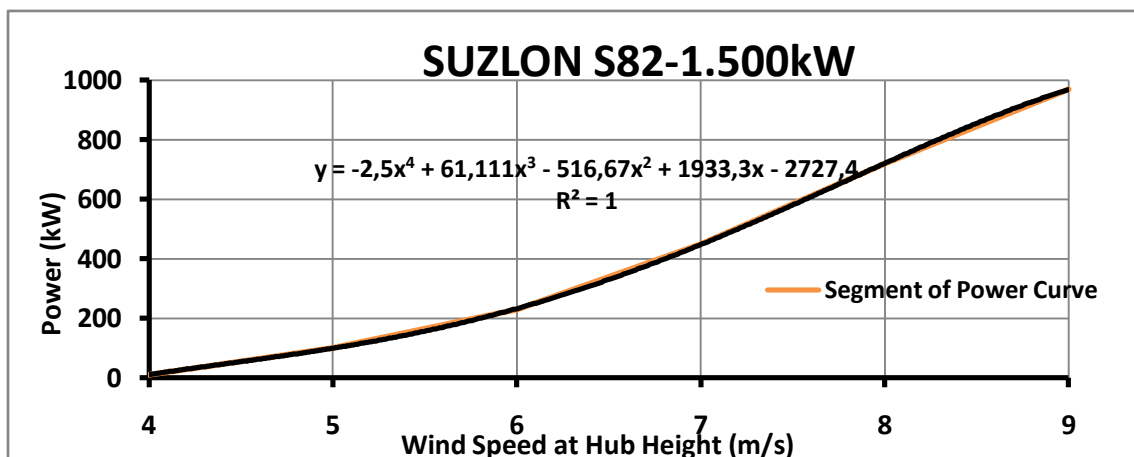
Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.44* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



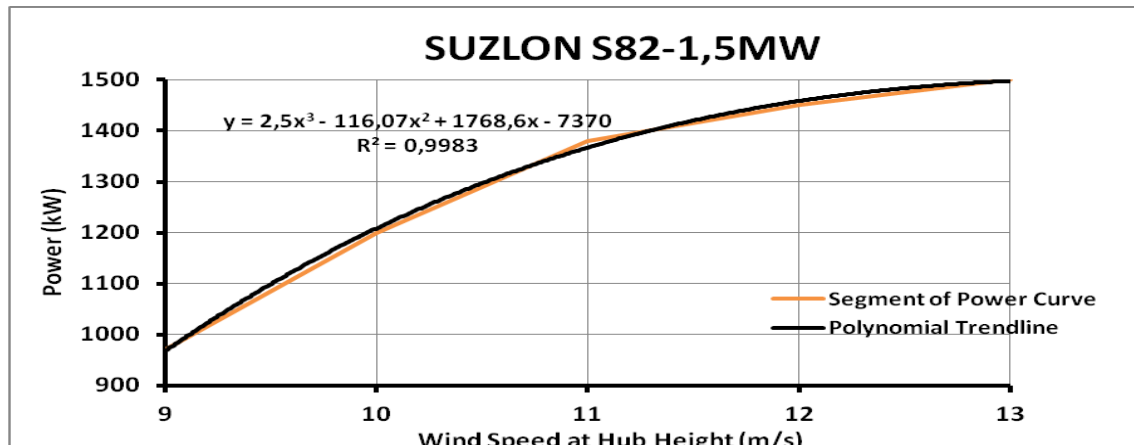
Γράφημα 6.44 Καμπύλη Ισχύος SUZLON S82-1.500kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνυμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον *Πίνακα 6.68* συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2), επιθυμητή τιμή του οποίου είναι στο διάστημα 0,98 έως 1.



Γράφημα 6.45 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει



Γράφημα 6.46 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνομική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

SUZLON S82 -1.500kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R ²
1-4	y=0	1
4-9	y=-2,5x ⁴ +61,11x ³ -516,6x ² +1933x-2727	1
9-13	y=2,5x ³ -116x ² +1768x-7370	0,9983
13-20	y=1500	1

Πίνακας 6.68 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.69, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	78,5	78,5
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,086

Πίνακας 6.69

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	7.377.197	56,0	7.942.096	60,3
Με Απώλειες	6.458.183	49,0	6.952.710	52,8

Πίνακας 6.70 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.70.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *SUZLON S82 -1.500kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.71 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	817.621	73,3	850.077	76,2
Αύγουστος	803.095	72,0	839.162	75,3
Σεπτέμβριος	544.335	50,4	582.274	54,0
Οκτώβριος	531.554	47,7	563.158	50,6
Νοέμβριος	789.459	73,1	820.284	76,0
Δεκέμβριος	435.127	39,1	472.698	42,5
Ιανουάριος	669.394	60,0	708.833	63,6
Φεβρουάριος	604.232	57,9	645.527	61,8
Μάρτιος	498.952	44,7	537.932	48,2
Απρίλιος	376.759	34,9	421.838	39,1
Μάιος	473.359	42,4	505.524	45,3
Ιούνιος	804.573	74,7	831.093	77,1
Χωρίς Απώλειες	7.348.462	55,9	7.778.400	59,1
Με Απώλειες	6.433.027	48,9	6.809.406	51,8

Πίνακας 6.71 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος *WindRose* για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.15 VESTAS V52-850kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [42]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *V52-850kW* της εταιρείας *VESTAS* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

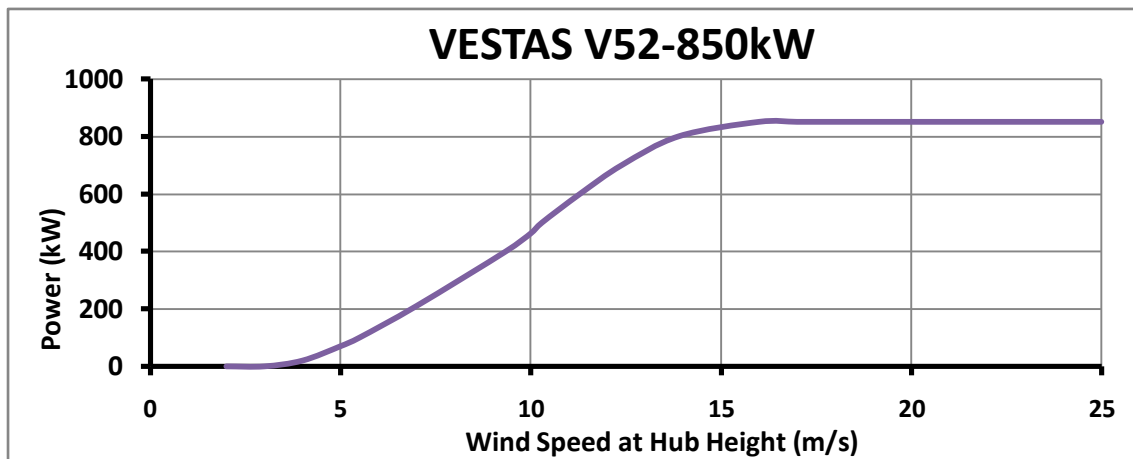
Διάμετρος Ρότορα	52m
Ύψος πλήμνης	74m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN IA
Έλεγχος Ισχύος	Ρύθμιση γωνίας κλίσης πτερυγίων (pitch control), Optispeed

Ταχύτητα Περιστροφής	Μεταβλητή, 14,0-31,4 rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Επαγωγική ηλεκτρογεννήτρια (ασύγχρονη) με Optispeed
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό φρενάρισμα με 3 ανεξάρτητα συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων

Πίνακας 6.72 Τεχνικά χαρακτηριστικά VESTAS V52-850kW

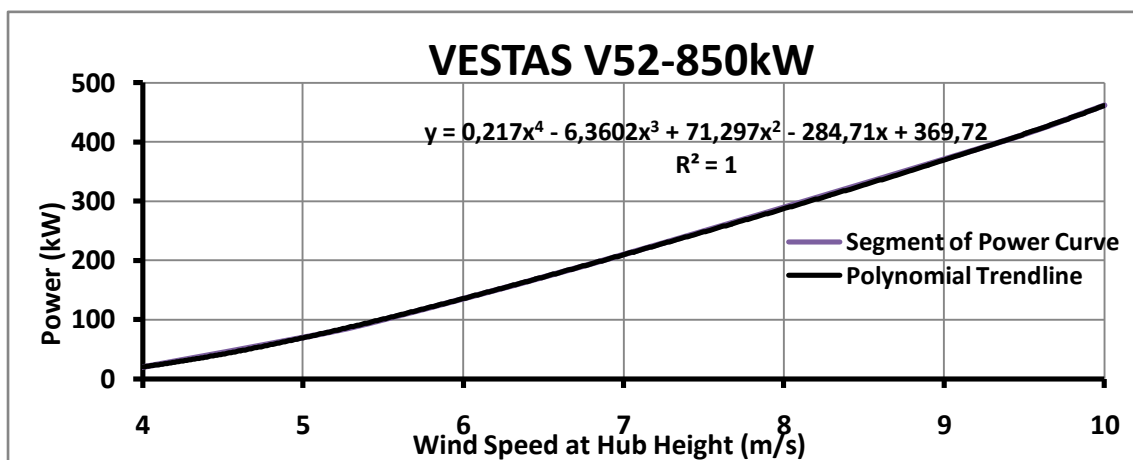
➤ **Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής**

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.47* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



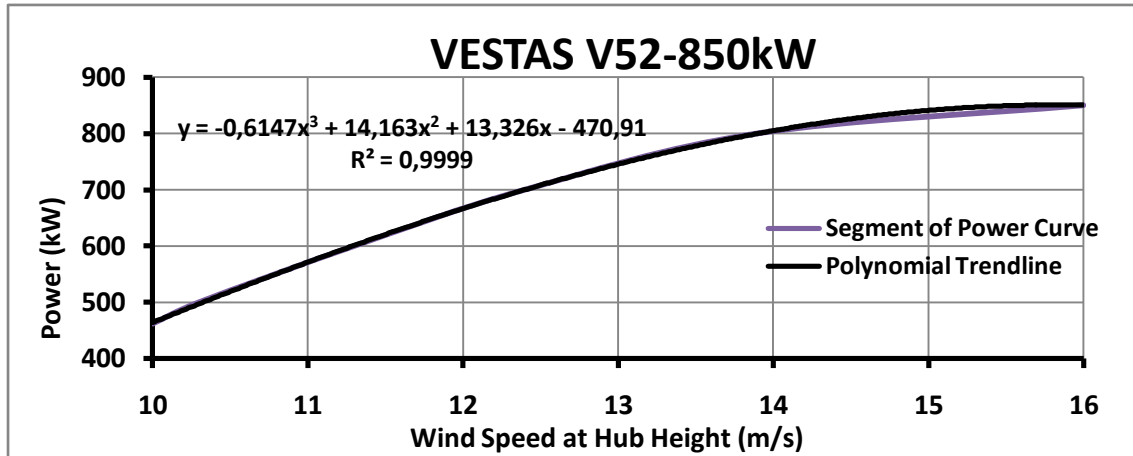
Γράφημα 6.47 Καμπύλη Ισχύος VESTAS V52-850kW

➤ **1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης**



Γράφημα 6.48 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.73 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.49 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

VESTAS V52-850kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-4	$y=0$	1
4-10	$y=0,217x^4-6,36x^3+71,29x^2-284,7x+369,7$	1
10-16	$y=-0,614x^3+14,16x^2+13,32x-470,9$	0,9999
16-25	$y=850$	1

Πίνακας 6.73 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.74, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	74	74
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,083

Πίνακας 6.74

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	3.467.394	46,4	3.869.817	51,8
Με Απώλειες	3.035.443	40,7	3.387.735	45,4

Πίνακας 6.75 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.75.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *VESTAS V52-850kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.76 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	380.514	60,2	401.369	63,5
Αύγουστος	365.820	57,9	387.431	61,3
Σεπτέμβριος	243.640	39,8	263.400	43,1
Οκτώβριος	253.791	40,2	270.723	42,9
Νοέμβριος	375.242	61,3	394.172	64,4
Δεκέμβριος	213.975	34,0	231.042	36,7
Ιανουάριος	312.294	49,4	332.240	52,6
Φεβρουάριος	274.584	46,4	294.873	49,8
Μάρτιος	242.262	38,3	260.841	41,2
Απρίλιος	174.093	28,5	192.973	31,5
Μάιος	226.145	35,8	242.460	38,3
Ιούνιος	397.037	65,0	413.785	67,8
Χωρίς Απώλειες	3.459.394	46,4	3.685.312	49,4
Με Απώλειες	3.028.440	40,6	3.226.214	43,3

Πίνακας 6.76 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.1.2.16 VESTAS V82-1.650kW

➤ **Τεχνικά Χαρακτηριστικά** [42]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου *V82-1.650kW* της εταιρείας *VESTAS* παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

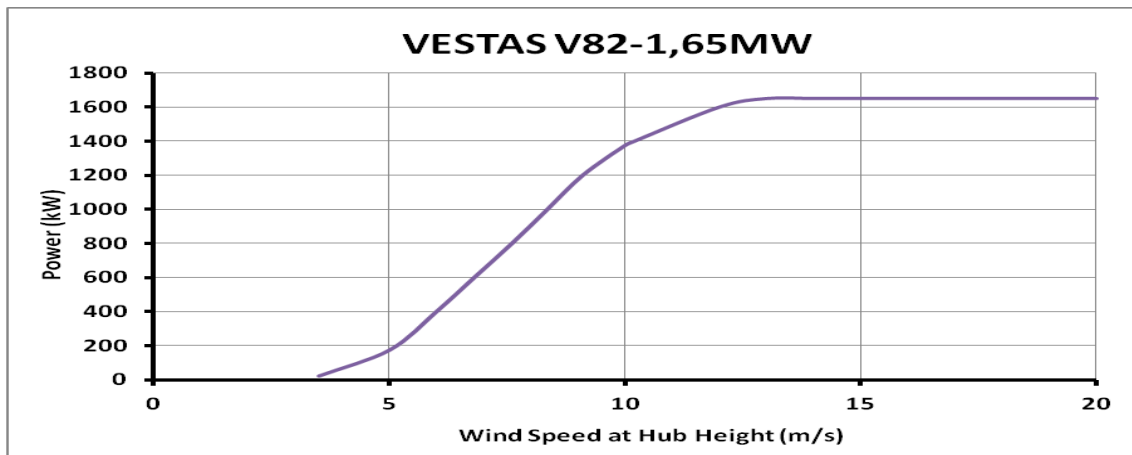
Διάμετρος Ρότορα	82m
Ύψος πλήμνης	78m
Κλάση Α/Γ (IEC)	IEC/NVN ΙΑ

Έλεγχος Ισχύος	Αεροδυναμικής αποκόλλησης (Active-Stall)
Ταχύτητα Περιστροφής	Σταθερή, 14,4rpm
Κιβώτιο Ταχυτήτων	Στάδια: 3
Τύπος ηλεκτρογεννήτριας	Υδρόψυκτη επαγωγική ηλεκτρογεννήτρια (ασύγχρονη)
Φρενάρισμα	Αεροδυναμικό φρενάρισμα με 3 ανεξάρτητα υδραυλικά συστήματα ρύθμισης γωνίας κλίσης πτερυγίων

Πίνακας 6.77 Τεχνικά χαρακτηριστικά VESTAS V82-1.650kW

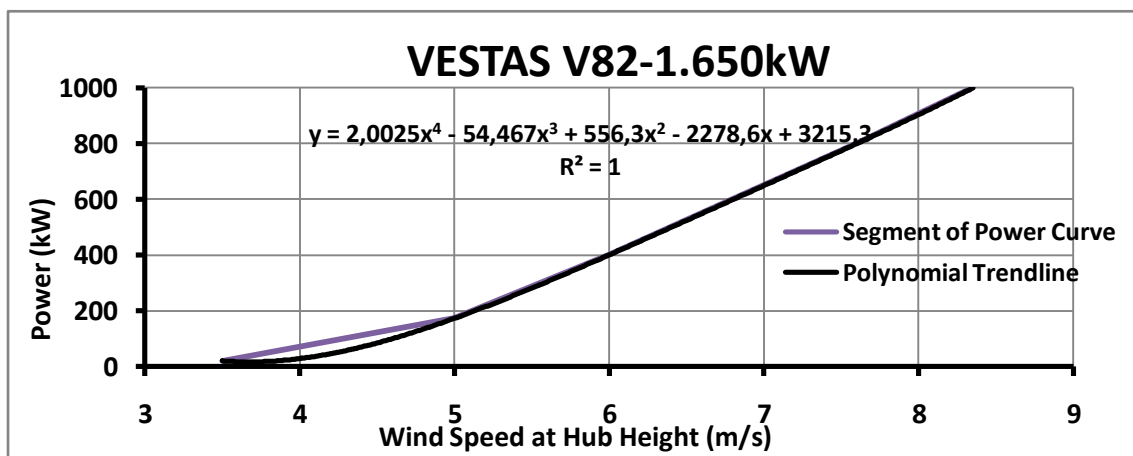
➤ Εκτίμηση Ενεργειακής Παραγωγής

Η καμπύλη ισχύος δίνεται στο *Γράφημα 6.50* και χαράχτηκε βάσει της δοθείσας καμπύλης ισχύος της κατασκευάστριας εταιρείας που δίνεται στο Παράρτημα της εργασίας.



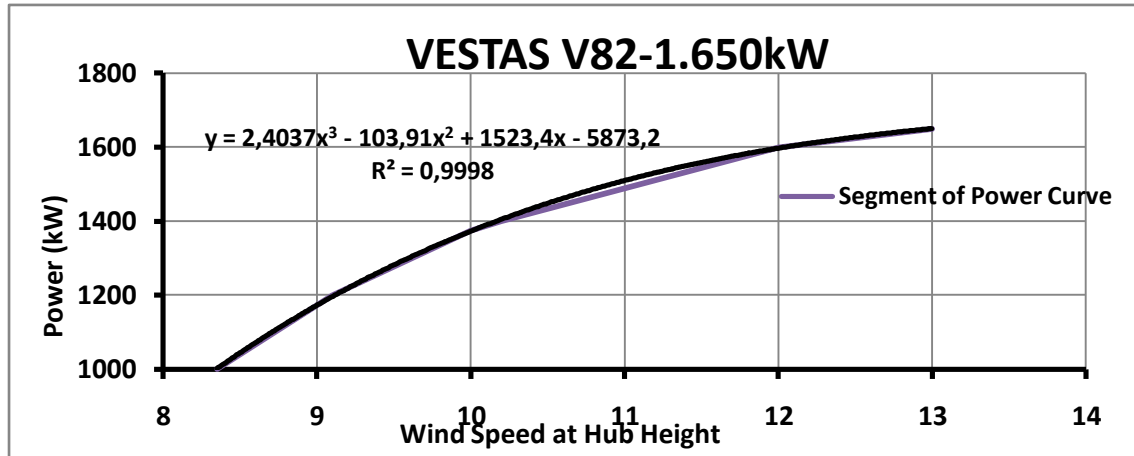
Γράφημα 6.50 Καμπύλη Ισχύος VESTAS V82 -1.650kW

➤ 1^η Μέθοδος: Προσέγγιση Καμπύλης Ισχύος με Πολυωνυμικές Γραμμές Τάσης



Γράφημα 6.51 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνυμική γραμμή τάσης 4^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

Βάσει της μεθόδου αυτής, η καμπύλη ισχύος της Α/Γ χωρίζεται σε 4 διαστήματα ταχυτήτων ανέμου και κάθε τμήμα προσεγγίζεται με μια πολυωνμική γραμμή τάσης (*polynomial trendline*), όπως φαίνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στον Πίνακα 6.78 συγκεντρώνονται τα στοιχεία της κάθε γραμμής τάσης μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή παλινδρόμησης (R^2).



Γράφημα 6.52 Τμήμα της καμπύλης ισχύος μαζί με την πολυωνμική γραμμή τάσης 3^{ου} βαθμού που την προσομοιώνει

VESTAS V82-1.650kW		
Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου (m/s)	Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος	Συντελεστής Παλινδρόμησης R^2
1-3,5	$y=0$	1
3,5-8,35	$y=2,002x^4-54,46x^3+556,3x^2-2278x+3215$	1
8,35-13	$y=2,403x^3-103,9x^2+1523x-5873$	0,9998
13-20	$y=1650$	1

Πίνακας 6.78 Πολυώνυμο Προσέγγισης Καμπύλης Ισχύος ανά Εύρος Ταχυτήτων Ανέμου

Για την εφαρμογή του εκθετικού νόμου με εκθέτη ίσο με 0,00 και 0,04 κατά περίπτωση, συμπληρώνεται ο Πίνακας 6.79, βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}) στο ύψος της πλήμνης (H_{Hub}) κάθε Α/Γ.

	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$
$H_{ref}(m)$	10	10
$H_{hub}(m)$	78	78
$(H_{hub}/H_{ref})^\alpha$	1	1,086

Πίνακας 6.79

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Χωρίς Απώλειες	8.508.316	58,7	9.083.234	62,7
Με Απώλειες	7.448.393	51,4	7.951.690	54,9

Πίνακας 6.80 Παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και συντελεστής χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

Γνωρίζοντας πλέον την ταχύτητα ανέμου (U_{Hub}), με κατάλληλη εφαρμογή των τύπων της παραγόμενης ενέργειας για ένα έτος (E_w), έχοντας προηγουμένως υπολογίσει την εκτιμώμενη ισχύ (P_w) ανά δεκάλεπτο βάσει των Πολυωνυμικών Γραμμών Τάσεων (*Polynomial Trendline*), του συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ (*Capacity Factor*) και του γενικού συντελεστή απωλειών (LF) συμπληρώνεται καταλλήλως ο Πίνακας 6.80.

➤ **2^η Μέθοδος: Εφαρμογή Προγράμματος WindRose**

Η εφαρμογή του προγράμματος *WindRose* ανά μήνα, με την σωστή εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και τεχνικών χαρακτηριστικών της *VESTAS V82-1.650kW*, μας δίνει τον Πίνακα 6.81 που ακολουθεί:

	$\alpha=0,00$		$\alpha=0,04$	
	E(kWh)	Capacity Factor (%)	E(kWh)	Capacity Factor (%)
Ιούλιος	924.178	75,3	957.622	78,0
Αύγουστος	910.178	74,2	946.093	77,2
Σεπτέμβριος	635.025	53,5	676.445	57,0
Οκτώβριος	618.085	50,4	654.171	53,4
Νοέμβριος	892.883	75,2	924.742	77,8
Δεκέμβριος	523.180	42,8	566.611	46,3
Ιανουάριος	774.349	63,1	815.747	66,5
Φεβρουάριος	703.654	61,3	747.406	65,1
Μάρτιος	592.371	48,3	635.614	51,8
Απρίλιος	465.756	39,2	516.655	43,5
Μάιος	554.724	45,2	591.695	48,2
Ιούνιος	907.646	76,6	935.409	78,9
Χωρίς Απώλειες	8.502.028	58,8	8.968.210	62,0
Με Απώλειες	7.442.888	51,4	7.850.996	54,3

Πίνακας 6.81 Αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος WindRose για την παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τον συντελεστή χρησιμοποίησης Α/Γ χωρίς απώλειες και έπειτα από πολλαπλασιασμό με τον γενικό συντελεστή απωλειών για $\alpha=0,00$ και $0,04$

6.2 Προτάσεις Αγοράς Ανεμογεννητριών βάσει Σεναρίων Λειτουργίας της Νέας Μονάδας Αφαλάτωσης

Παρακάτω παρατίθενται οι προτάσεις αγοράς Α/Γ προς την Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου προς αντιστάθμιση των ενεργειακών καταναλώσεων του νέου εργοστασίου αφαλάτωσης που λειτουργεί στο νησί. Γίνεται σαφές όμως, ότι για την τελική επιλογή της καταλληλότερης Α/Γ πρέπει να εξεταστούν ορισμένα επιπλέον κριτήρια όπως [1]:

- Ανεμολογικές Συνθήκες Ακριβούς Θέσης Εγκατάστασης: Οι μετρήσεις του ανέμου, για τουλάχιστον ένα έτος, απαιτούνται για την εκτίμηση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας σε ετήσια βάση καθώς και την ένταση της τύρβης του ανέμου. Με βάση αυτές τις μετρήσεις, θα αποφασιστεί η σωστή κλάση και το μέγεθος της Α/Γ
- Χαρακτηριστικά Τοπίου Θέσης Εγκατάστασης: οι τοπογραφικές συνθήκες, το μήκος τραχύτητας, η διαθεσιμότητα γης, οι υφιστάμενες οδοί, οι κλίσεις εδάφους και άλλα φυσικά εμπόδια είναι μερικά από αυτά που πρέπει να αποσαφηνιστούν
- Ενεργειακό Ισοζύγιο: Η παραχθείσα ενέργεια της επιλεγμένης Α/Γ πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις σε ενέργεια της μονάδας αφαλάτωσης ανάλογα με το επιλεγθέν σενάριο λειτουργίας
- Οικονομικά Κριτήρια: Ο διαθέσιμος προϋπολογισμός θα καθορίσει τελικά το ακριβές μέγεθος της Α/Γ που θα χρησιμοποιηθεί. Το πρόσθετο κόστος μεταφοράς θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη και τέλος, η τιμή πώλησης της ενέργειας της Α/Γ (*feed-in tariff*) είναι η κρίσιμη παράμετρος για την αποτελεσματικότητα της υπό μελέτη επένδυσης.

6.2.1 Σενάριο Ν°1: Λειτουργία αφαλάτωσης 8ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.1 του *Κεφαλαίου 5*, η υπολογισθείσα ετήσια κατανάλωση ενέργειας των τριών μονάδων αφαλάτωσης ανέρχεται σε **3.573.658 kWh**. Βάσει της εκτίμησης της παραγόμενης ενέργειας, συνυπολογίζοντας τις υπεισερχόμενες απώλειες μέσω του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*), των μοντέλων που εξετάστηκαν παραπάνω, οι Α/Γ που προτείνονται για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης είναι είτε η **ENERCON E53-800kW**, είτε η **GAMESA G58-850kW**.

6.2.2 Σενάριο Ν°2: Λειτουργία αφαλάτωσης 12ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2 του *Κεφαλαίου 5*, η υπολογισθείσα ετήσια κατανάλωση ενέργειας των τριών μονάδων αφαλάτωσης ανέρχεται σε **4.021.159 kWh**. Βάσει της εκτίμησης της παραγόμενης ενέργειας, συνυπολογίζοντας τις υπεισερχόμενες απώλειες μέσω του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*), των μοντέλων που εξετάστηκαν παραπάνω, η Α/Γ που προτείνεται για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης είναι η **MADE AE61-1.320kW**. Η παραγόμενη ενέργεια του μοντέλου αυτού, παρότι υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης, είναι πιο κοντά από την εκτιμώμενη ενέργεια των υπολοίπων Α/Γ.

6.2.3 Σενάριο Ν°3: Λειτουργία αφαλάτωσης 24ώρες/ημέρα όλο το έτος ("*Worst Case Analysis*")

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.3 του *Κεφαλαίου 5*, η υπολογισθείσα ετήσια κατανάλωση ενέργειας των τριών μονάδων αφαλάτωσης ανέρχεται σε **5.326.745 kWh**. Βάσει της εκτίμησης της παραγόμενης ενέργειας, συνυπολογίζοντας τις υπεισερχόμενες απώλειες μέσω του γενικού συντελεστή απωλειών (*LF*), των μοντέλων που εξετάστηκαν παραπάνω, οι Α/Γ που προτείνονται για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης είναι είτε η **SUZLON S66-1.250kW**, είτε η **NORDEX S70-1.500kW**. Η SUZLON S66-1.250kW καλύπτει οριακά τις ενεργειακές ανάγκες για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης, εν αντιθέσει με την NORDEX S70-1.500kW που τις υπερκαλύπτει αλλά είναι πιο κοντά σε σχέση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα μοντέλα Α/Γ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ Α/Γ & ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

7.1 Κωδικοποίηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων [26]

Οι κύριες περιβαλλοντικές παράμετροι που συνδέονται με τις μονάδες αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- Οπτική Όχληση- Αισθητική Ένταξη
- Θόρυβος
- Χλωρίδα- Πανίδα
- Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές

Παράγοντες όπως το μέγεθος του αιολικού πάρκου, ο τύπος και το μέγεθος της Α/Γ, το μέγεθος των συνοδών έργων (π.χ. οδοποιίας) και τα χαρακτηριστικά του τόπου εγκατάστασης (π.χ. εγκατάσταση κοντά σε ευαίσθητες περιβαλλοντικά περιοχές) παίζουν σημαντικό ρόλο στον βαθμό πίεσης στο περιβάλλον.

Το σημαντικότερο θετικό στοιχείο από την ανάπτυξη-εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας είναι η μείωση των ανθρωπογενών επιπτώσεων με την αντικατάσταση καύσης συμβατικών καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή, το οποίο μέχρι σήμερα δεν αποτιμάται επαρκώς. Οι σημαντικότερες ενδεχόμενες επιπτώσεις των αιολικών έχουν να κάνουν με την αισθητική τους ένταξη και τον θόρυβο και αυτές ανάλογα τον τρόπο και τόπο χωροθέτησης των Α/Γ. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να χαρακτηριστούν ως τοπικού χαρακτήρα και μπορούν να μειωθούν ή να αποφευχθούν με κατάλληλο σχεδιασμό του έργου (σταθμός και συνοδά έργα), αλλά και ιδιαίτερη προσοχή κατά τη φάση κατασκευής και λειτουργία του.

Στη συνέχεια παρατίθενται και σχολιάζονται κάποια βασικά ζητήματα που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την περιβαλλοντική τους «συμβατότητα». Τονίζεται ότι τα σημεία αυτά αποτελούν τα βασικά περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με την αιολική ενέργεια και ενδέχεται να διαφοροποιούνται ως προς την έκτασή τους και έντασή τους από περίπτωση σε περίπτωση.

7.1.1 Οπτική Όχληση - Αισθητική Ένταξη

Η οπτική όχληση είναι κάτι υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Η οπτική όχληση επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου χώρου εγκατάστασης και εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων, ανάμεσα στους οποίους είναι και μερικοί οι οποίοι είναι υποκειμενικοί, όπως:

- το φυσικό μέγεθος των Α/Γ
- η απόσταση των Α/Γ από τον παρατηρητή
- ο αριθμός και ο σχεδιασμός των Α/Γ
- η διάταξη (διαρρύθμιση) του αιολικού πάρκου
- η πυκνότητα του τοπικού πληθυσμού μέσα στη ζώνη της οπτικής επιρροής του αιολικού πάρκου

- ο αριθμός των επισκεπτών της γύρω περιοχής
- το είδος του τοπίου και η ύπαρξη εναλλακτικών «μη υποβαθμισμένων» περιοχών
- οι καιρικές συνθήκες και η τοπική τοπογραφία (εδαφικοί σχηματισμοί)
- η στάση των ατόμων όσο αφορά στο τοπίο και το φυσικό κάλλος
- η αντίληψη των ατόμων για το υπάρχον επίπεδο της οπτικής καλαισθησίας
- η στάση των ατόμων ως προς την αιολική ενέργεια

Η οπτική επιβάρυνση σχετίζεται με το ύψος, το σχήμα, τη φόρμα, το χρώμα και τον αριθμό των Α/Γ. Η πραγματική επίδραση σε ότι αφορά στην οπτική όχληση εξαρτάται και από τον πληθυσμό, ο οποίος επηρεάζεται (δηλ. από τον αριθμό των παρατηρητών) και ειδικότερα από τους κατοίκους και τους επισκέπτες της γύρω περιοχής. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των επιδράσεων αυτών εξαρτάται από τις κοινωνικές τάσεις και άλλους κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η οπτική όχληση είναι κάτι το υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να μπουν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Κάποιος που είναι ευνοϊκά διατεθειμένος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας αποδέχεται την παρουσία Α/Γ σε κάποια περιοχή πολύ πιο εύκολα. Η υποκειμενικότητα αυτή δίνει και λαβή, ώστε η οπτική όχληση να γίνει η σημαία της εναντίωσης στην αιολική ενέργεια.

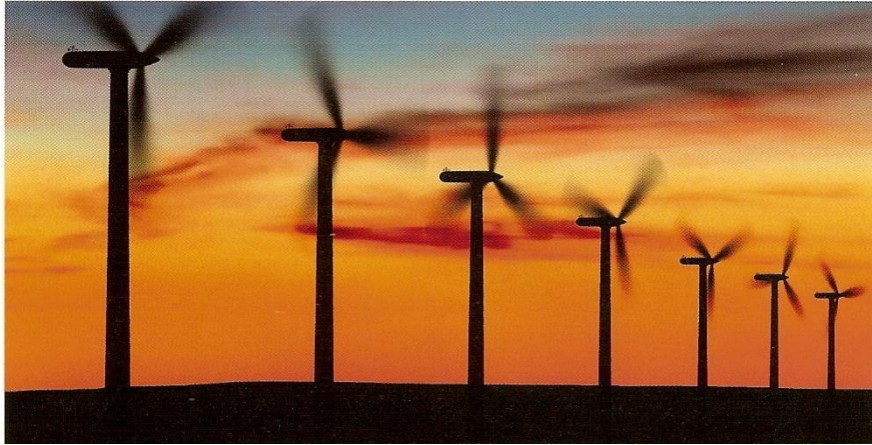
Η εμπειρία σχετικά με την ανάπτυξη αιολικών πάρκων έχει δείξει μειωμένη αίσθηση της οπτικής όχλησης εκεί όπου η τοπική κοινότητα είναι ευνοϊκά διατεθειμένη απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και μπορεί να δει τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου έργου, είτε απευθείας χρησιμοποιώντας την αιολική ενέργεια, είτε βλέποντας τους υπάρχοντες σταθμούς συμβατικών καυσίμων να αντικαθίστανται. Αντιστρόφως, θεωρείται ότι η οπτική επιβάρυνση είναι μεγαλύτερη εάν οι Α/Γ παραμένουν ανενεργές, καθώς ο παρατηρητής δεν βλέπει τη χρησιμότητά τους ή η κοινή γνώμη είναι εξαρχής αρνητική.

Η στάση των ανθρώπων μπορεί επίσης να επηρεασθεί από την οικονομική και κοινωνική σχέση μεταξύ του αιολικού πάρκου και της περιοχής που το φιλοξενεί. Στη Δανία, αιολικά πάρκα που ανήκουν στις τοπικές αυτοδιοικήσεις έγιναν πολύ περισσότερο αποδεκτά παρά εγκαταστάσεις που ανήκουν σε οργανισμούς κοινής ωφέλειας ή ιδιώτες, δίνοντας έμφαση στη σπουδαιότητα του τοπικού ρόλου ιδιοκτησίας και ελέγχου του αιολικού πάρκου.

Αν κάνουμε μια απλή σύγκριση μεταξύ ενός θερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. λιγνιτικού λαμβάνοντας υπόψη και την εκμετάλλευση του λιγνιτικού πεδίου) και ενός αντίστοιχου αιολικού πάρκου είναι σε όλους αυταπόδεικτο ότι η υποβάθμιση του τοπίου που προκύπτει από τον θερμοηλεκτρικό σταθμό είναι εμφανώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που προκύπτει από την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Παρ' όλα αυτά, η θέα ενός αιολικού πάρκου από απόσταση είναι ένα γεγονός που απαιτεί προσπάθειες ενσωμάτωσης-προσαρμογής των Α/Γ στο τοπίο, δεδομένης και της ιδιαιτερότητας κάθε τύπου εγκατάστασης.

