



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση βιωσιμότητας εγκατεστημένου αιολικού πάρκου στην Κρήτη

Αικατερίνη Γερακάκη



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Θ. Τσούτσος, Επ. Καθηγητής (επιβλέπων)

Ε. Παλαιολόγος, Αν. Καθηγητής

Γ. Σταυρακάκης, Καθηγητής

Χανιά, Σεπτέμβριος 2008

Ευχαριστίες

Με τη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας μου θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου και με βοήθησαν, υλικά αλλά και ηθικά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος την Κ^α Στέλλα Ζαχαρία και την Κ^α Φανή Κουβαρά, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν με την παραχώρηση των ανεμολογικών δεδομένων από το εγκατεστημένο Αιολικό Πάρκο που μελετήθηκε στη διπλωματική εργασία μου, όπως επίσης και για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν για να με βοηθήσουν σε όποια δυσκολία ή πρόβλημα μπορεί να παρουσιαζόταν.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στον Κ^ο Παναγιώτη Καζιάνη για την αφιέρωση χρόνου και βοήθειας που μου παρείχε στην κατανόηση της οικονομικής ανάλυσης αιολικών πάρκων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την οικογένεια μου και κάποιους καλούς φίλους για τη στήριξη και την εμψύχωση που μου πρόσφεραν όλο αυτό το διάστημα.

Περίληψη

Επιθυμητός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της βιωσιμότητας ενός ήδη εγκατεστημένου Αιολικού Πάρκου στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει μια ολοκληρωμένη μελέτη του αιολικού δυναμικού της εξεταζόμενης περιοχής, αλλά και την αποτίμηση όλων των σημαντικών οικονομικών δεικτών, οι οποίοι προάγουν τη βιωσιμότητα μιας επένδυσης.

Στα πρώτα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιείται μια σύντομη αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και μια πιο λεπτομερή περιγραφή της αιολικής ενέργειας και της εξάπλωσής της σε όλο τον κόσμο. Στη συνέχεια, αναλύεται η ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας και οι τάσεις αφομοίωσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, και συγκεκριμένα της αιολικής, που παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια.

Για την μελέτη του αιολικού δυναμικού αναλύθηκαν όλα τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά και χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές χρονοσειρές δεδομένων, οι οποίες επεξεργάστηκαν με κατάλληλες στατιστικές αναλύσεις, προκειμένου τα εξαγόμενα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται στις επικρατούσες συνθήκες. Ακόμη, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα οικονομικά μεγέθη των ανεμοκινητήρων, όπως επίσης και τα οικονομικά μεγέθη αξιολόγησης της αποδοτικότητας της επένδυσης, ώστε να προσδιοριστούν οι προϋποθέσεις για τη βιώσιμη λειτουργία του έργου.

Για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, εκτός από τις κατάλληλες στατιστικές μεθόδους, χρησιμοποιήθηκε δικτυακή έρευνα και ένα αξιόπιστο λογισμικό, το οποίο συνέβαλλε όχι μόνο στην επεξεργασία των πραγματικών δεδομένων, αλλά και άλλων υποθετικών περιπτώσεων – σεναρίων, για την όσο γίνεται πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της βιωσιμότητας του υπό μελέτη Α/Π.

Σημαντικό μέρος στην κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων έχει η κατηγοριοποίησή τους σε διάφορες ομάδες, ανάλογα με την παράμετρο που εξετάζεται κάθε φορά, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα στον αναγνώστη να εστιάσει ξεχωριστά σε κάθε κατηγορία και να μελετήσει τα σημεία που τον ενδιαφέρουν ιδιαίτερα.

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε αποδεικνύουν ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να υποστηρίξει καθοριστικά την προσπάθεια βελτίωσης του περιβάλλοντος και να προσφέρει μια βιώσιμη οικονομικά πρόταση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το μόνο που αρκεί είναι η επιλογή του κατάλληλου ενεργειακού εξοπλισμού ανάλογα με το αιολικό δυναμικό που χαρακτηρίζει κάθε περίπτωση, ώστε να επιτυγχάνεται η αρμονία μεταξύ περιβάλλοντος και τεχνολογίας, και η αειφορία των αιολικών συστημάτων.

Summary

The desirable target of this thesis is the viability evaluation of an already installed Wind Park at the eastern side of Crete. An essay like this presupposes a thorough study of the examined region's wind potential, but also an appraisal of all the economic factors, which promote the viability of the investment.

In the beginning of this work, a short report in the Renewable Energy Sources and a more detailed description of the wind energy and its spreading throughout the world is presented. Following, the Greek energy policy and the assimilation tendencies of the Renewable Energy Sources, particularly of the Wind Energy, that are in progress in recent years, is analyzed.

For the study of the wind potential, all the wind characteristics were analyzed and actual data in time series were used and processed with suitable statistical analysis, in order for the extracted results to correspond to the prevailing conditions. Further, the economic factors of the wind turbines, as well as the economic factors of the evaluation of the investment's efficiency were presented and analyzed, as to determine the requirements of the viable operation of the project.

For the validity of the results, except for the suitable statistical methods, an internet research was carried out and a reliable software was used, which contributed to the elaboration of not only the real data, but also of other hypothetical cases – scenarios, for the more complete viability evaluation of the under research Wind Park.

A major role in the comprehension and interpretation of the results was played by their division in various categories, according to the parameter that is examined each time, so that the reader will have the opportunity to focus on each category and consider the interesting points for him.

The final conclusions prove that the wind energy can support considerably the efforts of environment improvement and offer a viable economical solution in the production of electric energy. The only thing that matters is the selection of the suitable energy equipment, according to the wind potential of each region, for harmony to be achieved between the environment and technology and euphoria of the wind systems.

Εισαγωγικό Σημείωμα

Η επέκταση των οικονομικών δραστηριοτήτων και η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων οδηγούν ολοένα και περισσότερο στην καταστροφή του περιβάλλοντος. Η ραγδαία υποβάθμιση της βιόσφαιρας καθιστά αναγκαία την εύρεση μακροπρόθεσμων λύσεων και αποτελεσματικών τρόπων αντιμετώπισης, από όλους τους φορείς, ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή που απειλεί το περιβάλλον.

Η υποστήριξη προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και ειδικότερα την αιολική ενέργεια, συνιστά ουσιαστική στροφή σε ότι αφορά την αντίληψη περί ανάπτυξης, εισάγοντας την έννοια της αειφορίας και ενισχύοντας την ομαλή ένταξη στις ισορροπίες του οικοσυστήματος σε τοπικό αλλά και ευρύτερο επίπεδο.

Η βιώσιμη ανάπτυξη δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συμβολή των ΑΠΕ. Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας, όπως και όλων των άλλων ανανεώσιμων μορφών, ως προς το στόχο της βιωσιμότητας, λόγω της σημαντικότητας τους είναι κάτι παραπάνω από ορατά. Η υποκατάσταση των εισαγόμενων ορυκτών καυσίμων, που ταυτόχρονα συνεπάγεται τη βελτίωση του εξωτερικού ισοζυγίου συναλλαγών και την ικανοποίηση της ανάγκης να επιτευχθούν οι εθνικοί στόχοι μείωσης ρύπων, αποτελούν κάποιους από τους λόγους που συμβάλλουν στην ευρεία εξάπλωση των ήπιων μορφών ενέργειας.

Η εφαρμογή της βιώσιμης ανάπτυξης μπορεί να βρει υποστήριξη αρχικά από τις τοπικές κοινωνίες, των οποίων πρωταρχικός στόχος πρέπει να είναι η προαγωγή της τοπικής οικονομίας και η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Η βιωσιμότητα μπορεί να επιτευχθεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό και την εφαρμογή μακροπρόθεσμων βιώσιμων λύσεων για τον ενεργειακό εφοδιασμό, προωθώντας τις ΑΠΕ, αλλά και για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Εξαιτίας του αποκεντρωτικού τους χαρακτήρα τα έργα εγκατάστασης ανανεώσιμων πάρκων και ειδικότερα αιολικών, συμβάλλουν στην ενεργειακή ασφάλεια και επάρκεια απομακρυσμένων νησιωτικών και οικολογικά ευαίσθητων περιοχών που αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις, καθώς η ενεργειακή ζήτηση συνεχώς αυξάνεται. Οι τοπικές κοινωνίες θα πρέπει να αναπτύξουν ολοκληρωμένα προγράμματα βιώσιμης ανάπτυξης, ώστε να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που δημιουργούνται από τα ήδη εγκατεστημένα ενεργειακά συστήματα, τα οποία αδυνατούν να καλύψουν τις αυξανόμενες αυτές ανάγκες.

Εισαγωγή στο πρόβλημα

Στην προσπάθεια μας να αξιολογήσουμε τη συμβολή των ΑΠΕ, και πιο συγκεκριμένα της αιολικής ενέργειας σε νησιωτικές περιοχές, που όπως αναφέρθηκε αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών, θα εξεταστεί η περίπτωση ενός ήδη εγκατεστημένου Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης, που προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τέτοιες συνθήκες.

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα χρονοσειρών διάρκειας περίπου δύο χρόνων - που είναι και η περίοδος λειτουργίας του εξεταζόμενου αιολικού πάρκου - και έτυχαν επεξεργασίας με διάφορες μεθόδους, όπως στατιστική ανάλυση και διάφορα λογισμικά προγράμματα, για την διεξαγωγή όσο πιο έγκυρων και αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται τόσο σε ανεμολογικά χαρακτηριστικά, όπως η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, όσο και σε χαρακτηριστικά ενεργειακής παραγωγής, όπως η ισχύς των ανεμοκινητήρων. Οι μετρήσεις που έδωσαν τις συγκεκριμένες χρονοσειρές δεδομένων πραγματοποιήθηκαν με την εγκατάσταση ειδικού εξοπλισμού σε κατάλληλες θέσεις, ώστε να επιτυγχάνεται όσο γίνεται ελαχιστοποίηση του σφάλματος στις τιμές που προκύπτουν και, κατά συνέπεια, ικανοποιητική προσέγγιση στις επικρατούσες πραγματικές συνθήκες.

Ένας από τους βασικούς στόχους είναι η τεκμηριωμένη ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός αξιόπιστου λογισμικού, του RETScreen® International, όπως επίσης και από τη στατιστική επεξεργασία, για την ανάλυση των δεδομένων, μέσω ενός εύχρηστου και έγκυρου υπολογιστικού εργαλείου, του Excel. Σκοπός μας είναι να αποδείξουμε ότι η αιολική αποτελεί μια ιδιαίτερα φιλική μορφή ενέργειας προς το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμη, εφόσον επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες και πραγματοποιηθεί ο απαιτούμενος σχεδιασμός για την εγκατάσταση και λειτουργία ενός Α/Π.

Περιεχόμενα

1	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	14
1.1	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	14
1.2	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ – ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	15
1.3	ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	16
1.3.1	Αιολική ενέργεια στην Ευρώπη	16
1.3.2	Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα – Νησιωτικές περιοχές	23
2	ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	26
2.1	ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	27
2.1.1	Ταχύτητα ανέμου.....	27
2.1.2	Διεύθυνση ανέμου	28
2.1.3	Τύρβη ανέμου	29
2.1.4	Ισχύς ανέμου	31
2.2	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	32
2.2.1	Υπολογισμοί & κατανομές ταχυτήτων ανέμου.....	32
2.2.2	Εξαγωγή ισχύος & σχετικοί δείκτες.....	34
3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ – ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	36
3.1	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	36
3.1.1	Κόστος ανεμογεννήτριας & διάρκεια ζωής της	37
3.1.2	Κόστος γης – υποδομής.....	37
3.1.3	Αιολικό δυναμικό εξεταζόμενης περιοχής – Συντελεστής χωρητικότητας ανεμογεννήτριας	38
3.1.4	Κόστος kWh από συμβατικούς & αιολικούς ενεργειακούς σταθμούς	38
3.2	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	39
3.2.1	Ταμειακές ροές.....	39
3.2.2	Περίοδος απόδοσης κεφαλαίου.....	39
3.2.3	Διάρκεια μέχρι την πρώτη θετική συσσωρευτική ταμειακή ροή ..	39
3.2.4	Απλός συντελεστής απόδοσης κεφαλαίου	40
3.2.5	Καθαρή Παρούσα Αξία	40
3.2.6	Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης	40
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ.....	41

4.1	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	42
4.1.1	Επεξεργασία δεδομένων ταχύτητας ανέμου.....	43
4.1.2	Επεξεργασία δεδομένων διεύθυνσης ανέμου.....	44
4.1.3	Επεξεργασία δεδομένων ισχύος ανεμοκινητήρα	45
4.2	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RETScreen INTERNATIONAL	47
4.2.1	Ενεργειακό Μοντέλο (Energy Model)	51
4.2.2	Δεδομένα Εξοπλισμού (Equipment Data)	53
4.2.3	Ανάλυση Κόστους (Cost Analysis)	55
4.2.4	Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis)	55
4.2.5	Οικονομικά Αποτελέσματα (Financial Summary)	56
4.2.6	Ανάλυση Ευαισθησίας & Επικινδυνότητας (Sensitivity & Risk Analysis)	59
5	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	60
5.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	60
5.1.1	Αποτελέσματα σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου.....	62
5.1.2	Αποτελέσματα σχετικά με τη διεύθυνση του ανέμου	68
5.1.3	Αποτελέσματα σχετικά με την ισχύ της Α/Γ	73
5.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen INTERNATIONAL.....	80
5.2.1	Χρησιμοποιούμενα δεδομένα	80
5.2.2	Αποτελέσματα για την παρούσα κατάσταση (Present Scenario).....	82
5.2.3	Αποτελέσματα για την α' ομάδα σεναρίων – Αύξηση της ισχύος της Α/Γ	84
5.2.4	Αποτελέσματα για την β' ομάδα σεναρίων – Μείωση των επιδοτήσεων της επένδυσης.....	87
5.2.5	Αποτελέσματα για την γ' ομάδα σεναρίων –Μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου	89
5.3	ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	91
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	93
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
6.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	95
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	98
8.1	ΧΑΡΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	98

8.2	ΧΑΡΤΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	101
8.3	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	104
8.4	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen® INTERNATIONAL ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	106

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 : Ετήσια αθροιστική εγκατάσταση Α/Π στην Ευρώπη (MW) από το 2000 έως το 2007 με περαιτέρω πρόβλεψη εγκατεστημένης ισχύος μέχρι το 2010	20
Πίνακας 5.1 : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.....	61
Πίνακας 5.2 : Μέσες μηνιαίες & ετήσιες ταχύτητες ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2006 - 2007	62
Πίνακας 5.3 : Μέσες μηνιαίες & ετήσιες ταχύτητες ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2007 - 2008	63
Πίνακας 5.4 : Τιμές παραμέτρων κατανομής Weibull για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.....	65
Πίνακας 5.5 : Συγκεντρωτικά συμπεράσματα από την απεικόνιση των κατανομών Weibull	65
Πίνακας 5.6 : Ανεμολόγιο διευθύνσεων – Ποσοστό συχνότητας ανά διεύθυνση & μέση τιμή ταχύτητας ανέμου που αντιστοιχεί σε καθεμία διεύθυνση, κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007.....	68
Πίνακας 5.7 : Ανεμολόγιο διευθύνσεων – Ποσοστό συχνότητας ανά διεύθυνση & μέση τιμή ταχύτητας ανέμου που αντιστοιχεί σε καθεμία διεύθυνση, κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008.....	70
Πίνακας 5.8 : Μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ & από το Α/Π (σύνολο Α/Γ) – Μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ, κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007.....	73
Πίνακας 5.9 : Μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ & από το Α/Π (σύνολο Α/Γ) – Μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ, κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008.....	73
Πίνακας 5.10 : Μηνιαίος & ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας (CF) ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ της κάθε Α/Γ, για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007.....	75
Πίνακας 5.11 : Μηνιαίος & ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας (CF) ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ της κάθε Α/Γ, για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008.....	76
Πίνακας 5.12 : Παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ, αλλά και από το Α/Π στο σύνολό του, σε συνάρτηση με το εύρος της ταχύτητας του ανέμου	78
Πίνακας 5.13 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την περίπτωση της πραγματικότητας.....	82
Πίνακας 5.14 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την α' ομάδα σεναρίων – Αύξησης της ισχύος της Α/Γ.....	84
Πίνακας 5.15 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την β' ομάδα σεναρίων – Μείωσης των επιδοτήσεων της επένδυσης.....	87
Πίνακας 0.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την β' ομάδα σεναρίων – Μείωσης των επιδοτήσεων της επένδυσης.....	89

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1 : Οι δέκα μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως ως προς την ετήσια εγκατάσταση Α/Π (σε MW) από το 2005 έως το 2007, σε φθίνουσα σειρά....	16
Διάγραμμα 1.2 : Οι δέκα μεγαλύτερες αγορές της ΕΕ ως προς την ετήσια εγκατάσταση Α/Π (σε MW) από το 2004 έως το 2007, σε φθίνουσα σειρά....	17
Διάγραμμα 1.3 : Δυναμικότητα εξέλιξης της αιολικής ενέργειας χωρών της ΕΕ από το 2008 έως το 2010	17
Διάγραμμα 1.4 : Εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το 2000 στην ΕΕ.....	18
Διάγραμμα 1.5 : Δυναμικότητα εγκατεστημένης ισχύος από διάφορες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη, από το 2000 έως το 2007 (MW).....	21
Διάγραμμα 1.6 : Αποφυγόν κόστος διαφόρων μορφών ενέργειας, από τη χρήση αιολικής ενέργειας με πρόβλεψη έως το 2030	22
Διάγραμμα 5.1 : Μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας αέρα για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους	61
Διάγραμμα 5.2 : Εποχιακή διακύμανση ταχύτητας ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007	63
Διάγραμμα 5.3 : Εποχιακή διακύμανση ταχύτητας ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008	64
Διάγραμμα 5.4 : Ετήσια καμπύλη συχνότητας ανέμου για το ανεμόμετρο των 30 m κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007	64
Διάγραμμα 5.5 : Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 10m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2006 – 2007	66
Διάγραμμα 5.6 : Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 10m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2007 – 2008.....	66
Διάγραμμα 5.7 : Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 30m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2006 - 2007	67
Διάγραμμα 5.8: Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 30m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2007 - 2008.....	67
Διάγραμμα 5.9 : Ροδόγραμμα διεύθυνσης ανέμου για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007	69
Διάγραμμα 5.10 : Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου ανάλογα με τη διεύθυνση που σημειώνεται για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007	69
Διάγραμμα 5.11 : Ροδόγραμμα διεύθυνσης ανέμου για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008	70
Διάγραμμα 5.12 : Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου ανάλογα με τη διεύθυνση που σημειώνεται για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008.....	71

Διάγραμμα 5.13 : Σύγκριση ανεμολογιών δύο διαδοχικών χρονικών περιόδων, 2006 – 2007 & 2007 – 2008, από τον ανεμοδείκτη (A1) στα 19m από το έδαφος	71
Διάγραμμα 5.14 : Σύγκριση ανεμολογιών δύο διαδοχικών χρονικών περιόδων, 2006 – 2007 & 2007 – 2008, από τον ανεμοδείκτη (A7) στα 29m από το έδαφος	72
Διάγραμμα 5.15 : Εποχιακή διακύμανση παραγόμενης ισχύος από το Α/Π & για τις δύο χρονικές περιόδους, 2006 – 2007 & 2007 - 2008	74
Διάγραμμα 5.16 : Μέση μηνιαία διακύμανση του συντελεστή χωρητικότητας των έξι Α/Γ του Α/Π, για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007	77
Διάγραμμα 5.17 : Μέση μηνιαία διακύμανση του συντελεστή χωρητικότητας των έξι Α/Γ του Α/Π, για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008	77
Διάγραμμα 5.18 : Καμπύλες ισχύος για τις έξι Α/Γ & για το Α/Π στο σύνολό του	79
Διάγραμμα 5.19 : Καμπύλες ισχύος & παραγόμενης ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου για την περίπτωση της πραγματικότητας	83
Διάγραμμα 5.20 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για την περίπτωση των πραγματικών συνθηκών	83
Διάγραμμα 5.21 : Καμπύλες ισχύος & παραγόμενης ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου για την περίπτωση υποθετικής εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 1,65 MW	85
Διάγραμμα 5.22 : Καμπύλες ισχύος & παραγόμενης ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου για την περίπτωση υποθετικής εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 2 MW	85
Διάγραμμα 5.23 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 1.65 MW	86
Διάγραμμα 5.24 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 1.65 MW	86
Διάγραμμα 5.25 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο επιδότησης 25%	88
Διάγραμμα 5.26 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο μηδενικής επιδότησης.....	88
Διάγραμμα 0.1 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο μείωσης της ταχύτητας ανέμου κατά μία μονάδα.....	90
Διάγραμμα 0.2 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο μείωσης της ταχύτητας ανέμου κατά δύο μονάδες	90

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 : Θαλάσσιο Α/Π στη Δανία, 2008.....	22
Εικόνα 1.2 : Τυπική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού από συμβατικές πηγές ενέργειας & προβολή εναλλακτικής λύσης με εγκατάσταση αιολικού πάρκου	24
Εικόνα 1.3 : Α/Π αποτελούμενο από Α/Γ NEG MICON, τοποθετημένες σε λοφώδη νησιωτική περιοχή.....	25
Εικόνα 2.1 : Φωτορεαλιστική απεικόνιση ανεμομέτρου & καταγραφικού μεταλλικού ιστού	26
Εικόνα 2.2 : Κλίση δέντρων περιοχής με φορά προς την επικρατούσα διεύθυνση ανέμου	28
Εικόνα 2.3 : Πλάγια όψη των γραμμών ροής του ανέμου από την ύπαρξη κτιρίου	31
Εικόνα 2.4 : Κάτοψη των γραμμών ροής του ανέμου από τη ύπαρξη κτιρίου	31
Εικόνα 2.5 : Τυπική μορφή κατανομής Weibull	33
Εικόνα 2.6 : Παρεκτροπή ανέμου από την ύπαρξη Α/Γ.....	34
Εικόνα 4.1 : Εξεταζόμενη περίπτωση εγκατεστημένου Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης.....	41
Εικόνα 4.2 : Απεικόνιση των διαδοχικών σταδίων (φύλλα εργασίας Excel) της ανάλυσης από το λογισμικό RETScreen.....	49
Εικόνα 4.3 : Διάγραμμα ροής του λογισμικού RETScreen	50
Εικόνα 4.4 : Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας προς διανομή & της ειδικής απόδοσης	54
Εικόνα 4.5 : Απεικόνιση εξόδων & εσόδων της επένδυσης – Παράθεση απαιτούμενων δεδομένων για τον υπολογισμό των εσόδων	57
Εικόνα 4.6 : Απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό των παραμέτρων της Οικονομικής επιτευξιμότητας	58

Πίνακας Συντμήσεων

Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
Α/Π	Αιολικό Πάρκο
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΔΣ	Διασυνδεδεμένο Δίκτυο
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
CF	Capacity Factor (Συντελεστής Χωρητικότητας)
EWEA	European Wind Energy Association
GWEC	Global Wind Energy Centre

Κεφάλαιο 1^ο

1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες γίνεται μεγάλη αναφορά στις ΑΠΕ και την αξιοποίησή τους. Η πετρελαϊκή κρίση, η επικείμενη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, η αυξανόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς και η ολοένα αυξανόμενη επιθυμία των κρατών για εθνική και ανεξάρτητη ενεργειακή πολιτική, με την αξιοποίηση των «εγχώριων» πηγών ενέργειας, αποτελούν επαρκή κίνητρα για τη στροφή προς ΑΠΕ. Τέτοιες μορφές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή, κ.α., χαρακτηρίζονται ως ανανεώσιμες αφού εκ φύσεως ανανεώνονται διαρκώς και προσφέρονται δωρεάν στον άνθρωπο για εκμετάλλευση.

Η αξιοποίηση αυτών των πηγών ενέργειας αποτελεί σήμερα βασική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο πλαίσιο της πολιτικής προστασίας του περιβάλλοντος, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο, αλλά και της αναγκαιότητας της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού [Γουργιώτης κ.α., 2007]. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ διαφέρει από χώρα σε χώρα, λόγω των διαφορετικών παραγόντων που επιδρούν σε κάθε περίπτωση.

1.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις ΑΠΕ που προέρχεται από την ενέργεια του ανέμου, η οποία μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ή/και ηλεκτρική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια.

Οι άνεμοι δημιουργούνται από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, αφού εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς τα κάτω μέσα στις υδάτινες μάζες. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από τους υδάτινους πόρους παραμένει σχετικά κρύος, σε σχέση πάντα με τον αέρα που βρίσκεται πάνω από την ξηρά και που θερμαίνεται περισσότερο. Από τη θέρμανση του αέρα της ξηράς έχουμε ελάττωση της πυκνότητάς του, με συνέπεια την ανύψωσή του, και ο βαρύτερος κρύος αέρας που βρίσκεται πάνω από το νερό κινείται για να πάρει τη θέση του. Με αυτό τον τρόπο παράγονται τα ρεύματα του αέρα.

Η ισχύς των ανέμων σε όλη τη γη υπολογίζεται περίπου σε $3,6 \cdot 10^9$ MW. Η ισχύς του ρεύματος είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα και του κύβου της ταχύτητάς του. Έτσι, για την ίδια ταχύτητα και διατομή, ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από αντίστοιχη δέσμη νερού [Μπεργελές, 2005]. Συνεπώς, η αιολική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, δηλαδή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου, που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που

προσβάλλεται από τον άνεμο είναι αρκετά μικρή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων μεγάλων διαστάσεων. Αυτό το μειονέκτημα αντιμετωπίζει με επιτυχία η σημερινή τεχνολογία, με την κατασκευή ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων που συναγωνίζονται οικονομικά τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί συνεπώς μία αστείρευτη πηγή ενέργειας, με αξιοσημείωτο δυναμικό, και προβάλλει σήμερα ως μία από τις πιο κατάλληλες εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

1.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ – ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την χρήση ανεμογεννητριών που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια από τον άνεμο σε ωφέλιμη μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία τους δεν απαιτεί καμία άλλη πρώτη ύλη, δεν παράγει καμία μορφή ρύπου, και το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο προς κατανάλωση.

Ο επικρατέστερος τύπος ανεμογεννητριών είναι αυτός του οριζόντιου άξονα, ενώ υπάρχουν και οι μηχανές κατακόρυφου άξονα. Οι μηχανές οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως τρία πτερύγια και κατά τη λειτουργία τους καταπονούνται δυναμικά και υπόκεινται σε ταλαντώσεις.

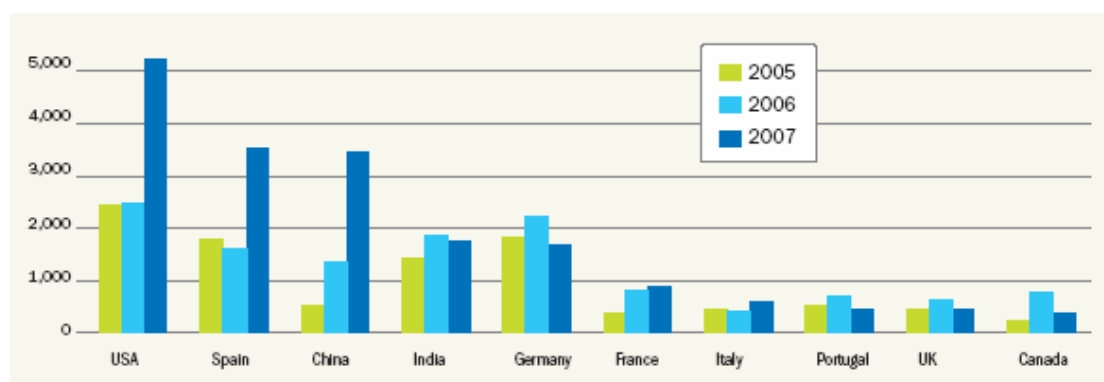
Τα φορτία στα πτερύγια μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της περιστροφής, λόγω της καθ' ύψος μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό έχει ως συνέπεια η ροπή στα πτερύγια να παρουσιάζει κυκλική μεταβολή. Οι μεταβολές των φορτίων λόγω του οριακού στρώματος επιβάλλουν την κλίση του άξονα περιστροφής ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η αεροδυναμική ανάλυση του δρομέα αποδεικνύει ότι η κλίση συμβάλλει στη μείωση των φορτίων. Επιπρόσθετα, η κλίση δημιουργεί την κατάλληλη απόσταση που αποκλείει τη σύγκρουση των περιστρεφόμενων πτερυγίων. Τέλος, η κωνικότητα των πτερυγίων μειώνει στο ελάχιστο τις καμπτικές τάσεις στα πτερύγια [Μπεργελές, 2005].