Η μη ορθή μελέτη και εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου μπορεί να δημιουργήσει κάποια αισθητικά προβλήματα. Είναι αυτονόητο ότι κάθε εγκατάσταση αιολικού πάρκου πρέπει να συνοδεύεται από μελέτη που να εξασφαλίζει τη βέλτιστη ενσωμάτωση των Α/Γ στο τοπίο. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η ενσωμάτωση της υποδομής που συνοδεύει τις Α/Γ στον περιβάλλοντα χώρο (μικρές κτιριακές εγκαταστάσεις, κολώνες κ.τ.λ.). Υπάρχει ήδη συσσωρευμένη πείρα και ιδιαίτερα θετικά παραδείγματα από όλο τον κόσμο. Σημειώνεται εκ νέου ότι παρόλο που οι απόψεις περί αισθητικής είναι από κάποιο σημείο και πέρα υποκειμενικές, αν γίνει η σύγκριση ανάμεσα σε έναν πετρελαϊκό ή λιγνιτικό σταθμό και ένα αιολικό πάρκο, είναι εμφανές ότι το τελευταίο υπερτερεί και αισθητικά. Τέλος, αξίζει να

αναφερθεί ότι ορισμένοι θεωρούν ότι οι Α/Γ αλλοιώνουν το φυσικό τοπίο, ενώ άλλοι τις θεωρούν κομψές και όμορφες και τις βλέπουν σαν σύμβολα ενός μέλλοντος με ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση.



Εικόνα 7.1 Αισθητική ένταξη αιολικού πάρκου [26]

7.1.2 Θόρυβος

Κάθε μηχανή που αποτελείται από κινούμενα μέρη παράγει αναπόφευκτα κάποιο θόρυβο και οι Α/Γ δεν αποτελούν εξαίρεση. Ο θόρυβος αυτός αποτελούσε σοβαρό μειονέκτημα στις πρώτες εμπορικές Α/Γ που χρησιμοποιήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Οι κατασκευαστές αναγνώρισαν πολύ γρήγορα τη σοβαρότητα του προβλήματος και με συνεχή έρευνα πέτυχαν αλληπάλληλες και σημαντικές βελτιώσεις. Σήμερα πλέον μπορούμε να ισχυριστούμε με βεβαιότητα ότι οι Α/Γ είναι από τις πλέον αθόρυβες μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα επίπεδα ηχητικής "ρύπανσης" από αυτές είναι εξαιρετικά χαμηλά σε σχέση με το μέγεθος και τα επίπεδα ισχύος που παράγουν.

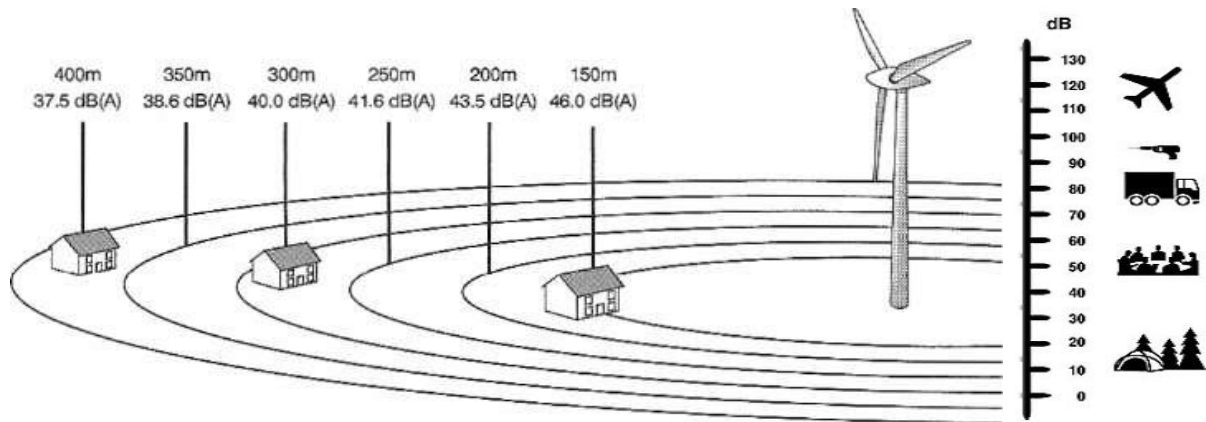
Στις Α/Γ ο παραγόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή του: μηχανικός και αεροδυναμικός.

Ο μηχανικός θόρυβος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κ.ά.). Ο αεροδυναμικός προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι σύγχρονες Α/Γ είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις γίνονται όλο και πιο αθόρυβες.

Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται είτε στην πηγή, είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν πλέον ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης) ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης, ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλαμα στήριξης. Αντίστοιχα, ο αεροδυναμικός αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, οι οποίοι δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωσή του.

Το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μια Α/Γ σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 m είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο περιβάλλον θορύβου μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500m από οικισμούς, το επίπεδο θορύβου γίνεται ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός οικιακού ψυγείου σε ένα σχετικά ήσυχο καθιστικό σπιτιού. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι Α/Γ, ο

φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου πάνω σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε χαμηλού επιπέδου θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.



Σχήμα 7.1 Απόσβεση θορύβου Α/Γ σε συνάρτηση με την απόσταση, όπου σε απόσταση 200m το επίπεδο θορύβου είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί σε μια μικρή επαρχιακή πόλη [17,26]

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και σε συνδυασμό με τη θέση των «οικοπέδων» που συνήθως εγκαθίστανται τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα (κορυφογραμμές και μακριά από κατοικημένες περιοχές) μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι τα αιολικά πάρκα δεν προκαλούν σημαντική αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου εκτός των γεωγραφικών ορίων τους.

Ο πιο εύκολος και αποτελεσματικός τρόπος για να πεισθεί κανείς για το ζήτημα του θορύβου είναι μια επίσκεψη σε ένα αιολικό πάρκο μια μέρα που οι Α/Γ βρίσκονται σε κανονική λειτουργία. Πρέπει δε να αναφερθεί ότι πολλές φορές επισκέπτες σε αιολικά πάρκα, οι οποίοι έχουν διαβάσει υπερβολικά σχόλια στον Τύπο για το πρόβλημα του θορύβου, δηλώνουν ότι εκπλήσσονται για το πόσο ήσυχες είναι οι Α/Γ στην πραγματικότητα.

7.1.3 Χλωρίδα - Πανίδα

Τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα, στη μεγάλη τους πλειονότητα, μέχρι σήμερα εγκαθίστανται σε ορεινές θέσεις με αραιή θαμνώδη βλάστηση, η οποία οφείλεται, ως ένα βαθμό, στις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες (δηλαδή στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου). Η παρουσία υψηλής βλάστησης σε μια περιοχή (συστάδες δένδρων και δασώδεις εκτάσεις) δεν προσφέρεται για εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού, δεδομένου ότι επιβραδύνει τη ροή του ανέμου. Έτσι οι θέσεις αυτές κρίνονται μη ελκυστικές για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Η συνηθέστερη χρήση γης στις θέσεις εγκατάστασης αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων, η οποία δεν διαταράσσεται από τη λειτουργία των Α/Γ. Σε πολλές χώρες είναι συνηθής εικόνα η βοσκή αγελάδων σε χορτολιβαδικές εκτάσεις δίπλα σε Α/Γ. Σπανιότερα, στις θέσεις αυτές εντοπίζονται ίχνη εγκαταλελειμμένων καλλιεργειών μικρής απόδοσης. Άλλωστε, επειδή δεν απαιτείται περιφραγή της έκτασης για την εγκατάσταση των Α/Γ, καθόσον το σύνολο του εξοπλισμού τους είναι απροσπέλαστο και προστατευόμενο, όλες οι υφιστάμενες χρήσεις γης μπορούν να συνεχιστούν εκεί χωρίς εμπόδια.

Σε κάποιες κοινότητες έχουν εκφραστεί φόβοι για διάβρωση του εδάφους από τα έργα εγκατάστασης αιολικών πάρκων και τη διάνοιξη οδών σε ορεινές περιοχές. Με σωστό προγραμματισμό και κατάλληλες τεχνικές επεμβάσεις τα πιθανά προβλήματα αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά. Αντίστοιχα προβλήματα αντιμετωπίζονται και κατά την εγκατάσταση χιονοδρομικών κέντρων σε ορεινές περιοχές. Η τεχνογνωσία για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων μπορεί να εφαρμοσθεί και στην περίπτωση των αιολικών πάρκων.

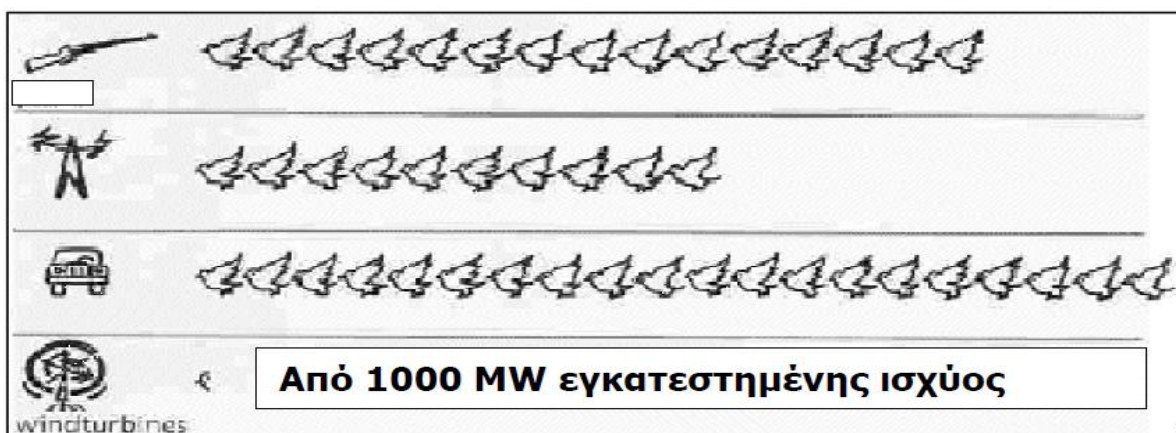
Δεν αλλάζει η χρήση της γης



Εικόνα 7.2 Δεν υφίσταται αλλαγή χρήσεως γης από την εγκατάσταση αιολικών πάρκων [17]

Σε ότι αφορά στην πανίδα, τα πουλιά καθώς πετούν μερικές φορές προσκρούουν σε κτίρια και άλλες σταθερές κατασκευές. Κύρια αιτία ανησυχίας στην περίπτωση μας είναι οι πιθανές θανατώσεις πουλιών από πρόσκρουση σε Α/Γ αλλά και σε εναέρια καλώδια και άλλες εγκαταστάσεις που πλαισιώνουν τα αιολικά πάρκα. Ως δευτερεύοντα προβλήματα αναφέρονται, επίσης, η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων των πουλιών και η ενόχλησή τους από την κατασκευή και τη λειτουργία των αιολικών πάρκων.

Οι πιθανές προσκρούσεις ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος των Α/Γ, την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων και πολλούς άλλους παράγοντες που συνδέονται με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους. Η σημασία του σωστού σχεδιασμού είναι πολύ σημαντική για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων. Ωστόσο, στην πλειονότητα των αιολικών πάρκων οι αρνητικές επιπτώσεις τους στους πληθυσμούς των πουλιών είναι από πολύ μικρές έως αμελητέες.



Σχήμα 7.2 Θάνατοι πουλιών από διάφορες αιτίες ετησίως, όπου γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις στους πληθυσμούς των πουλιών από την εγκατάσταση ανεμογεννητριών [17]

7.1.4 Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές

Η ανησυχία αυτή συνήθως αναφέρεται αφενός σε προβλήματα που προκαλούν οι Α/Γ λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου και αφετέρου σε πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες.

Είναι γεγονός ότι η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις Α/Γ προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανακλάσεων. Τα βασικότερα σήματα που μπορεί να επηρεασθούν είναι:

- Τηλεοπτικές μεταδόσεις
- Συνδέσεις μικροκυμάτων, που χρησιμοποιούνται από μεγάλους οργανισμούς για επικοινωνίες
- VHF Omni-directional Ranging (*VOR*), που χρησιμοποιείται στην αεροπλοΐα
- Συστήματα προσγείωσης με όργανα (*ILS*), που χρησιμοποιούνται από αεροσκάφη κατά την προσέγγιση για προσγείωση

Το πρόβλημα αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά Α/Γ που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων Α/Γ κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνο εφόσον διερευνηθεί κατά πόσο επηρεάζονται οι ραδιοτηλεπικοινωνιακές ή στρατιωτικές και αεροπορικές εγκαταστάσεις (*Αριθμ.1726-ΦΕΚ552/Β/2003*). Οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα παρεμβολών μπορούν να προληφθούν με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά κόστος από τον κατασκευαστή του αιολικού πάρκου με μια σειρά απλών τεχνικών μέτρων, όπως η εγκατάσταση επιπλέον αναμεταδοτών. Σε σχέση με τη συμβατότητα και τις παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, αξίζει να αναφερθεί, ότι σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες οι πύργοι των Α/Γ όχι μόνο δεν δημιουργούν εμπόδια, αλλά χρησιμοποιούνται ήδη για την εγκατάσταση κεραιών προς διευκόλυνση υπηρεσιών επικοινωνιών, όπως η κινητή τηλεφωνία.

Όσο αφορά στις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, όπως φαίνεται και από την περιγραφή των τμημάτων της Α/Γ, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαν να «εκπέμπουν» ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου, είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφος της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 50-80 m πάνω από το έδαφος. Για τον λόγο αυτόν δεν υφίσταται πραγματικό θέμα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ούτε καν στη βάση της Α/Γ.

Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η περίφραξη είναι τοποθετημένη σε τέτοια απόσταση που το επίπεδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι αμελητέο. Στις νέες Α/Γ μεγάλης ισχύος ο μετασχηματιστής βρίσκεται στην άτρακτο, σε ύψος τουλάχιστον 60 m από το έδαφος. Μπορούμε, λοιπόν, να ισχυριστούμε με βεβαιότητα ότι αυτά που ακούγονται για εκπομπή ραδιενέργειας ή ακτινοβολιών άλλου τύπου από τις Α/Γ δεν ευσταθούν.



Εικόνα 7.3 Λήψεις που μαρτυρούν ότι δεν υφίσταται θέμα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών [17]

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση λιγνίτη σε σχέση με την αιολική ενέργεια για την Ελλάδα παρατίθεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Επίπτωση	Εκτιμώμενο Κόστος (mECU/kWh)	
	Λιγνίτης	Αιολικά Πάρκα
Δημόσια υγεία	17,1	Αμελητέες
Επαγγελματικές ασθένειες	0,12	Αμελητέες
Επαγγελματικά ατυχήματα	-	-
Γεωργία		
-SO ₂	0,027	Αμελητέες
NO _x	0,35	
Οικοσυστήματα	Ποσοτικοποιείται μόνο η επίπτωση	Αμελητέες
Δάση	-	-
Χρήση γης	-	0,14
Υλικά	0,27	Αμελητέες
Μνημεία	0,019	-
Θόρυβος	Αμελητέες	1,12
Τοπίο	Αμελητέες	Αμελητέες

Πίνακας 7.1 Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων λιγνίτη-αιολικών πάρκων [26]

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται κωδικοποιημένα τα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με την εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων αιολικής ενέργειας και τα γενικά μέτρα αντιμετώπισης που μπορούν να εφαρμοστούν.

Περιβαλλοντικά Θέματα Μονάδων Αιολικής Ενέργειας		
Θετικές επιδράσεις	Επιπτώσεις	Προτάσεις
Απουσία εκπομπών (CO ₂ , NO _x , SO ₂)	Θόρυβος	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Χρήση σύγχρονης τεχνολογίας Α/Γ (κατάλληλη σχεδίαση των πτερυγίων, ελάχιστη επιβάρυνση από μηχανικούς θορύβους) ➤ Τακτική συντήρηση των Α/Γ και του εξοπλισμού ➤ Έγκαιρη εκτίμηση της επιβάρυνσης του πάρκου στο ακουστικό περιβάλλον ➤ Μετρήσεις θορύβου κατά τη λειτουργία του πάρκου
	Οπτική όχληση	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Κατάλληλη χωροθέτηση των Α/Γ και του πάρκου γενικά (χρήση τεχνικής για εντοπισμό της Ζώνης Οπτικής όχλησης - Zone of Visual Impact, κατάλληλη επιλογή της μορφής των Α/Γ) ➤ Κατάλληλος χρωματισμός των Α/Γ συμβατός με το περιβάλλον της περιοχής ➤ Κατάλληλη επιλογή ρυθμού κίνησης των πτερυγίων
	Ορνιθοπανίδα	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Κατάλληλη χωροθέτηση Α/Γ και του πάρκου ➤ Ενδελεχής εξέταση στην περίπτωση που εντοπιστεί διάδρομος μετακίνησης πουλιών ή ενδιαιτήματα πανίδας
	Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Χρήση κατάλληλων πτερυγίων (fiberblades)
	Χρήση γης	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Διπλή χρήση της περιοχής (το 99% της περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλες χρήσεις όπως π.χ. τη γεωργία ή τη βοσκή)
	Σύνδεση με το δίκτυο	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Περιορισμός επιπτώσεων (π.χ. αποκατάσταση περιοχής, επιλογή υπόγειων καλωδιώσεων ή υπέργειων εργασιών)
	Οδικό δίκτυο	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Περιορισμός επιπτώσεων (π.χ. χρήση του υφιστάμενου δικτύου όπου είναι εφικτό, κατάλληλη διάνοιξη δρόμων, αποκατάσταση πρηνών και φυσικής βλάστησης, συντήρηση του οδικού δικτύου)

Πίνακας 7.2 Περιβαλλοντικά θέματα μονάδων αιολικής ενέργειας και γενικά μέτρα αντιμετώπισης που μπορούν να εφαρμοστούν [26]

7.2 Μείωση Εκπομπών Αερίων Ρύπων από την Λειτουργία Α/Γ Βάσει Σεναρίων Λειτουργίας της Νέας Μονάδας Αφαλάτωσης

Κατά την φάση λειτουργίας μιας Α/Γ δεν εκλύονται αέριες εκπομπές στην ατμόσφαιρά και δεν υποβαθμίζεται η ποιότητά της. Αντιθέτως, λόγω της λειτουργίας του αιολικού πάρκου επέρχεται μείωση των συνολικών ποσοτήτων αερίων ρυπαντών (CO₂, NO_x, σωματίδια κ.λπ.), λόγω της υποκατάστασης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα στους σταθμούς της ΔΕΗ, με ανάλογη που παράγεται από Α.Π.Ε. (Αιολική Ενέργεια). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την ειδική εκπομπή αερίων ρύπων των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στο διασυνδεδεμένο σύστημα, η παραγωγή 1kWh από τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου συνεισφέρει στην αποφυγή έκλυσης των ακόλουθων ατμοσφαιρικών ρύπων:

Ρύποι	Εκπομπές (g/kWh)
CO ₂	850,00
SO ₂	15,50
CO	0,18
NO _x	1,20
HC	0,05
Σωματίδια	0,8

Πίνακας 7.3 Ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από την παραγωγή 1kWh από τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου [26]

7.2.1 Σενάριο N^ο1: Λειτουργία αφαλάτωσης 8 ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24 ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο

Σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.1 του Κεφαλαίου 6, οι Α/Γ που προτείνονται για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης είναι είτε η **ENERCON E53-800kW**, είτε η **GAMESA G58-850kW**. Βάσει της εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας αυτών των Α/Γ σε συνδυασμό με ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από την παραγωγή 1 kWh από την λειτουργία Α/Γ του Πίνακα 7.3, συμπληρώνονται κατάλληλα οι Πίνακες 7.4 & 7.5 που παρατίθενται παρακάτω.

➤ ENERCON E53-800KW

Ρύποι	α=0,00	α=0,04	Μέση Τιμή Εκπομπών (kg)
	Εκπομπές (kg)	Εκπομπές (kg)	
CO ₂	2.958.928,20	3.187.097,95	3.073.013,08
SO ₂	53.956,93	58.117,67	56.037,30
CO	626,60	674,91	650,76
NO _x	4.177,31	4.499,43	4.338,37
HC	174,05	187,48	180,77
Σωματίδια	2.784,87	2.999,62	2.892,25

Πίνακας 7.4 Ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από τη λειτουργία της Enercon E53-800kW βάσει του 1^ο σεναρίου λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης

➤ **GAMESA G58-850KW**

Ρύποι	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$	Μέση Τιμή Εκπομπών (kg)
	Εκπομπές (kg)	Εκπομπές (kg)	
CO₂	3.140.976,10	3.362.951,90	3.251.964
SO₂	57.276,62	61.324,42	59.300,52
CO	665,15	712,15	688,65
NO_x	4.434,32	4.747,70	4.591,01
HC	184,76	197,82	191,29
Σωματίδια	2.956,21	3.165,13	3.060,67

Πίνακας 7.5 Ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από τη λειτουργία της Gamesa G58-850kW βάσει του 1^{ου} σεναρίου λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης

7.2.2 Σενάριο Ν^ο 2: Λειτουργία αφαλάτωσης 12 ώρες/ημέρα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο και 24 ώρες/ημέρα για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο

Σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.2 του *Κεφαλαίου 6*, η Α/Γ που προτείνεται για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης είναι η **MADE AE61-1.320kW**. Βάσει της εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας αυτής της Α/Γ σε συνδυασμό με ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από την παραγωγή 1 kWh από την λειτουργία Α/Γ του *Πίνακα 7.3*, συμπληρώνεται κατάλληλα ο *Πίνακας 7.6* που παρατίθεται παρακάτω.

➤ **MADE AE-61-1.320KW**

Ρύποι	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$	Μέση Τιμή Εκπομπών (kg)
	Εκπομπές (kg)	Εκπομπές (kg)	
CO₂	4.049.536	4.474.412,75	4.261.974,38
SO₂	73.844,48	81.592,23	77.718,36
CO	857,55	947,52	902,54
NO_x	5.716,99	6.316,82	6.016,91
HC	238,21	263,20	250,70
Σωματίδια	3.811,33	4.211,21	4.011,27

Πίνακας 7.6 Ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από τη λειτουργία της Made AE-61-1.320kW βάσει του 2^{ου} σεναρίου λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης

7.2.3 Σενάριο Ν^ο 3: Λειτουργία αφαλάτωσης 24 ώρες/ημέρα όλο το έτος ("Worst Case Analysis")

Σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.3 του Κεφαλαίου 6, οι Α/Γ που προτείνονται για αυτό το σενάριο λειτουργίας της αφαλάτωσης είναι είτε η **SUZLON S66-1.250kW**, είτε η **NORDEX S70-1.500kW**. Βάσει της εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας αυτών των Α/Γ σε συνδυασμό με ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από την παραγωγή 1 kWh από την λειτουργία Α/Γ του Πίνακα 7.3, συμπληρώνονται κατάλληλα οι Πίνακες 7.7 & 7.8 που παρατίθενται παρακάτω.

➤ **SUZLON S66-1.250KW**

Ρύποι	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$	Μέση Τιμή Εκπομπών (kg)
	Εκπομπές (kg)	Εκπομπές (kg)	
CO ₂	4.183.101,60	4.569.586,40	4.376.344
SO ₂	76.280,09	83.327,75	79.803,92
CO	885,83	967,68	926,76
NO _x	5.905,56	6.451,18	6.178,37
HC	246,06	268,80	257,43
Σωματίδια	3.937,04	4.300,79	4.118,91

Πίνακας 7.7 Ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από τη λειτουργία της Suzlon S66-1.250kW βάσει του 3^{ου} σεναρίου λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης

➤ **NORDEX S70-1.500KW**

Ρύποι	$\alpha=0,00$	$\alpha=0,04$	Μέση Τιμή Εκπομπών (kg)
	Εκπομπές (kg)	Εκπομπές (kg)	
CO ₂	5.047.189,50	5.547.613,40	5.297.401
SO ₂	92.036,99	101.162,36	96.599,67
CO	1.068,82	1.174,79	1.121,80
NO _x	7.125,44	7.831,92	7.478,68
HC	296,89	326,33	311,61
Σωματίδια	4.750,30	5.221,28	4.985,79

Πίνακας 7.8 Ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων που αποφεύγεται η έκλυσή τους από τη λειτουργία της Nordex S70-1.500kW βάσει του 3^{ου} σεναρίου λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

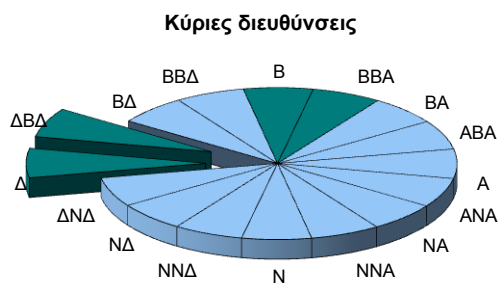
Παρουσίαση Ανεμολογικών Δεδομένων Κ.Α.Π.Ε. για τη Νήσο Μύκονο μέσω του Προγράμματος *WindRose* [33,34]

ΙΟΥΛΙΟΣ 1999

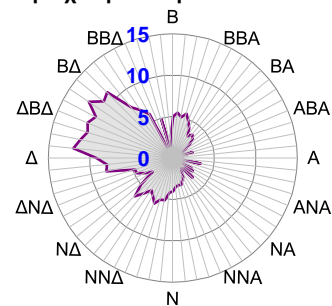
Περίοδος μετρήσεων : Πέμπτη, 1 Ιούλιος 1999 έως Σάββατο, 31 Ιούλιος 1999

WindRose ver.3.89-
5.93

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	10.4 m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.4 %	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	18.7 m/s	(7/14/1999 08:42)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	23.3 m/s	(7/12/1999 15:42)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2 m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	899.8 Watt/m²	669.5 kWh/m²
Συντελεστές κατανομής Weibull shape factor (k)	2.92	
scale factor (C)	11.6 m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4464	
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	94 (2.1%)	
Πληρότητα δεδομένων	100 %	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ 44.81 %	
2η κύρια διεύθυνση	Δ 31.84 %	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ 43.07 %	
2η κύρια διεύθυνση	Δ 27.09 %	

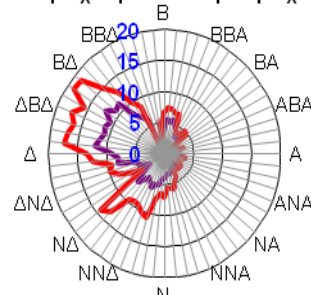


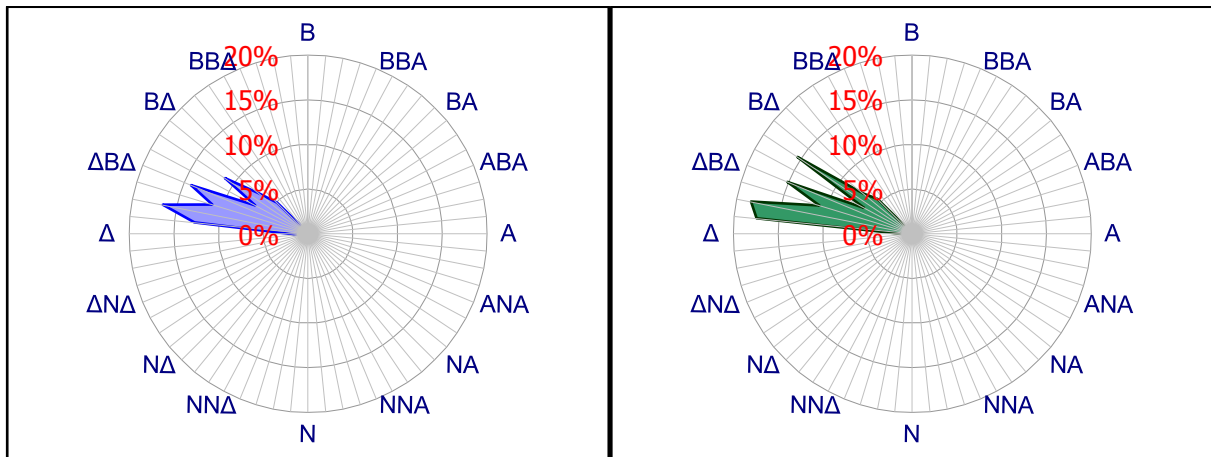
Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



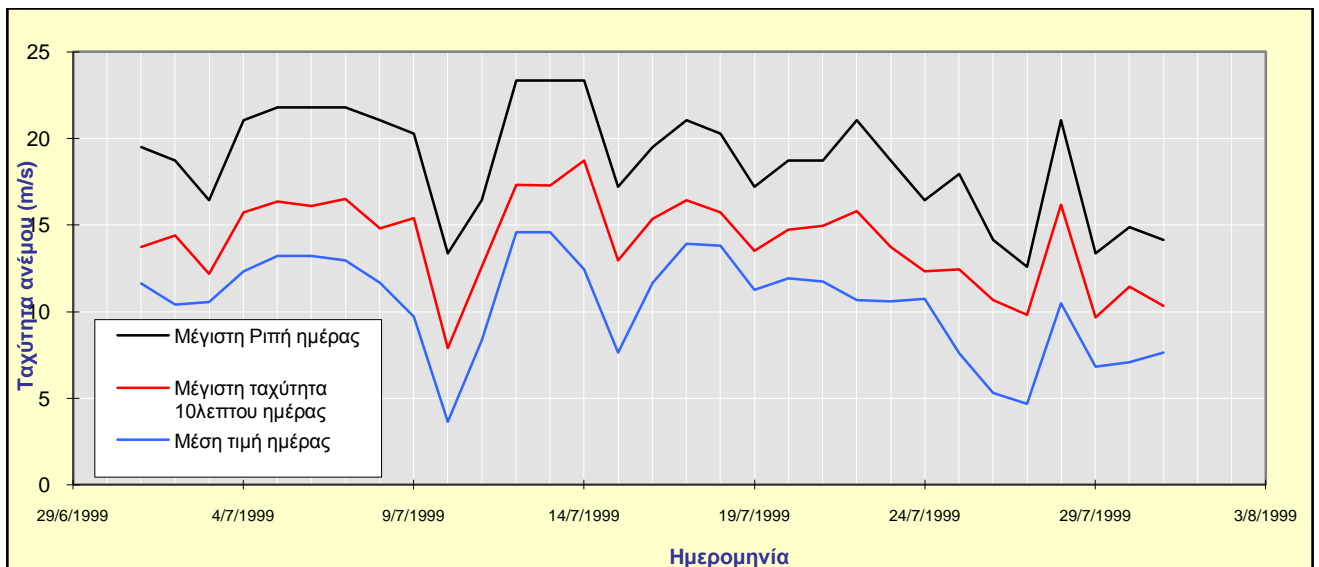
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

■ Μέση ταχύτητα ■ Μέγιστη ταχύτητα

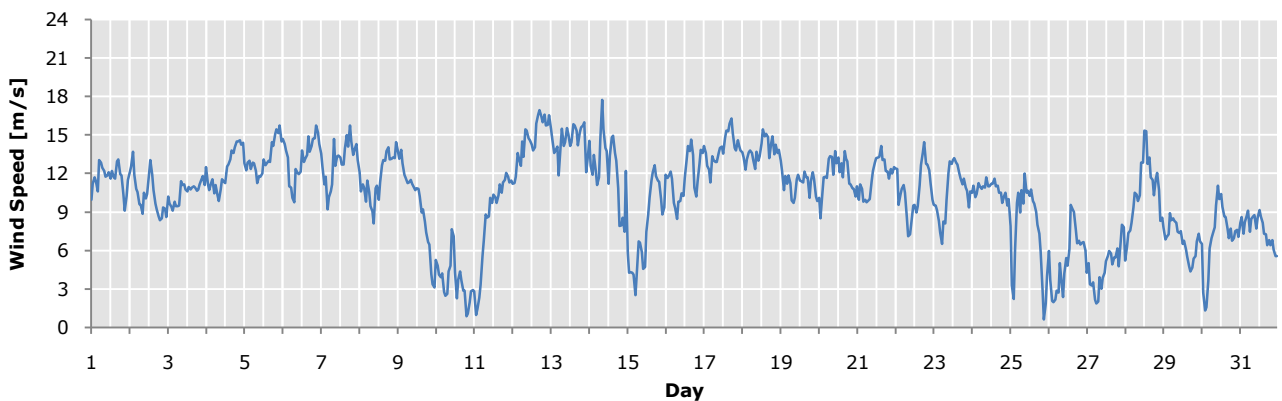




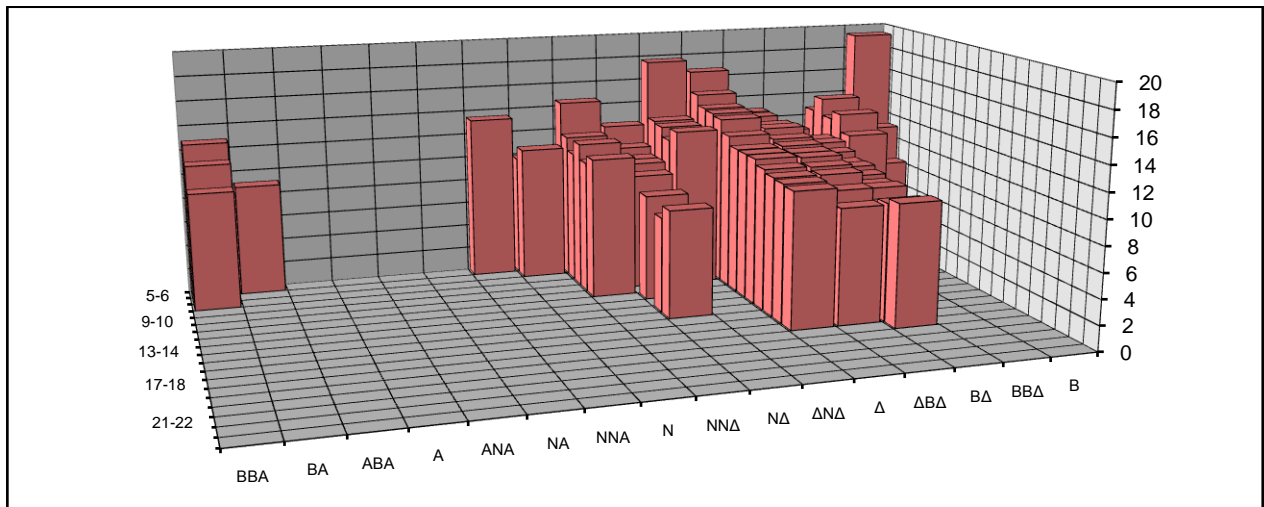
Γράφημα Π1 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



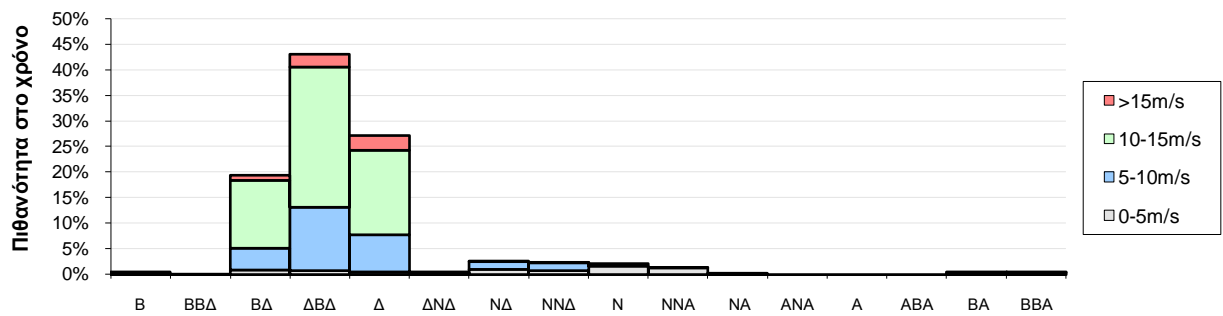
Γράφημα Π2 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



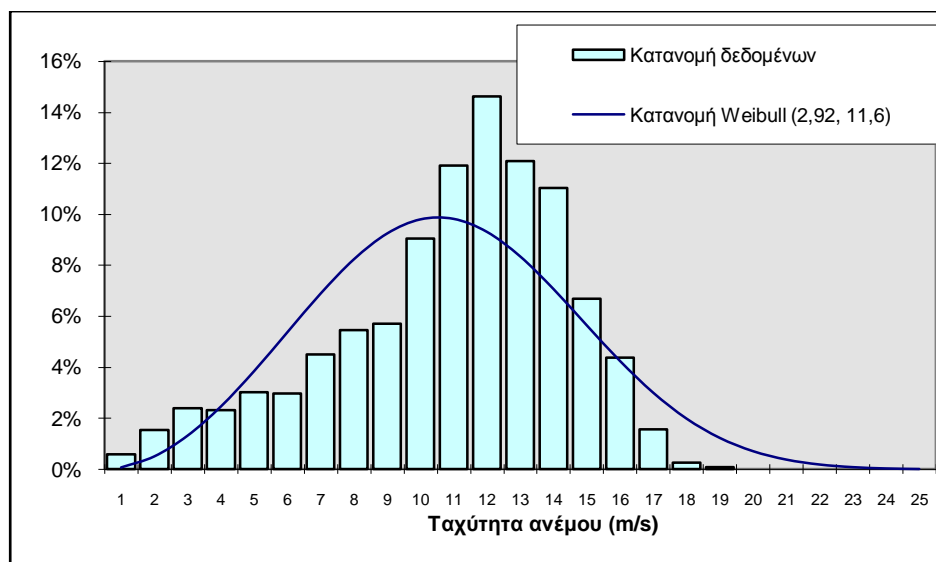
Γράφημα Π3 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 10,4m/s)



Γράφημα Π4 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π5 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



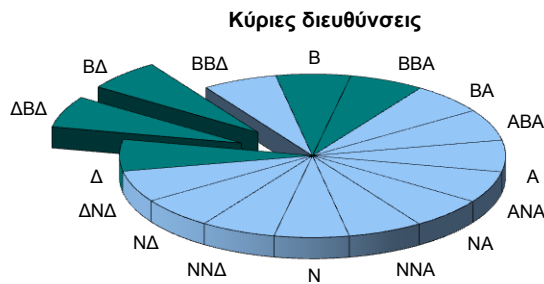
Γράφημα Π6 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1999

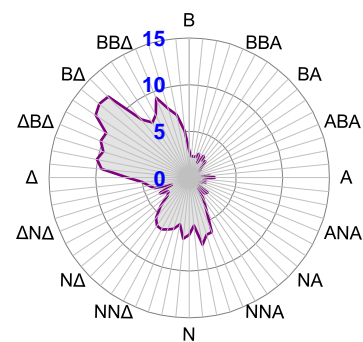
Περίοδος μετρήσεων : Κυριακή, 1 Αύγουστος 1999 έως Τρίτη, 31 Αύγουστος 1999

WindRose ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	10.1	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.2	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	19.1	m/s	(24/8/1999 19:32)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	23.3	m/s	(24/8/1999 19:02)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	838.2	Watt/m ²	622.9 kWh/m ²
Συντελεστές κατανομής Weibull			
shape factor (k)	2.95		
scale factor (C)	11.3	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4459		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	108		
Πληρότητα δεδομένων	99,9	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΒΔ	48.50	%
2η κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	39.33	%
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	45.30	%
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	32.06	%

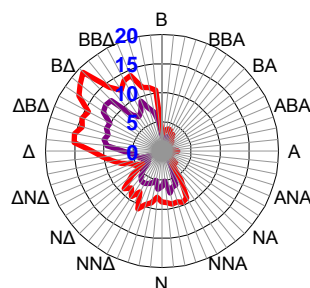


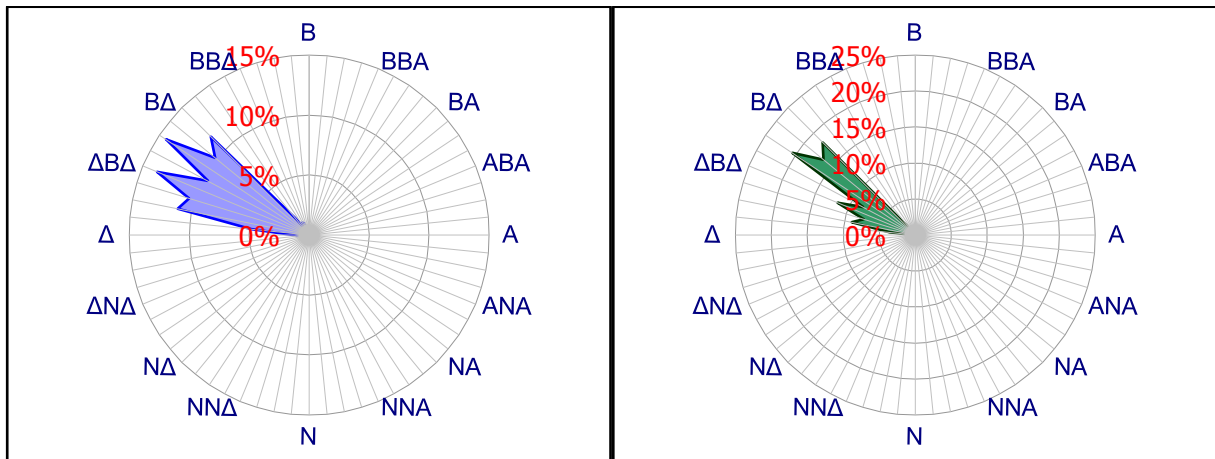
Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



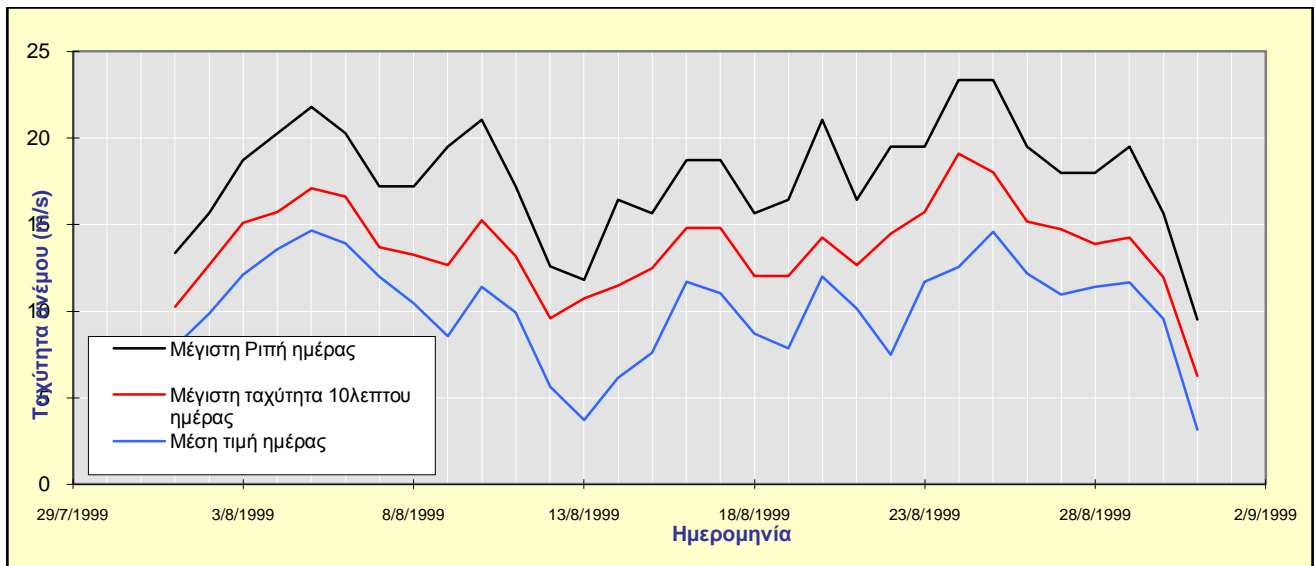
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

□ Μέση ταχύτητα □ Μέγιστη ταχύτητα

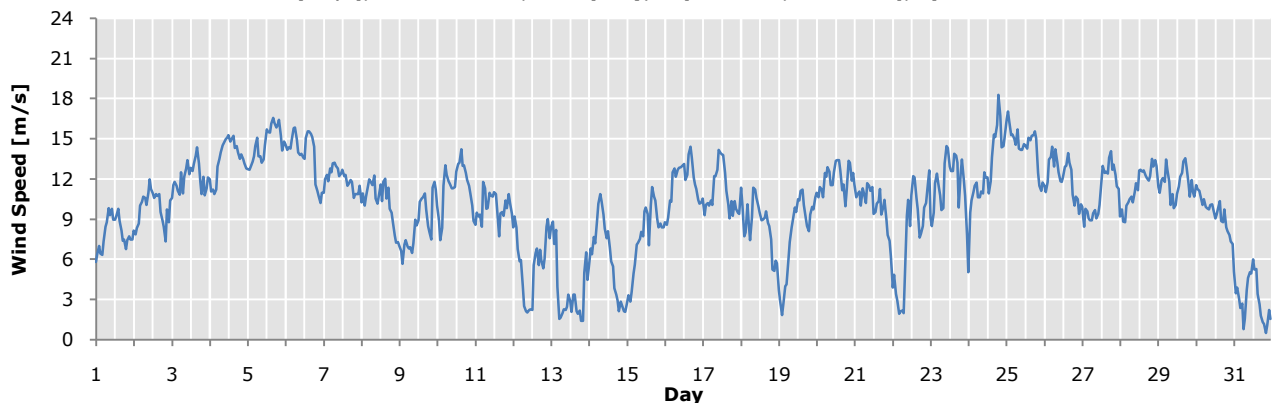




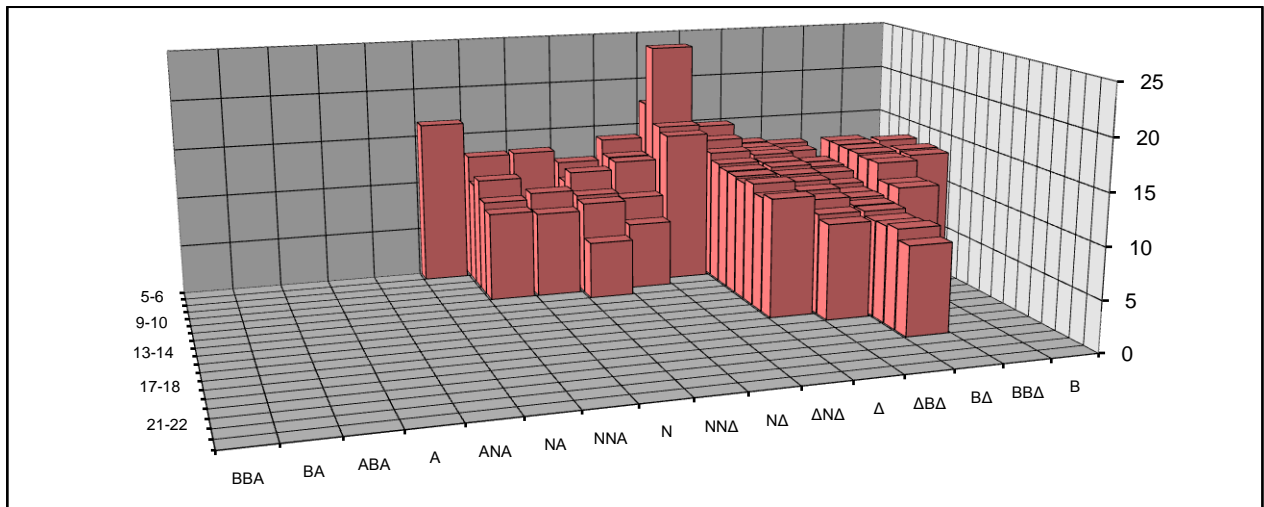
Γράφημα Π7 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



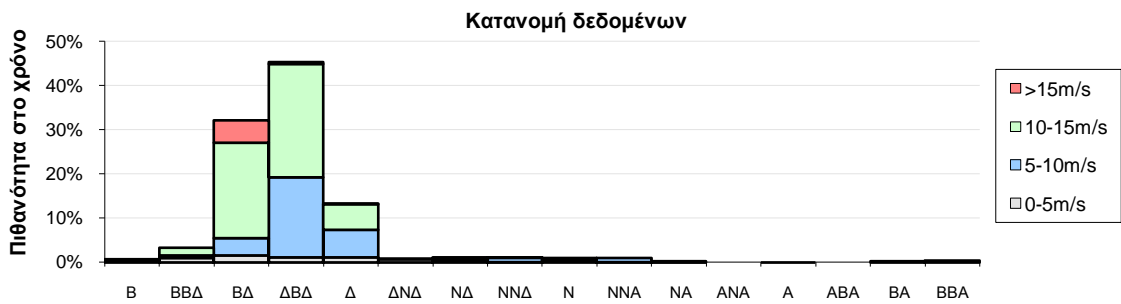
Γράφημα Π8 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



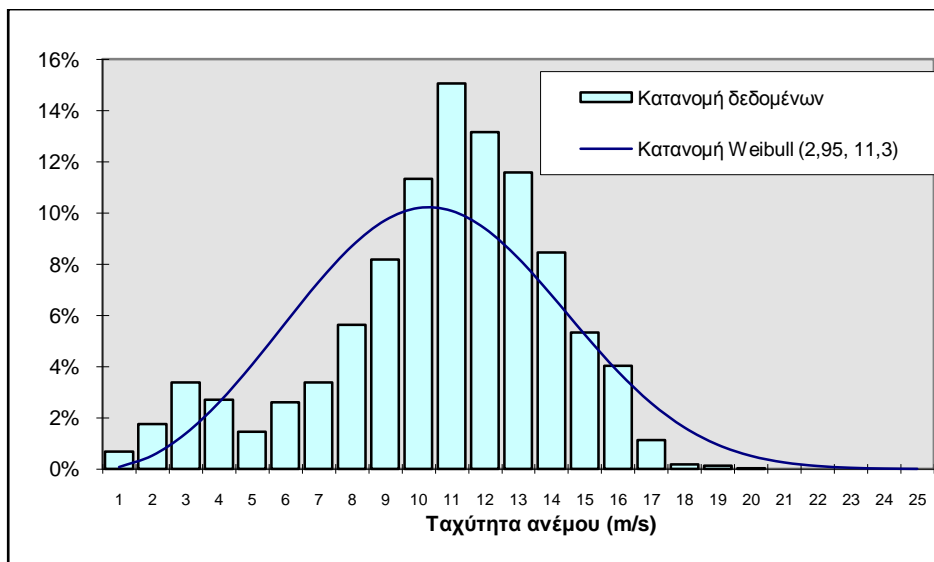
Γράφημα Π9 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 10,1m/s)



Γράφημα Π10 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π11 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



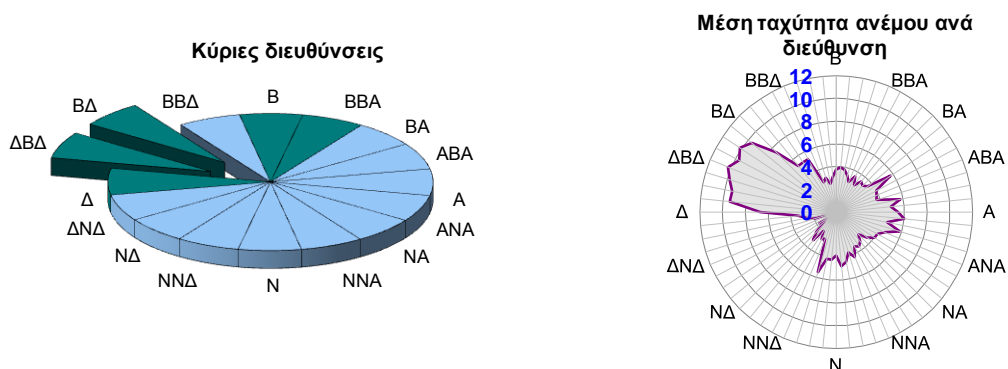
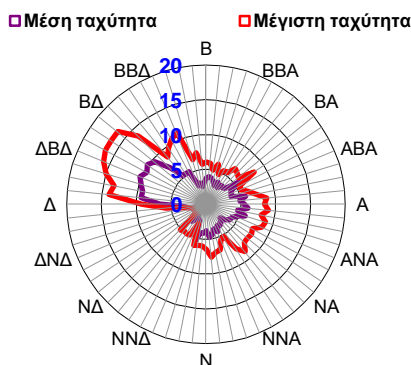
Γράφημα Π12 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

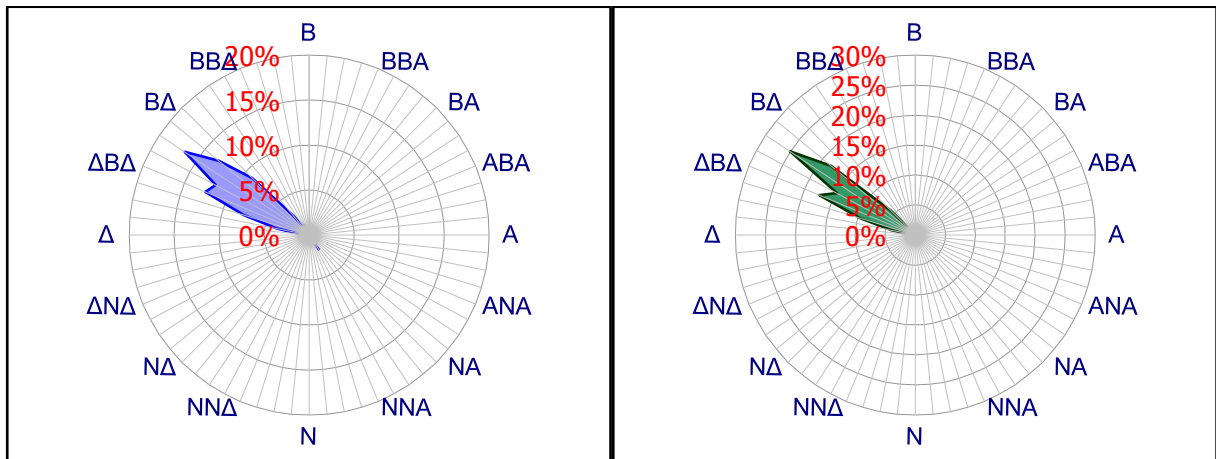
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1999

Περίοδος μετρήσεων : Τετάρτη, 1 Σεπτέμβριος 1999 έως Πέμπτη, 30 Σεπτέμβριος 1999

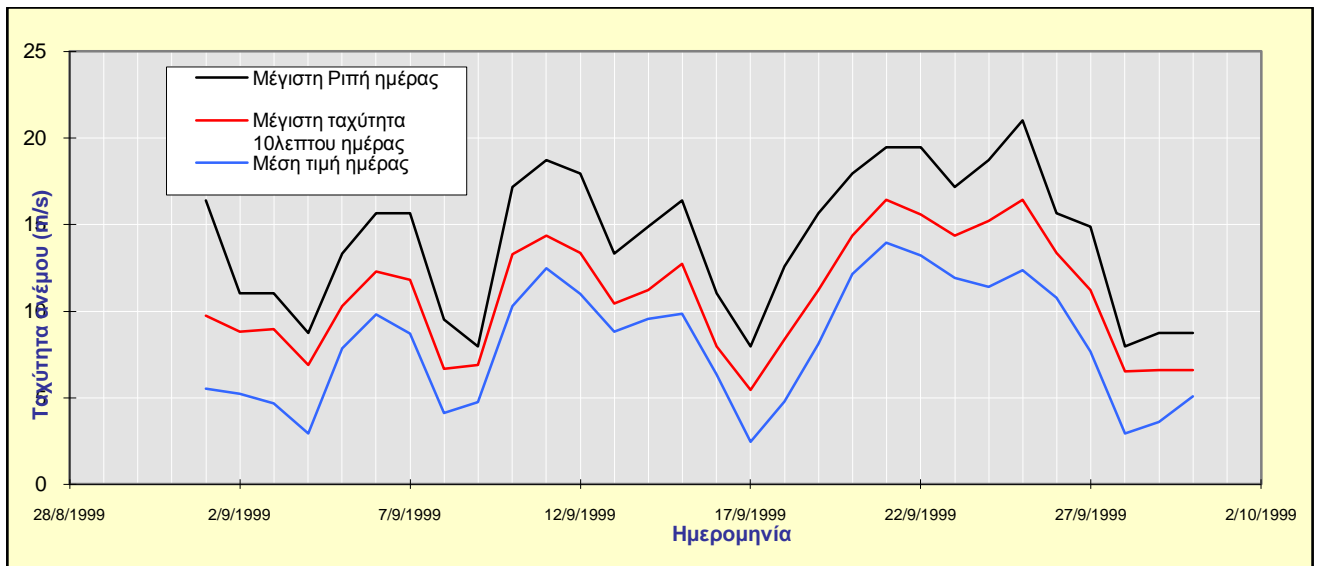
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	8.1 m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	11.5 %	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	16.4 m/s	(21/9/1999 22:02)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	21.0 m/s	(25/9/1999 20:42)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2 m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	521.9 Watt/m²	375.4 kWh/m²
Συντελεστής κατανομής Weibull		
shape factor (k)	2.39	
scale factor (C)	8.9 m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4316	
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	206	
Πληρότητα δεδομένων	99,9 %	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ 53.46%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ 39.80%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ 41.17%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ 34.36%	

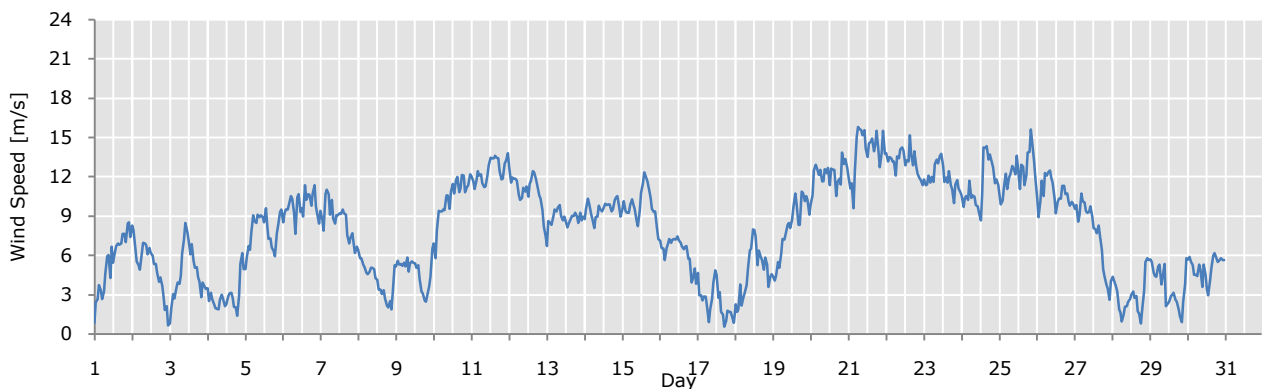
**Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση**



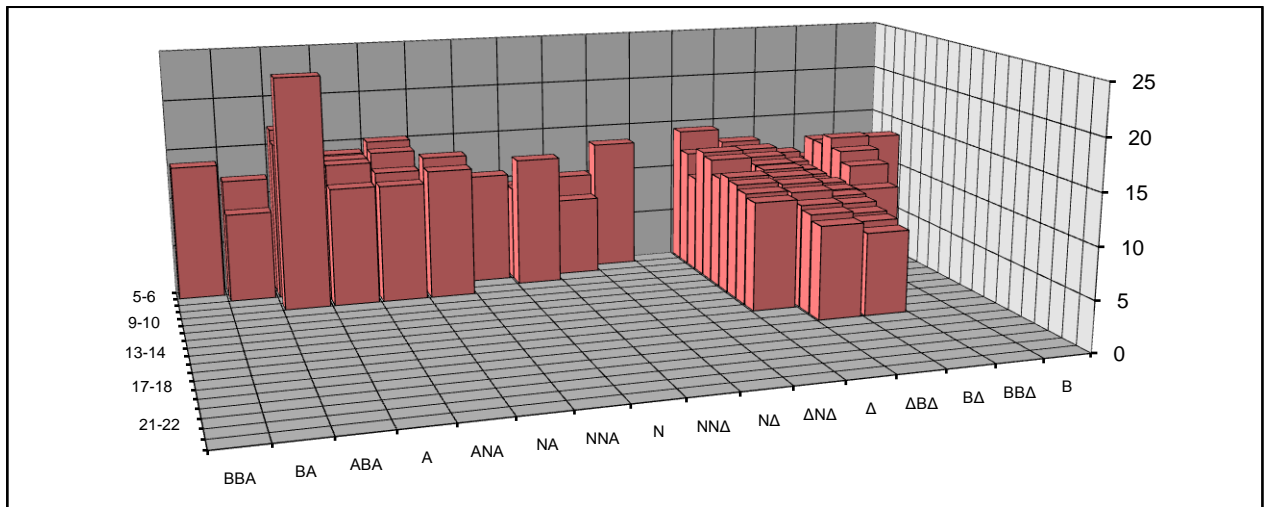
Γράφημα Π13 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



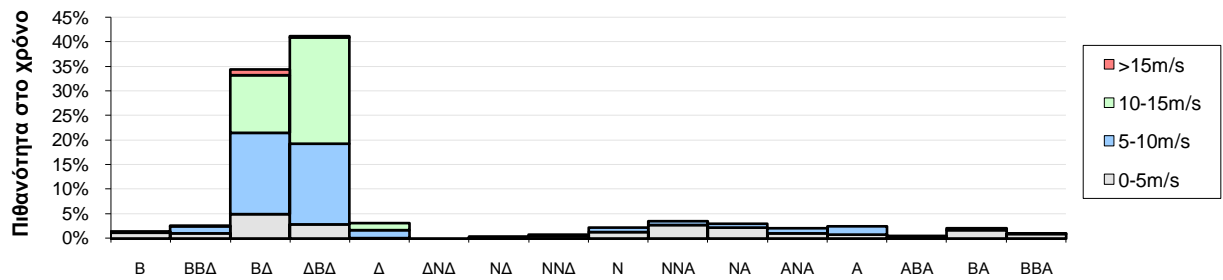
Γράφημα Π14 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



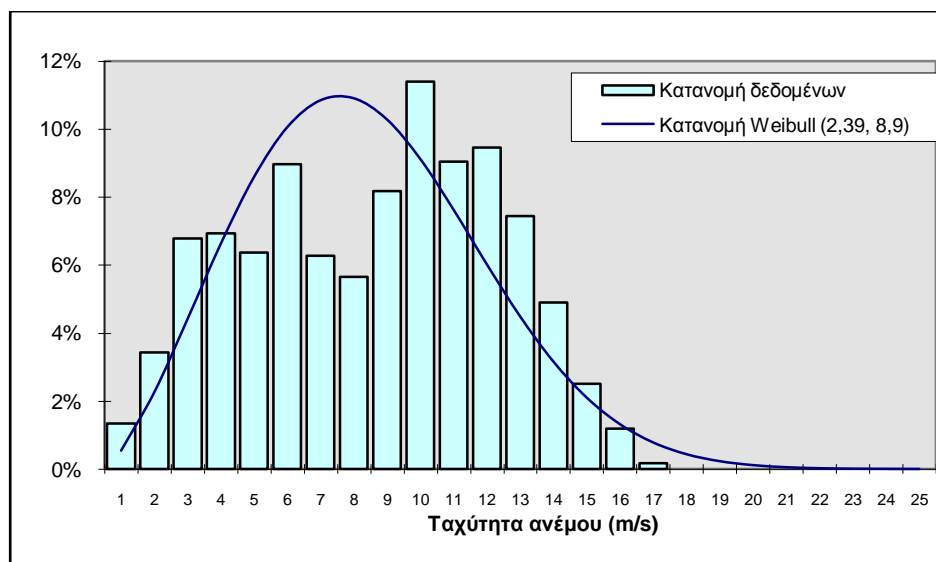
Γράφημα Π15 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 8,1m/s)



Γράφημα Π16 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π17 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



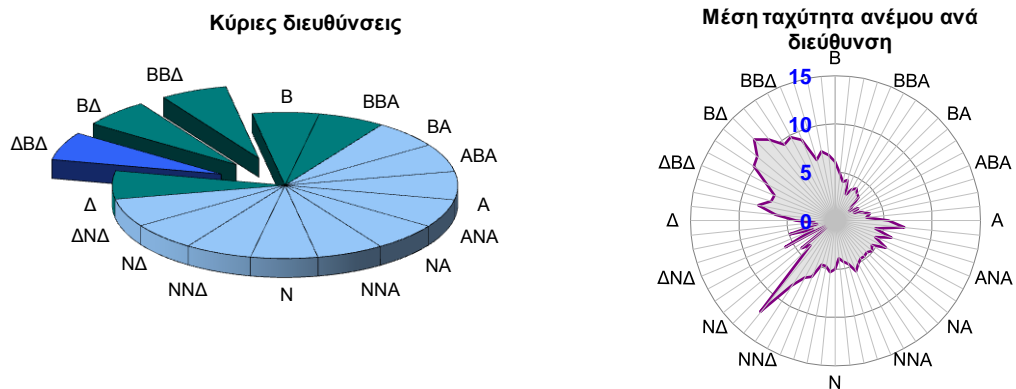
Γράφημα Π18 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1999

Περίοδος μετρήσεων : Παρασκευή, 1 Οκτώβριος 1999 έως Κυριακή, 31 Οκτώβριος 1999

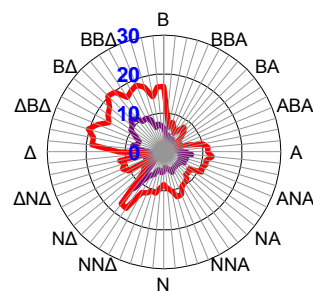
WindRose
ver.3,88-5,90

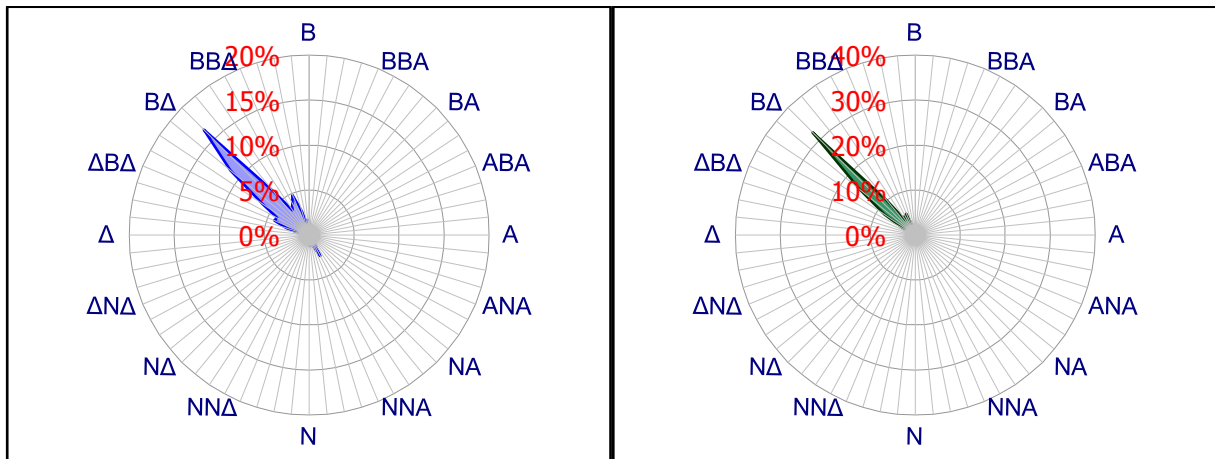
Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	8.2	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	11.8	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	20.3	m/s	(28/10/1999 13:42)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	27.9	m/s	(28/10/1999 01:32)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	646.5	Watt/m²	480.2 kWh/m²
Συντελεστές κατανομής Weibull			
shape factor (k)	1.71		
scale factor (C)	9.2	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4456		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	259		
Πληρότητα δεδομένων	99,8	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΒΔ	64.64%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΒΔ	14.87%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΒΔ	39.31%	
2η κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	14.20%	



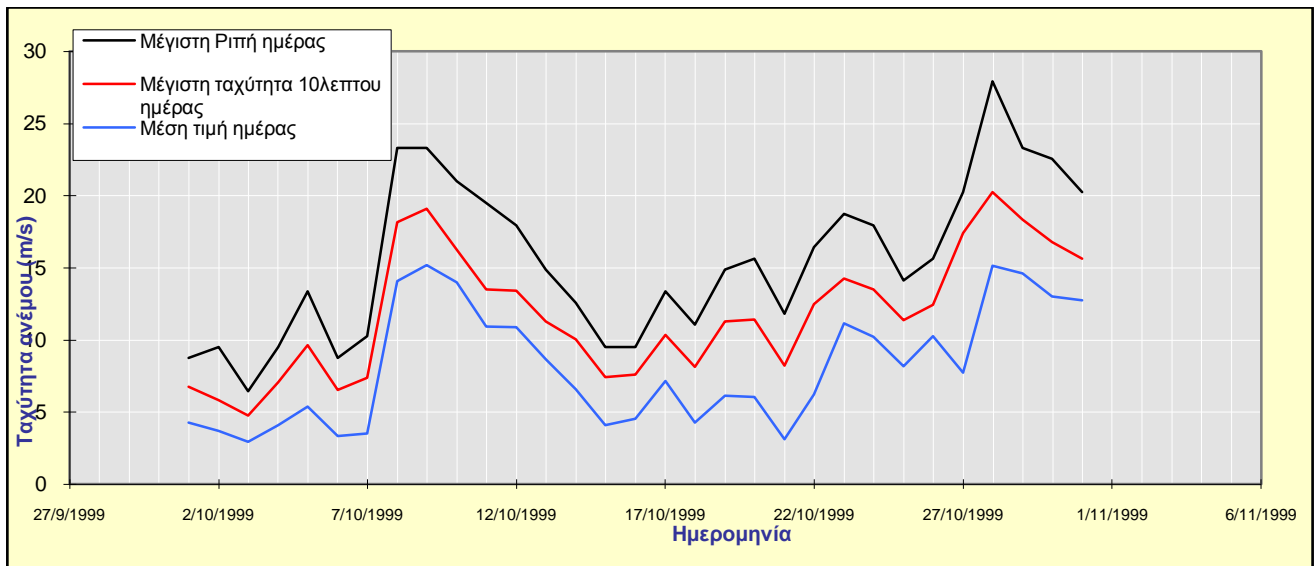
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