1.3 ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πλέον ενδεικτικά προγράμματα που υπάρχουν ανά τον κόσμο για την αιολική ενέργεια αποδεικνύουν ότι η σχετική τεχνολογία ωριμάζει, και η εξάπλωσή της γίνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Η αιολική ενέργεια εισάγεται δυναμικά στις πολιτικές που εφαρμόζονται για εξοικονόμηση ενέργειας και είναι πλέον αρκετά ανταγωνιστική με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Αξιοσημείωτο είναι το ότι το κόστος της παραγόμενης αιολικής kWh είναι μικρότερο του κόστους της kWh των συμβατικών σταθμών για περιοχές καλού αιολικού δυναμικού.

Από το παρακάτω διάγραμμα διαπιστώνεται η έντονη συμμετοχή πολλών Ευρωπαϊκών χωρών στον ανταγωνισμό για την εγκατάσταση Α/Π σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό φανερώνει την ιδιαίτερη ανάπτυξη που έχει επέλθει στην Ευρώπη σχετικά με τις ΑΠΕ, και συγκεκριμένα με την αιολική.

Διάγραμμα 1.1 : Οι δέκα μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως ως προς την ετήσια εγκατάσταση Α/Π (σε MW) από το 2005 έως το 2007, σε φθίνουσα σειρά



Πηγή : EWEA/GWEC, 2008

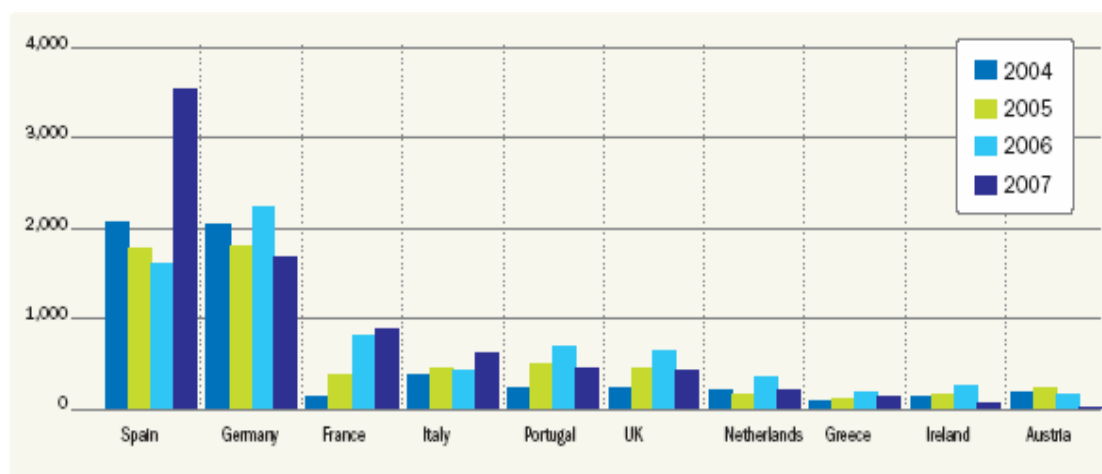
1.3.1 Αιολική ενέργεια στην Ευρώπη

Η αιολική ενέργεια αποτελεί πλέον μια δοκιμασμένη και οικονομικά βιώσιμη λύση στο πρόβλημα για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες χώρες της ΕΕ. Πράγματι, στις αρχές του 2006, η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς ξεπερνά τα 50.000 MW, εκ των οποίων το 75% βρίσκεται στην ευρωπαϊκή ήπειρο [Καλδέλλης κ.α., 2006]. Πράγματι, η αιολική είναι μια μορφή ενέργειας ανταγωνιστική και με προοπτικές, αρκεί να αναλογιστούμε ότι το θεωρητικό αιολικό δυναμικό της Ευρώπης θα μπορούσε να καλύψει τις συνολικές ανάγκες της σε ηλεκτρισμό [Electrotech, 2005].

Η ΕΕ εντίνει την πολιτική της ολοένα και περισσότερο προς την κατεύθυνση των ΑΠΕ, και κατ' επέκταση προς την αιολική ενέργεια. Το 2007 η εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ευρώπη αυξήθηκε περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με πρωτοπόρο την Ισπανία. Τα στατιστικά στοιχεία που δημοσίευσε η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας

(EWEA) δείχνουν ότι η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων αυξήθηκε το 2007 κατά 18% και έφτασε τα 56.535 MW. Από τις χώρες της ΕΕ που ξεχωρίζουν για την ιδιαίτερη ανάπτυξη που παρουσιάζουν σε θέματα αιολικής ενέργειας είναι η Δανία, η Ολλανδία, η Γερμανία και ακολουθούν η Μεγάλη Βρετανία, η Ιταλία, η Πορτογαλία. Παρ' όλα αυτά, η αναμενόμενη ανάπτυξη στο συγκεκριμένο τομέα δεν διαχέεται σε όλα τα κράτη μέλη.

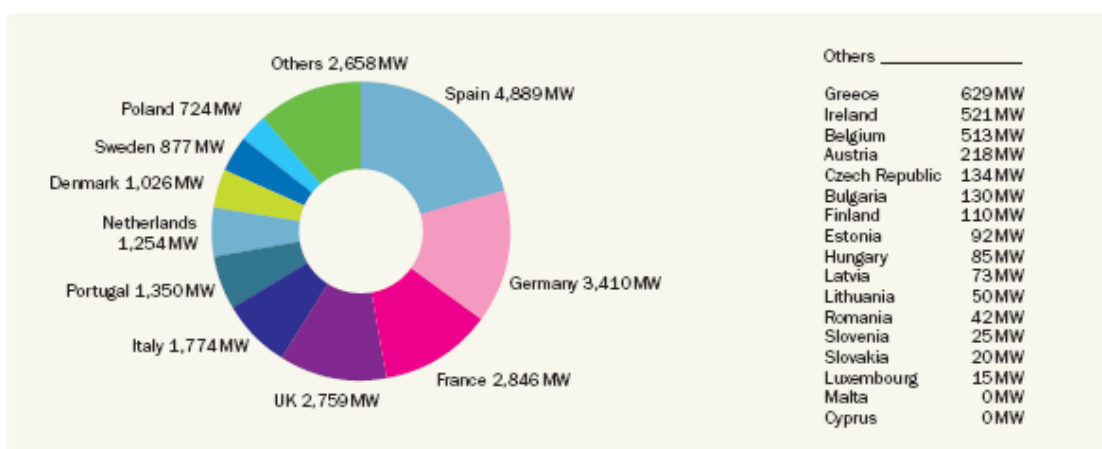
Διάγραμμα 1.2 : Οι δέκα μεγαλύτερες αγορές της ΕΕ ως προς την ετήσια εγκατάσταση Α/Π (σε MW) από το 2004 έως το 2007, σε φθίνουσα σειρά



Πηγή : EWEA, 2008

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η προβλεπόμενη ανάπτυξη Ευρωπαϊκών χωρών στην εγκατάσταση Α/Π μέχρι το έτος 2010. Αξιοσημείωτη είναι όχι μόνο η δυναμική που παρουσιάζουν χώρες όπως η Ισπανία, η Γερμανία, η Γαλλία, αλλά και γενικότερα η δραστηριοποίηση αρκετά μεγάλου αριθμού μικρότερων χωρών στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.

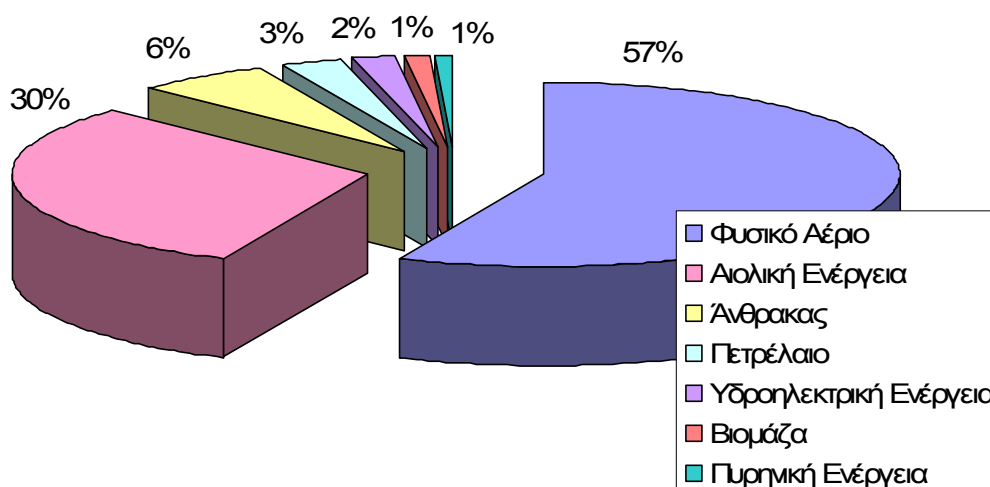
Διάγραμμα 1.3 : Δυναμικότητα εξέλιξης της αιολικής ενέργειας χωρών της ΕΕ από το 2008 έως το 2010



Πηγή : EWEA, 2008

Η αιολική ενέργεια συνέχισε και το 2007 να είναι μία από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποσπώντας μερίδιο 40% από το σύνολο των νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από το 2000 στην ΕΕ έχουν εγκατασταθεί περίπου 158.000 MW νέων μονάδων παραγωγής. Από αυτές 88.000 MW ήταν φυσικού αερίου, 47.000 MW αιολικής ενέργειας, 9.600 MW άνθρακα, 4.200 MW πετρελαίου, 3.100 MW υδροηλεκτρικών, 1.700 MW βιομάζας και 1.200 MW πυρηνικής ενέργειας [Platts PowerVision & EWEA].

Διάγραμμα 1.4 : Εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το 2000 στην ΕΕ



Πηγή : EWEA, 2008

Η παγκόσμια αγορά αυξήθηκε κατά περίπου 30% το 2007, με την προσθήκη 20.000 MW, και οι Ευρωπαϊκές εταιρείες εξακολουθούν να ηγούνται. Η πτώση του ρυθμού ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες οφείλεται σε ένα μείγμα χρονοβόρων αδειοδοτικών διαδικασιών, προβλημάτων πρόσβασης στο δίκτυο και νομοθετικής αβεβαιότητας [EWEA, 2008].

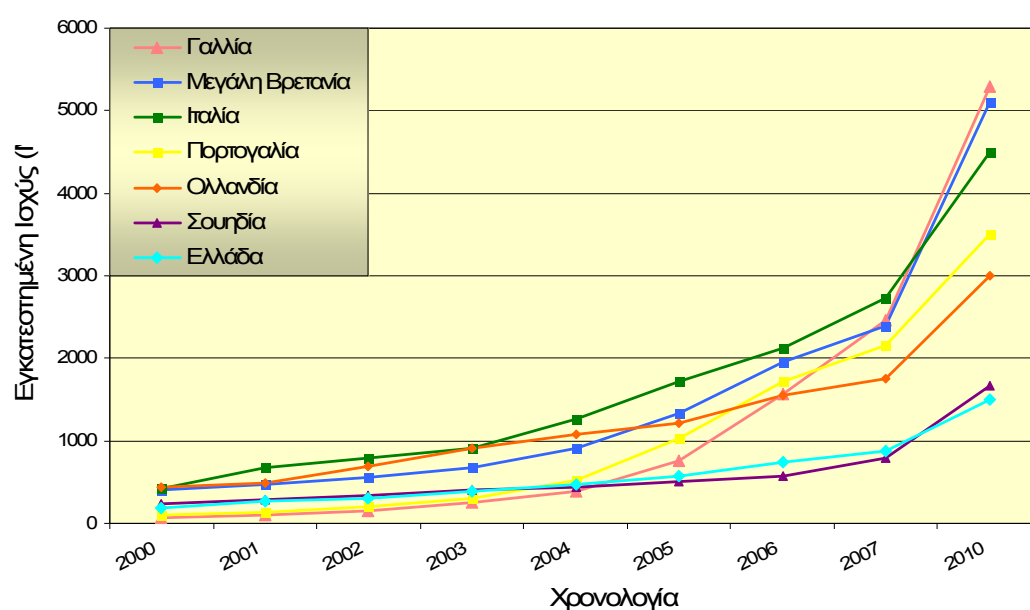
Η Ισπανία κατάφερε το 2007, να εγκαταστήσει 3.522 MW – που είναι η μεγαλύτερη ισχύς που έχει εγκατασταθεί ποτέ σε μια χρονιά σε ευρωπαϊκή χώρα. Σήμερα το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας της Ισπανίας παράγεται από την αιολική ενέργεια. Σταθερή ανάπτυξη υπήρξε και στη Γαλλία, η οποία πρόσθεσε 888 MW στο δυναμικό της και έφτασε τα 2.726 MW. Τα νέα κράτη μέλη εξελίχθηκαν αρκετά ικανοποιητικά, και η εγκατεστημένη ισχύς τους αυξήθηκε κατά 60% - με την Πολωνία για πρωτοπόρο – φτάνοντας τα 276 MW. Παρ' όλα αυτά μερικές χώρες κατέγραψαν πτώση μεταξύ των οποίων η Γερμανία, η Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η άνοδος του 2007, 12%, να μην είναι τόσο εντυπωσιακή όσο άλλων ετών.