□ Μέση ταχύτητα □ Μέγιστη ταχύτητα

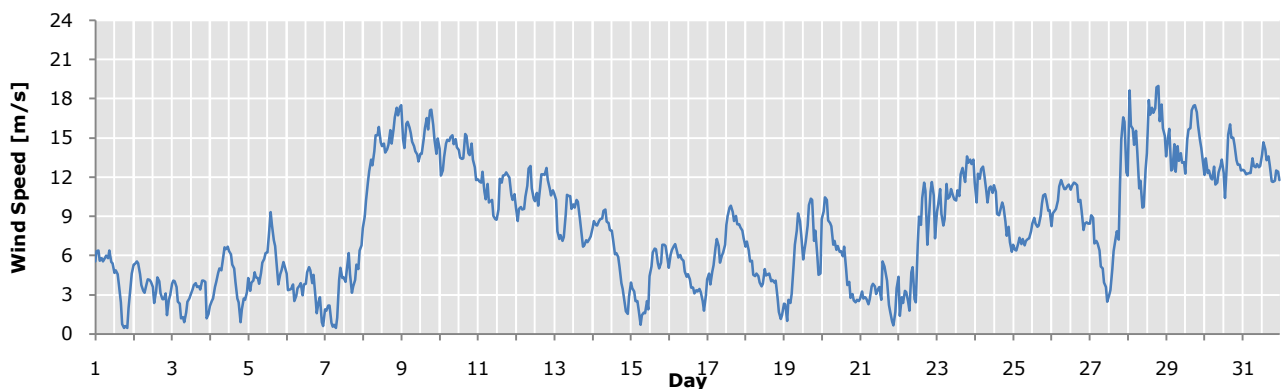




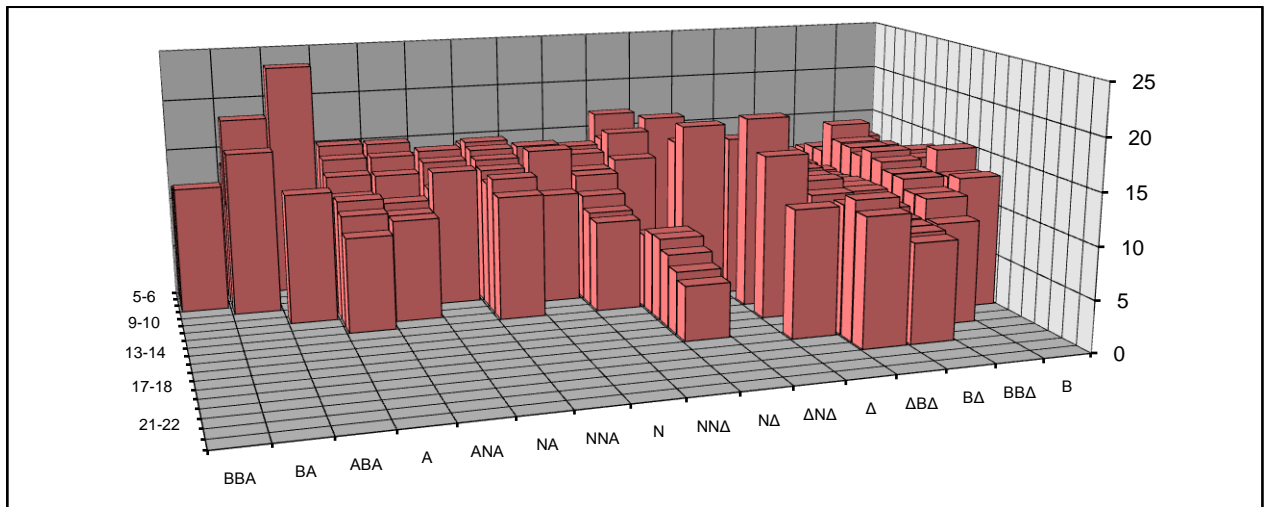
Γράφημα Π19 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



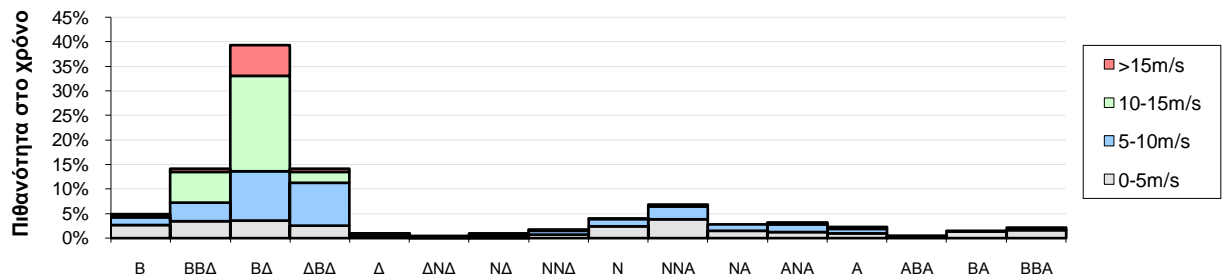
Γράφημα Π20 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



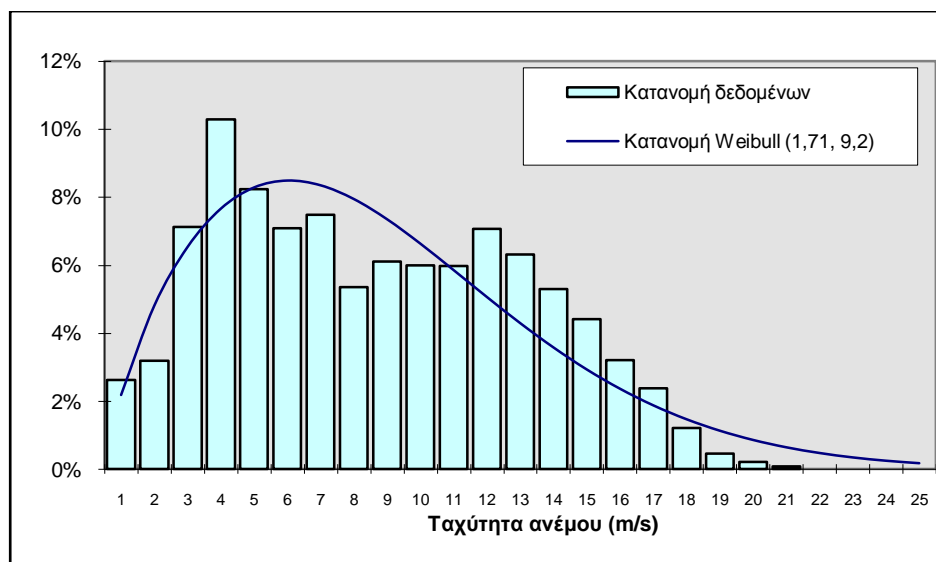
Γράφημα Π21 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 8,2m/s)



Γράφημα Π22 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π23 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



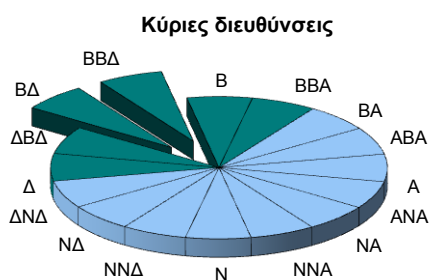
Γράφημα Π24 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1999

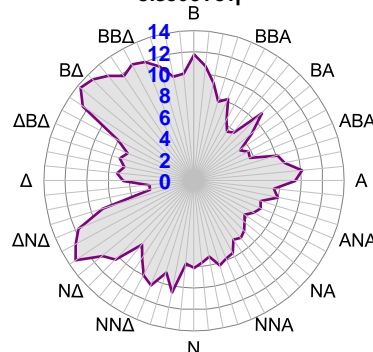
Περίοδος μετρήσεων : Δευτέρα, 1 Νοέμβριος 1999 έως Τρίτη, 30 Νοέμβριος 1999

WindRose
ver.3,88-5,90

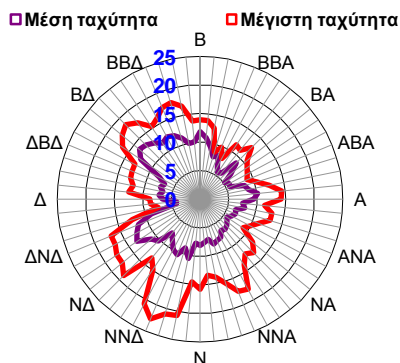
Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	10.7	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.4	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	22.7	m/s	(23/11/1999 15:02)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	27.9	m/s	(23/11/1999 13:32)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	1002.5	Watt/m ²	721.8 kWh/m ²
Συντελεστές κατανομής Weibull			
shape factor (k)	2.72		
scale factor (C)	12.1	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4320		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	64		
Πληρότητα δεδομένων	100,0	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	BΔ	51.41%	
2η κύρια διεύθυνση	BΒΔ	21.76%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	BΔ	34.89%	
2η κύρια διεύθυνση	BΒΔ	19.29%	

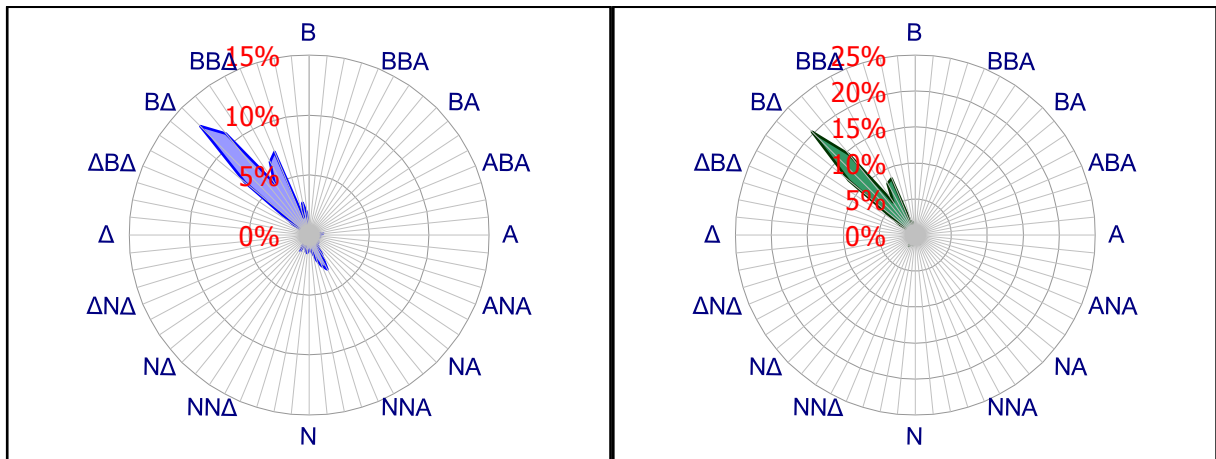


Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση

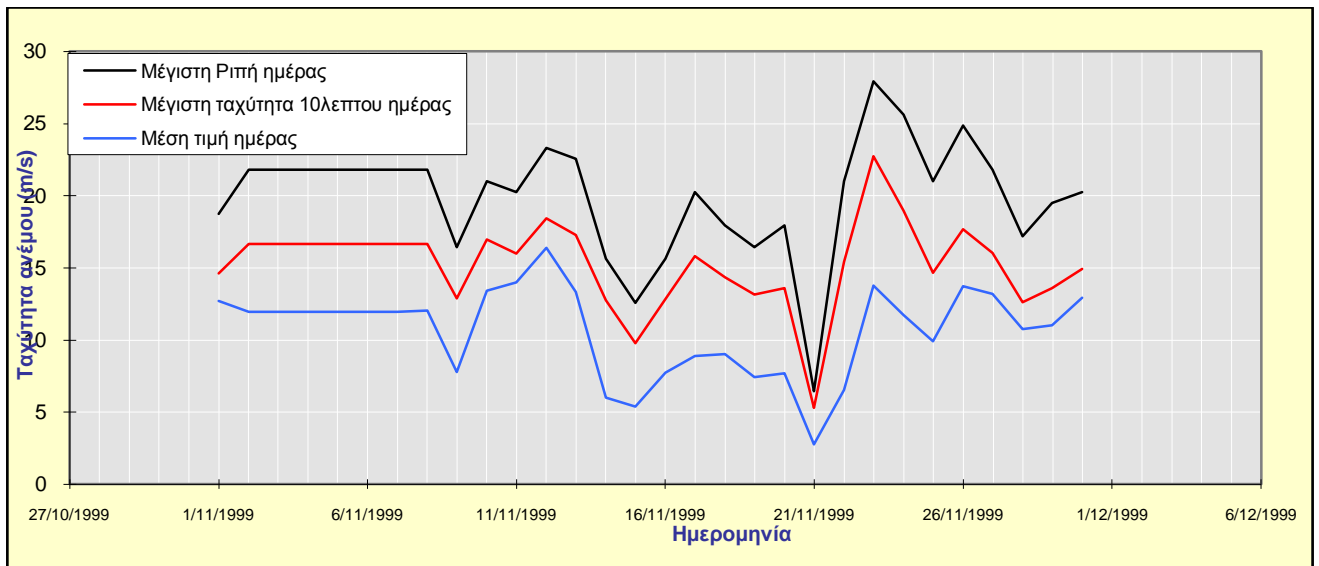


Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

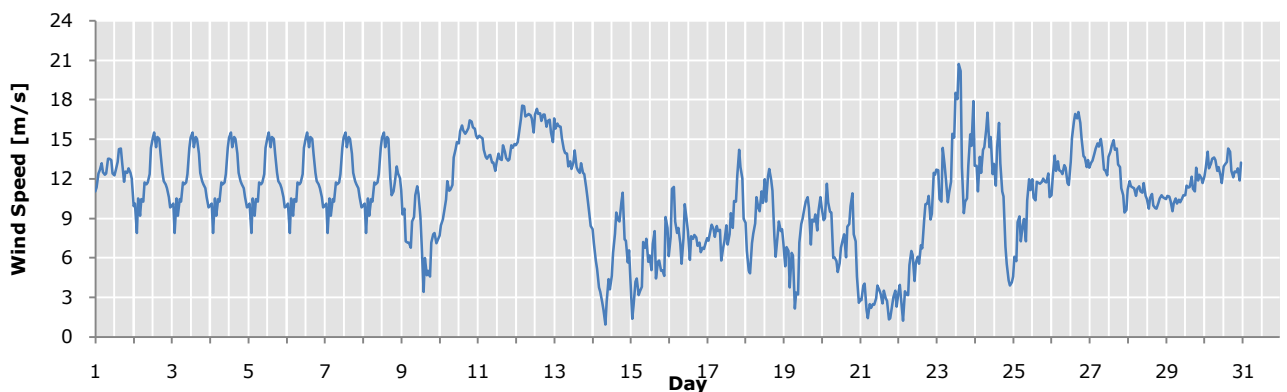




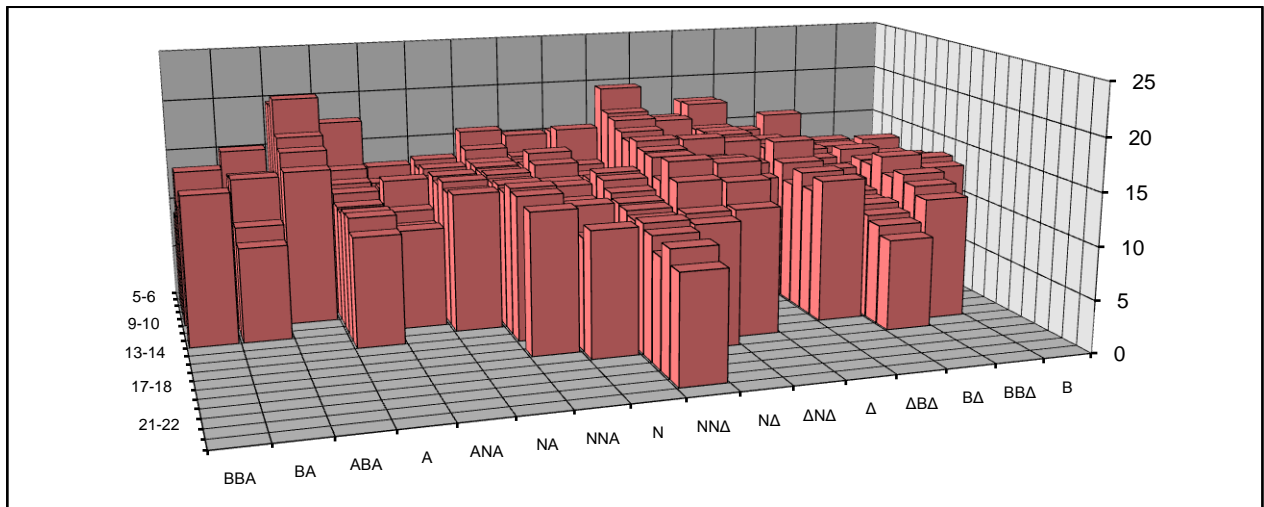
Γράφημα Π25 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



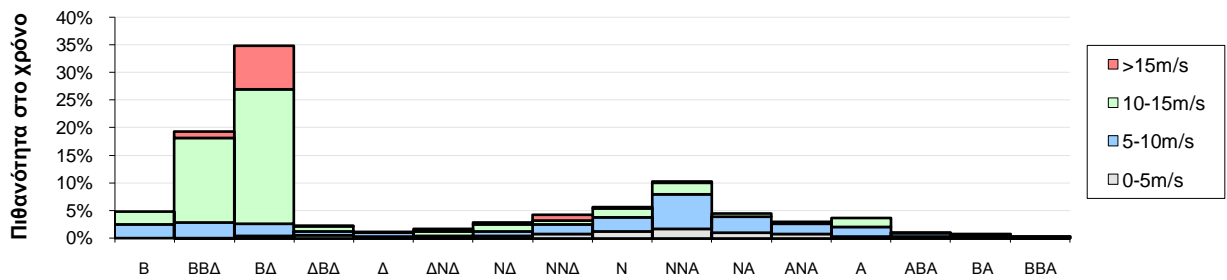
Γράφημα Π26 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



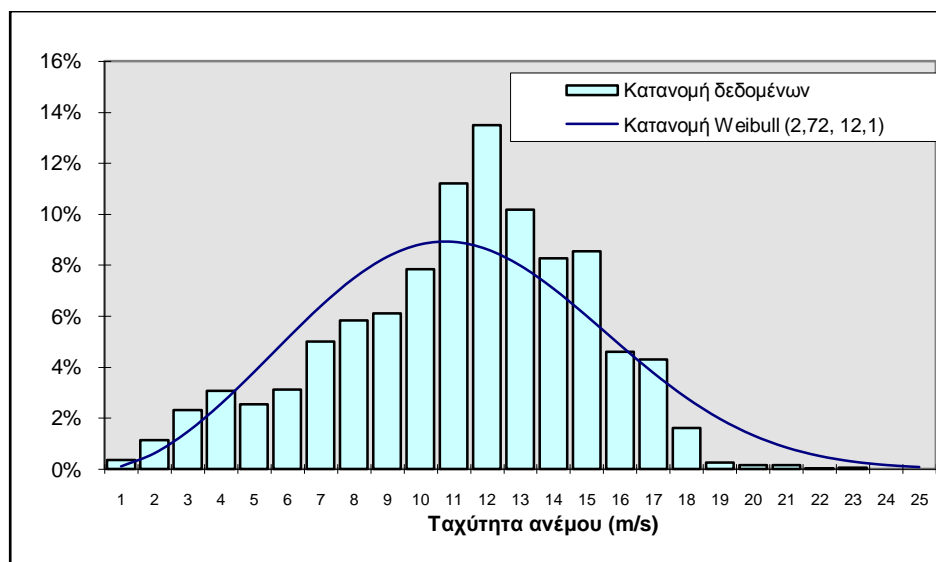
Γράφημα Π27 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 10,7m/s)



Γράφημα Π28 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π29 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



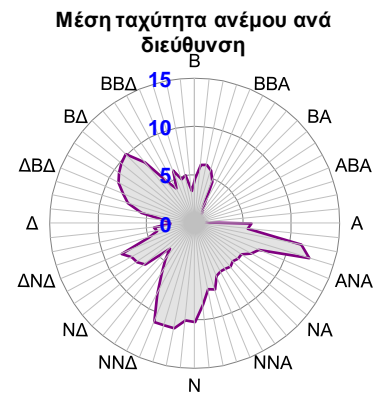
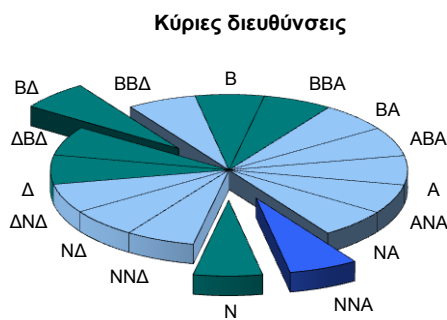
Γράφημα Π30 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1999

Περίοδος μετρήσεων : Τετάρτη, 1 Δεκέμβριος 1999 έως Παρασκευή, 31 Δεκέμβριος 1999

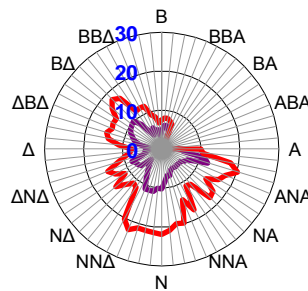
WindRose
ver.3,88-5,90

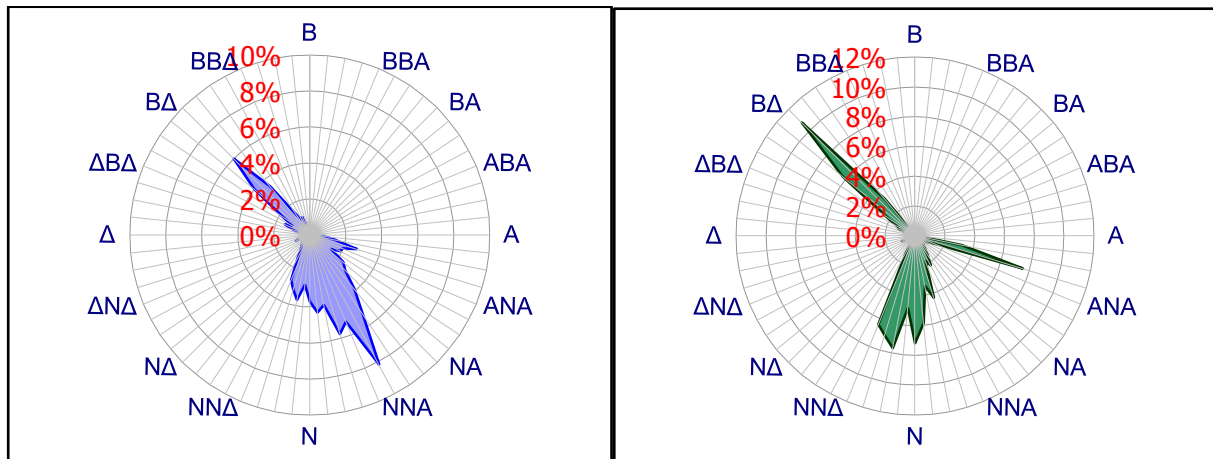
Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	7.6	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	13.4	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	22.3	m/s	(31/12/1999 21:02)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	29.5	m/s	(20/12/1999 23:42)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	587.7	Watt/m²	435.7 kWh/m²
Συντελεστής κατανομής Weibull shape factor (k)	1.69		
scale factor (C)	8.6	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4448		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	299		
Πληρότητα δεδομένων	99,6	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	N	23.27%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	21.85%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	NNA	24.49%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	15.23%	



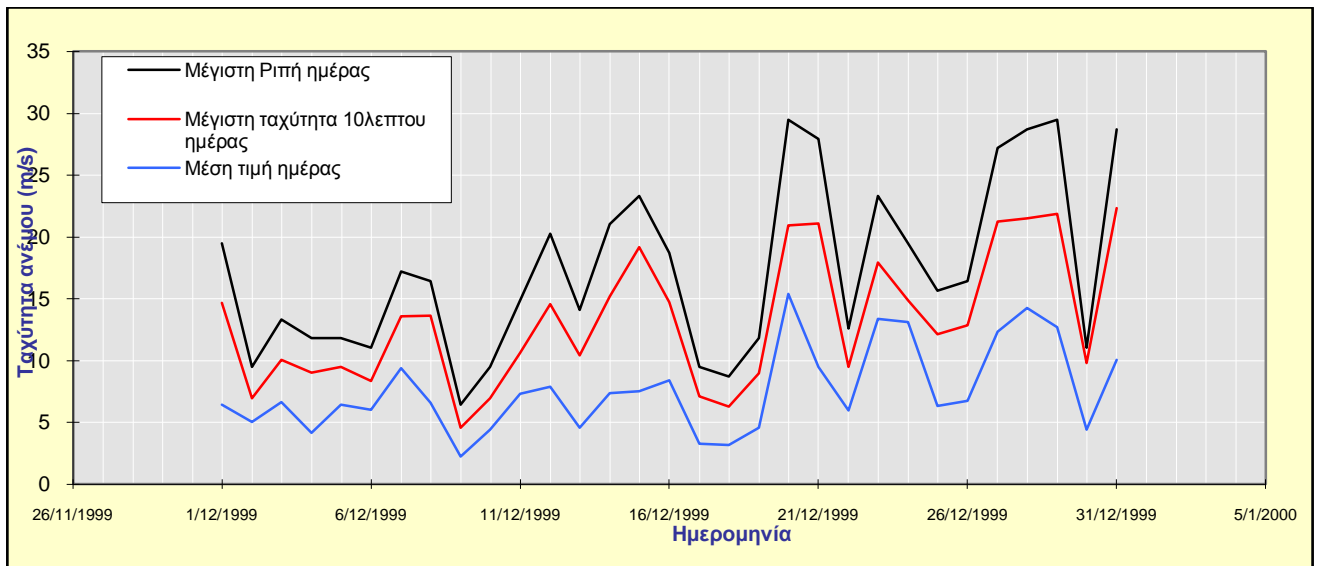
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

□ Μέση ταχύτητα □ Μέγιστη ταχύτητα

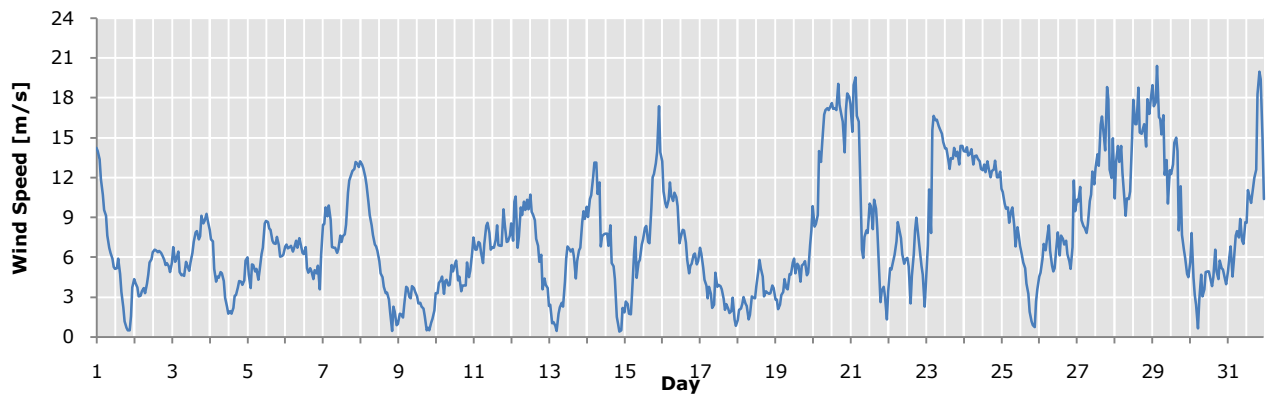




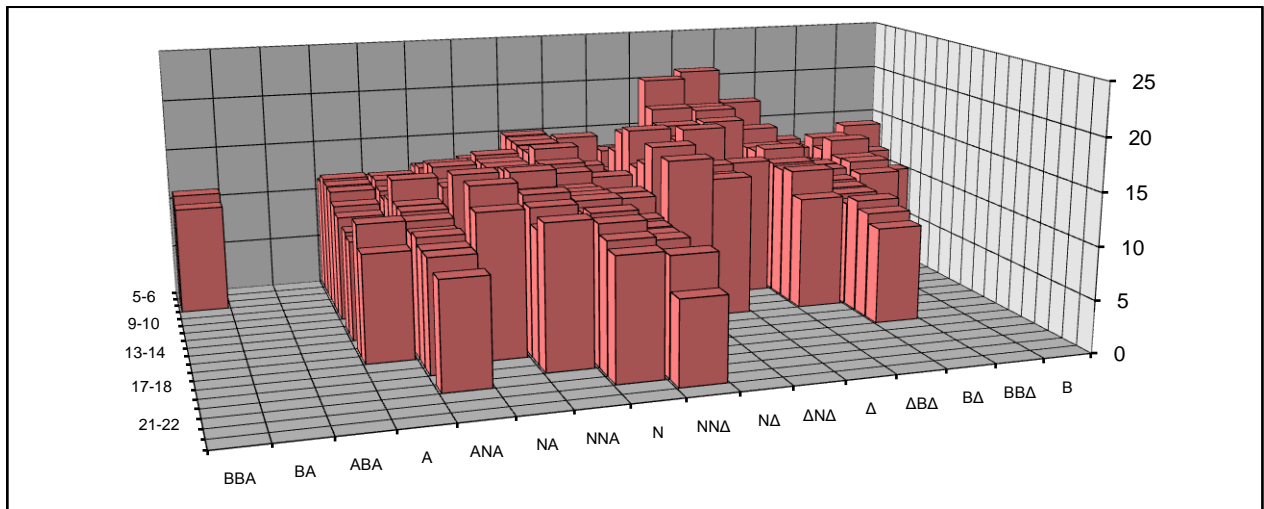
Γράφημα Π31 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



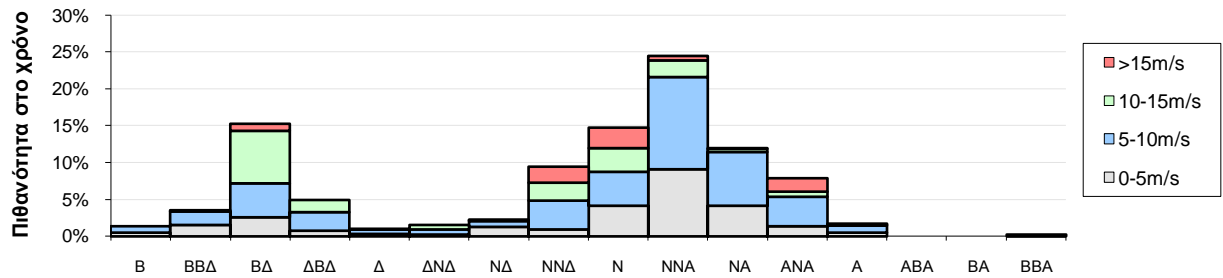
Γράφημα Π32 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



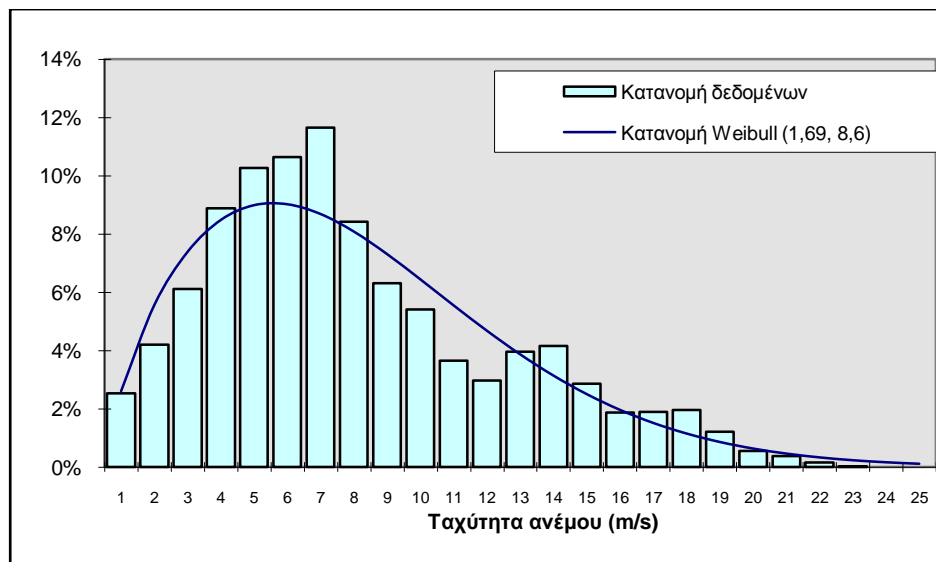
Γράφημα Π33 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 7,6m/s)



Γράφημα Π34 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π35 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π36 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

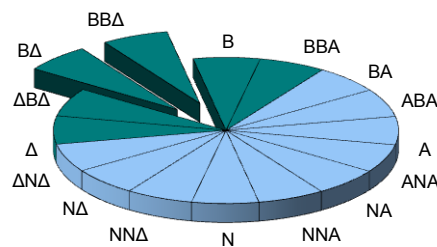
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2000

Περίοδος μετρήσεων : Σάββατο, 1 Ιανουάριος 2000 έως Δευτέρα, 31 Ιανουάριος 2000

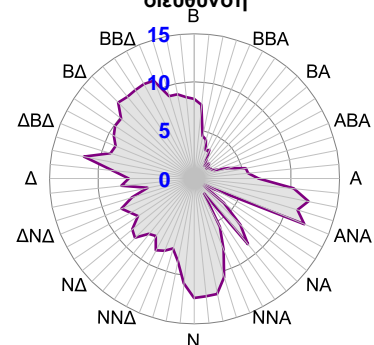
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	9.3	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	13.5	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	20.4	m/s	(20/1/2000 13:22)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	29.5	m/s	(4/1/2000 18:42)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	778.9	Watt/m²	578.9 kWh/m²
Συντελεστής κατανομής Weibull			
shape factor (k)	2.38		
scale factor (C)	10.6	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4459		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	172		
Πληρότητα δεδομένων	99,9	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	BΔ	35.81%	
2η κύρια διεύθυνση	BBA	29.22%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	BΔ	27.34%	
2η κύρια διεύθυνση	BBA	25.66%	

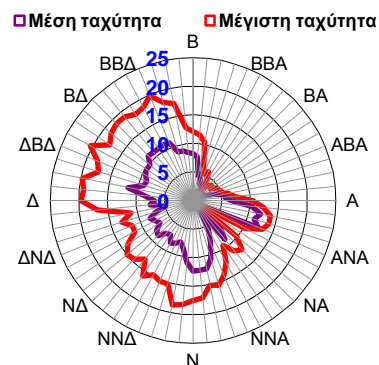
Κύριες διευθύνσεις

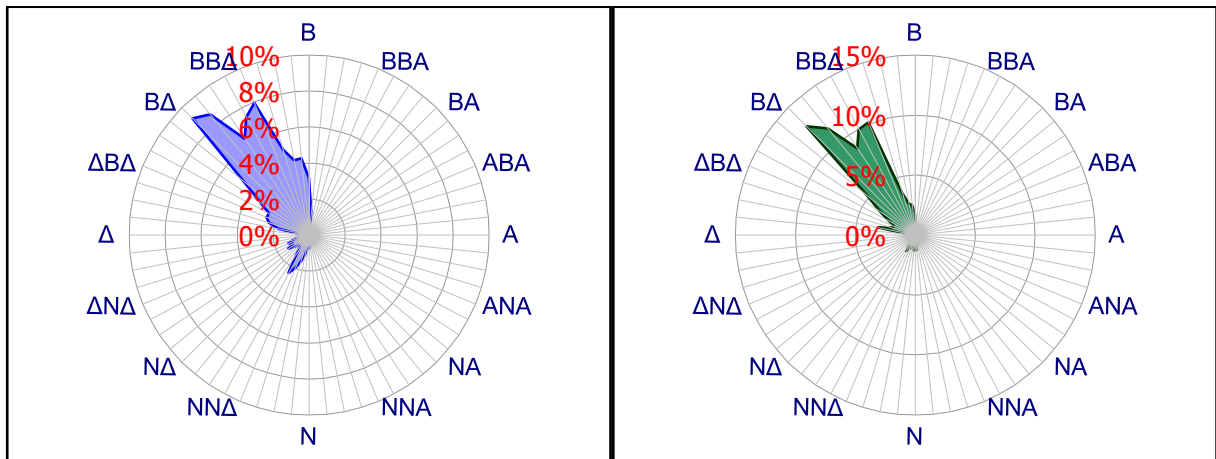


Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση

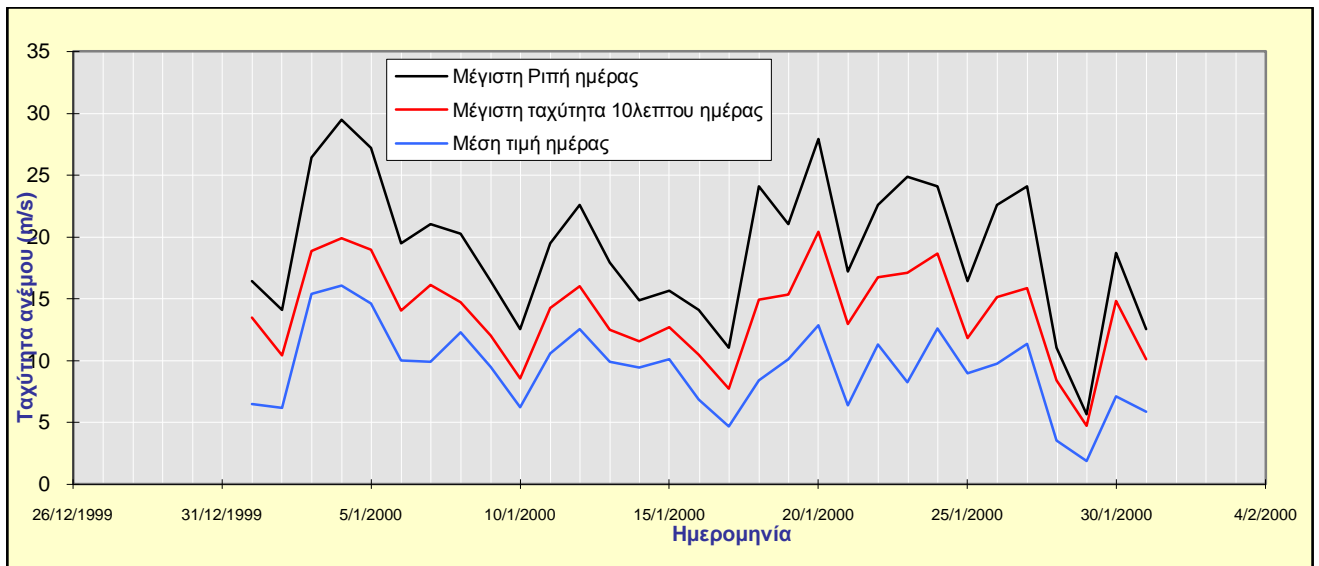


Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανά διεύθυνση

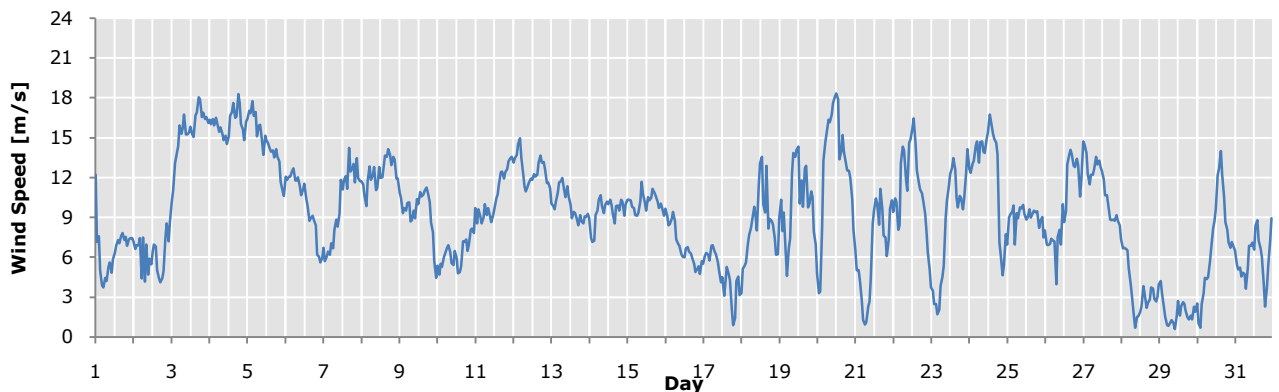




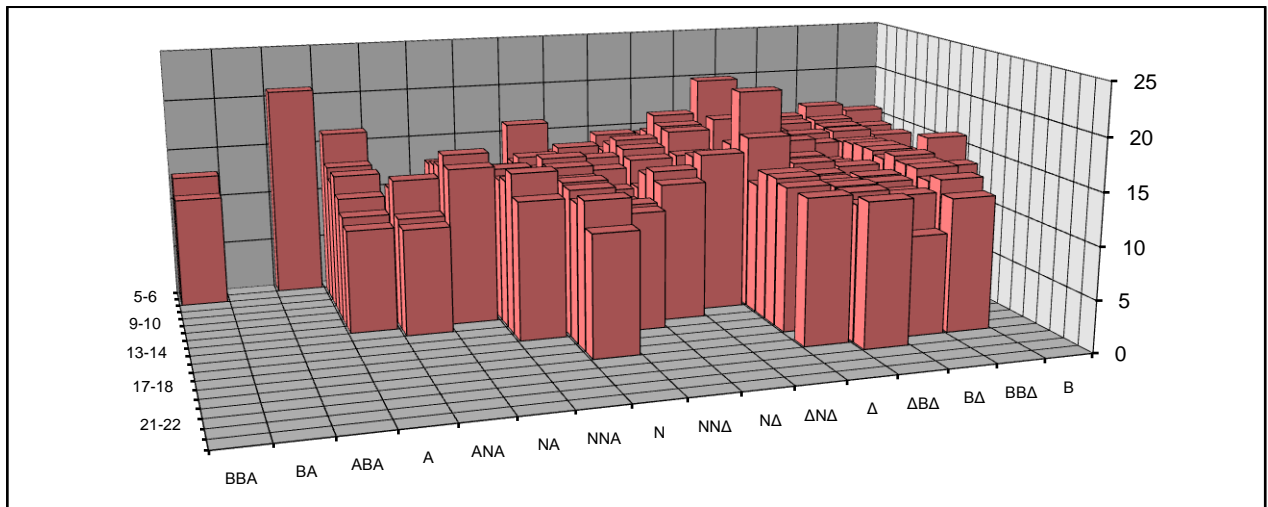
Γράφημα Π37 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



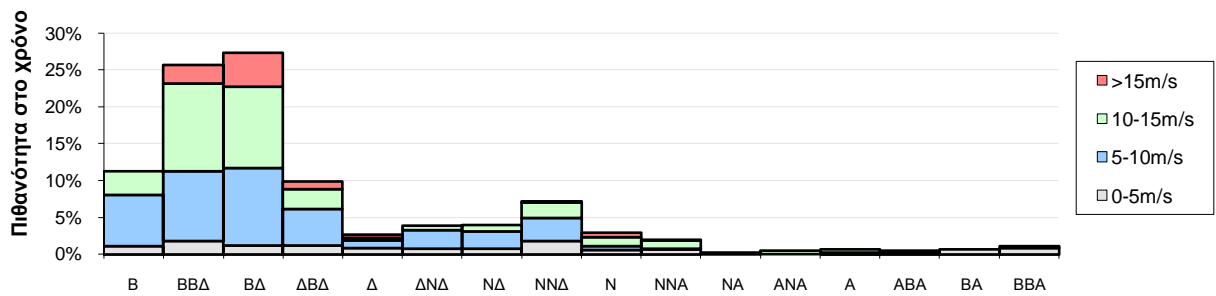
Γράφημα Π38 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



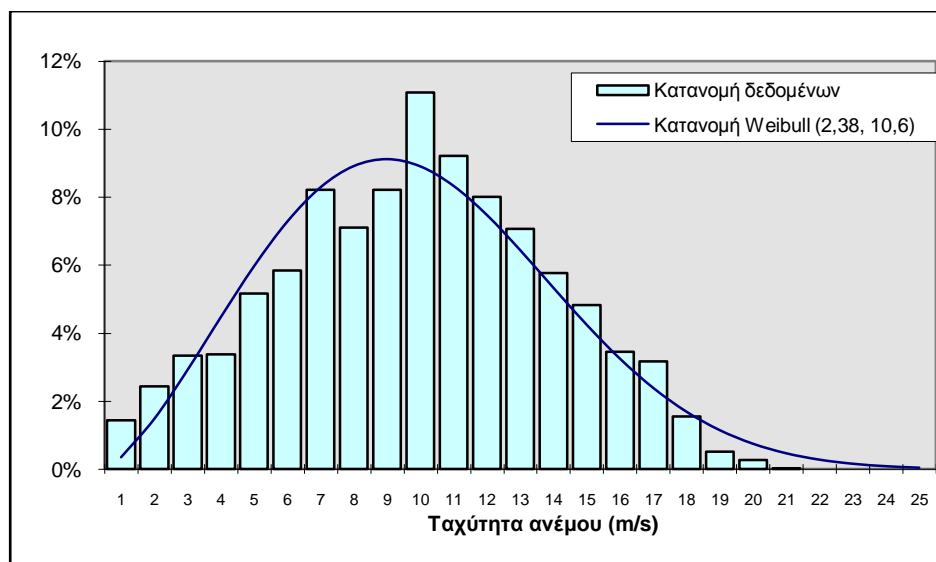
Γράφημα Π39 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 9,3m/s)



Γράφημα Π40 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π41 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π42 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

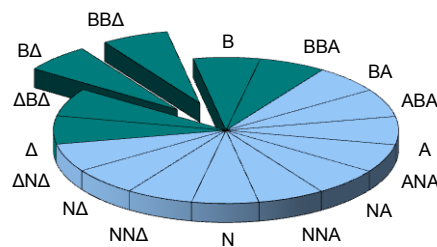
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000

Περίοδος μετρήσεων : Τρίτη, 1 Φεβρουάριος 2000 έως Τρίτη, 29 Φεβρουάριος 2000

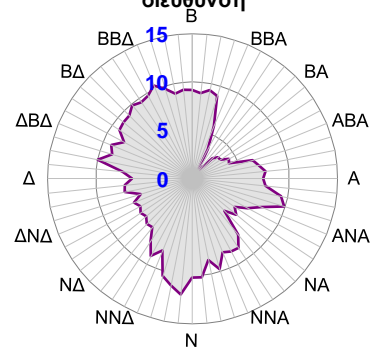
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	9.0	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	13.7	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	21.9	m/s	(20/2/2000 16:32)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	29.5	m/s	(20/2/2000 16:32)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	682.1	Watt/m²	474.7 kWh/m²
Συντελεστής κατανομής Weibull			
shape factor (k)	2.57		
scale factor (C)	10.2	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4176		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	92		
Πληρότητα δεδομένων	100,0	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	BΔ	22.51%	
2η κύρια διεύθυνση	BBA	21.53%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	BΔ	22.62%	
2η κύρια διεύθυνση	BBA	17.41%	

Κύριες διευθύνσεις

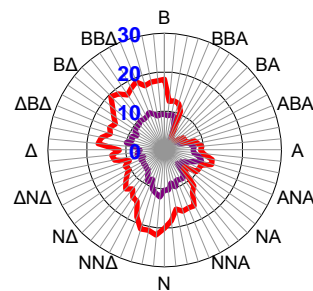


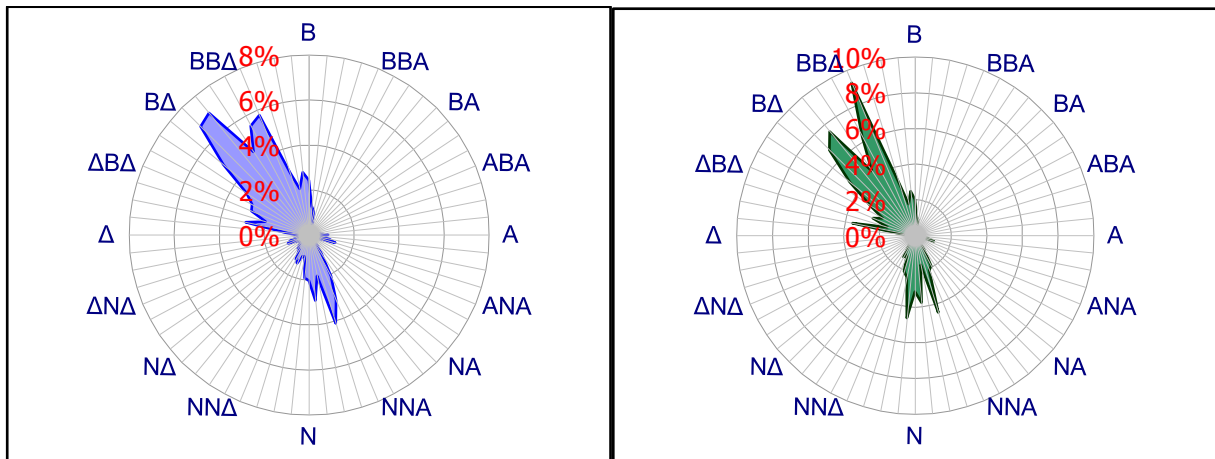
Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



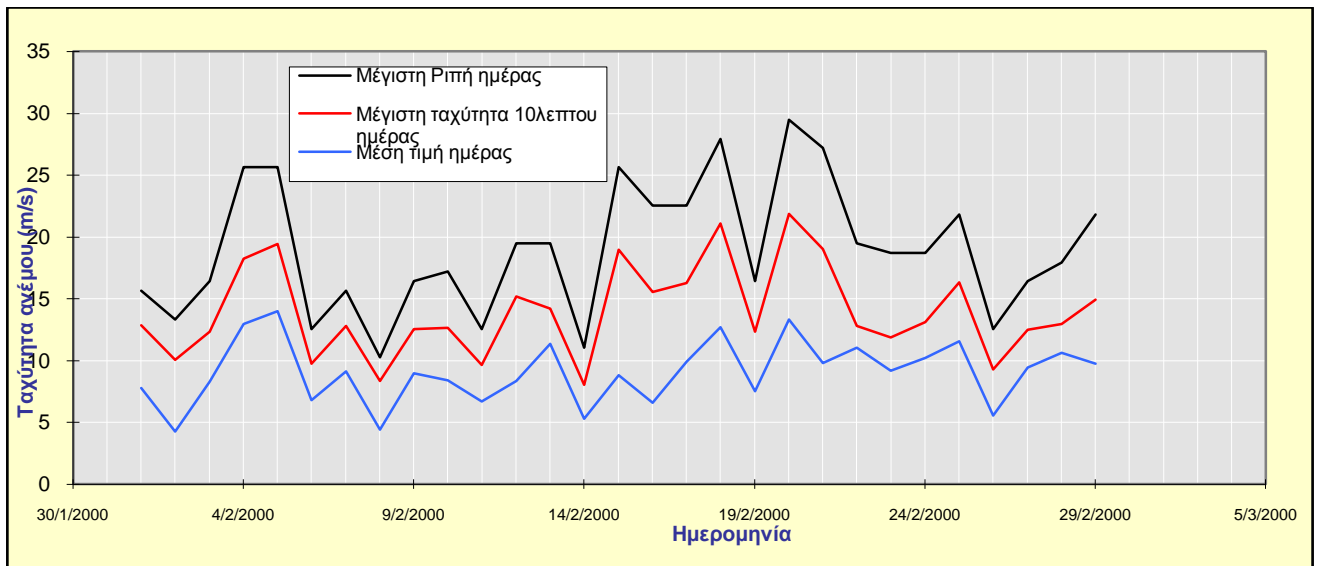
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

■ Μέση ταχύτητα ■ Μέγιστη ταχύτητα

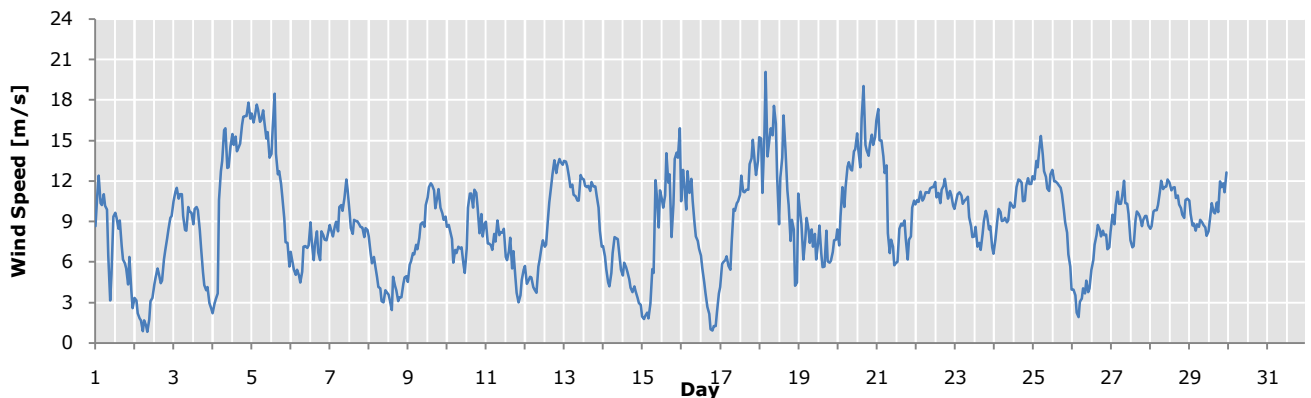




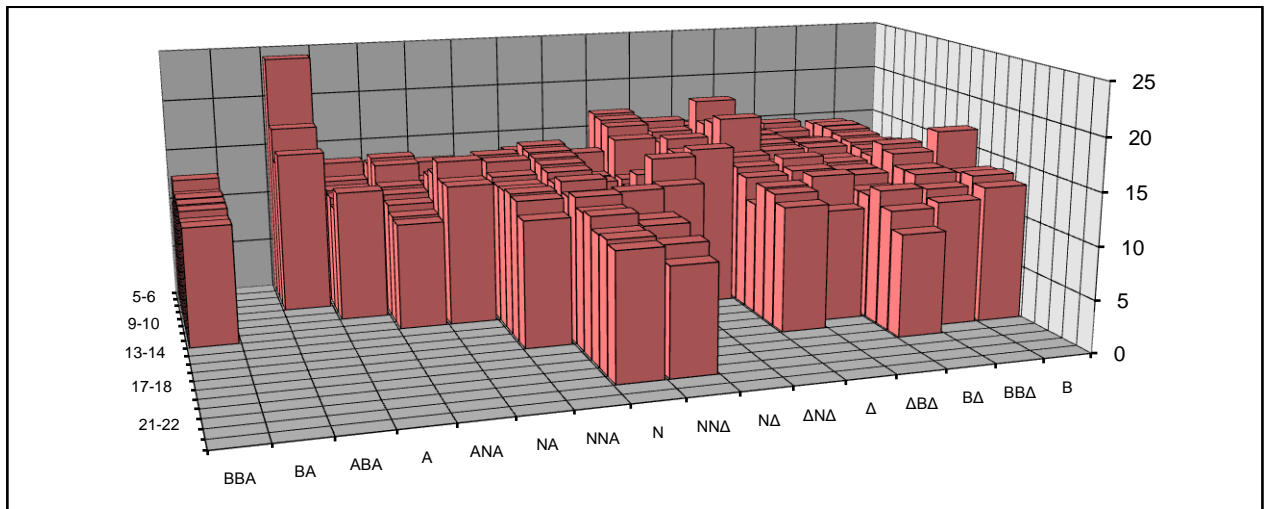
Γράφημα Π43 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



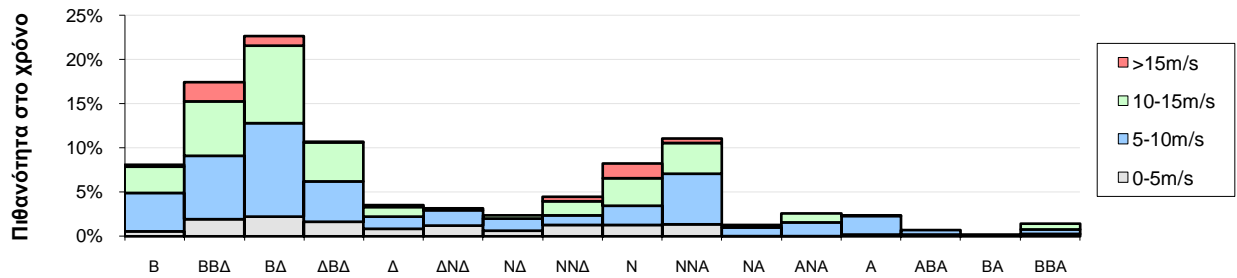
Γράφημα Π44 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



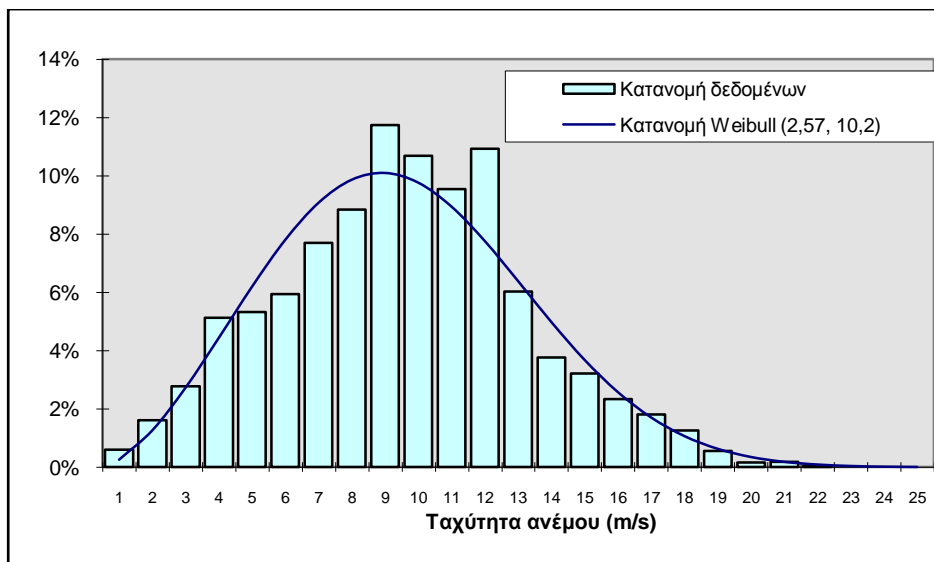
Γράφημα Π45 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 9,0m/s)



Γράφημα Π46 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π47 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π48 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

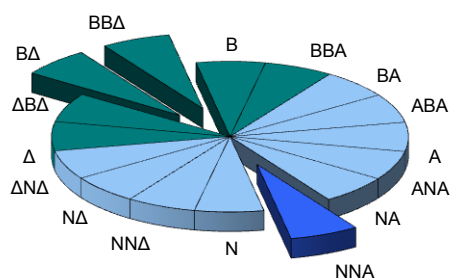
MΑΡΤΙΟΣ 2000

Περίοδος μετρήσεων : Τετάρτη, 1 Μάρτιος 2000 έως Παρασκευή, 31 Μάρτιος 2000

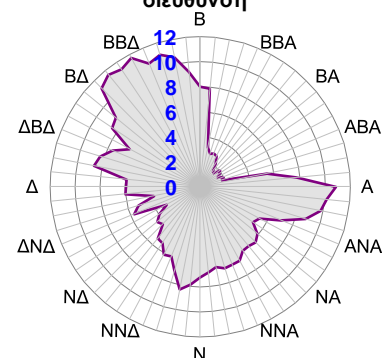
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	8.1 m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.9 %	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	23.6 m/s	(23/3/2000 03:22)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	33.3 m/s	(23/3/2000 00:52)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2 m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	657.5 Watt/m²	489.1 kWh/m²
Συντελεστές κατανομής Weibull		
shape factor (k)	1.92	
scale factor (C)	9.2 m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4464	
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	282	
Πληρότητα δεδομένων	100,0 %	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	BΔ	45.24%
2η κύρια διεύθυνση	BBA	14.95%
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	BΔ	24.73%
2η κύρια διεύθυνση	NNA	15.49%

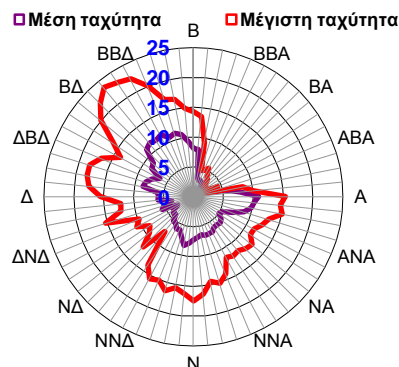
Κύριες διευθύνσεις

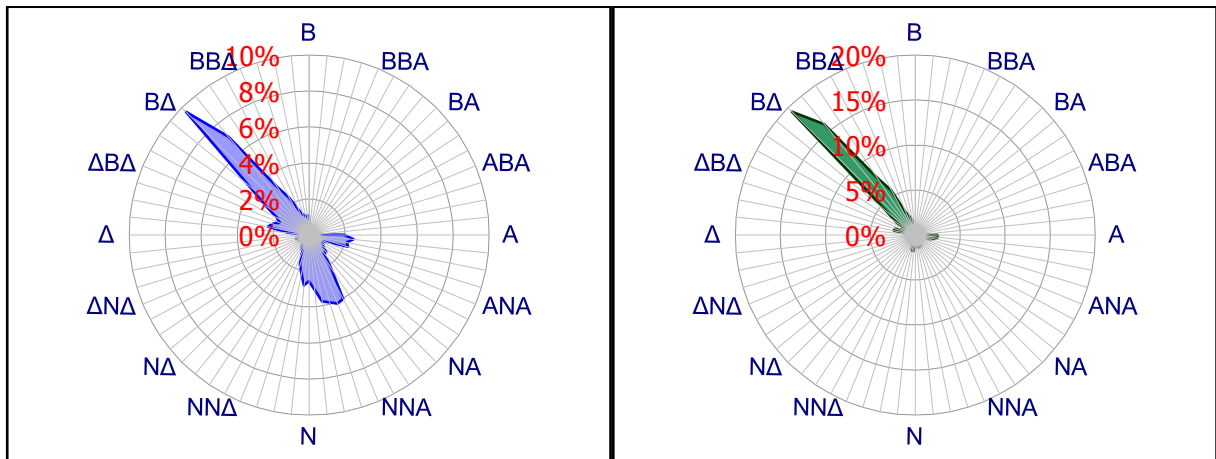


Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση

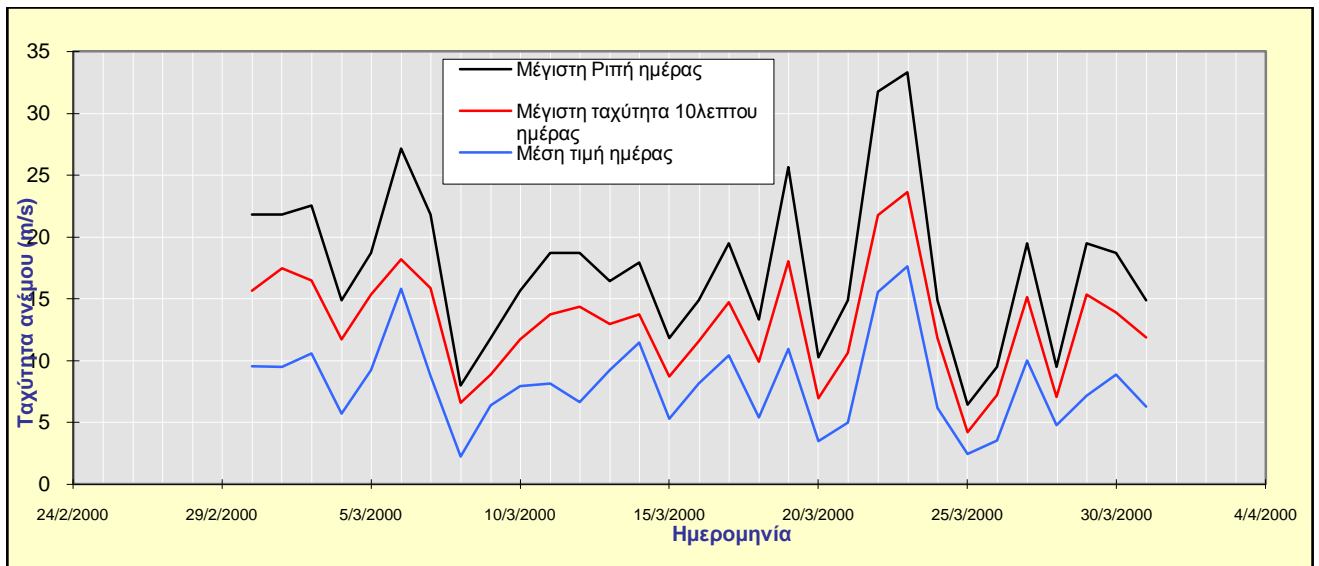


Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λέππου) ανά διεύθυνση

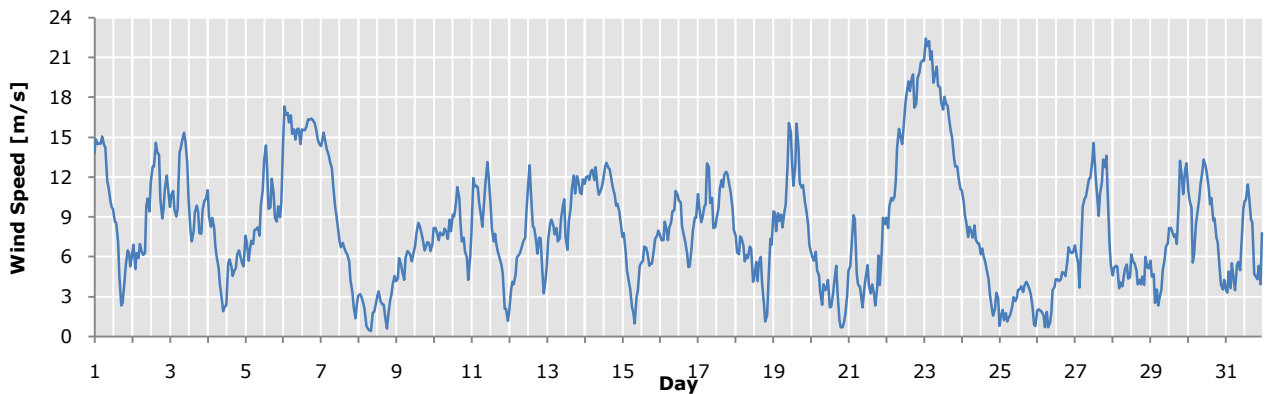




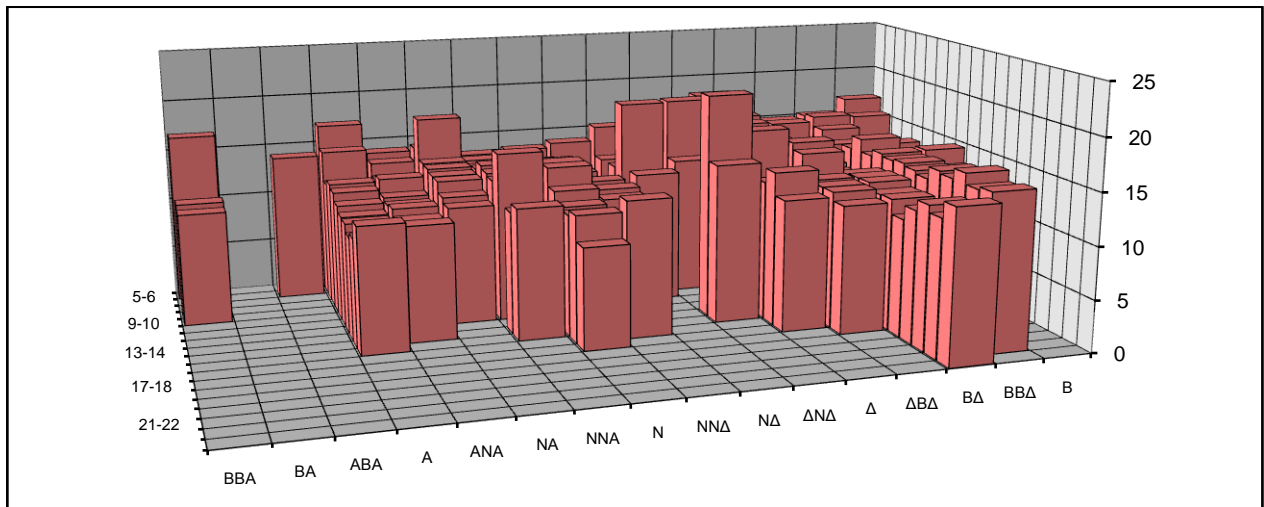
Γράφημα Π49 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



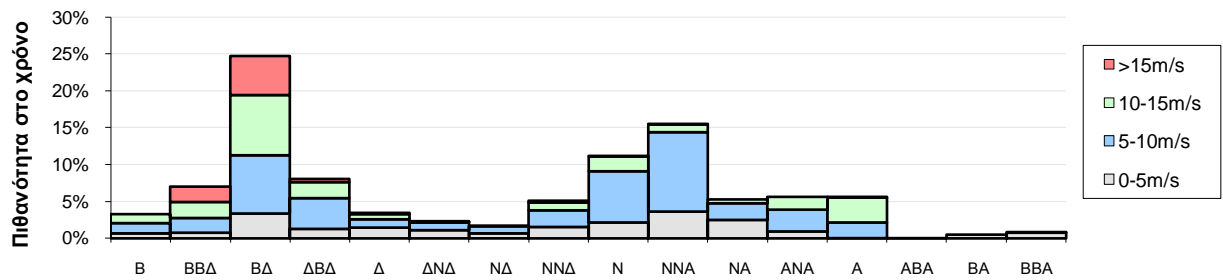
Γράφημα Π50 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



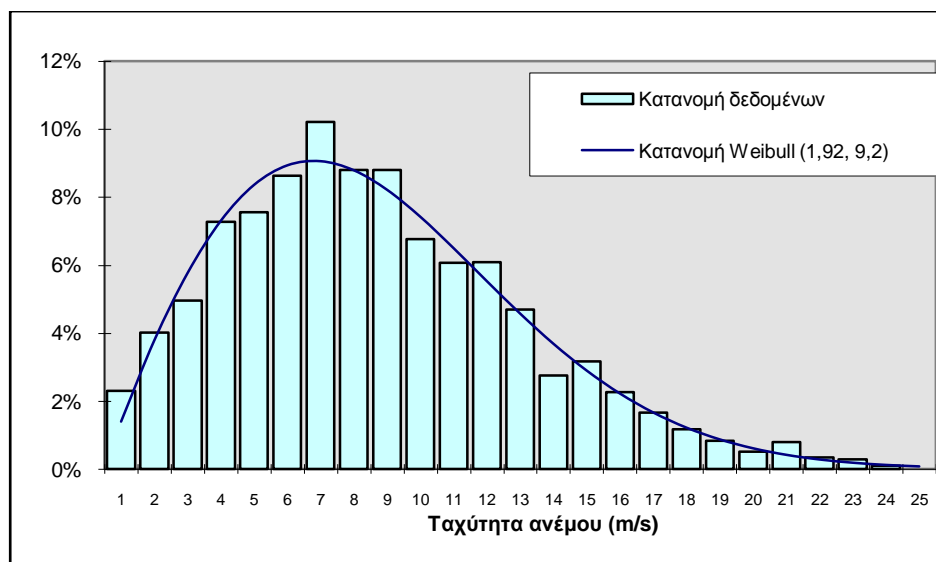
Γράφημα Π51 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 8,1m/s)



Γράφημα Π52 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π53 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π54 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

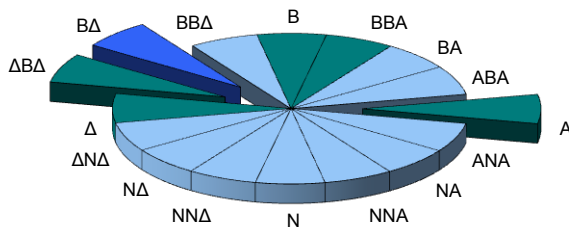
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2000

Περίοδος μετρήσεων : Σάββατο, 1 Απρίλιος 2000 έως Κυριακή, 30 Απρίλιος 2000

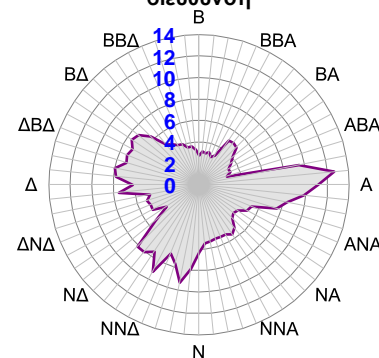
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	7.0	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.6	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	21.9	m/s	(5/4/2000 14:05)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	30.2	m/s	(5/4/2000 05:55)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	416.1	Watt/m ²	299.5 kWh/m ²
Συντελεστής κατανομής Weibull			
shape factor (k)	2.01		
scale factor (C)	7.9	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4318		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	202		
Πληρότητα δεδομένων	100,0	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	A	37.35%	
2η κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	13.68%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	19.80%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	16.76%	