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας και αντίστοιχο διάγραμμα, στα οποία φαίνεται η χρονική εξέλιξη της εγκατάστασης Α/Π στις χώρες της ΕΕ, από το 2000 έως το 2007. Εκτός από τη Γερμανία και την Ισπανία, οι οποίες ξεχωρίζουν σημαντικά στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, παρατηρείται μια ενδιαφέρουσα και εξαιρετικής σημασίας συμβολή σχεδόν όλων των χωρών, ειδικά μετά το έτος 2005, στην είσοδο της αιολικής ενέργειας στην ενεργειακή πολιτική. Να σημειωθεί ότι στο διάγραμμα φαίνεται η εξελικτική πορεία εγκατάστασης Α/Π των χωρών που σημειώνουν τη μεγαλύτερη πρόοδο - εκτός της Γερμανίας και της Ισπανίας, οι οποίες παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη πρόοδο.

Πίνακας 1.1 : Ετήσια αθροιστική εγκατάσταση Α/Π στην Ευρώπη (MW) από το 2000 έως το 2007 με περαιτέρω πρόβλεψη εγκατεστημένης ισχύος μέχρι το 2010

Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010 _(est)
Austria	77	94	140	415	606	819	965	982	1,200
Belgium	13	32	35	68	96	167	194	287	800
Bulgaria					10	10	36	70	200
Cyprus			0	0	0	0	0	0	0
Czech Republic			3	9	17	28	54	116	250
Denmark	2,417	2,489	2,889	3,116	3,118	3,128	3,136	3,125	4,150
Estonia			2	2	6	32	32	58	150
Finland	39	39	43	52	82	82	86	110	220
France	66	93	148	257	390	757	1,567	2,454	5,300
Germany	6,113	8,754	11,994	14,609	16,629	18,415	20,622	22,247	25,624
Greece	189	272	297	383	473	573	746	871	1,500
Hungary			3	3	3	17	61	65	150
Ireland	118	124	137	190	339	496	746	805	1,326
Italy	427	682	788	905	1,266	1,718	2,123	2,726	4,500
Latvia			24	27	27	27	27	27	100
Lithuania			0	0	6	6	48	50	100
Luxembourg	10	15	17	22	35	35	35	35	50
Malta			0	0	0	0	0	0	0
Netherlands	446	486	693	910	1,079	1,219	1,558	1,746	3,000
Poland			27	63	63	83	153	276	1,000
Portugal	100	131	195	296	522	1,022	1,716	2,150	3,500
Romania			1	1	1	2	3	8	50
Slovakia			0	3	5	5	5	5	25
Slovenia			0	0	0	0	0	0	25
Spain	2,235	3,337	4,825	6,203	8,264	10,028	11,623	15,145	20,000
Sweden	231	293	345	399	442	510	571	788	1,665
UK	406	474	552	667	904	1,332	1,962	2,389	5,115
EU Accumulated*	12,887	17,315	23,098	28,491	34,372	40,500	48,031	56,535	80,000

Πηγή : EWEA, 2008



Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς μέχρι το τέλος του 2007 σημαίνει ετήσια αποφυγή εκπομπών 90 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα και παραγωγή 119 TWh ετησίως, κατά μέσο όρο, που ισοδυναμεί με το 3,7% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ. Συγκριτικά αναφέρεται ότι το 2000 μόλις το 0,9% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ καλυπτόταν από αιολική ενέργεια [EWEA].

Στόχος της Ευρώπης είναι, μέχρι το 2010, να παράγεται ενέργεια της τάξης μερικών δεκάδων GW από Α/Γ, οι οποίες θα έχουν πολύ καλύτερη απόδοση από αυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα. Για να γίνει αυτό θα πρέπει η τιμή της παραγόμενης από τον άνεμο ενέργειας να πέσει αισθητά, ώστε να μπορεί να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές, στις οποίες στηρίζεται σήμερα η Ευρώπη. Με τη χρήση Α/Γ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, αποφεύγεται κάθε χρόνο η εκπομπή :

- $4 \cdot 10^9$ τόνων διοξειδίου του άνθρακα
- $20 \cdot 10^6$ τόνων οξειδίων του αζώτου
- $28 \cdot 10^6$ τόνων οξειδίων του θείου
- $22 \cdot 10^6$ τόνων σωματιδίων

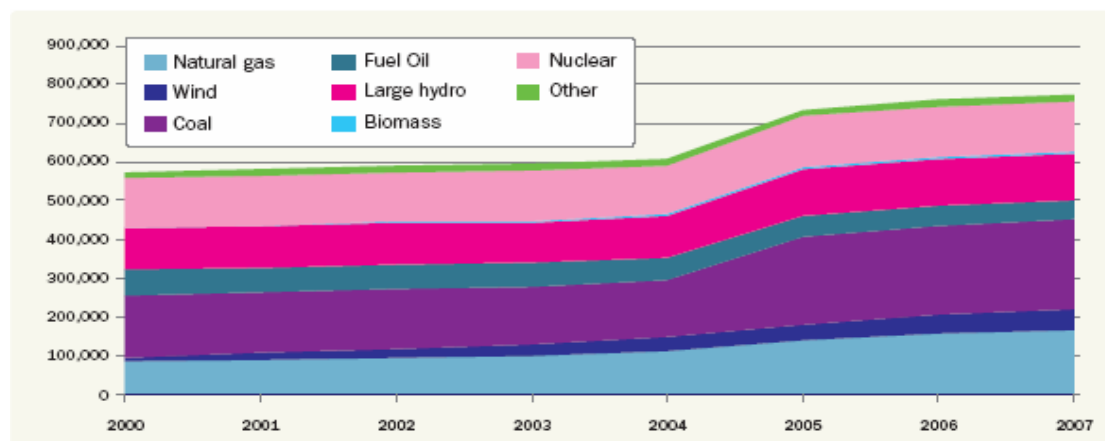
[Electrotech, 2005]

Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν πληροφορίες που σχετίζονται με τη χρησιμοποίηση διαφόρων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη.

Το πρώτο διάγραμμα, στο οποίο φαίνεται η εγκατεστημένη ισχύς που προέρχεται από διάφορες πηγές ενέργειας, δείχνει τη μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση της Ευρώπης από την πυρηνική ενέργεια και από την ενέργεια από το πετρέλαιο και τα ορυκτά. Αυτή η εξάρτηση, με την πάροδο των χρόνων φαίνεται να εξασθενεί με την είσοδο των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην αγορά.

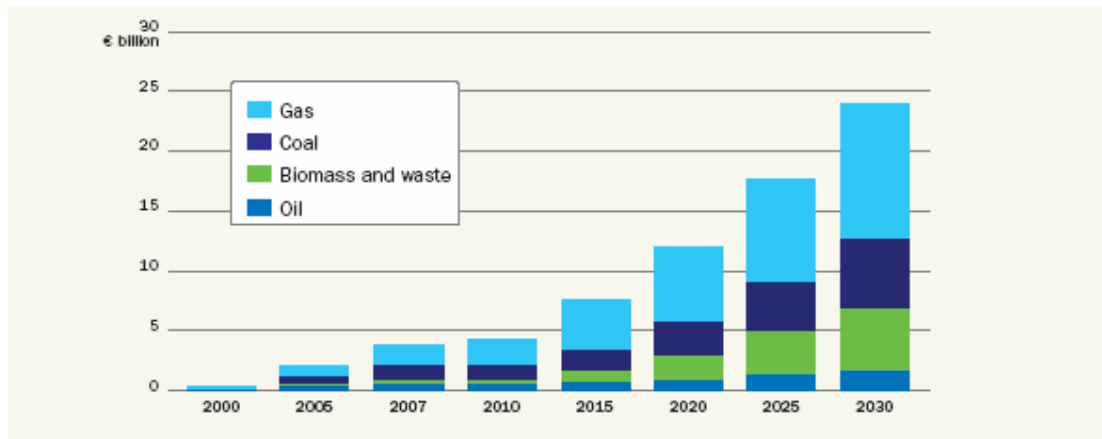
Το δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζει τη διακύμανση του κόστους διαφόρων πηγών ενέργειας στη διάρκεια του χρόνου, με πρόβλεψη μέχρι το έτος 2030. Η αυξητική τάση που αναμένεται σε όλες τις συμβατικές μορφές ενέργειας δίνει το πλεονέκτημα στην αιολική, καθώς και σε άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, να εδραιωθούν στην μελλοντική ενεργειακή πολιτική, όχι μόνο στην Ευρώπη, αλλά και παγκοσμίως.

Διάγραμμα 1.5 : Δυναμικότητα εγκατεστημένης ισχύος από διάφορες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη, από το 2000 έως το 2007 (MW)



Πηγή : EWEA & Platts Power Vision, 2008

Διάγραμμα 1.6 : Αποφυγόν κόστος διαφόρων μορφών ενέργειας, από τη χρήση αιολικής ενέργειας με πρόβλεψη έως το 2030



Πηγή : EWEA, 2008

Οι μελέτες εστιάζουν και στην εγκατάσταση Α/Π στη θάλασσα, αφού οι άνεμοι που πνέουν σε αυτή την περίπτωση είναι κατά τεκμήριο δυνατότεροι από αυτούς που πνέουν στη στεριά, και κατά συνέπεια οι Α/Γ αναμένεται να λειτουργούν αποδοτικότερα. Ακόμη, ο άνεμος στη θάλασσα είναι λιγότερο στροβιλώδης από ότι στην στεριά λόγω και των λιγότερων διακυμάνσεων των θερμοκρασιών, αλλά και της ομαλής θαλάσσιας επιφάνειας, πράγμα που σημαίνει ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν μεταβάλλεται σημαντικά με τις αλλαγές του ύψους της κεφαλής του δρομέα της Α/Γ [WINDPOWER, 2003].

Εικόνα 1.1 : Θαλάσσιο Α/Π στη Δανία, 2008



1.3.2 Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα – Νησιωτικές περιοχές

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, παρά τις αξιόλογες προσπάθειες που γίνονται τα τελευταία χρόνια, βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες. Αν και το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα από τα ιδανικότερα για την ανάπτυξη των αιολικών συστημάτων, η παρουσία ορισμένων προβλημάτων, όπως η έλλειψη υποδομής και επιδοτήσεων, οι γραφειοκρατικές διαδικασίες για αδειοδοτήσεις και εγκρίσεις, κ.α., δεν βοήθησαν στην εφαρμογή αυτών των συστημάτων.

Πριν από το 1977 η δραστηριότητα στον ελλαδικό χώρο στον τομέα της αιολικής ενέργειας ήταν περιορισμένη. Η χώρα μας, λόγω ανεπιτυχών ενεργειακών επιλογών έφτασε τα τελευταία χρόνια να βασίζει την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών κατά 65% στο εισαγόμενο πετρέλαιο, ενώ είναι αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι πρόκειται για μια χώρα προικισμένη από τη φύση με άφθονες ενεργειακές πηγές ανανεώσιμων μορφών. Μια λύση για την απεξάρτηση της χώρας από το πετρέλαιο έδωσε η ενεργειακή πολιτική της ΔΕΗ, που κατόρθωσε μέσα σε μια δεκαετία να μειώσει την πετρελαϊκή της εξάρτηση από το 36% το 1980 στο 13% το 1989, χρησιμοποιώντας όμως ορυκτά καύσιμα [Μπεργελές, 2005]. Η λύση αυτή, σε περιπτώσεις όπως ο λιθάνθρακας, είναι κάθε άλλο παρά βιώσιμη, αφού οι επιπτώσεις που προκαλεί στο περιβάλλον, την υγεία του ανθρώπου, αλλά όπως φαίνεται και στην οικονομία, είναι ολέθριες. Εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα, όξινη βροχή, βομβαρδισμός μικροσωματιδίων και ραδιενεργή ρύπανση είναι μερικά από τα σοβαρά προβλήματα που προκαλούνται από την καύση του λιθάνθρακα.

Μία πιο φιλική ενεργειακή εφαρμογή προς το περιβάλλον, αποτελεί η είσοδος του φυσικού αερίου στην παγκόσμια αγορά, και κατ' επέκταση στην ελληνική. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση φυσικού αερίου είναι δύο φορές μικρότερες από αυτή του λιθάνθρακα ($0,35 \text{ t CO}_2 / \text{MWh}$ έναντι $0,70 \text{ t CO}_2 / \text{MWh}$), αλλά η ασφάλεια εφοδιασμού του συγκεκριμένου καυσίμου, σε ότι αφορά στις ποσότητες, στη διαφοροποίηση προελεύσεων και στις τιμές, αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα για τη χώρα μας. Το ζήτημα αυτό γίνεται ακόμη πιο σημαντικό στο πλαίσιο των νέων στόχων και δεσμεύσεων της χώρας, γιατί στο σενάριο αυτό η βέλτιστη ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος θα χρειαστεί το 2020 περίπου 10% μεγαλύτερες εισαγωγές από αυτές του σεναρίου αναφοράς, χωρίς μάλιστα εναλλακτική λύση, λόγω των περιβαλλοντικών δεσμεύσεων. Κατά το σενάριο πολιτικής οι εισαγωγές φυσικού αερίου το 2020 θα πλησιάσουν τα 7 bcm ($10,85 \text{ μμ}$ στο SI) έναντι 3,5 ($5,425 \text{ μμ}$ στο SI) περίπου που είναι σήμερα. Η προοπτική για το φυσικό αέριο αποτελεί παράγοντα καίριας σημασίας για τη διαχείριση του ρίσκου, που συνδέεται με νέες επενδύσεις στην ηλεκτροπαραγωγή και επομένως πρέπει να ληφθεί μέριμνα, ώστε να αρθούν το ταχύτερο δυνατό οι αβεβαιότητες που υφίστανται σήμερα [Κάπρος, 2008].

Εικόνα 1.2 : Τυπική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού από συμβατικές πηγές ενέργειας & προβολή εναλλακτικής λύσης με εγκατάσταση αιολικού πάρκου



Η χώρα μας βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη, όπου επικρατούν καλής ταχύτητας άνεμοι, συγχρόνως όμως παρουσιάζει και ευνοϊκή διαμόρφωση εδάφους, γεγονός που συμβάλλει στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Οι παραλιακές περιοχές, και ιδιαίτερα οι νησιωτικές, προσφέρονται για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου, και εξασφαλίζουν ικανοποιητικό συντελεστή χρησιμοποίησης της εγκατάστασης. Επομένως, τα νησιά του ελλαδικού χώρου διεκδικούν πρωταρχική θέση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, γεγονός που θα μπορούσε να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των αναγκών των νησιών, και να αποτελέσει πηγή εθνικού πλούτου. Σημαντικό είναι και το ότι στο νησιωτικό χώρο δεν εμφανίζονται τυφώνες. Αντίθετα υπάρχει ομαλή πνοή ανέμου όλο το χρόνο με ελάχιστες ημέρες άπνοιας.