Κύριες διευθύνσεις

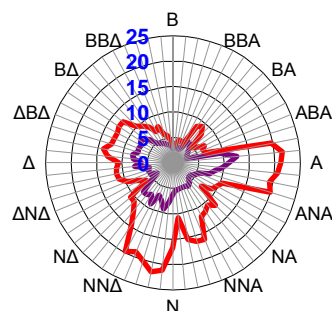


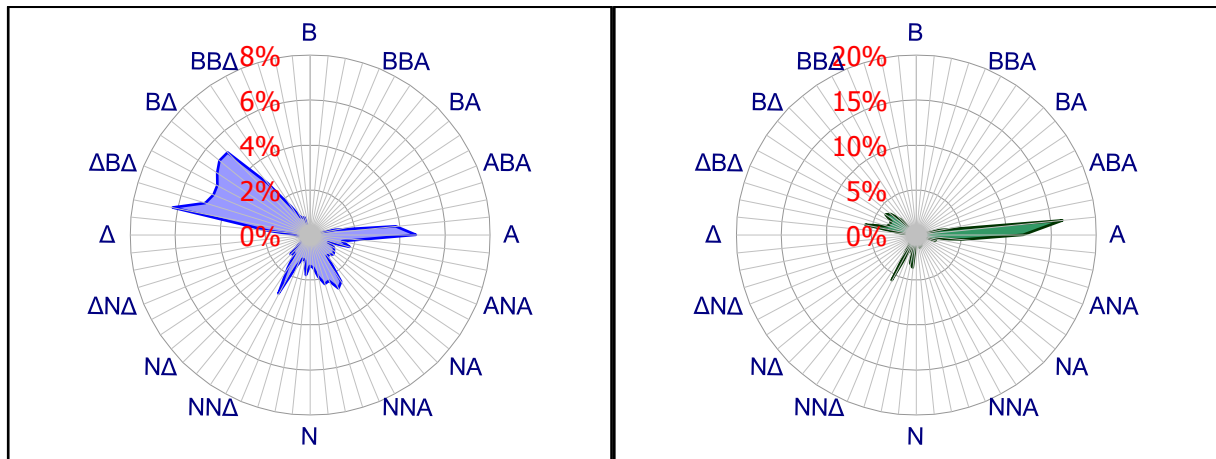
Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



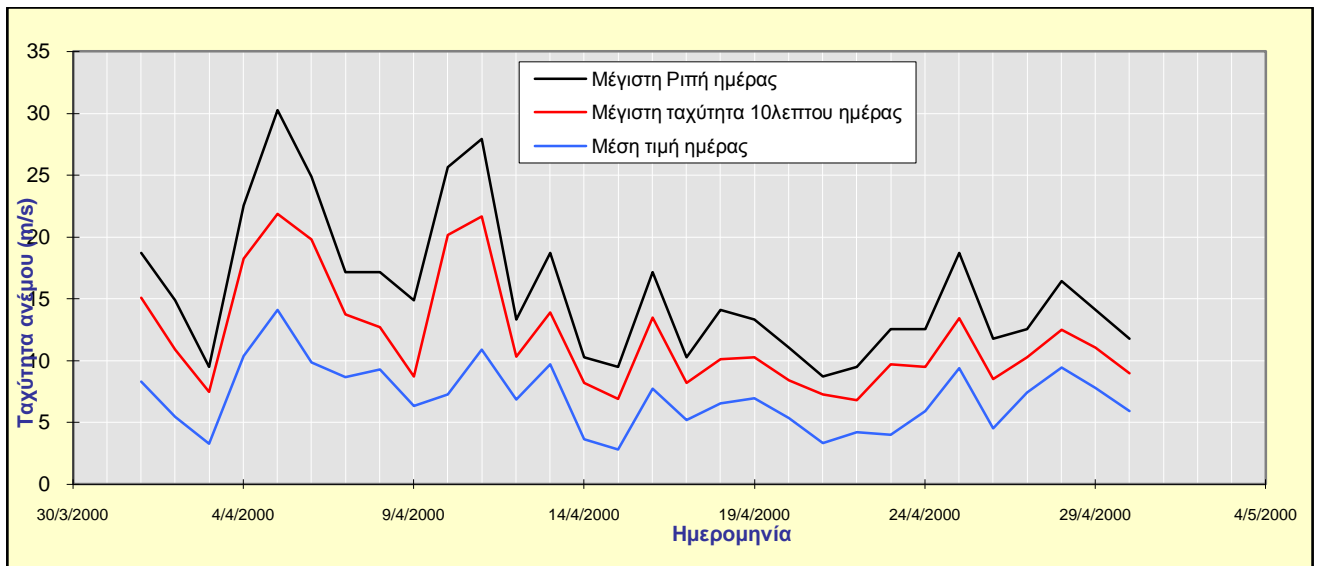
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανά διεύθυνση

■ Μέση ταχύτητα ■ Μέγιστη ταχύτητα

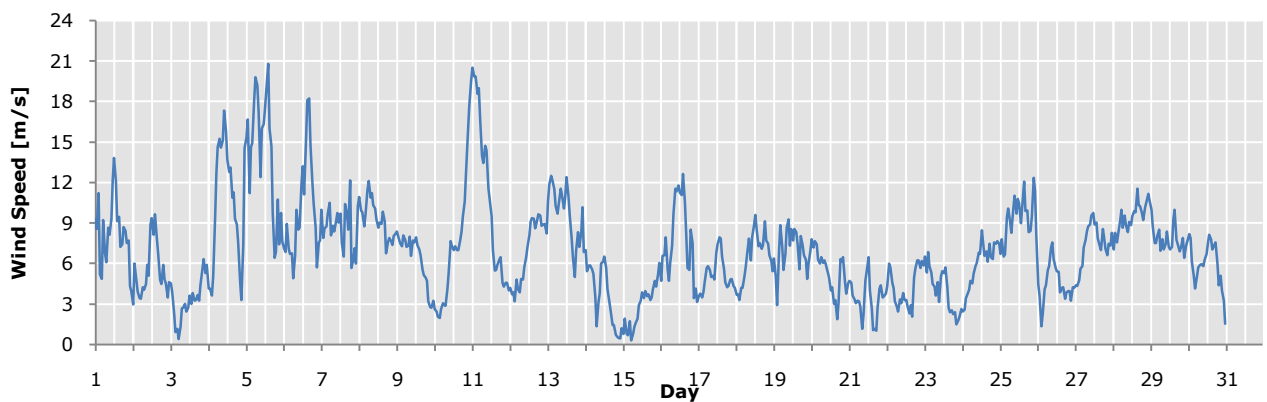




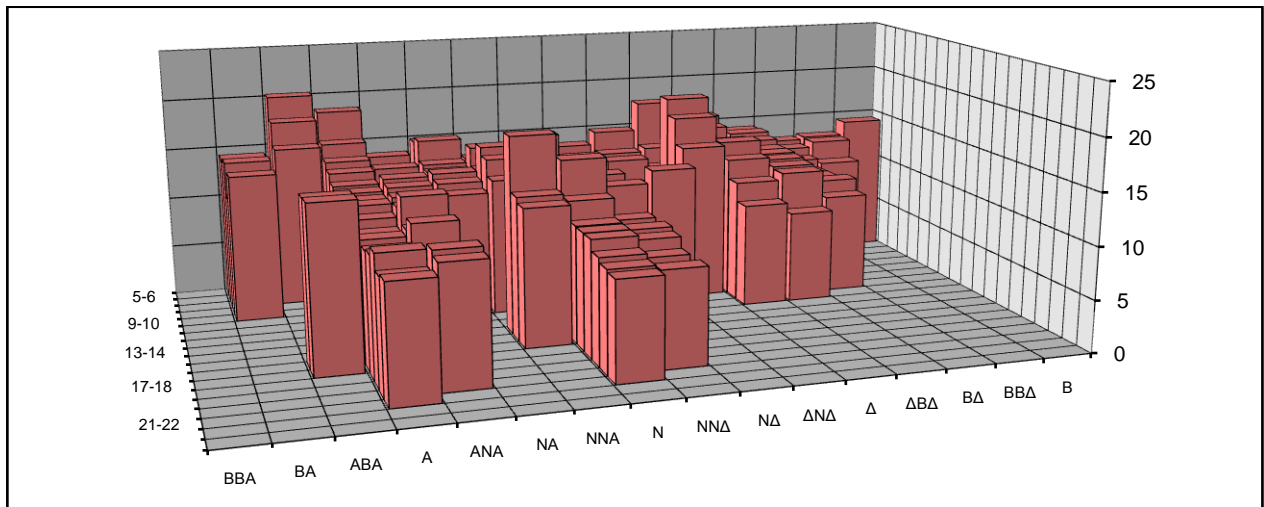
Γράφημα Π55 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



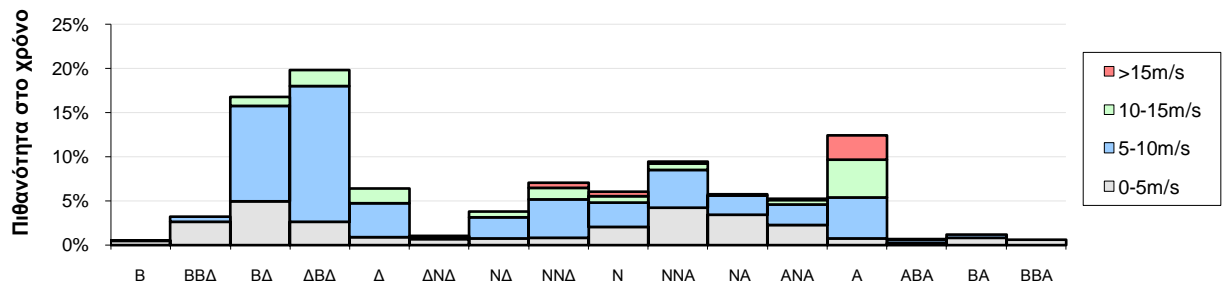
Γράφημα Π56 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



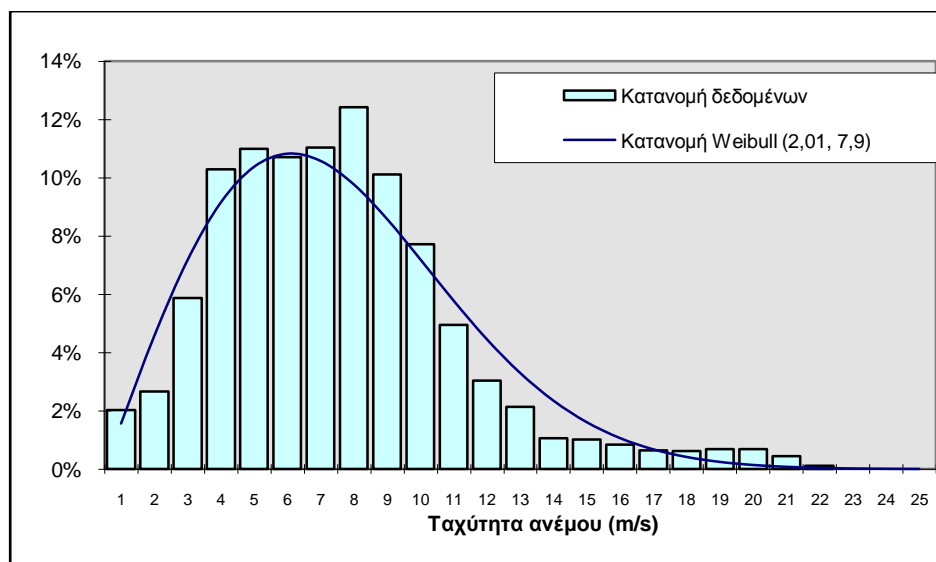
Γράφημα Π57 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 7,0m/s)



Γράφημα Π58 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π59 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π60 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

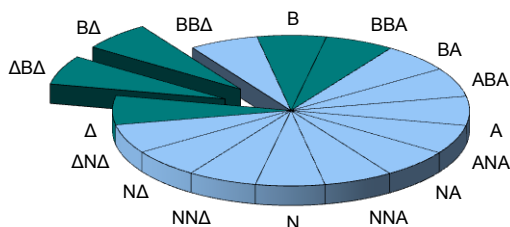
ΜΑΙΟΣ 2000

Περίοδος μετρήσεων : Δευτέρα, 1 Μάιος 2000 έως Τετάρτη, 31 Μάιος 2000

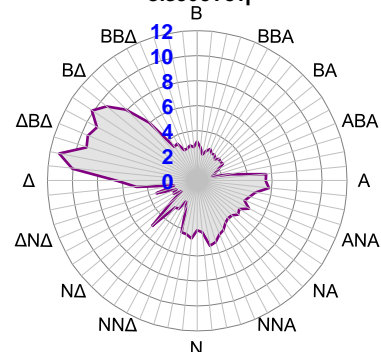
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	7.6	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.8	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	21.3	m/s	(4/5/2000 07:25)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	27.2	m/s	(4/5/2000 07:45)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	577.0	Watt/m²	429.3 kWh/m²
Συντελεστές κατανομής Weibull			
shape factor (k)	1.62		
scale factor (C)	8.6	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4464		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	379		
Πληρότητα δεδομένων	100,0	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	41.15%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	40.60%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	33.61%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	28.96%	

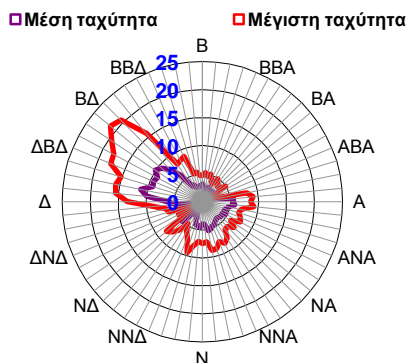
Κύριες διευθύνσεις

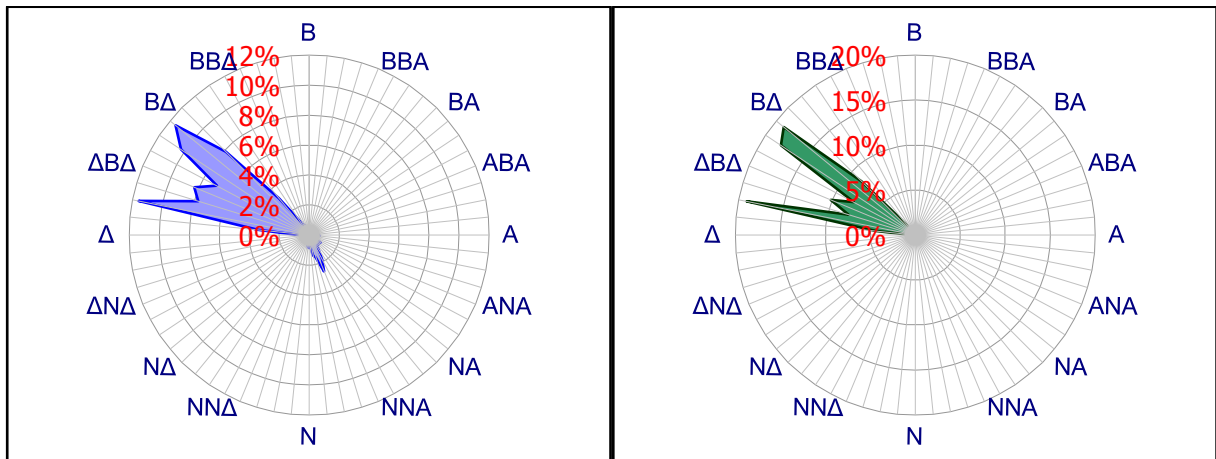


Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση

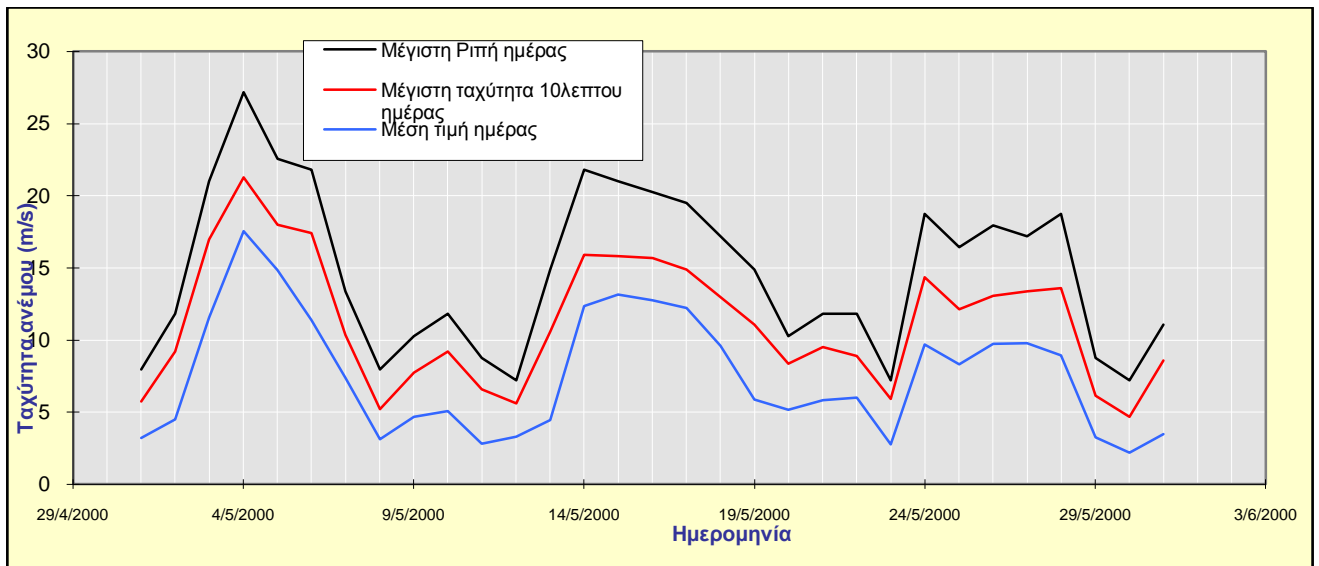


Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λεπτού) ανέμου ανά διεύθυνση

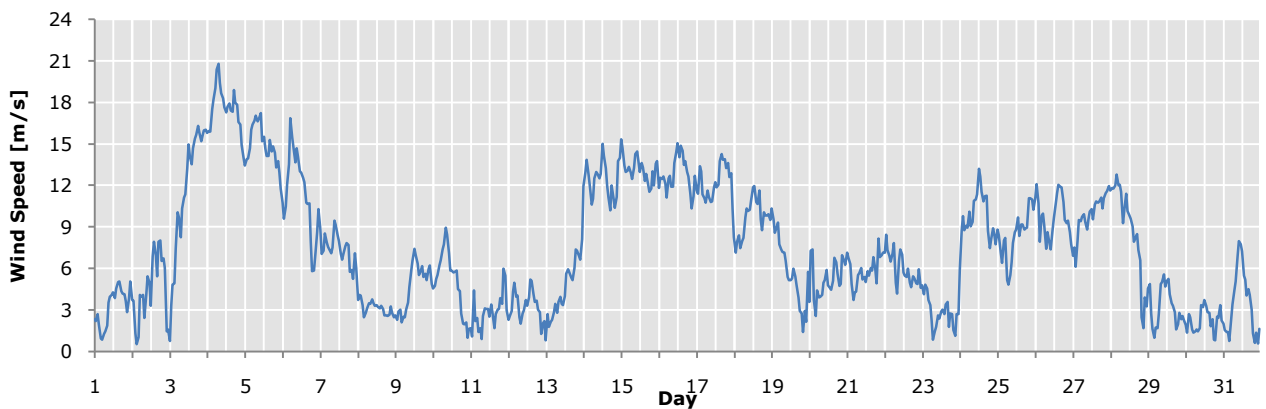




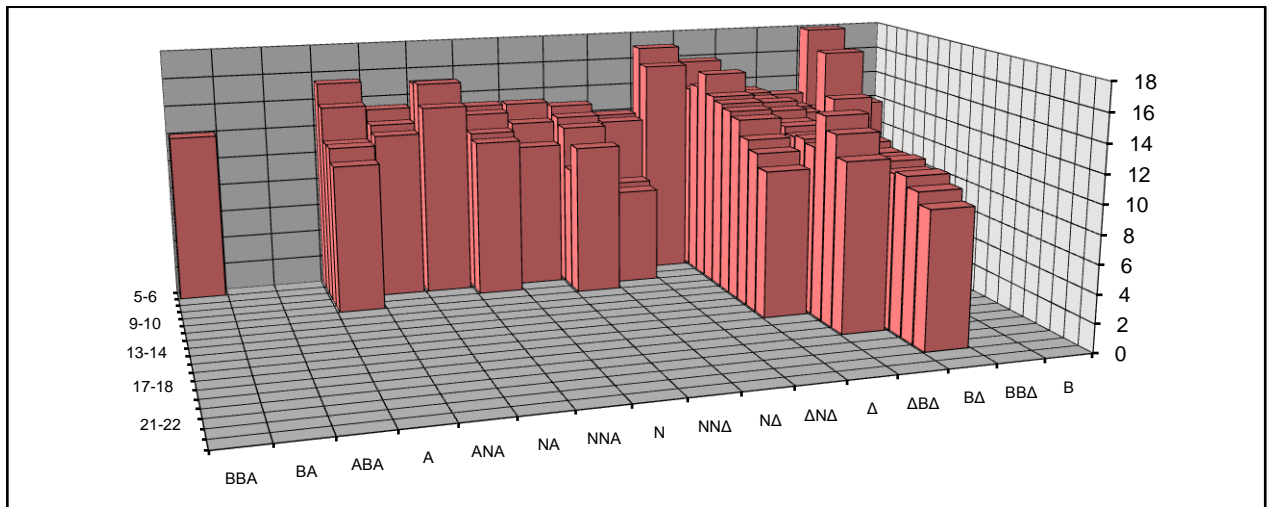
Γράφημα Π61 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



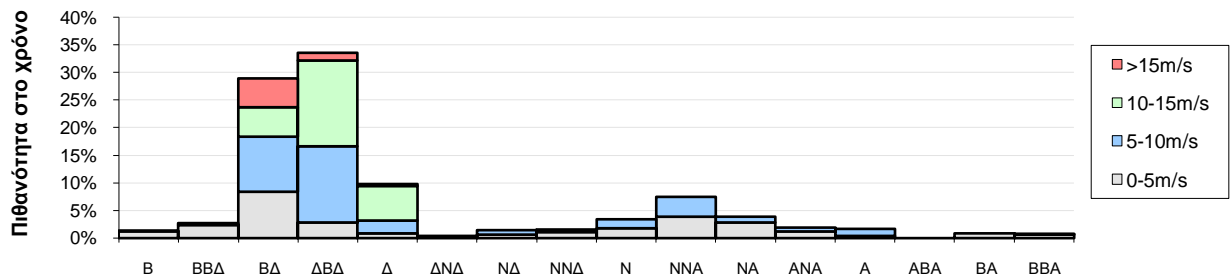
Γράφημα Π62 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



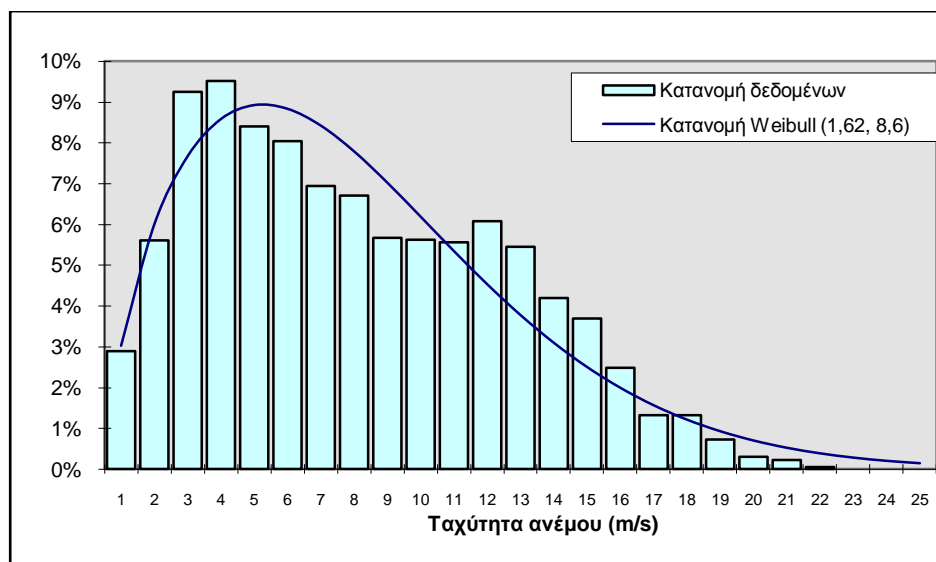
Γράφημα Π63 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 7,6m/s)



Γράφημα Π64 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



Γράφημα Π65 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π66 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

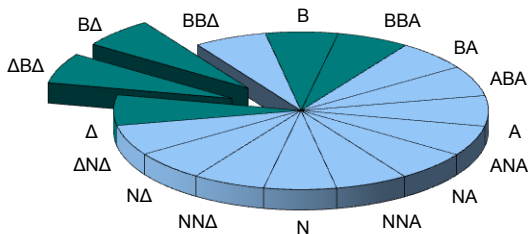
ΙΟΥΝΙΟΣ 2000

Περίοδος μετρήσεων : Πέμπτη, 1 Ιούνιος 2000 έως Παρασκευή, 30 Ιούνιος 2000

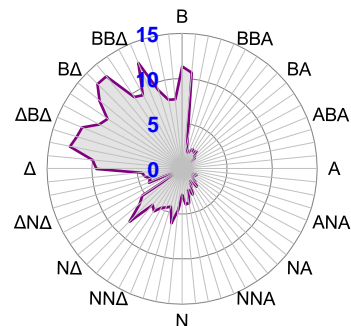
WindRose
ver.3,88-5,90

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	11.2	m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	12.6	%	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	22.7	m/s	(18/6/2000 15:05)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	28.7	m/s	(18/6/2000 15:45)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2	m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Ανέμου	1194.6	Watt/m ²	858.1 kWh/m ²
Συντελεστής κατανομής Weibull			
shape factor (k)	2.57		
scale factor (C)	13.0	m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4310		
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	76		
Πληρότητα δεδομένων	99,8	%	
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	46.94%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	41.01%	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΒΔ	48.96%	
2η κύρια διεύθυνση	ΒΔ	32.29%	

Κύριες διευθύνσεις

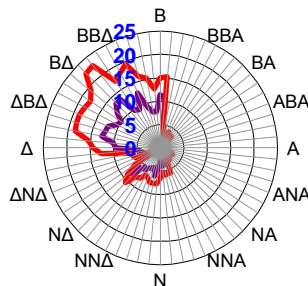


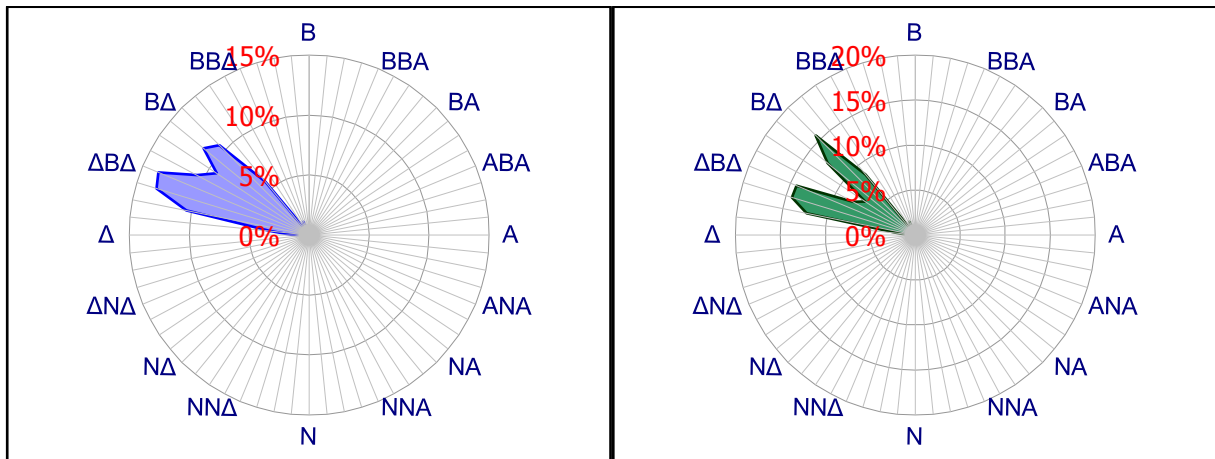
Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



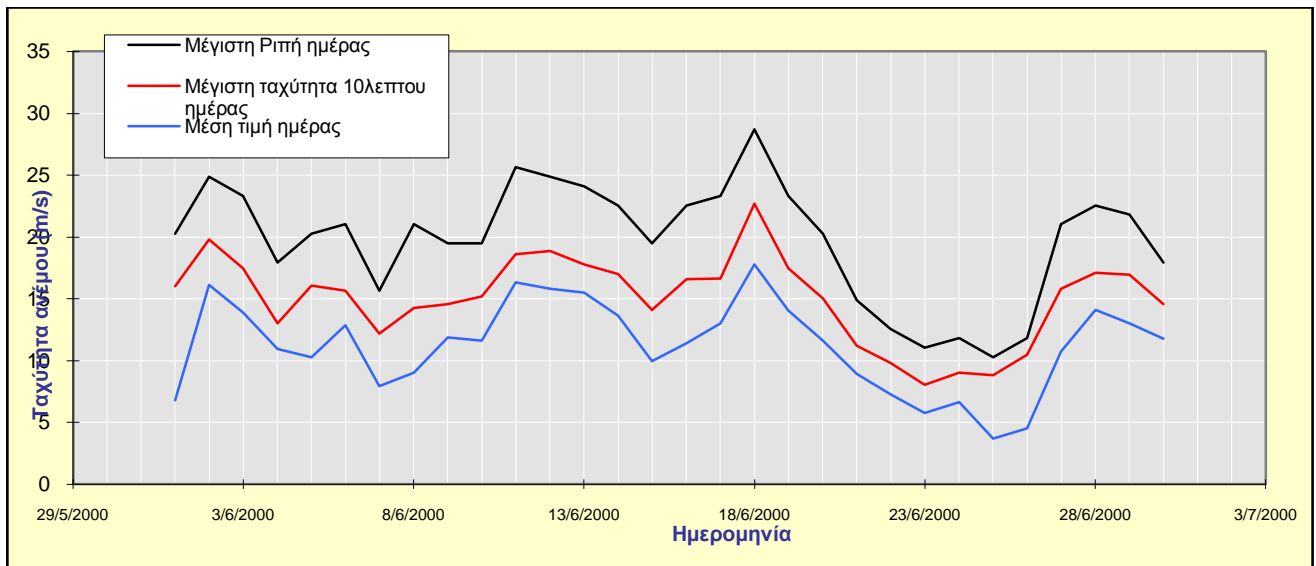
Μέση & Μέγιστη ταχύτητα (10λέπτου) ανέμου ανά διεύθυνση

■ Μέση ταχύτητα ■ Μέγιστη ταχύτητα

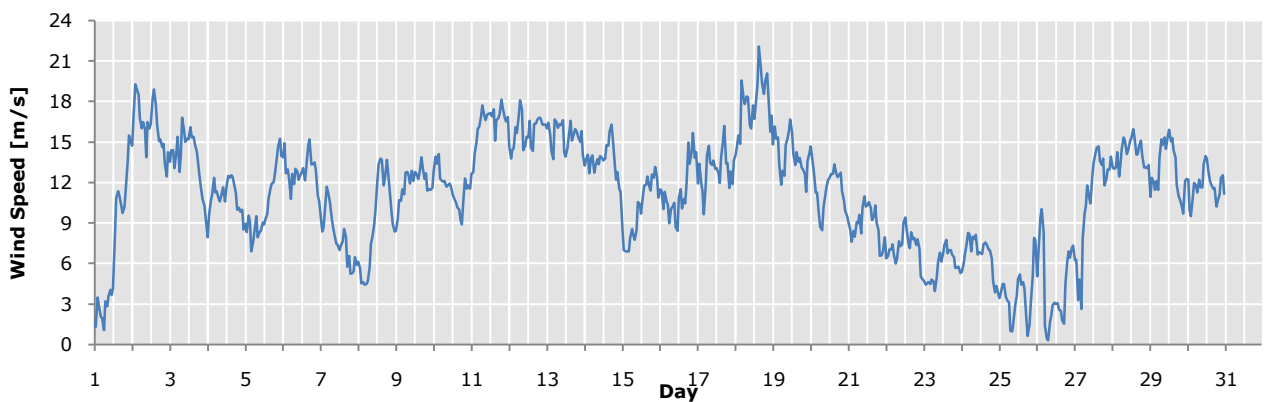




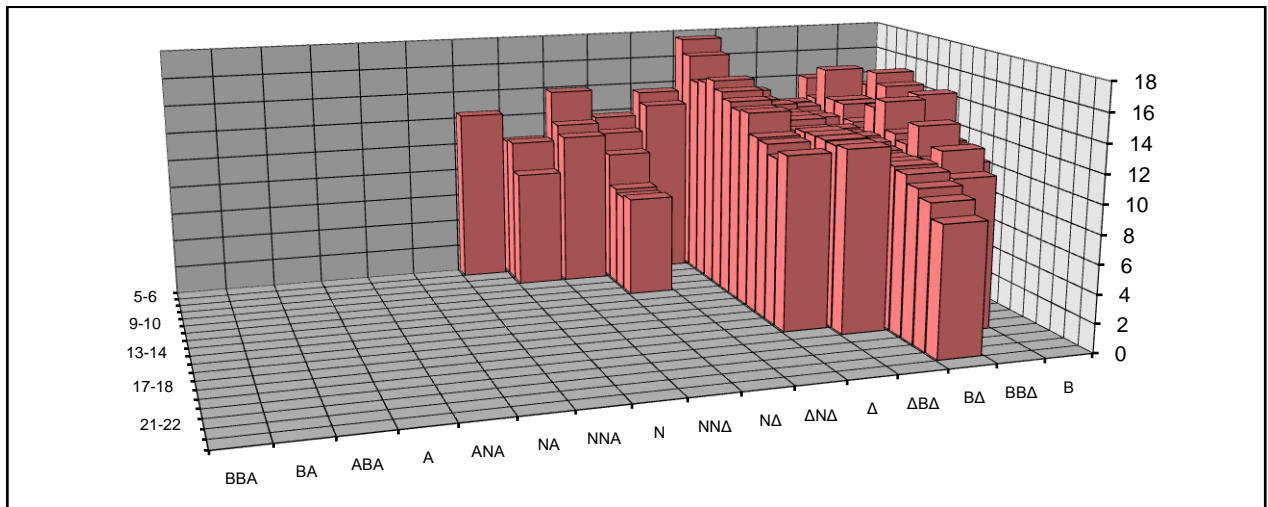
Γράφημα Π67 Ροδογράμματα διευθύνσεων ανέμου ως προς τον Χρόνο και την Ενέργεια



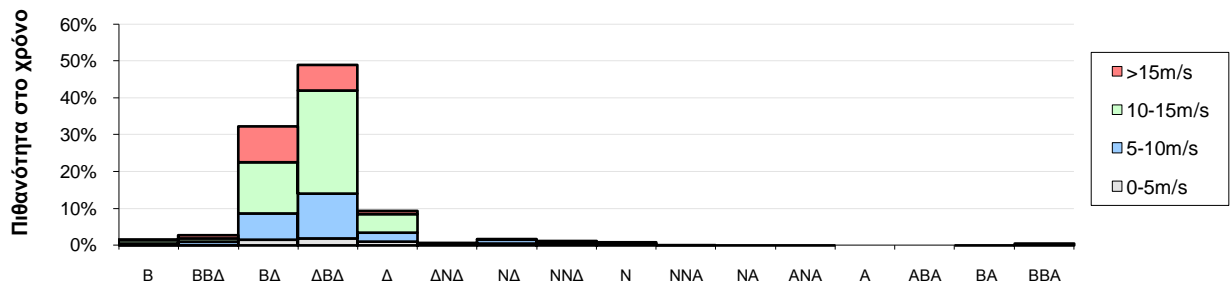
Γράφημα Π68 Διακύμανση ταχύτητας ανέμου ανά ημέρα



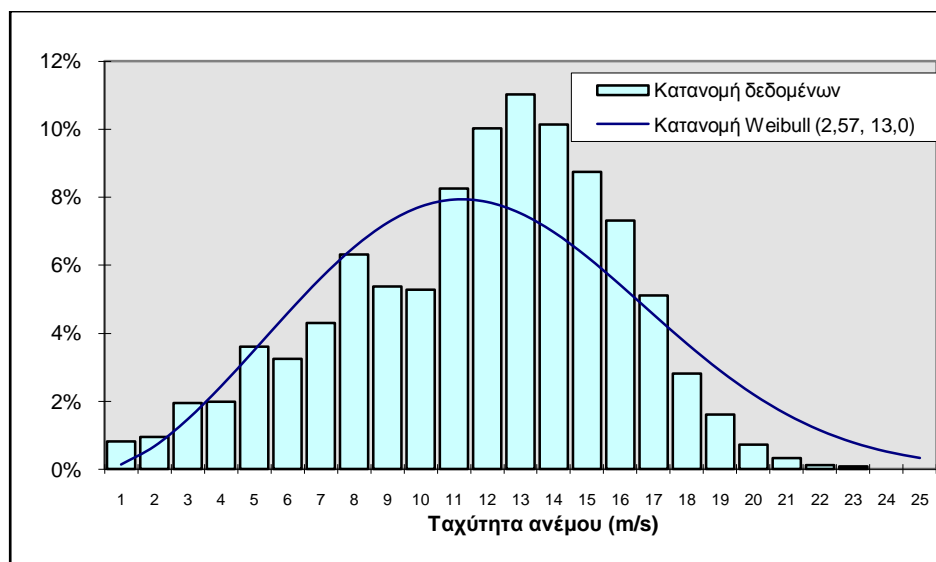
Γράφημα Π69 Μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα (Μέση ταχύτητα: 11.2m/s)



Γράφημα Π70 Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

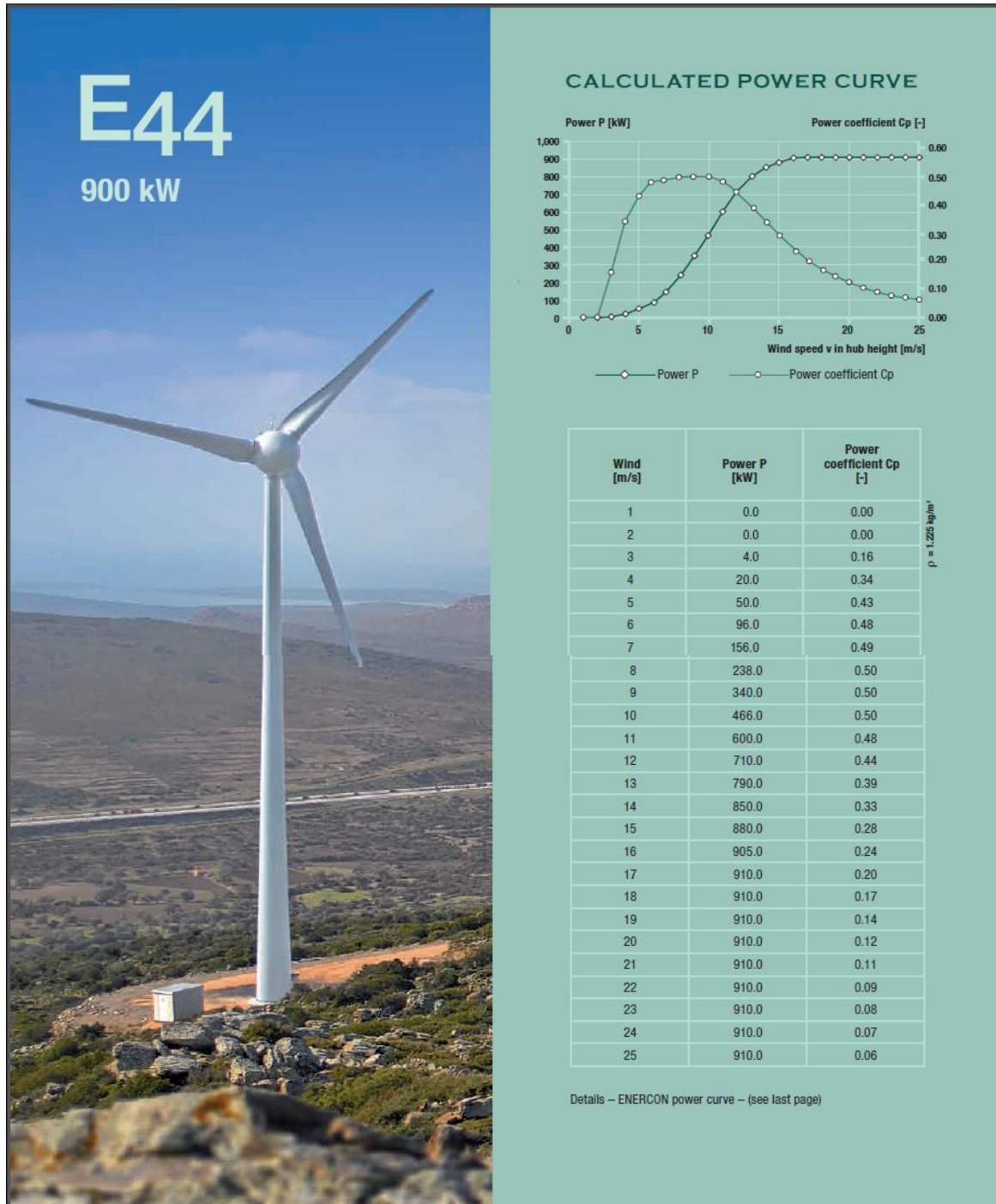


Γράφημα Π71 Πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση για 4 διαστήματα ταχυτήτων



Γράφημα Π72 Πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα ανέμου μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει

Φυλλάδια Τεχνικών Χαρακτηριστικών Εξεταζόμενων Α/Γ
ENERCON E44-900kW [36]



TECHNICAL SPECIFICATIONS E-44

Rated power: 900 kW
 Rotor diameter: 44 m
 Hub height: 45 m / 55 m / 65 m
 Wind class (IEC): IEC/NVN IA

Turbine concept: Gearless, variable speed
 Single blade adjustment

Rotor

Type: Upwind rotor with active pitch control
 Rotational direction: Clockwise
 No. of blades: 3
 Swept area: 1,521 m²
 Blade material: GRP (epoxy resin);
 integrated lightning protection
 Rotational speed: Variable, 12–34 rpm
 Pitch control: ENERCON single blade pitch system,
 one independent pitch system per rotor
 blade with allocated emergency supply

Drive train with generator

Hub: Rigid
 Main bearing: Tapered roller bearing pair
 Generator: ENERCON direct-drive annular
 generator

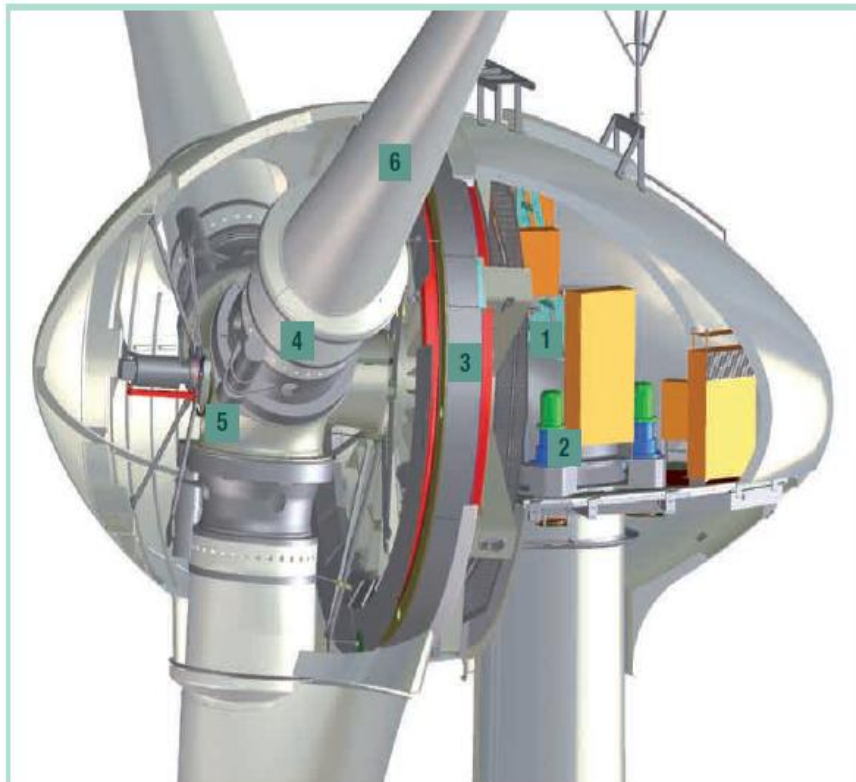
Grid feeding: ENERCON inverter
Brake systems: – 3 independent pitch control systems
 with emergency power supply
 – Rotor brake
 – Rotor lock

Yaw control: Active via adjustment gears,
 load-dependent damping

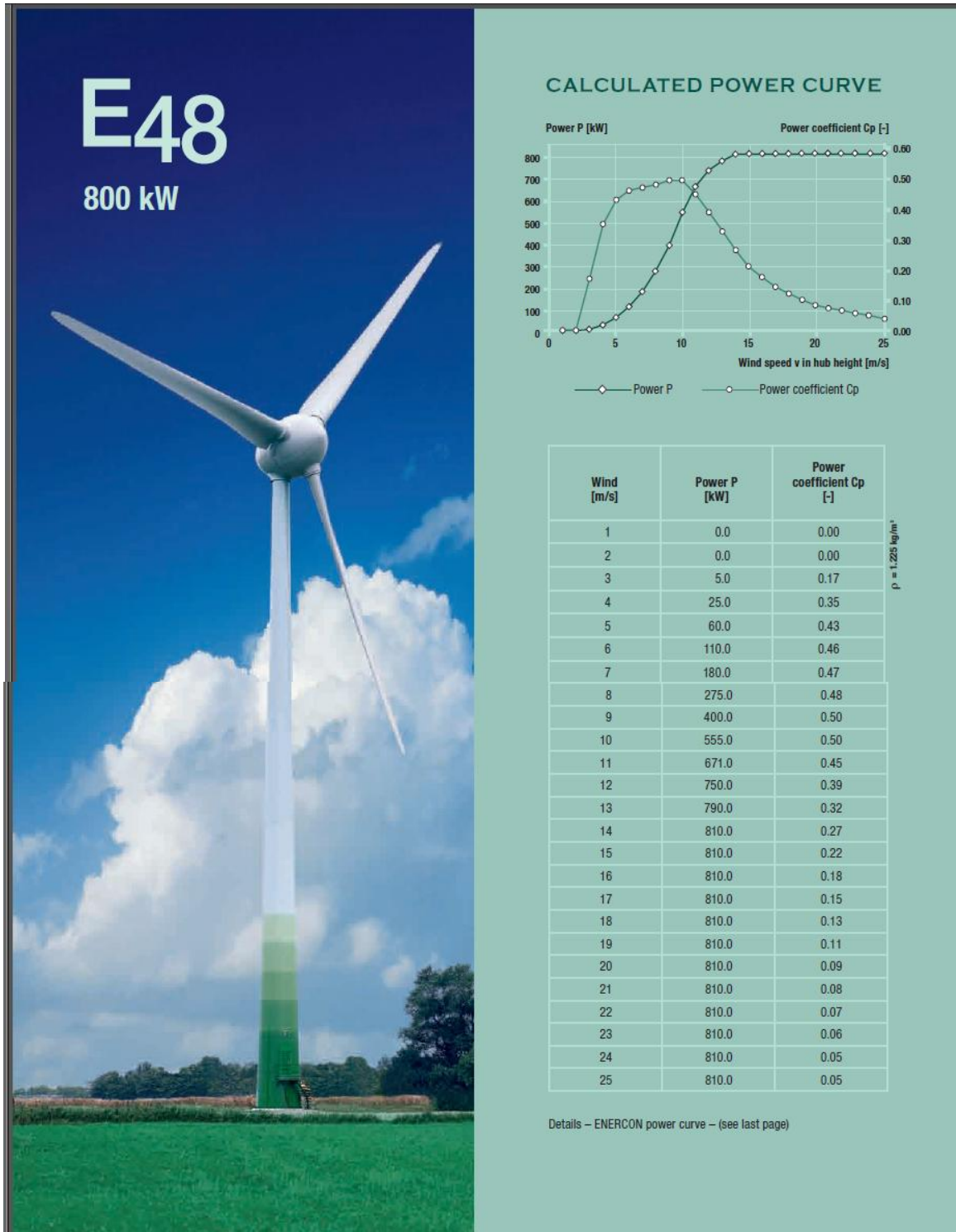
Cut-out wind speed: 28–34 m/s
 (with ENERCON storm control*)

Remote monitoring: ENERCON SCADA

*Details – ENERCON Storm Control – (see last page)



- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Blade adapter
- 5 Rotor hub
- 6 Rotor blade

ENERCON E48-800kW [36]

TECHNICAL SPECIFICATIONS E-48

Rated power:	800 kW
Rotor diameter:	48 m
Hub height:	50 m / 60 m / 75 m / 76 m
Wind zone (DIBt):	WZ III
Wind class (IEC):	IEC/NVN IIA

Turbine concept:	Gearless, variable speed Single blade adjustment
-------------------------	---

Rotor

Type:	Upwind rotor with active pitch control
Rotational direction:	Clockwise
No. of blades:	3
Swept area:	1,810 m ²
Blade material:	GRP (epoxy resin); integrated lightning protection
Rotational speed:	Variable, 16–31 rpm
Pitch control:	ENERCON single blade pitch system, one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply

Drive train with generator

Hub:	Rigid
Main bearing:	Tapered roller bearing pair
Generator:	ENERCON direct-drive annular generator

Grid feeding:

ENERCON inverter

Brake systems:

- 3 independent pitch control systems
with emergency power supply
- Rotor brake
- Rotor lock

Yaw control:

Active via adjustment gears,
load-dependent damping

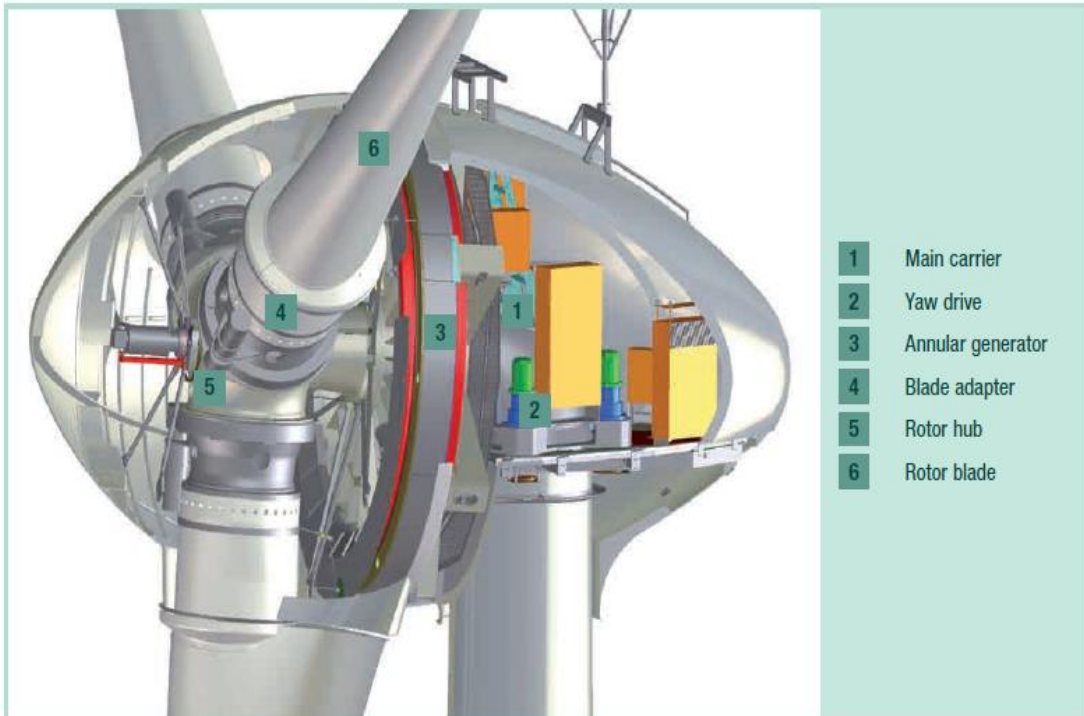
Cut-out wind speed:

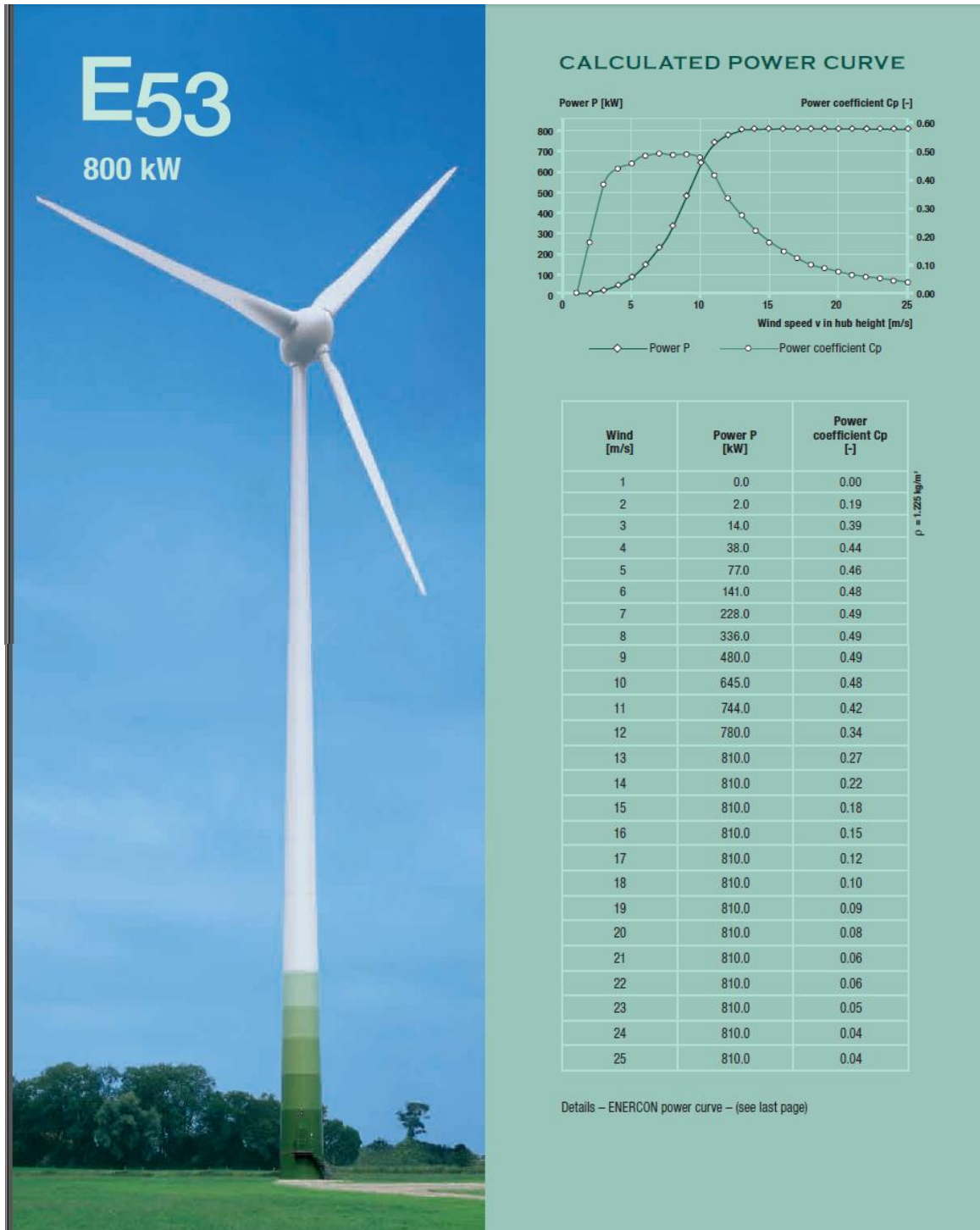
28–34 m/s
(with ENERCON storm control*)

Remote monitoring:

ENERCON SCADA

*Details – ENERCON Storm Control – (see last page)



ENERCON E53-800kW [36]

TECHNICAL SPECIFICATIONS E-53

Rated power: 800 kW
 Rotor diameter: 52.9 m
 Hub height: 60 m / 73 m / 75 m
 Wind zone (DIBt): WZ II exp
 Wind class (IEC): IEC/NVN Class S
 ($v_{in} = 7.5$ m/s, $v_{cut} = 57$ m/s)

Turbine concept: Gearless, variable speed
 Single blade adjustment

Rotor

Type: Upwind rotor with active pitch control
 Rotational direction: Clockwise
 No. of blades: 3
 Swept area: 2,198 m²
 Blade material: GRP (epoxy resin);
 integrated lightning protection
 Rotational speed: Variable, 12–28.3 rpm
 Pitch control: ENERCON single blade pitch system,
 one independent pitch system per rotor
 blade with allocated emergency supply

Drive train with generator

Hub: Rigid
 Main bearing: Tapered roller bearing pair
 Generator: ENERCON direct-drive annular
 generator

Grid feeding:

ENERCON inverter

Brake systems:

– 3 independent pitch control systems
 with emergency power supply
 – Rotor brake
 – Rotor lock

Yaw control:

Active via adjustment gears,
 load-dependent damping

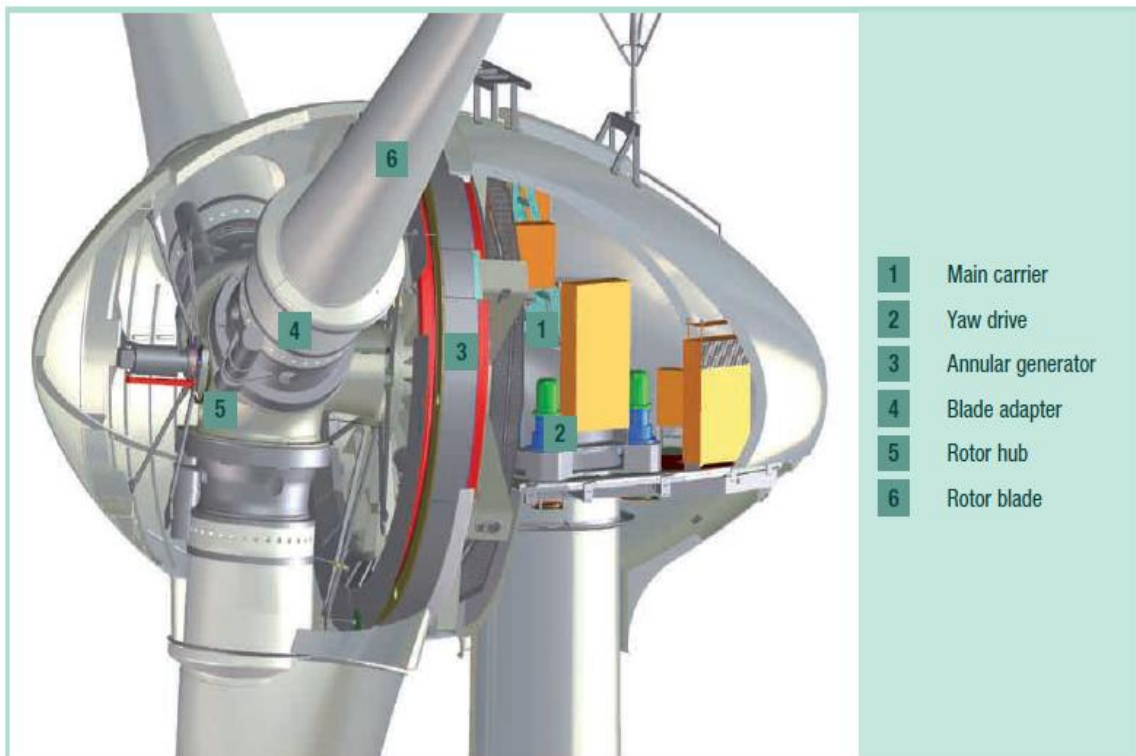
Cut-out wind speed:

28–34 m/s
 (with ENERCON storm control*)

Remote monitoring:

ENERCON SCADA

*Details – ENERCON Storm Control – (see last page)



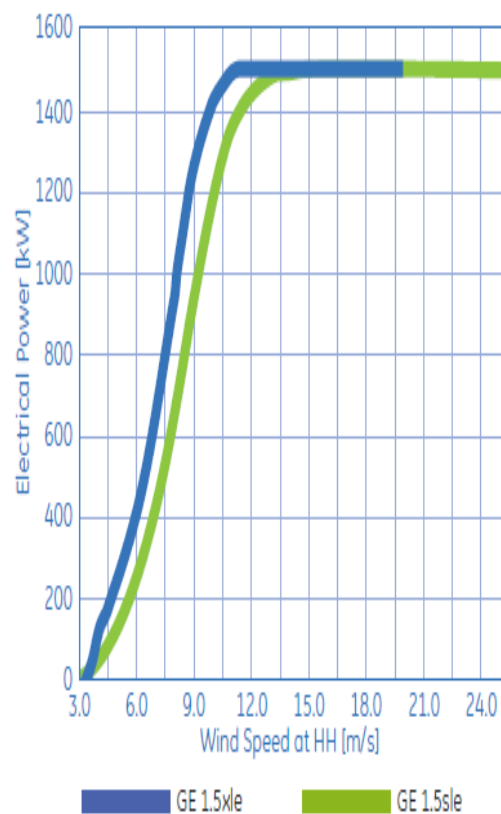
- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Blade adapter
- 5 Rotor hub
- 6 Rotor blade

GENERAL ELECTRIC POWER 1,5 SLE & 1,5 XLE – 1.500kW [37]

Technical data

	1.5sle	1.5xle
Operating Data		
Rated Capacity:	1,500 kW	1,500 kW
Temperature Range:	Operation: -30°C - +40°C	-30°C - +40°C
With Cold Weather Extreme Package)	Survival: -40°C - +50°C	-40°C - +50°C
Cut-in Wind Speed:	3.5 m/s	3.5 m/s
Cut-out Wind Speed (10 min avg.):	25 m/s	20 m/s
Rated Wind Speed:	14 m/s	11.5 m/s
Wind Class – IEC:	IIa ($V_{e50} = 55$ m/s $V_{ave} = 8.5$ m/s)	IIIb ($V_{e50} = 52.5$ m/s $V_{ave} = 8.0$ m/s)
Electrical Interface		
Frequency	50/60 Hz	50/60 Hz
Voltage	690V	690V
Rotor		
Rotor Diameter:	77 m	82.5 m
Swept Area:	4657 m ²	5346 m ²
Tower		
Hub Heights:	65/80 m	80 m
Power Control		
	Active Blade Pitch Control	Active Blade Pitch Control

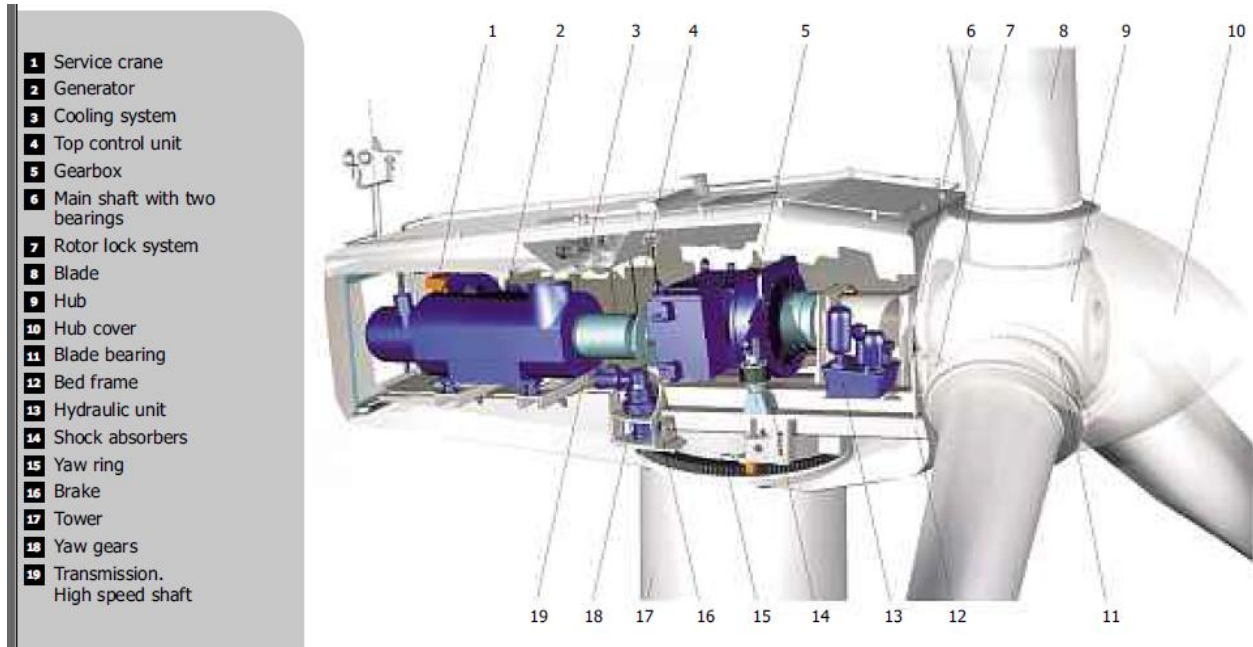
Power curve



..5sle – Classic workhorse, an efficient and reliable machine with proven technology

..5xle – Built on the success of the 1.5sle platform, captures more wind energy with 15% greater swept area

GAMESA G52-850kW [38]



Rotor	
Diameter	52 m
Swept area	2,124 m ²
Rotational speed	Variable 14.6 - 30.8 rpm, tower 55 and 65m Variable 16.2 - 30.8 rpm, tower 44m
Rotational direction	Clock Wise (front view)
Weight (incl. Hub)	Approx. 10 T
Top head mass	Approx. 33 T

Blades	
Number of blades	3
Length	25.3 m
Airfoils	NACA 63.XXX + FFA-W3
Material	Epoxy reinforced glass fiber
Total blade weight	1,900 kg

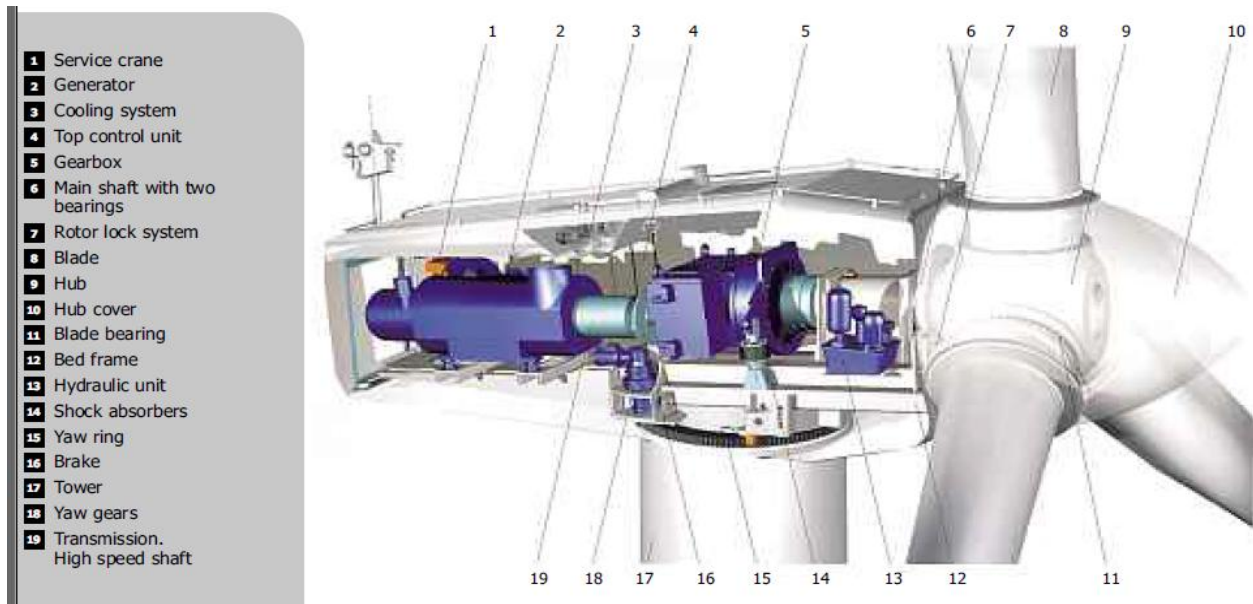
Tubular Tower		
Modular type	Height	Weight
2 sections	44 m	45 T
2 sections	49 m	53 T
3 sections	55 m	62 T
3 sections	65 m	79 T

Gearbox	
Type	1 planetary stage / 2 helical stages
Ratio	1:61.74 (50 Hz) 1:74.5 (60 Hz)
Cooling	Oil pump with oil cooler
Oil heater	1.5 kW

Generator 850 kW	
Type	Doubly-fed machine
Rated power	850 kW
Voltage	690 V ac
Frequency	50 Hz / 60 Hz
Protection class	IP 54
Number of poles	4
Rotational speed	1,000:1,950 rpm (50 Hz) 1,320:2,340 rpm (60 Hz)
Rated Stator Current	670 A @ 690 V
Power factor (standard)	0.95 CAP - 0.95 IND at partial loads and 1 at nominal power.*
Power factor (optional)	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range.*

* Power factor at generator output terminals, on low voltage side before transformer input terminals.

GAMESA G58-850kW [38]



Rotor

Diameter	58 m
Swept area	2,642 m ²
Rotational speed	Variable 14.6 - 30.8 rpm, tower 55 and 65m Variable 16.2 - 30.8 rpm, tower 44m
Rotational direction	Clock Wise (front view)
Weight (incl. Hub)	Approx. 12 T
Top head mass	Approx. 35 T

Blades

Number of blades	3
Length	28.3 m
Airfoils	NACA 63.XXX + FFA-W3
Material	Epoxy reinforced glass fiber
Total blade weight	2,400 kg

Tubular Tower

Modular type	Height	Weight
2 sections	44 m	45 T
3 sections	55 m	62 T
3 sections	65 m	79 T

Gearbox

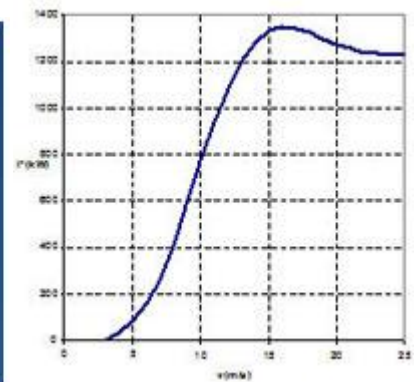
Type	1 planetary stage / 2 helical stages
Ratio	1:61.74 (50 Hz) 1:74,5 (60 Hz)
Cooling	Oil pump with oil cooler
Oil heater	1.5 kW

Generator 850 kW

Type	Doubly-fed machine
Rated power	850 kW
Voltage	690 V ac
Frequency	50 Hz / 60 Hz
Protection class	IP 54
Number of poles	4
Rotational speed	1,000:1,950 rpm (50 Hz) 1,320:2,340 rpm (60 Hz)
Rated Stator Current	670 A @ 690 V
Power factor (standard)	0.95 CAP - 0.95 IND at partial loads and 1 at nominal power.*
Power factor (optional)	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range.*

* Power factor at generator output terminals, on low voltage side before transformer input terminals.