Σήμερα οι ανάγκες των νησιών σε ενέργεια καλύπτονται από τους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Νηζελοηλεκτρικοί), εκτός από την Κρήτη και το Ρόδο, ενώ μερικά νησιά που είναι κοντά στην ηπειρωτική πλευρά έχουν συνδεθεί και τροφοδοτούνται από τα κεντρικά δίκτυα. Για πολλά χρόνια προβλέπεται ότι τα νησιά που είναι απομακρυσμένα από την ηπειρωτική Ελλάδα, θα συνεχίσουν να στηρίζουν την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών στην αυτόνομη παραγωγή και θα παραμένουν ανεξάρτητα από το εθνικό δίκτυο [Μπεργελές, 2005].

Περιοχές που βρίσκονται μακριά από τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ή μικρά νησάκια, μπορούν να εξυπηρετηθούν με μικρές Α/Γ ικανές να καλύψουν ανάγκες φωτισμού, άντλησης - θέρμανσης νερού και κατοικίας, όπως επίσης και ψύξης για συντήρηση τροφίμων. Α/Γ της ισχύος αυτής λειτουργούν και σε μικρές ταχύτητες ανέμου, έχουν απλή και ανθεκτική κατασκευή και για τις ανάγκες φωτισμού, σε περίπτωση άπνοιας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συστοιχία συσσωρευτών.

Ένα αξιοσημείωτο συμπέρασμα που προκύπτει από έρευνες και μελέτες, σχετικά με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας από νησιωτικές περιοχές, είναι ότι τα Α/Π που εγκαθίστανται σε αυτές είναι επιρρεπή σε σημαντικούς περιορισμούς, γεγονός που επηρεάζει την αναμενόμενη ενεργειακή τους απόδοση, και κατά συνέπεια την επιτευξιμότητα της επένδυσης. Για να επιτευχθεί ικανοποιητική εκμετάλλευση του υπάρχοντος αιολικού δυναμικού απαιτούνται βασικές αλλαγές στη δομή και στη διαχείριση τέτοιων συστημάτων. Μια ελπιδοφόρα δυνατότητα παρουσιάζεται με την εφαρμογή σύγχρονων κέντρων ελέγχου, τα οποία ενσωματώνουν σύνθετη δυναμικότητα πρόβλεψης αιολικής ισχύος, μοντέλα οικονομικής αναφοράς και παροχή ασφαλείας με δυναμικούς αλγορίθμους ελεγχόμενους από υπολογιστή. Όλα αυτά αναμένεται να επιτρέψουν υψηλότερο βαθμό διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στις νησιωτικές περιοχές, χωρίς να εκθέτουν - απειλούν την ασφάλεια της λειτουργίας του συστήματος. Μια ακόμη αναγκαία προϋπόθεση, για ακόμη πιο αισθητή αιολική διείσδυση, είναι η εισαγωγή κάποιου είδους ενεργειακής αποθήκευσης. Για μεγέθη συστημάτων που παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην παραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα υδατοφρακτών, το οποίο φαίνεται να αποτελεί μια εξαιρετικά βιώσιμη εναλλακτική λύση [Papathanassiou, 2005].

Εικόνα 1.3 : Α/Π αποτελούμενο από Α/Γ NEG MICON, τοποθετημένες σε λοφώδη νησιωτική περιοχή



Πηγή : NEG MICON, 2006

Κεφάλαιο 2^ο

2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας τοποθεσίας, τα δεδομένα που συλλέγονται από τη συγκεκριμένη τοποθεσία πρέπει να αναλυθούν και να εξηγηθούν κατάλληλα, ώστε να ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν. Για μια προκαταρκτική εκτίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μακρά χρονοσειρά από μετεωρολογικούς σταθμούς πλησίον της περιοχής μελέτης. Μετά την πρώτη αυτή εκτίμηση ακολουθούν μετρήσεις πεδίου στην υπό μελέτη περιοχή για τουλάχιστον ένα έτος, ενώ οι μετρήσεις περισσότερων ετών βοηθούν στο να προσεγγιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η ενεργειακή συμπεριφορά των μηχανών στη διάρκεια ζωής τους.

Η τοποθέτηση των οργάνων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού (ανεμόμετρα, ανεμοδείκτες, θερμόμετρα), γίνεται σε ύψος τουλάχιστον 10m από την επιφάνεια του εδάφους, σε μεταλλικό ιστό που στηρίζεται σε επιτόνους. Ο λόγος που προτιμώνται υψηλοί ιστοί είναι για να τοποθετηθούν ανεμόμετρα σε διαφορετικά ύψη, έτσι ώστε να καταγραφεί το προφίλ του ανέμου και να υπολογιστεί με ακρίβεια η ενεργειακή απόδοση της μηχανής αλλά και τα φορτία καταπόνησης.

Τα ανεμόμετρα μετρούν την ταχύτητα του ανέμου και στέλνουν τα στοιχεία αυτά σε ένα καταγραφικό, το οποίο την καταγράφει με τη συχνότητα που έχει προγραμματιστεί. Οι ταχύτητες εκφράζουν φυσικά το μέσο όρο της περιόδου καταγραφής, που μπορεί να είναι οποιαδήποτε διάρκεια θεωρείται κατάλληλη για την αξιολόγηση της έντασης του ανέμου. Συνήθως οι καταγραφές αφορούν μέσους όρους δεκαλέπτων, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται περαιτέρω (ώρα, μέρα, μήνα, κ.α.) και αναλύονται με τη βοήθεια μοντέλων και λογισμικών ώστε να επιτευχθούν ακριβείς εκτιμήσεις για την ενεργειακή διαθεσιμότητα από τον άνεμο στην εξεταζόμενη περιοχή.

Εικόνα 2.1 : Φωτορεαλιστική απεικόνιση ανεμομέτρου & καταγραφικού μεταλλικού ιστού



Πηγή : WINDPOWER, 2003

2.1 ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι κινήσεις των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα είναι τρισδιάστατες. Με τη χρήση του όρου άνεμος αναφερόμαστε στις οριζόντιες συνιστώσες, διότι οι κατακόρυφες κινήσεις είναι συνήθως πολύ μικρότερης ταχύτητας από τις οριζόντιες. Ο άνεμος αξιολογείται ως ένα δισδιάστατο ανυσματικό μέγεθος, το οποίο περιγράφουν η ταχύτητα (μέτρο) και η διεύθυνση (κατεύθυνση ή φορά). Οι μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου αποτελούν την αφετηρία αξιολόγησης του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής ενδιαφέροντος. Η διάρκεια πνοής του ανέμου, σε συνδυασμό με την ένταση και την διεύθυνση του, απαιτούνται σε συστήματα παραγωγής αιολικής ενέργειας και η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται εξαρτάται από αυτά τα χαρακτηριστικά [Aksoy, 2004].

2.1.1 Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου σε ορισμένη θέση στο χώρο δεν παραμένει σταθερή με το χρόνο. Η μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργική απόδοση των αιολικών μηχανών αλλά και για τον υπολογισμό της αντοχής τους λόγω των εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής. Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο για μια μεγάλη χρονική περίοδο περιέχει μεταβολές που οφείλονται σε εποχιακές διακυμάνσεις ταχύτητας, σε παροδικά κλιματολογικά συστήματα όπως επίσης και στην ασταθή φύση της ροής. Η ταχύτητα του ανέμου έχει άμεση επίδραση στην παραγωγή ισχύος, αλλά έχει διαπιστωθεί ότι ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική ταχύτητα της Α/Γ, σε συνδυασμό με τις ώρες υψηλής παραγωγής, συμβάλλουν σημαντικά στην υψηλή παραγωγή ενέργειας [Mabel, 2007].

- **Μέση ταχύτητα ανέμου**

Μία από τις πιο σημαντικές πληροφορίες που μπορούμε να αντλήσουμε από το διαθέσιμο φάσμα ανεμολογικών δεδομένων σε μια τοποθεσία είναι η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου. Είναι απαραίτητη για ενεργειακούς σκοπούς και μπορεί να είναι ετήσια, εποχιακή, ημερήσια, ή και ωριαία. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου, από δεδομένα δεκαλέπτων, δεν χρησιμοποιείται ο απλός τρόπος υπολογισμού ενός μέσου όρου (άθροισμα δεδομένων δια τον αριθμό των δεδομένων). Αν χρησιμοποιηθεί αυτή η τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου για τον υπολογισμό της αναμενόμενης ισχύος τότε θα έχουμε υποτιμήσει την τιμή της ισχύος κατά 20%. Για αυτό το λόγο, για να πετύχουμε την επιθυμητή ακρίβεια στην επεξεργασία των δεδομένων για τους υπολογισμούς αιολικής ενέργειας, η ταχύτητα πρέπει να επηρεάζεται από την αναλογία της με την ισχύ. Έτσι, σύμφωνα με την κυβική σχέση της ταχύτητας με την ισχύ, η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου, V_m , πρέπει να εκφράζεται ως εξής :

$$V_m = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3 \right)^{1/3}$$

Όπου n ο αριθμός των δεκαλέπτων, και V_i η τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου σε κάθε δεκάλεπτο.

- **Μέγιστη ταχύτητα ανέμου**

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου είναι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας, που μπορεί να εμφανισθεί στην εξεταζόμενη θέση κατά τη διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας. Η γνώση της τιμής αυτής είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της πιθανότητας μηχανολογικής αστοχίας της μηχανής.

- **Εποχιακή διακύμανση ταχύτητας ανέμου**

Εκτός από τη μέση ετήσια ταχύτητα στη θέση εγκατάστασης της αιολικής μηχανής, είναι χρήσιμο για ενεργειακούς υπολογισμούς να είναι γνωστή και η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου. Η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου αποτελεί χρήσιμο στοιχείο για τον υπολογισμό της εποχιακής ενεργειακής απόδοσης της Α/Γ και της ποιότητας προσαρμογής της καμπύλης ενεργειακής παραγωγής και ζήτησης.

2.1.2 Διεύθυνση ανέμου

Οι ανεμολογικές συνθήκες στην Ελλάδα είναι τέτοιες, που παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα στις επικρατέστερες διευθύνσεις των ανέμων ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της κάθε περιοχής. Για τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς η περίμετρος του κύκλου, η οποία εκφράζεται σε μοίρες. Ο βορράς αντιστοιχεί στη θέση 0° , η ανατολή στη θέση 90° , ο νότος στη θέση 180° και η δύση στη θέση 270° . Ο κύκλος μπορεί να χωριστεί σε δεκαέξι, δώδεκα ή οκτώ διευθύνσεις, με τις δεκαέξι να είναι οι πιο επικρατέστερες. Η πληροφορία που αντλείται από το ανεμολόγιο των διευθύνσεων είναι πολύ σημαντική διότι με αυτό σχεδιάζεται η διάταξη ενός Α/Π. Ένας από τους τρόπους παρουσίασης των διευθύνσεων του ανέμου στην περιοχή όπου γίνονται οι μετρήσεις είναι αυτός με τη μορφή πίνακα, όπου αναγράφονται οι διευθύνσεις του ανέμου και δίπλα τους το ποσοστό εμφάνισης ή οι ώρες που έπνεε άνεμος από τη συγκεκριμένη διεύθυνση.

Εικόνα 2.2 : Κλίση δέντρων περιοχής με φορά προς την επικρατούσα διεύθυνση ανέμου



- **Μεταβλητότητα διευθύνσεων ανέμου στο χώρο**

Γενικά, από τις μετρήσεις των διευθύνσεων του ανέμου σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρατηρείται μια στροφή του ανέμου, καθώς πηγαίνουμε από το βόρειο προς το νότιο Αιγαίο [Κανελλόπουλος, 2007]. Οι άνεμοι από βόρειους – βορειοανατολικούς στρέφονται σε βορείους στις Κυκλάδες και σταδιακά στο Καρπάθιο πέλαγος γίνονται δυτικοί – βορειοδυτικοί έως δυτικοί – νοτιοδυτικοί.

- **Μεταβλητότητα διευθύνσεων ανέμου στο χρόνο**

Από χρόνο σε χρόνο παρατηρείται σε γενικές γραμμές μια σταθερότητα στην εμφάνιση των ανέμων. Οι επικρατέστεροι άνεμοι παραμένουν οι ίδιοι και αλλάζει συνήθως μόνο το ποσοστό εμφάνισής τους. Έτσι, είναι απαραίτητο να υπάρχουν παρατηρήσεις από αρκετά χρόνια, ώστε να εξαχθεί ένα όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο ποσοστό.

- **Το ροδόγραμμα του ανέμου**

Για την απεικόνιση της κατανομής της συχνότητας των διευθύνσεων του ανέμου σε κάποια τοποθεσία χρησιμοποιείται το ροδόγραμμα του ανέμου (wind rose). Το ροδόγραμμα του ανέμου σχεδιάζεται με βάση μετεωρολογικές παρατηρήσεις που καταγράφονται στην υπό μελέτη περιοχή και διαφέρει από το ένα μέρος στο άλλο, καθιστώντας το έτσι ως το “μετεωρολογικό αποτύπωμα” για κάθε περιοχή.

Το ροδόγραμμα του ανέμου είναι εξαιρετικά χρήσιμο για την ακριβή τοποθέτηση των Α/Γ. Έτσι, αν από κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση ανέμου αναμένεται ότι θα παράγεται αρκετά μεγάλο ποσό ενέργειας, τότε επιδιώκεται η ύπαρξη ολοένα και λιγότερων εμποδίων από εκείνη την κατεύθυνση, κατά την εγκατάσταση, ώστε να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση.

2.1.3 Τύρβη ανέμου

Η τύρβη του ανέμου αποτελεί ένα ανεμογραφικό καταγραφικό μεταβολής του ανέμου και δείχνει ότι ο φυσικός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα υψηλής συχνότητας ριπών που επιτίθεται σε μικρότερης συχνότητας μεταβαλλόμενο άνεμο [Μπεργελές, 2005]. Είναι προφανές ότι οι διαταραχές της ταχύτητας του ανέμου είναι τυχαίες στον χαρακτήρα τους, γι’ αυτό δεν μπορούν να αναλυθούν με ντετερμινιστικό τρόπο, αλλά με στατιστικές τεχνικές που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της μεταβολής του ανέμου.