MADE AE-61-1320kW [39]



Benefits:

1. **Class I-A**
2. **Simplicity:** Assembly in field, Commissioning, Maintenance
3. **Strength:** Sites with special conditions (turbulences, seismicity), High reliability, Durability
4. **Made GESWIND:** remote monitoring and control system with Web access

Mechanical design

The power transmission includes the low-speed shaft, the main support for this shaft, the gearbox and the coupling. Its aim is to transmit the mechanical power to the electric generator in the right conditions to generate electricity.

The main shaft is supported on a double row of roller bearings at the front and it is connected to the gearbox by compression ring.

The coupling between the gearbox and the generator is elastic, enabling it to absorb any misalignments arising during any operating situation.

Electrical Design

The generator is fitted with a dual stator winding enabling the selection of which one of the two is connected to the grid depending on the wind speed, thus optimizing power transformation output and aerodynamic characteristics while reducing the noise level at low wind speeds.

Guidance System

The wind turbine is fitted with an active yaw system that turns the nacelle so that the rotor remains facing the prevailing wind. The control is informed whether the nacelle is facing the prevailing wind or not through wind sensors located on the outside of the nacelle (redundant for safety reasons).

Foundation

The wind turbine foundation ensure its stability for all load case conditions and is designed for a wide variety of sites.

Brake

Primary aerodynamic brake for air brake feathering. The mechanical brake is mounted on the high-speed shaft of the gearbox. It consists of a disk on which a fail-safe hydraulic calliper operates.

Tower and Nacelle

The wind turbine nacelle protects all of its components from the weather and insulates acoustically the outside from the noise emitted by the machinery. The nacelle frame unit is mounted on the top of the tower. Tower is manufactured in three trunk conical steel sections secured together by flanges, this raises the rotor a height of 55 m.

Control system

*The **MADE AE61–1320kW** wind turbine includes a control system that performs all the necessary tasks enabling the wind turbine to operate in automatic mode. This control system is responsible for adjusting all operating sequences and is capable of detecting any defect during operation, triggering the braking devices and keeping the turbine within the pre-established safety margins. The control system is also responsible for supplying the necessary data to a **SCADA** in order to remotely assess turbine operating status in real time.*

Speed (m/s)	Power (kW)
3	0
4	31
5	87
6	162
7	254
8	404
9	582
10	769
11	940
12	1085
13	1200
14	1282
15	1332
16	1350
17	1340
18	1321
18	1296
20	1274
21	1257
22	1238
23	1232
24	1228
25	1227

NORDEX S77-1500kW [40]

S77/1500 kW		S77/1500 kW	
Key Technical Parameter		Wind Speed (m/s)	Power (kW)
Number of blades	3	4	46
Rotor diameter	77 m	5	130
Swept area	4657 m ²	6	247
Power	1500 kW	7	408
Voltage	690 V	8	619
Type	Double fed asynchronous generator	9	876
Regulation	Pitch	10	1159
Cut-in wind speed	3.5 m/s	11	1365
Cut-out wind speed	25 m/s	12	1473
Rated wind speed from	13 m/s	13	1500
Max. speed in 10 min.	42.5 m/s	14	1500
Gustwind in 3 sec.	59.5 m/s	15	1500
Wind class	IEC 2a	16	1500
Tower		17	1500
Type	Modular steel tower, cylindrical, upper segment conical	18	1500
Hub height	70 m, 80 m	19	1500
Total weight tower	100 t, 151 t	20	1500
Weight		21	1500
Nacelle	56 t	22	1500
Rotor	35 t	23	1500
Blade	6.5 t	24	1500
		25	1500

NORDEX S82-1500kW [40]

S82/1500 kW		S82/1500 kW	
Key Technical Parameter		Wind Speed (m/s)	Power (kW)
Number of blades	3	4	51
Rotor diameter	82 m	5	148
Swept area	5281 m ²	6	289
Power	1500 kW	7	483
Voltage	690 V	8	729
Type	Double fed asynchronous generator	9	1018
Regulation	Pitch	10	1263
Cut-in wind speed	3.5 m/s	11	1414
Cut-out wind speed	25 m/s	12	1489
Rated wind speed from	12.5 m/s	13	1500
Max. speed in 10 min.	37.5 m/s	14	1500
Gustwind in 3 sec.	52.5 m/s	15	1500
Wind class	IEC 3a	16	1500
Tower		17	1500
Type	Modular steel tower, cylindrical, upper segment conical	18	1500
Hub height	80 m	19	1500
Total weight tower	151 t	20	1500
Weight		21	1500
Nacelle	56 t	22	1500
Rotor	33 t	23	1500
Blade	6 t	24	1500
		25	1500

NORDEX S70-1500kW [40]

S70/1500 kW		S70/1500 kW	
Key Technical Parameter		Wind Speed (m/s)	Power (kW)
Number of blades	3	4	24
Rotor diameter	70 m	5	87
Swept area	3848 m ²	6	190
Power	1500 kW	7	329
Voltage	690 V	8	531
Type	Double fed asynchronous generator	9	736
Regulation	Pitch	10	1016
Cut-in wind speed	3.5 m/s	11	1284
Cut-out wind speed	25 m/s	12	1426
Rated wind speed from	13 m/s	13	1500
Max. speed in 10 min.	50 m/s	14	1500
Gustwind in 3 sec.	70 m/s	15	1500
Wind class	IEC 1a (tbc)	16	1500
Tower		17	1500
Type	Modular steel tower, cylindrical, upper segment conical	18	1500
Hub height	70 m	19	1500
Total weight tower	100 t	20	1500
Weight		21	1500
Nacelle	56 t	22	1500
Rotor	33 t	23	1500
Blade	6 t	24	1500
		25	1500

SUZLON S64-1250kW [41]

MODEL	S64-1.25 MW
OPERATING DATA	
Rated power	1250 kW
Cut-in wind speed	3.5 m/s
Rated wind speed	14 m/s
Cut-off wind speed	25 m/s
Survival wind speed	59.5 m/s
ROTOR	
Type	3 Blades, Upwind / Horizontal axis
Diameter	64 m
Rotational speed at rated power	13.5 to 20.3 rpm
Rotor blade material	Epoxy bonded fiber glass
Swept area	3217 m ²
Power regulation	Active pitch regulated
GEARBOX	
Type	1 planetary stage / 2 helical stages
Ratio	1 : 74.9
Nominal load	1390 kW
Type of cooling	Forced oil cooling lubrication system
GENERATOR	
Type	Dual speed induction generator (asynchronous)
Speed at rated power	1006/1506 rpm 1007/1509 rpm
Rated power	300/1250 kW 250/1250 kW
Rated voltage	690 V AC (phase to phase)
Frequency	50 Hz
Insulation	Class H
Enclosure	IP 56
Cooling system	Air cooled
TOWER	
Type	Lattice tower (hot dip galvanised) or Tubular tower (corrosion proof painting on inner and outer surface)
Tower height	54 m / 63 m / 72 m (variable as per requirement)
Hub height (including foundation)	Approximately 56.5 m / 65 m / 74.5 m (variable as per requirement)
BRAKING SYSTEM	
Aerodynamic braking	3 Independent systems with blade pitching
Mechanical braking	Hydraulic fail safe disk brake system
YAW SYSTEM	
Type	Active electrical yaw motor
Bearing	Polyamide slide bearing with gear ring & automatic greasing system
Protection	Cable twist sensor, proximity sensor
PITCH SYSTEM	
Type	3 independent blade pitch control with battery backup for each blade
Operating range	-5 ° to +90 °
Resolution	0.1 ° to 10 °
CONTROLLER	
	Suzlon Control System with following salient features:
	- Park slave
	- Power output control / limitation
	- Reactive power control
	- Grid measurement
	- Low voltage ride through (LVRT)
	- Weather measurement
	- Time synchronization
	- Statistics
Wind Class	II
Certification & Standards	GL (T-GL-003A-2007)
Quality System	ISO 9001:2000

SUZLON S66-1250kW [41]

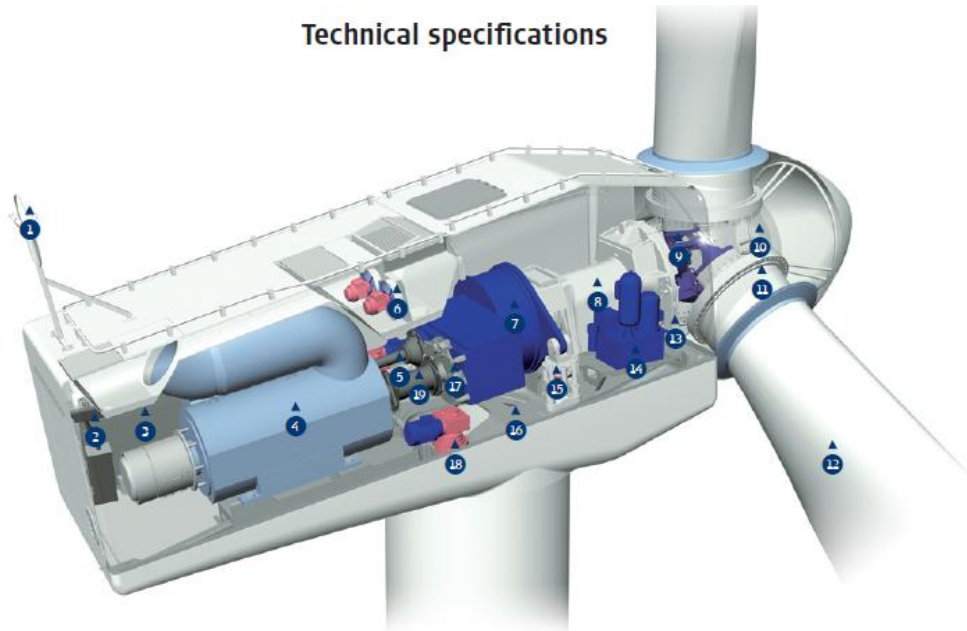
MODEL	S66-1250kW
OPERATING DATA	
Rated power	1250 kW
Cut-in wind speed	3 m/s
Rated wind speed	14 m/s
Cut-off wind speed	22 m/s
Survival wind speed	52.5 m/s
ROTOR	
Type	3 Blades, Upwind / Horizontal axis
Diameter	66 m
Rotational speed at rated power	13.5 to 20.3 rpm
Rotor blade material	Epoxy bonded fiber glass
Swept area	3421 m ²
Power regulation	Active pitch regulated
GEARBOX	
Type	1 planetary stage / 2 helical stages
Ratio	1 : 74.9
Nominal load	1390 kW
Type of cooling	Forced oil cooling lubrication system
GENERATOR	
Type	Dual speed induction generator (asynchronous)
Speed at rated power	1006/1506 rpm 1007/1509 rpm
Rated power	300/1250 kW 250/1250 kW
Rated voltage	690 V AC (phase to phase)
Frequency	50 Hz
Insulation	Class H
Enclosure	IP 56
Cooling system	Air cooled
TOWER	
Type	Lattice tower (hot dip galvanised) or Tubular tower (corrosion proof painting on inner and outer surface)
Tower height	54 m / 63 m / 72 m (variable as per requirement)
Hub height (including foundation)	Approximately 56.5 m / 65 m / 74.5 m (variable as per requirement)
BRAKING SYSTEM	
Aerodynamic braking	3 Independent systems with blade pitching
Mechanical braking	Hydraulic fail safe disk brake system
YAW SYSTEM	
Type	Active electrical yaw motor
Bearing	Polyamide slide bearing with gear ring & automatic greasing system
Protection	Cable twist sensor, proximity sensor
PITCH SYSTEM	
Type	3 independent blade pitch control with battery backup for each blade
Operating range	-5 ° to +90 °
Resolution	0.1 ° to 10 °
CONTROLLER	
	Suzlon Control System with following salient features:
	- Park slave
	- Power output control / limitation
	- Reactive power control
	- Grid measurement
	- Low voltage ride through (LVRT)
	- Weather measurement
	- Time synchronization
	- Statistics
Wind Class	III
Certification & Standards	GL (T-GL-019-2007)
Quality System	ISO 9001:2000

SUZLON S82 -1500kW [41]

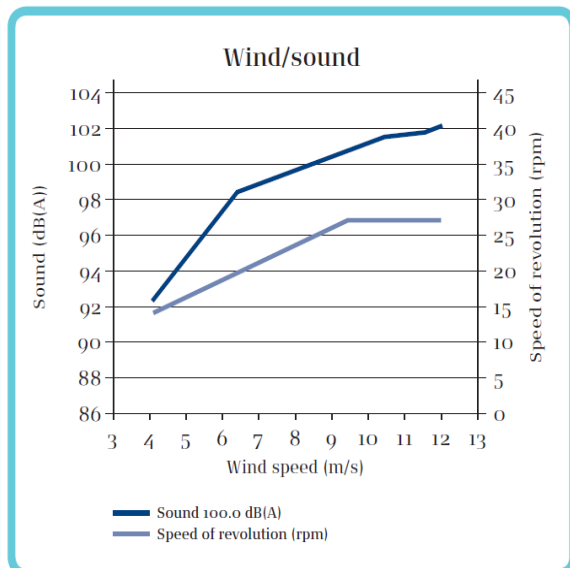
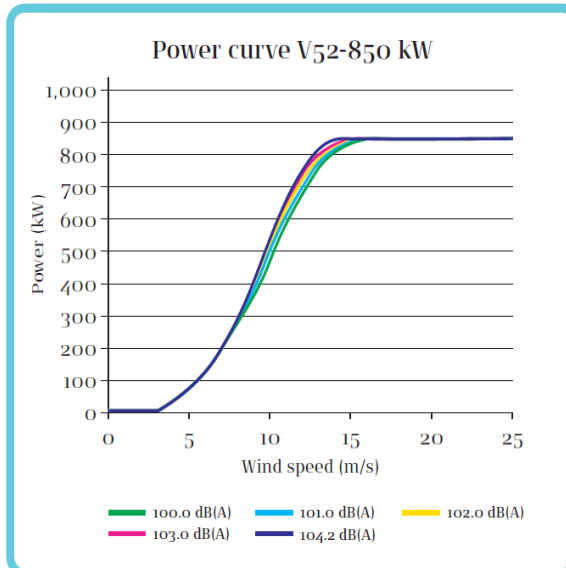
MODEL	S82-1500kW
OPERATING DATA	
Rated power	1500 kW
Cut-in wind speed	4 m/s
Rated wind speed	14 m/s
Cut-off wind speed	20 m/s
Survival wind speed	52.5 m/s
ROTOR	
Type	3 Blades, Upwind / Horizontal axis
Diameter	82 m
Rotational speed at rated power	15.6 to 18.4 rpm
Rotor blade material	Epoxy bonded fiber glass
Swept area	5281 m ²
Power regulation	Active pitch regulated with Suzlon Flexi Slip System
GEARBOX	
Type	1 planetary stage / 2 helical stages
Ratio	1 : 95.09
Nominal load	1650 kW
Type of cooling	Forced oil cooling lubrication system
GENERATOR	
Type	Single speed induction generator with slip rings, variable rotor resistance via Suzlon Flexi slip
Speed at rated power	1511 rpm
Rated power	1500 kW
Rated voltage	690 V AC (phase to phase)
Frequency	50 Hz
Insulation	Class H
Enclosure	IP 54 / IP 23 (slip ring unit)
Cooling system	Air cooled
TOWER	
Type	Tubular tower (corrosion proof painting on inner and outer surface) with welded steel plates
Tower height	76 m
Hub height (including foundation)	Approximately 78.5 m
BRAKING SYSTEM	
Aerodynamic braking	3 Independent systems with blade pitching
Mechanical braking	Hydraulic fail safe disk brake system
YAW SYSTEM	
Type	Active electrical yaw motor
Bearing	Polyamide Slide bearing with gear ring & automatic greasing system
Protection	Cable twist sensor, proximity sensor
PITCH SYSTEM	
Type	3 independent blade pitch control with battery backup for each blade
Operating range	-5 ° to +90 °
Resolution	0.1 to 10 Deg
CONTROLLER	
Suzlon Control System with following salient features:	
- Park slave	
- Power output control / limitation	
- Reactive power control	
- Grid measurement	
- Low voltage ride through (LVRT)	
- Weather measurement	
- Time synchronization	
- Statistics	
Wind Class	III a
Certification & Standards	GL (T-GL-009A-2007)
Quality System	ISO 9001:2000

VESTAS V52- 850kW [42]

Technical specifications



- | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 Ultrasonic wind sensor | 6 Oil and water coolers | 11 Blade bearing | 16 Machine foundation |
| 2 Service crane | 7 Gearbox | 12 Blade | 17 Mechanical disc brake |
| 3 VMP-Top controller with converter | 8 Main shaft | 13 Rotor lock system | 18 Yaw gear |
| 4 OptiSpeed® Generator | 9 Pitch system | 14 Hydraulic unit | 19 Composite disc coupling |
| 5 Pitch cylinder | 10 Blade hub | 15 Torque arm | |



The sound output level can be adjusted by varying the revolution speed of the turbine as illustrated in the figure above. It clearly shows the sound level advantages of lower speeds of revolution because the sound level is approximately 7 dB(A) lower at 4 m/s than at 8 m/s. For

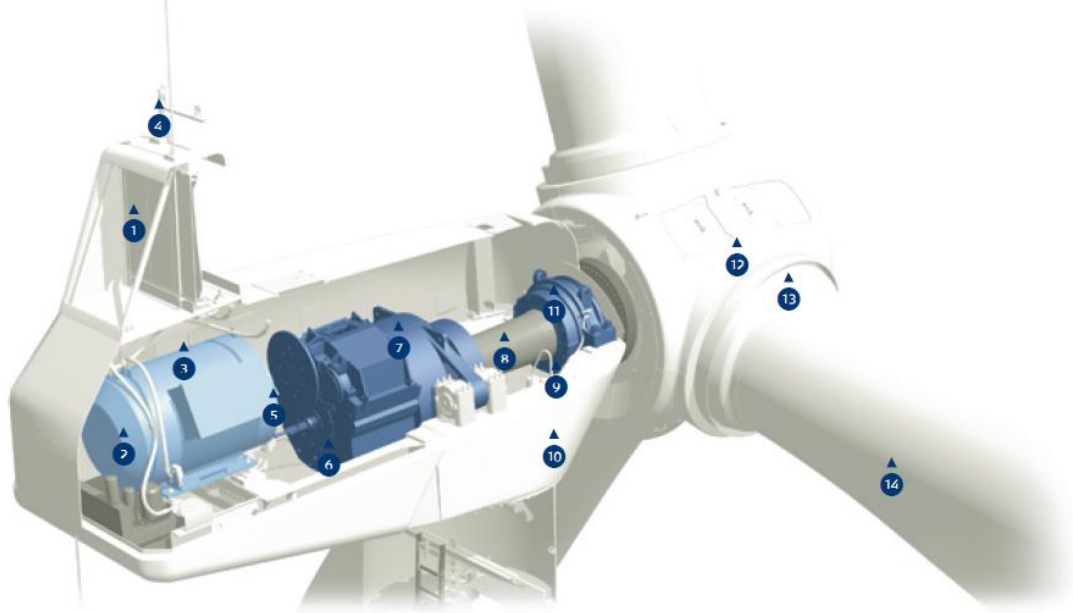
other sound levels, the benefit can be as much as 10 dB(A). Please note that a decrease of 3 dB(A) represents a halving of the sound level.

<h3>Rotor</h3> <p>Diameter: 52 m Area swept: 2,124 m² Nominal revolutions: 26 rpm Operational interval: 14.0-31.4 rpm Number of blades: 3 Power regulation: Pitch/Optispeed® Air brake: Full blade pitch</p>		<h3>Gearbox</h3> <p>Type: 1 planet step 2-step, parallel axle gears</p>																															
<h3>Tower</h3> <p>Hub height: 44 m, 49 m, 55 m, 65 m, 74 m</p>		<h3>Control</h3> <p>Type: Microprocessor-based monitoring of all turbine functions as well as OptiSpeed® output regulation and OptiTip® pitch regulation of the blades.</p>																															
<h3>Operational data</h3> <p>Cut- in wind speed: 4 m/s Nominal wind speed: 16 m/s Cut-out wind speed: 25 m/s</p>		<h3>Weight</h3> <p>Nacelle: 22 t Rotor: 10 t</p>																															
<h3>Generator</h3> <p>Type: Asynchronous with Optispeed® Nominal output: 850 kW Operational data: 50 Hz/60 Hz 690 V</p>		<p>Towers:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Hub height:</th> <th>IEC IA</th> <th>IEC IIA</th> <th>DIBt II</th> <th>DIBt III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>44 m</td> <td>45 t</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>49 m</td> <td>50 t</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>50 t</td> </tr> <tr> <td>55 m</td> <td>60 t</td> <td>60 t</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>65 m</td> <td>75 t</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>75 t</td> </tr> <tr> <td>74 m</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>95 t</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		Hub height:	IEC IA	IEC IIA	DIBt II	DIBt III	44 m	45 t	-	-	-	49 m	50 t	-	-	50 t	55 m	60 t	60 t	-	-	65 m	75 t	-	-	75 t	74 m	-	-	95 t	-
Hub height:	IEC IA	IEC IIA	DIBt II	DIBt III																													
44 m	45 t	-	-	-																													
49 m	50 t	-	-	50 t																													
55 m	60 t	60 t	-	-																													
65 m	75 t	-	-	75 t																													
74 m	-	-	95 t	-																													

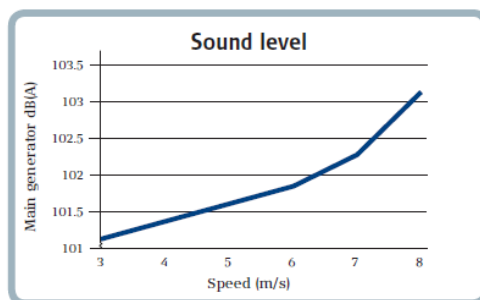
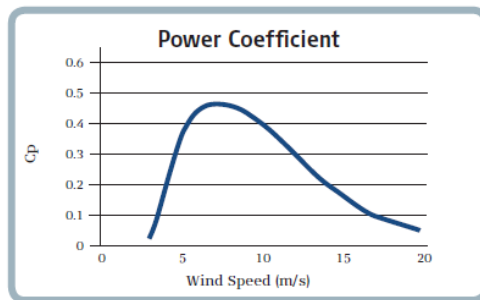
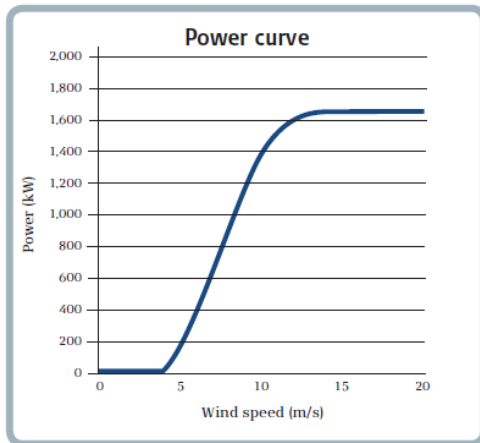
OptiSpeed® allows the rotor speed to vary within a range of approximately 60 percent in relation to nominal rpm. Thus with **OptiSpeed®**, the rotor speed can vary by as much as 30 percent above and below synchronous speed. This minimizes both unwanted fluctuations in the output to the grid supply and the loads on the vital parts of the construction.

VESTAS V82 -1650kW [42]

Technical specifications



- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1 Cooler | 11 Main bearing |
| 2 Generator | 12 Hub controller |
| 3 Nacelle controller | 13 Pitch system |
| 4 Anemometer windvanes | 14 Blade |
| 5 Coupling | 15 Main panel |
| 6 Mechanical brake | 16 Phase compensation |
| 7 Gearbox | 17 Ground controller |
| 8 Main shaft | |
| 9 Yaw gears | |
| 10 Machine foundation | |



Rotor

Diameter: 82 m
 Area swept: 5,281 m²
 Nominal revolutions: 14.4 rpm
 Number of blades: 3
 Power regulation: Active-Stall®
 Air brake: Full blade pitch by three separate hydraulic pitch cylinders.

Tower

50Hz, 230V: Hub height (approx.) 78 m
 60Hz, 110V: Hub height (approx.) 70 m, 80 m

Operational data

Cut- in wind speed: 3.5 m/s
 Nominal wind speed: 13 m/s
 Cut-out wind speed (10 minutes): 20 m/s

Generator

Type: Asynchronous water cooled
 Nominal output: 1.650 kW
 Operational data: 50/60 Hz 690/600V

Gearbox

Type: Planetary/helical stages

Control


Type: Microprocessor-based monitoring of all turbine functions with the option of remote monitoring. Output regulation and optimisation via Active-Stall®.

Weight

Nacelle: 52 t
 Rotor: 43 t

Towers:
 50Hz, 230V
 Hub height: IEC IIA 78 m, 115 t
 60Hz, 110V
 Hub height: IEC IIA 70 m, 105 t, 80 m, 125 t

Energy Recovery Device: Model PX-220 [14,15]

		1908 Doolittle Dr. San Leandro, CA 94577, USA Phone: 1-510-483-7370 FAX: 1-510-483-7371		Energy Recovery, Inc. Pressure Exchanger Specifications Sheet PX-220 Sheet Page 1 of 1 Document number: 80006-01		REV	BY	CKD	REVISION	DATE
						4	JMP	IBC	Update data for 40009-02-3	9/24/07
DESCRIPTION: TECHNICAL DATA SHEET, POSITIVE DISPLACEMENT ENERGY RECOVERY DEVICE						5	JMP	IBC	Update data for 40009-02-3	10/7/2007
						6	JMP	IBC	Update data for Lub flow and DP	7/9/2008
						7	JMP	JGM	Update test, inspection & weights sections	3/11/2009
1. Part number		40009		2. Service		3. Reference				
OPERATING CONDITIONS	4	Liquid	Seawater	44	TESTS	Performance	Standard			
	5	Operating Temperature	83°F -120°F (0.8-48°C)	45		Case Hydrotest	Standard			
	6	Max. Temperature	120°F (48°C)	46		Rotation Speed Test	Standard			
	7	Specific Gravity	1025.18 kg/ou.m	47		Die Penetrant Test (ceramics)	Standard			
	8	Viscosity	1.080 cP @ 70°F (21.1°C)	48		Cavitation Test	Standard			
	9	Maximum High-Pressure Inlet Flow	220 gpm (80 m3/hr)	49		Witnessed Test	Optional			
	10	Maximum Low-Pressure Outlet Flow	220 gpm (80 m3/hr)	50						
	11	Maximum Outlet High Pressure	1200 psig (82.7 bar)	51						
	12	Maximum Outlet Low Pressure	300 psig (20.7 bar)	52						
	13	Maximum Inlet High Pressure	1200 psig (82.7 bar)	53						
	14	Minimum Inlet Low Pressure	N/A	54		Outside Dimensions	Standard			
	15	Minimum Discharge Pressure	8 psig (0.8 bar)	55		Internal Components	Standard			
	16	Filtration Requirement (Nominal)	10µm	56		Housing Dimensions	Standard			
	17			57		Ceramic Dimensions	Standard			
PERFORMANCE	18	Peak Efficiency	88%	58	INSPECTION	Material Certificates	Standard			
	19	Maximum High Pressure Differential	18 psig (1.32 bar) @ 220 gpm	59		Visual	Standard			
	20	Maximum Low Pressure Differential	14 psig (0.87 bar) @ 220 gpm	60		Packing and Grating	Standard			
	21	Maximum Lubrication Flow	3.5 gpm (0.80 m3/hr)	61						
	22	Maximum Rotational Speed	1400 rpm	62						
	23	Maximum Salinity Increase at Membranes	3% @ 40% Recovery	63						
	24	Sound level	84 dBA	64						
	25			65						
MATERIALS	26	Housing	*GRP	66	SHIPPING WEIGHT AND DIMENSIONS	PX-220 unit Shipping Dimensions	47x17x14 Inch 119.3 43x36.6 cm			
	27	Rotor, Sleeve, Endcover Assembly	Ceramic-alumina	67		Cartridge Shipping Dimensions	20x12x12 Inch 60.8x30.5x30.5 cm			
	28	Low Pressure Inlet Port Fitting	CN3MN	68		PX-220 unit Shipping Weight	186 lbs. (88.9 kg)			
	29	Low Pressure Outlet Port Fitting	CN3MN	69		Cartridge Weight	86 lbs. (28 kg)			
	30	High Pressure Inlet Port Fitting	CN3MN	70		Dry PX-220 unit weight	185 lbs. (83.9 kg)			
	31	High Pressure Outlet Port Fitting	CN3MN	71						
	32	Internal Low Pressure Interconnector	Titanium, *AL6XN or Super Duplex	72						
	33			73						
	34	Fasteners/Hardware (non-wetted)	*16SS	74						
	35	Tension Rod Assembly	*AL-6XN / C-378	75						
36	O-rings	EPDM	76							
PIPING CONNECTIONS	37	Low Pressure Inlet Port Fitting		77	MISCELLANEOUS					
	38	Low Pressure Outlet Port Fitting	3" Grooved-end Flexible Pipe Coupling	78						
	39	High Pressure Inlet Port Fitting		79						
	40	High Pressure Outlet Port Fitting		80						
	41			81						
	42			82						
	43			83						
*AL-6XN is a registered trademark of Allegheny Ludlum **Housing designed in accordance with the engineering standards of the Boiler and Pressure Vessel Code of the American Society of Mechanical Engineers. ERI RESERVES THE RIGHT TO MAKE SPECIFICATION CHANGES AT ANY TIME WITHOUT PRIOR NOTICE.										
PRICE: sales@energyrecovery.com										
MANUFACTURER: Energy Recovery Inc				MODEL: PX-220						

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **George Xenarios, Panagiotis Papadopoulos, Eftihia Tzen:** "Wind Desalination for the Island of Mykonos in Greece: A case study", *Desalination and Water Treatment Volume 51, Issue 4-6, 2013 Section: Renewable energy/Freezing, Pages: 1219-1228*
- [2] **Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου:** *Τεχνικές Εκθέσεις-Υπολογισμοί, Μελέτη Εφαρμογής: "Εγκατάσταση Μονάδος Αφαλάτωσης και Υποδομές Ύδρευσης Δ.Ε.Υ.Α. Μυκόνου"*
- [3] **Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος– Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,** "Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων", Αθήνα Φεβρουαρίου 2008
<https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/782/>
- [4] **Σεμινάριο PRODES:** "Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Αφαλάτωσης", 2-5 Μαρτίου 2010, ΚΑΠΕ, Εισηγητής: Ευτυχία Τζέν
- [5] **Ημερίδα PRODES:** "Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Αφαλάτωσης: Τεχνολογικές Εξελίξεις - Νομοθετικό Πλαίσιο – Χρηματοδότηση", 9/9/2010, Αθήνα
- [6] **Ευτυχία Τζεν,** "Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Συμπόσιο «Αιγαίο- Νερό- Βιώσιμη Ανάπτυξη", 2001 (παρουσίαση)
- [7] **Eftihia Tzen, Richard Morris,** "Renewable energy sources for desalination", 2003
- [8] **Kalogirou S.:** "Seawater desalination using renewable energy sources", 2005
- [9] **Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah, Jong-MihnWie:** "Advances in seawater desalination technologies", 2007
- [10] **C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens, T. Melin:** "State-of-the-art of reverse osmosis desalination", 2006
- [11] **Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos:** "Water desalination cost literature: review and assessment", 2007
- [12] **E. Mathioulakis, V. Belessiotis, E. Delyannis:** "Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art", 2006
- [13] **DOW Water& Process Solutions:** *FILMTECH Reverse Osmosis Membranes, Technical Manual*
- [14] **Energy Recovery INC:** "INSTALLATION, OPERATION & MAINTENANCE MANUAL 65-SERIES PRESSURE EXCHANGER ENERGY RECOVERY DEVICES"
- [15] **Energy Recovery INC:** *Pressure Exchanger Specifications Sheet PX-220, DESCRIPTION: TECHNICAL DATA SHEET, POSITIVE DISPLACEMENT, ENERGY RECOVERY DEVICE*
- [16] **Desalting Handbook for Planners:** 3rd Edition, July 2003, Desalination Research and Development Program Report No. 72
- [17] **Κυριάκος Ρώσσης,** Σεμινάριο: "Αιολική Ενέργεια: Τεχνολογία-Δυνατότητες-Νομοθεσία", Απρίλιος 2011, Αθήνα

- [18] **Κάραλης Γεώργιος:** "Παράρτημα Β. Βασικές γνώσεις Αιολικής Ενέργειας", Ακαδημία Ενέργειας, 2013
- [19] **Ηλίας Ευθυμίουπουλος, Γιώργος Κάραλης, Γιώργος Εμμανουηλίδης :** "Στρατηγική Μελέτη για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και τη Μείωση των Εκπομπών στα νησιά του Αιγαίου", Ενεργειακό γραφείο Του- Αιγαίου: Σύμβουλος των Νησιών στον Ενεργειακό Σχεδιασμό
- [20] **Εκδόσεις Ε.Μ.Π.:** Ζερβός Α., "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας", 2007
- [21] **Εκδόσεις Συμεών:** Μπεργελές Γ., "Ανεμοκινητήρες", 2005
- [22] **4^ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:** "Η Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προς ένα Φιλόδοξο και Αξιόπιστο Εθνικό Πρόγραμμα Δράσης", Μάιος 2010, Αθήνα
- [23] **Παναγιώτης Μουτάφης,** Διπλωματική εργασία: "Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο", Τομέας Ρευστών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, 2008
- [24] **Ιωάννης Δ. Σπύρου,** Διπλωματική εργασία: "Ανάπτυξη Αλγορίθμου για Προσομοίωση και Βέλτιστο Σχεδιασμό Αυτόνομου Συστήματος Αφαλάτωσης Τροφοδοτούμενο από Υβριδικό Σύστημα Α.Π.Ε. με Αντλησιοταμίευση", Τομέας Ρευστών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, 2009
- [25] **Χρήστος Σπυρόπουλος,** Μεταπτυχιακή εργασία: "Μορφολογική Ανάλυση Παράκτιας Ζώνης με Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Εφαρμογή Ν. Μύκονος"
- [26] **Εκδόσεις Κ.Α.Π.Ε.:** "Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Πάρκων Αιολικής Ενέργειας"
- [27] **Θέματα του Διαχειριστή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών:** "Μηνιαία Δελτία ΑΠΕ και Θερμικής Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά"
- <http://www.deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-mi-diasundedemenwn-nisiwn/stoixeia-ekkathariseon-kai-minaion-deltion-mdn/miniaia-deltia-ape-kai-thermikis-paragwgis-sta-mi>
- [28] **Vivi Chanioti Photography:** <https://www.facebook.com/vivichaniotiphotography/>
- [29] <https://en.wikipedia.org/wiki/Mykonos>
- [30] <http://www.energyrecovery.com/index.cfm/0/0/56-Power-Model.html>
- [31] <http://www.eletaen.gr/>
- [32] <http://www.cres.gr/kape/>
- [33] <http://www.cres.gr/windrose>
- [34] http://www.cres.gr/windfarm/WindRose_Greek_Users_Guide.pdf
- [35] <http://www.rae.gr>
- [36] <http://www.enercon.de/en/home/>
- [36] <https://www.gerenewableenergy.com/wind-energy/turbines.html>
- [37] <http://www.gamesacorp.com/en/>
- [38] http://www.thewindpower.net/turbine_en_49_made_ae-61.php

- [39] <http://www.nordex-online.com/en/products-services/wind-turbines.html>
- [40] <http://www.suzlon.com/>
- [41] <https://www.vestas.com/>