- **Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος**

Μετά από πολλές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο οριακό στρώμα φάνηκε ότι η ένταση της τύρβης έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα τριβής. Διαπιστώθηκε ότι η κατακόρυφη μεταβολή του μέτρου της οριζόντιας συνιστώσας του ανέμου, τα πρώτα 1.000 m από το έδαφος, μπορεί να εκφραστεί με ένα εκθετικό νόμο. Ο εκθετικός νόμος δίνει την ταχύτητα στο επιθυμητό ύψος, ως συνάρτηση των δύο υψών σε μια δύναμη α.

$$V_r = V_0 \left[\frac{H_r}{H_0} \right]^a$$

Όπου V_r η ταχύτητα στο ύψος αναγωγής (σε m/s), V_0 η ταχύτητα στο ύψος μέτρησης σε (m/s), H_r το ύψος αναγωγής (σε m) και H_0 το ύψος μέτρησης (σε m). Ο εκθέτης a εκφράζει μια ένδειξη της τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους, αυξάνει σε επίπεδες εκτάσεις και μηδενίζεται σε κορυφογραμμές. Για τη σωστή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού απαιτείται η ακριβής γνώση της μορφολογίας του εδάφους, της παραμέτρου τραχύτητας και κατά συνέπεια του εκθέτη a αναγωγής ταχυτήτων με το ύψος από το έδαφος. Αν υπάρχει έλλειψη στοιχείων, ο εκθέτης a μπορεί να ληφθεί ίσος με 0,17 - τυπική τιμή για την τοπογραφία του ελλαδικού χώρου. Σε περίπτωση ύπαρξης δεδομένων, ο εκθέτης a μπορεί να προσδιοριστεί την τυπική απόκλιση της ταχύτητας (sdv) και τη μέση ταχύτητα (V_{avg}), από κάθε δεκάλεπτο, από τη σχέση :

$$T_i = \frac{sdv}{V_{avg}}$$

Το T_i αποτελεί την ένταση της τύρβης, σε κάθε δεκάλεπτο, στα 10 m από το έδαφος, πράγμα που οδηγεί στην εκτίμηση του συντελεστή a του εκθετικού νόμου :

$$T(10m) = a$$

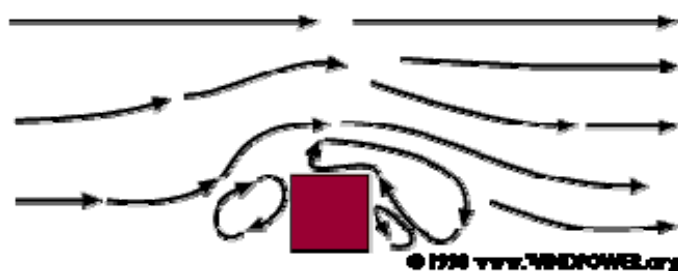
- **Επίδραση τοπογραφίας στην μεταβλητότητα του ανέμου**

Η μορφολογία της περιοχής εγκατάστασης των Α/Γ παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατακόρυφη μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμου. Οι αλλαγές των κλίσεων του εδάφους, όπως η παρουσία λόφων, οδηγεί σε αυξομειώσεις της ταχύτητας του ανέμου. Ιδανικά οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται στο ύψος τοποθέτησης της κεφαλής του δρομέα (ιστοί που θα ξεπερνούν τα 50 m), πράγμα που συνεπάγεται αυξημένο κόστος, αλλά και δυσκολία συντήρησης των οργάνων. Έτσι, συνηθίζεται οι μετρήσεις να καταγράφονται σε ύψη π.χ. 10 ή 30 m πάνω από το έδαφος και με τον προσδιορισμό του συντελεστή τραχύτητας να γίνονται οι απαραίτητες αναγωγές.

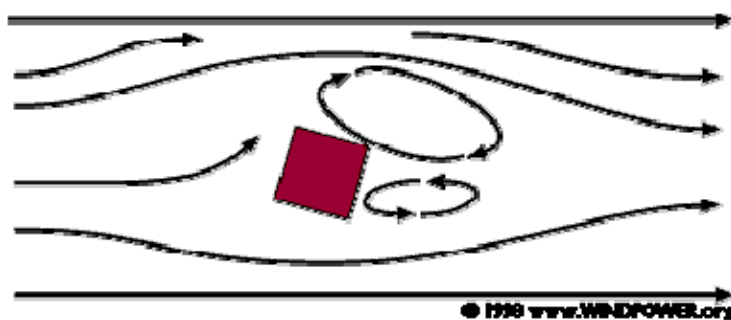
- **Επίδραση κτιρίων/δέντρων στην μεταβλητότητα του ανέμου**

Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την μεταβλητότητα του ανέμου και προκαλεί διακυμάνσεις είναι η αυξημένη τραχύτητα του εδάφους λόγω δέντρων και κτιρίων. Και τα δύο αποτελούν εμπόδια στη ροή, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα και να αυξάνεται η τύρβη.

Εικόνα 2.3 : Πλάγια όψη των γραμμών ροής του ανέμου από την ύπαρξη κτιρίου



Εικόνα 2.4 : Κάτοψη των γραμμών ροής του ανέμου από τη ύπαρξη κτιρίου



2.1.4 Ισχύς ανέμου

Οι μεγάλες μάζες του ανέμου, που διαρκώς μετακινούνται στην ατμόσφαιρα, περιέχουν τεράστια ποσά ενέργειας που προσφέρονται περισσότερο από κάθε άλλη μορφή ενέργειας για μετατροπή και εκμετάλλευση.

Η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ένα ρεύμα αέρα διατομής A , ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας V και πυκνότητας ρ , υπολογίζεται από τη σχέση :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου, γεγονός που έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία, αφού η ταχύτητα δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια με το χρόνο. Η ευρύτατη αυτή χρονική μεταβολή επιβάλλει ένα ξεχωριστό τρόπο επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων, στην περίπτωση ενδιαφέροντος για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και για εύρεση της κατάλληλης A/Γ για μια ορισμένη περιοχή.

2.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η ύπαρξη πειραματικών δεδομένων από την περιοχή μελέτης δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης του αιολικού δυναμικού, καθώς επίσης και της παραγόμενης ενέργειας από το σύνολο των εγκατεστημένων Α/Γ. Για την επίτευξη της αξιολόγησης θα χρησιμοποιηθεί στατιστική ανάλυση, εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων που καταγράφονται, η οποία βασίζεται σε μαθηματικές εκφράσεις που δηλώνουν τη σχέση των παραμέτρων μεταξύ τους.

2.2.1 Υπολογισμοί & κατανομές ταχυτήτων ανέμου

Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού μιας θέσης απαιτείται η γνώση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, ενέργειας που μεταβάλλεται όμως με το χρόνο. Αντιπροσωπευτική τιμή αυτής μπορεί να είναι η μέση ετήσια τιμή, η οποία όμως για να υπολογισθεί απαιτεί τη γνώση της διάρκειας πνοής των ανέμων κάθε κατηγορίας, ή κλίμακας ταχυτήτων.

Με την ύπαρξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι δυνατή για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού η εφαρμογή αναλυτικής έκφρασης της διάρκειας πνοής του ανέμου, ή της πυκνότητας πιθανότητας πνοής ανέμων. Γι' αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι προσαρμογής αναλυτικών εκφράσεων σε διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις, τρεις από τις οποίες είναι η κατανομή Weibull, Rayleigh και Lognormal [Celik, 2002]. Ετήσιες και μηνιαίες στατιστικές μοντελοποιήσεις δείχνουν ότι η κατανομή Weibull αποτελεί μία αξιόπιστη πρόταση για την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων [Roney, 2007]. Η αναλυτική σχέση Weibull για την πυκνότητα πιθανότητας έχει ευρύτατη προσαρμογή, περιγράφοντας τις διακυμάνσεις του ανέμου με αποδεκτή ακρίβεια και αυτός είναι και ο λόγος που έχει γενικά καθιερωθεί.

- **Κατανομή Weibull**

Η κατανομή Weibull συνήθως χρησιμοποιείται στην επιστήμη μηχανικών αιολικής ενέργειας, αφού προσεγγίζει ικανοποιητικά την κατανομή πολυάριθμων παρατηρήσεων μέσης ταχύτητας ανέμου, σε ένα μεγάλο εύρος τοποθεσιών. Ένα από τα πλεονεκτήματα της επιλογής της αναλυτικής σχέσης Weibull για την παρουσίαση της κατανομής των ταχυτήτων του ανέμου είναι ότι μπορεί να μετατρέψει την κατανομή των ταχυτήτων από το ύψος των 10m σε κατανομή οποιοδήποτε άλλου ύψους [Bagiorgas, 2006].

Η εν λόγω είναι μία διπαμετρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας, εξαιρετικά ευέλικτη, με παραμέτρους κλίμακας (c) και μορφής (k). Στην κατανομή Weibull οι μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου χαρακτηρίζονται από δύο συναρτήσεις, τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και την αθροιστική κατανομή συχνοτήτων.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δημιουργείται από τις χρονοσειρές δεδομένων και από αυτές προσδιορίζονται οι παράμετροι των κατανομών [Celik]. Εκφράζει το ποσοστό του χρόνου για τον οποίο ο άνεμος έχει μια συγκεκριμένη ταχύτητα V , και έχει την ακόλουθη αναλυτική έκφραση :

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

Η αθροιστική κατανομή συχνοτήτων της ταχύτητας u 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 , και έχει την ακόλουθη αναλυτική έκφραση :

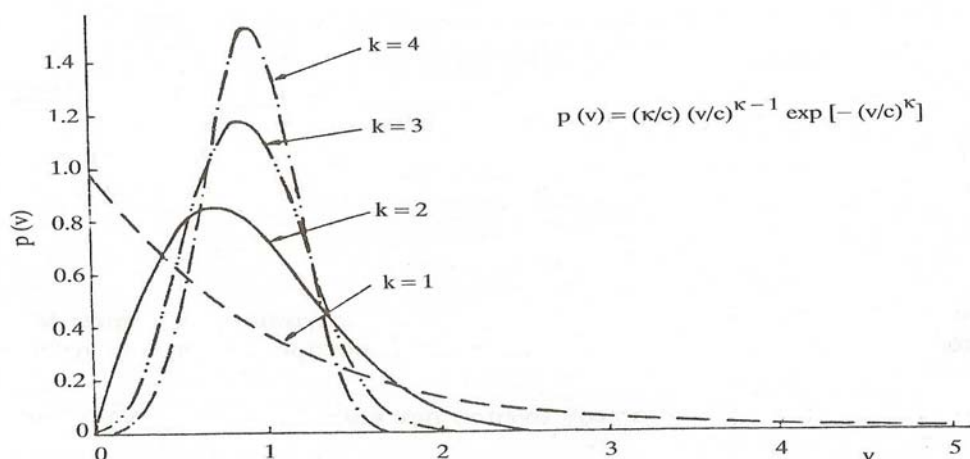
$$P(V) = \int_0^{V_x} P(V) dV = 1 - e^{\left[-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k\right]}$$

Η παράμετρος κλίμακας c , χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει το πόσο ανεμώδης είναι η υπό μελέτη περιοχή (σε μεγάλη κλίμακα). Η παράμετρος μορφής k , δηλώνει το πόσο “αιχμηρή” είναι η κατανομή. Για τιμές k κοντά στη μονάδα η κατανομή των συχνοτήτων της ταχύτητας του ανέμου είναι σχετικά επίπεδη και υποδηλώνει ένα υψηλό εύρος τιμών ταχυτήτων, ενώ για τιμές k μεγαλύτερες ή ίσες του 3 η κατανομή θα παρουσιάζει έντονη αιχμή και οι ταχύτητες του ανέμου θα τείνουν να είναι γύρω από συγκεκριμένη τιμή [Celik, 2002].

Για την ανάλυση ενός αιολικού συστήματος, με την χρήση της κατανομής Weibull, απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων κλίμακας (c) και μορφής (k). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού αυτών των παραμέτρων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθοι :

1. Γραφική μέθοδος (Graphical method)
2. Μέθοδος τυπικής απόκλισης (Standard deviation method)
3. Μέθοδος απόκλισης στατιστικού δείγματος (Moment method)
4. Μέθοδος μέγιστου ενδεχομένου (Maximum likelihood method)
5. Μέθοδος ενεργειακού δείγματος σταθερού όρου (Energy pattern factor method) [Sathyaajith, 2006]

Εικόνα 2.5 : Τυπική μορφή κατανομής Weibull



Πηγή : Μπεργελές, 2005

2.2.2 Εξαγωγή ισχύος & σχετικοί δείκτες

- **Ισχύς ανέμου & ανεμογεννήτριας – Συντελεστής ισχύος**

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ένα ρεύμα αέρα διατομής A , ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας V και πυκνότητας ρ υπολογίζεται από τη σχέση :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A$$

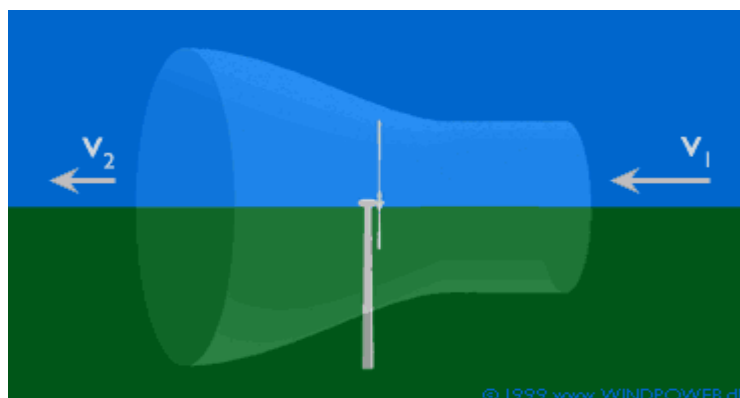
Η ισχύς όμως, που παρέχει η έλικα, είναι μικρότερη από την ισχύ του ανέμου και δίνεται από την ακόλουθη έκφραση :

$$P_{A/\Gamma} = C_p \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A$$

Το μέγεθος C_p ονομάζεται συντελεστής ισχύος και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο ότι το C_p δεν είναι αυστηρά ο βαθμός απόδοσης του δρομέα αφού αναφέρεται σε μια ισχύ που δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ολόκληρη, ακόμη και με ιδανική έλικα. Από το θεμελιώδη φυσικό νόμο του Betz, για την αεροδυναμική των Α/Γ, προκύπτει ότι μία ιδανική Α/Γ μπορεί να επιβραδύνει την ταχύτητα του ανέμου κατά ένα τρίτο από την αρχική. Δηλαδή η μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος είναι :

$$C_p = \frac{19}{27}$$

Εικόνα 2.6 : Παρεκτροπή ανέμου από την ύπαρξη Α/Γ



Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος του δρομέα θα είναι ακόμα μικρότερος, λόγω φαινόμενων συνεκτικότητας, πεπερασμένου αριθμού πτερυγίων και της υπάρχουσας συστροφής του ρεύματος του αέρα πίσω από το δρομέα, η οποία τελικά αποτελεί απώλεια ενέργειας λόγω μη μετατροπής της σε πίεση [Μπεργελές, 2005].

- **Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (Power curve)**

Η καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ δείχνει πόσο μεγάλη είναι η απόδοση της ηλεκτρικής ισχύος σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου και βασίζεται συνήθως σε μετρήσεις πεδίου με χαμηλή ένταση τύρβης.

Στην πραγματικότητα, στο διάγραμμα δεν απεικονίζεται μια καλοσχηματισμένη καμπύλη αλλά ένα πλήθος διασκορπισμένων σημείων. Αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα του ανέμου πάντα μεταβάλλεται και είναι αρκετά δύσκολο να μετρηθεί η ακριβής τιμή της. Έτσι, για να διευκολυνθεί η απεικόνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των διαφόρων μετρήσεων για κάθε εύρος ταχυτήτων και να σχεδιαστεί η καμπύλη μέσω αυτών των σημείων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η καμπύλη ισχύος δεν χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας ισχύος που παράγει η Α/Γ σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα αλλά για το πόσο μεγαλώνει η παραγωγή με την αύξηση της ταχύτητας. Ακόμη, σημαντικό στοιχείο για την εγκυρότητα της καμπύλης ισχύος αποτελεί ο τρόπος υπολογισμού των μέσων τιμών των ταχυτήτων.

- **Συντελεστής χωρητικότητας (Capacity factor)**

Ο συντελεστής χωρητικότητας αποτελεί ένα μέτρο της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης της μηχανής και ορίζεται ως ο λόγος της εκτιμώμενης ή πραγματικής παραχθείσας ενέργειας προς την ενέργεια που θα παραγόταν, αν η μηχανή λειτουργούσε κάθε ώρα του έτους σε πλήρη ονομαστική ισχύ [Voorspools, 2005].

$$CF = \frac{E}{E_R} = \frac{\bar{P}}{P_R}$$

Όπου E η ενέργεια που παράγει κατά τη διάρκεια του έτους η Α/Γ, P_R η ονομαστική ισχύς της Α/Γ, E_R η ενέργεια που θα παραγόταν αν η μηχανή λειτουργούσε κάθε ώρα του έτους στην ονομαστική ισχύ ($E_R = 8.760 P_R$) και $\bar{P}$ η μέση ισχύς που φαίνεται να έχει η Α/Γ (στατιστικά) κατά τη διάρκεια του έτους.

Από στατιστικές μελέτες έχει διαπιστωθεί η σοβαρότητα διακύμανσης του συντελεστή χωρητικότητας κατά τη διάρκεια του έτους λόγω της διακύμανσης της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου. Αποτέλεσμα από τέτοιες μελέτες είναι να θεωρείται ότι μία Α/Γ με μέσο ετήσιο συντελεστή χωρητικότητας πάνω από 25% είναι καλής σχεδίασης και κατασκευής [Μπεργελές, 2005].

Κεφάλαιο 3^ο

3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ – ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας αιολικής εγκατάστασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ενεργειακή της παραγωγή στη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας της. Αντίστοιχα, η ενεργειακή παραγωγή καθορίζεται από το τοπικό αιολικό δυναμικό και από την τεχνική διαθεσιμότητα των χρησιμοποιούμενων μηχανών [Μπεργελές, 2005].

Γενικά η οικονομική αποδοτικότητα, και συνεπώς η βιωσιμότητα των Α/Π αποτελεί, χωρίς αμφιβολία, κρίσιμο παράγοντα που επηρεάζει την περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίηση τους. Χρησιμοποιώντας διάφορους δείκτες για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας αυτής διαπιστώνεται ότι τις περισσότερες φορές φαίνεται να παράγουν “ακριβή” ενέργεια κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας τους, αφού το αρχικό κεφάλαιο είναι ιδιαίτερα υψηλό. Μετά τη περίοδο αυτή όμως η ενέργεια που παράγεται γίνεται “φθηνή”, καθώς επιβαρύνεται μόνο από το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, τα διοικητικά έξοδα κ.λπ.. Για τους λόγους αυτούς στόχος μας είναι να διερευνηθεί και να αξιολογηθεί η οικονομική αποδοτικότητα μιας πραγματικής περίπτωσης αιολικού πάρκου, προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο αυτό το είδος επένδυσης είναι ελκυστικό, με βάση οικονομικά κριτήρια της αγοράς, υπό ποιες προϋποθέσεις και με τι υποστήριξη.

3.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας αιολικής ενεργειακής μονάδας εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων. Οι κυριότεροι είναι το κόστος αγοράς της Α/Γ και της γης – υποδομής για την εγκατάσταση, το αιολικό δυναμικό της περιοχής, ο συντελεστής χωρητικότητας της Α/Γ και η διάρκεια ζωής του, το κόστος της kWh που παράγεται από συμβατικούς ενεργειακούς σταθμούς. Υπάρχουν επίσης και άλλοι μικρότερης σημασίας παράγοντες. Όλοι οι παραπάνω οικονομικοί παράγοντες εμπλέκονται κατά τη διαδικασία ελέγχου της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης σε αιολικό ενεργειακό σταθμό, γεγονός που επιβάλλει την αναγκαία σοβαρότητα στην οικονομική μελέτη.

Κάποιοι από τους παραπάνω οικονομικούς παράγοντες έχουν μεγαλύτερο και κάποιοι μικρότερο περιθώριο αβεβαιότητας, και ως εκ τούτου η σταθμιστική τους επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη [Μπεργελές, 2005].

3.1.1 Κόστος ανεμογεννήτριας & διάρκεια ζωής της

Το κόστος πώλησης μιας Α/Γ εξαρτάται κυρίως από την τυποποίηση της κατασκευής της μηχανής αλλά και το πλήθος των μηχανών που κατασκευάζονται και πωλούνται. Είναι αρκετά συνηθισμένη η περίπτωση μείωσης του κατασκευαστικού κόστους της Α/Γ στο $\frac{1}{4}$ του κόστους κατασκευής της πρωτοτύπου μονάδας μετά την παραγωγή των πρώτων εκατό περίπου μηχανών [Μπεργελές, 2005]. Η μείωση αυτή του κόστους των Α/Γ προέρχεται από την τυποποίηση της κατασκευής, καθώς επίσης και από την αύξηση των πωλήσεών τους. Η πτωτική τάση της τιμής του κόστους της Α/Γ οδηγεί σήμερα σε μια εκτίμηση των 1.200 €/kW ονομαστικής ισχύος της.

Όλες οι Α/Γ σήμερα σχεδιάζονται για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20 ετών, ίσως και 30. Με την τεχνολογική βελτίωση των υλικών, τη μεγαλύτερη αντοχή των σε κόπωση, τη βελτίωση των μηχανουργικών επεξεργασιών, την αύξηση των γνώσεων σχετικά με την αλληλεπίδραση ανέμου και αιολικής μηχανής, σε συνδυασμό με τη χρήση κωδικών ηλεκτρονικού υπολογιστή, που επιτρέπουν την ακριβή γνώση των φορτίων σε μεταβαλλόμενες ανεμολογικές συνθήκες, είναι περισσότερο σίγουρο ότι οι μηχανές μπορούν να επιτύχουν μεγάλη διάρκεια ζωής [Μπεργελές, 2005]. Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής της Α/Γ έχει άμεση επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, η παραδοχή των 20 ετών ως διάρκεια ζωής της Α/Γ αποτελεί μια συντηρητική εκτίμηση.

3.1.2 Κόστος γης – υποδομής

Το κόστος της εγκατεστημένης Α/Γ επιβαρύνεται με το κόστος μεταφοράς της, συναρμολόγησής της, αγοράς ή ενοικίασης της γης. Επίσης πολλές φορές σημαντικό μέρος του κόστους αποτελεί η δημιουργία της κατάλληλης υποδομής, απαραίτητης για τη μεταφορά, εγκατάσταση και λειτουργία της Α/Γ, όπως η διάνοιξη δρόμων ικανών να επιτρέπουν την κίνηση μεγάλων γερανών για τη μεταφορά του πύργου, των πτερυγίων ή του κουβουκλίου της Α/Γ. Ακόμη απαιτούνται έργα πολιτικού μηχανικού για τη θεμελίωση της Α/Γ, τη διαμόρφωση του χώρου για τη θεμελίωσή του, καθώς επίσης και για την εγκατάσταση του οικίσκου, όπου πρόκειται να τοποθετηθούν (για μεγάλες μηχανές) τα όργανα παρακολούθησης του αιολικού σταθμού. Σημαντικό κομμάτι στη διαμόρφωση του τελικού κόστους έχει ο ηλεκτρικός υποσταθμός, καθώς και οι γραμμές μεταφοράς. Τέλος δεν θα πρέπει να παραληφθεί η συμβολή στο κόστος της απαραίτητης αντικεραυνικής προστασίας της Α/Γ.

Όλα τα παραπάνω έξοδα επιβαρύνουν το αρχικό κόστος της Α/Γ, και όπως έχουν δείξει στατιστικές μελέτες, το συνολικό κόστος επένδυσης για ένα αιολικό ενεργειακό σταθμό αυξάνει με την ονομαστική ισχύ των Α/Γ.

3.1.3 Αιολικό δυναμικό εξεταζόμενης περιοχής – Συντελεστής χωρητικότητας ανεμογεννήτριας

Η ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού στην υπό μελέτη περιοχή έχει άμεση επίδραση στην ενεργειακή παραγωγή της Α/Γ, κυρίως λόγω της κυβικής μεταβολής της αιολικής ισχύος με την ταχύτητα του ανέμου. Κατά συνέπεια, βασικός παράγοντας που επιδρά στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης είναι η επιλογή κατάλληλης θέσης εγκατάστασης της Α/Γ.

Εκτός από το αιολικό δυναμικό της περιοχής, σημαντική επίδραση στην ενεργειακή παραγωγή της Α/Γ έχει η καλή αεροδυναμική του σχεδίαση, ώστε να αποδίδει τη μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια στη συγκεκριμένη θέση. Η σχεδίαση των Α/Γ, μηχανολογική, ηλεκτρολογική και κυρίως αεροδυναμική, οδήγησε στην κατασκευή μηχανών υψηλού βαθμού απόδοσης. Ο συντελεστής χωρητικότητας της Α/Γ ουσιαστικά υποδηλώνει την ποιότητα σχεδίασης – κατασκευής του. Ιδιαίτερη σημαντικότητα παρουσιάζει η διακύμανση του συντελεστή χωρητικότητας κατά τη διάρκεια του έτους, λόγω της διακύμανσης της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου. Η ελάχιστη τιμή του μπορεί να είναι γύρω στο 15% και η μέγιστη στο 35%. Σήμερα θεωρείται ότι μία Α/Γ με μέσο ετήσιο συντελεστή χωρητικότητας πάνω από 25% είναι καλής σχεδίασης και κατασκευής.

3.1.4 Κόστος kWh από συμβατικούς & αιολικούς ενεργειακούς σταθμούς

Με το πέρασμα του χρόνου φαίνεται ότι η αιολική kWh εδραιώνεται στην παγκόσμια αγορά, είναι συγκρίσιμη, και μάλιστα φθηνότερη από άποψη κόστους με το κόστος της kWh από συμβατικούς πετρελαϊκούς σταθμούς. Στη χώρα μας, και ειδικότερα στα νησιά του Αιγαίου, συνυπάρχουν δύο παράγοντες που ευνοούν την εγκατάσταση των αιολικών μηχανών. Ο πρώτος παράγοντας είναι το υψηλό αιολικό δυναμικό των νησιών και ο δεύτερος το υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας από αυτόνομες, συνήθως μικρής ισχύος, νηξελιοηλεκτρικές μηχανές ηλεκτροπαραγωγής των νησιών.

Το κόστος της kWh του αυτόνομου σταθμού Diesel του νησιού εξαρτάται βασικά από την ισχύ του σταθμού (μέγεθος μηχανής) και από ένα χαρακτηριστικό μέγεθος, που δείχνει τη διακύμανση του φορτίου. Για μικρούς σταθμούς (70-100 kW) η ειδική κατανάλωση πετρελαίου μπορεί να πάρει υψηλές τιμές, όπως π.χ. 0,78 g/kWh, ενώ για μεγάλες αυτόνομες εγκαταστάσεις (40 MW) παίρνει χαμηλές τιμές, όπως π.χ. 0,23 g/kWh[Μπεργελές, 2005].

Η λειτουργία της Α/Γ σε ένα νησί οδηγεί ουσιαστικά σε εξοικονόμηση καυσίμου, πράγμα που συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης αιολικών συστημάτων.

3.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της επένδυσης ενός συγκεκριμένου Α/Π, ή γενικότερα κάποιου έργου ανανεώσιμης ενέργειας, λαμβάνονται υπόψη κάποιες οικονομικές παράμετροι, οι οποίες υπολογίζονται με βάση τις εκάστοτε συνθήκες και αναλύονται παρακάτω.

3.2.1 Ταμειακές ροές

Η προβλεπόμενη εκτίμηση των ταμειακών ροών ενός επενδυτικού έργου στηρίζεται στην απόλυτη διάκριση ανάμεσα στο επενδυτικό έργο και την επιχείρηση που επενδύει. Ο σκοπός είναι να υπολογισθούν οι συμπληρωματικές ετήσιες ταμειακές ροές που θα αποφέρει η πραγματοποίηση της επένδυσης στην επιχείρηση. Έτσι, από την απόκτηση ενός εξοπλισμού, ο οποίος αυξάνει την ικανότητα παραγωγής μιας επιχείρησης, η επιχείρηση αυτή περιμένει αύξηση των εσόδων της, που προέρχονται από τις συμπληρωματικές πωλήσεις που θα πραγματοποιήσει και ταυτόχρονα, περιμένει επίσης αύξηση των εξόδων της σε πρώτες ύλες. Είναι λοιπόν οι διαφορές των ετήσιων αυξήσεων των εσόδων και εξόδων που αποτελούν τις ταμειακές ροές. Να σημειωθεί ότι η πρώτη από τις ταμειακές ροές αποτελεί την αρχική δαπάνη της επένδυσης.

3.2.2 Περίοδος απόδοσης κεφαλαίου

Η περίοδος απόδοσης κεφαλαίου αποτελεί βασικό δείκτη της οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης και είναι ο χρόνος επιστροφής του κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης μέσω των κερδών του προγράμματος. Ως “κέρδος” ορίζεται το καθαρό κέρδος μετά τους φόρους συν τα έξοδα χρηματοδότησης και την απόσβεση. Στον υπολογισμό των κερδών ο φορολογικός συντελεστής λαμβάνεται 35%, ενώ οι αποσβέσεις προκύπτουν με βάση τη γραμμική μέθοδο, σύμφωνα με την οποία η ετήσια επιβάρυνση από αποσβέσεις είναι το πηλίκο του αρχικού κόστους επένδυσης προς τον αριθμό των ετών χρήσεως που έχουν προβλεφθεί.

3.2.3 Διάρκεια μέχρι την πρώτη θετική συσσωρευτική ταμειακή ροή

Η χρονική στιγμή κατά την οποία θα υπάρξει θετική συσσωρευτική ταμειακή ροή για το έργο, υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των ακραίων εκείνων διαδοχικών τιμών, για τις οποίες η πρώτη συσσωρευτική ταμειακή ροή είναι αρνητική και η αμέσως επόμενη θετική.

3.2.4 Απλός συντελεστής απόδοσης κεφαλαίου

Είναι δυνατόν η εκτίμηση της αποδοτικότητας ενός επενδυτικού έργου να σχετίζεται με την εκτίμηση της αποδοτικότητας μιας επιχείρησης. Σχηματίζεται λοιπόν ένας δείκτης, του οποίου ο αριθμητής είναι οι αναμενόμενες ταμειακές ροές του επενδυτικού έργου και ο παρονομαστής είναι η αρχική του δαπάνη. Αν και ο απλός συντελεστής απόδοσης κεφαλαίου επιτρέπει την ταξινόμηση των επενδυτικών έργων, τα οποία βρίσκονται σε ανταγωνισμό, δεν επιτρέπει να ληφθεί η απόφαση αποδοχής ή απόρριψης αυτών των έργων.

3.2.5 Καθαρή Παρούσα Αξία

Η καθαρή παρούσα αξία εκφράζει όλες τις ταμειακές ροές του επενδυτικού σχεδίου στην παρούσα αξία τους, δηλαδή σε αυτήν που ισχύει τη στιγμή που παίρνουμε την απόφαση για την επένδυση. Η καθαρή παρούσα αξία προκύπτει αν προεξοφλήσουμε στο παρόν, για κάθε έτος χωριστά, τη διαφορά μεταξύ όλων των μελλοντικών ταμειακών εισροών και εκροών του επενδυτικού σχεδίου με βάση ένα κατάλληλο συντελεστή προεξόφλησης. Για τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας καταγράφονται τα αρχικά μεγέθη των ταμειακών ροών και υπολογίζεται η καθαρή ταμειακή ροή, η διαφορά δηλαδή μεταξύ εισροών και εκροών. Επιλέγεται επίσης ένα κατάλληλο επιτόκιο προεξόφλησης, σύμφωνα με τις τρέχουσες χρηματοοικονομικές συνθήκες, στο οποίο έχει προστεθεί το περιθώριο “ρίσκου”, ή αλλιώς του επιχειρηματικού κινδύνου. Εφόσον η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, η αποδοτικότητα είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης, και επομένως η επένδυση είναι συμφέρουσα.

3.2.6 Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι ένας από τους σημαντικότερους δείκτες για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός έργου. Εκφράζει το επιτόκιο στο οποίο η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών είναι ίση προς την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών. Δηλαδή είναι το επιτόκιο για το οποίο η παρούσα αξία των καθαρών εισπράξεων από το επενδυτικό έργο είναι ίση με την παρούσα αξία της επένδυσης, οπότε η καθαρή παρούσα αξία είναι μηδέν. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης είναι ίδια με εκείνη που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας, με μόνη διαφορά ότι αντί για των προεξοφλούμενων ταμειακών ροών με προκαθορισμένο επιτόκιο, πρέπει να δοκιμάζονται διάφορα επιτόκια προεξόφλησης, μέχρι να βρεθεί εκείνο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία. Η λύση βρίσκεται με επαναληπτική διαδικασία και το επιτόκιο που προκύπτει αντιπροσωπεύει την κερδοφορία του επενδυτικού σχεδίου.

Κεφάλαιο 4^ο

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Η αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας θα πραγματοποιηθεί για την περίπτωση ενός ήδη εγκατεστημένου Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης, το οποίο έχει τεθεί σε λειτουργία εδώ και δύο χρόνια περίπου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από χρονοσειρές μετρήσεων που έδωσαν καταγραφικά μέσα, από ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες, όπως επίσης και αυτόματα καταγραφικά παραγόμενης ισχύος από κάθε Α/Γ.

Το Α/Π αποτελείται από έξι Α/Γ, ο τύπος των οποίων είναι VESTAS V52 850/52, πράγμα που σημαίνει ότι η ονομαστική ισχύς της κάθε ανεμογεννήτριας είναι 850 kW και η διάμετρος του ρότορα είναι 52 m. Στο συγκεκριμένο τύπο Α/Γ η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας είναι στα 4 m/s και η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας στα 25 m/s. Το ύψος του δρομέα επιλέχθηκε να είναι στα 55 m.

Εικόνα 4.1 : Εξεταζόμενη περίπτωση εγκατεστημένου Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης



Οι χρονοσειρές δεδομένων ταχύτητας προήλθαν από ανεμόμετρα που ήταν τοποθετημένα στα 10 και 30 m από το έδαφος, ενώ διεύθυνσης ανέμου από ανεμοδείκτες στα 19 και 29 m από το έδαφος. Ακόμη πρέπει να σημειωθεί η ύπαρξη θερμομέτρου στα 3 m. Οι χρονοσειρές των δεδομένων ήταν ανά δεκάλεπτο και για κάθε μια από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν, το καταγραφικό κάθε οργάνου έδινε μέγιστη, ελάχιστη, μέση τιμή, καθώς και τυπική απόκλιση για κάθε δεκάλεπτο. Η παροχή όλων αυτών των δεδομένων από τα καταγραφικά βοηθά τον μελετητή στην όσο γίνεται λεπτομερέστερη και εγκυρότερη ανάλυση τους, αλλά και στην πιο αξιόπιστη διεξαγωγή συμπερασμάτων. Έτσι, ανάλογα με την επιθυμητή ανάλυση μπορούν να επιλεγθούν οι κατάλληλες χρονοσειρές και να τύχουν επεξεργασίας, ώστε να συμβάλλουν στην επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος.

Οι έξι Α/Γ που εξετάστηκαν ήταν συνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ, και σχεδόν όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται σε αυτό - αν εξαιρεθεί ένα ποσοστό 2% περίπου, που αντιστοιχεί σε ηλεκτρικές απώλειες. Από καθεμία Α/Γ προήλθαν χρονοσειρές δεδομένων ισχύος ανά δεκάλεπτο, οι οποίες χρησίμευσαν στον προσδιορισμό της συνεισφοράς του Α/Π στην κάλυψη των τοπικών ενεργειακών αναγκών.

4.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του υπολογιστικού εργαλείου Excel και με βάση στατιστικά κριτήρια και μεθόδους. Η επιλογή αυτού του εργαλείου για τη στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών έγινε λόγω της ευρείας εφαρμογής του από μεγάλο αριθμό χρηστών, της εύκολης και γρήγορης επεξεργασίας - σε σχέση με άλλα προγράμματα -, αλλά και της αξιοπιστίας και ακρίβειας που το χαρακτηρίζει στους υπολογισμούς του.

Η ανάλυση των χρονοσειρών δεδομένων χωρίστηκε σε δύο τμήματα. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων που δίνουν τα διάφορα όργανα μέτρησης (ανεμόμετρα, ανεμοδείκτες, κ.α.). Από την επεξεργασία αυτών των στοιχείων μπορούν να βγουν συμπεράσματα για το αιολικό δυναμικό της εξεταζόμενης περιοχής, δηλαδή κατά πόσο οι επικρατούσες συνθήκες επιτρέπουν την βιωσιμότητα ενός αιολικού έργου και σε ποιο βαθμό επιτυγχάνεται αυτό. Στο δεύτερο μέρος πραγματοποιείται επεξεργασία των δεδομένων ισχύος από τη λειτουργία των Α/Γ. Από αυτό το στάδιο προκύπτουν οι ενεργειακοί υπολογισμοί, η συσχέτιση της εξαγόμενης ισχύος με την ταχύτητα του ανέμου, όπως επίσης και η αξιολόγηση της απόδοσης του πάρκου.

Τα δεδομένα αναφέρονται στην χρονολογική περίοδο από 1/3/2006 έως 1/1/2008. Για τη διευκόλυνση στους υπολογισμούς, αλλά και για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων, η παραπάνω περίοδος διαιρέθηκε σε δύο επιμέρους περιόδους, από 1/3/2006 έως 28/2/2007 η πρώτη και από 1/3/2007 έως 1/1/2008 η δεύτερη περίοδος. Με αυτό τον τρόπο μας δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε την εξέλιξη των ανεμολογικών χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης περιοχής για δύο χρόνια περίπου και να εξετάσουμε την επαναληψιμότητά τους.

4.1.1 Επεξεργασία δεδομένων ταχύτητας ανέμου

Από τις χρονοσειρές δεδομένων που αναφέρονται στην ταχύτητα του ανέμου θα επιλέξουμε για τους υπολογισμούς αυτή που αναφέρεται στη μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά δεκάλεπτο. Στόχος μας είναι ο προσδιορισμός της μέσης μηνιαίας ταχύτητα ανέμου, ώστε να μελετηθεί η εποχιακή διακύμανση των τιμών της και κατ' επέκταση να αξιολογηθεί η εποχιακή αποδοτικότητα των Α/Γ. Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου, V_m , θα χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη σχέση :

$$V_m = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3 \right)^{1/3}$$

Όπου n ο αριθμός των δεκαλέπτων, και V_i η τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου σε κάθε δεκάλεπτο.

Ο υπολογισμός της μέσης μηνιαίας ταχύτητας θα πραγματοποιηθεί και για τις δύο χρονικές περιόδους, αλλά και για τα δεδομένα που προκύπτουν και από τα δύο ανεμόμετρα που έχουν τοποθετηθεί [Ανεμόμετρο C2 (10 m) & Ανεμόμετρο C4 (30 m)]. Από τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου μπορεί να υπολογισθεί η ετήσια τιμή ταχύτητας ανέμου.

Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου της περιοχής, αλλά χρειάζονται αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων. Για το σκοπό αυτό, πριν πάρουμε την τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή, είναι απαραίτητο να συγκεντρώσουμε τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, να τα επεξεργαστούμε στατιστικά και να δημιουργήσουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας ανέμων. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη κατανομή πιθανότητας είναι η κατανομή Weibull, η οποία περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα σε περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος. Η εν λόγω διανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας βάσει δύο μόνο παραμέτρων. Η αναλυτική έκφραση της κατανομής Weibull δίνεται σαν :

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

Για την απεικόνιση της κατανομής Weibull ιδιαίτερη επίδραση έχουν οι τιμές των παραμέτρων κλίμακας και μορφής. Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω σχέση για το σύνολο των παρατηρήσεων, θα υπολογισθούν οι παράμετροι κλίμακας και μορφής, ακολουθώντας τις παρακάτω μεθόδους:

- **Υπολογισμός συντελεστή μορφής k , με τη μέθοδο του ενεργειακού δείγματος σταθερού όρου**

Ο σταθερός όρος ενεργειακού δείγματος είναι ο λόγος μεταξύ της συνολικής διαθέσιμης ισχύος από τον άνεμο και της ισχύος που αντιστοιχεί στον κύβο της μέσης ταχύτητας ανέμου. Δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$E_{PF} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \right)^3}$$

Μετά τον υπολογισμό του σταθερού όρου ενεργειακού δείγματος (energy pattern factor) για ένα σύστημα, ακολουθεί μια προσεγγιστική λύση για τον συντελεστή μορφής k :

$$k = 3.957 \cdot E_{PF}^{-0.898}$$

- **Υπολογισμός συντελεστή κλίμακας c , με τη μέθοδο μέγιστου ενδεχομένου**

Από τη μέθοδο του μέγιστου ενδεχομένου πραγματοποιείται ο προσδιορισμός του συντελεστή κλίμακας c , από την ακόλουθη σχέση :

$$c = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right]^{1/k}$$

4.1.2 Επεξεργασία δεδομένων διεύθυνσης ανέμου

Για την απεικόνιση της κατανομής της συχνότητας των διευθύνσεων του ανέμου χρησιμοποιήθηκε το ροδόγραμμα του ανέμου (wind rose). Το ροδόγραμμα του ανέμου σχεδιάζεται με βάση μετεωρολογικές παρατηρήσεις που καταγράφονται στην υπό μελέτη περιοχή και διαφέρει από το ένα μέρος στο άλλο, καθιστώντας το έτσι ως το “μετεωρολογικό αποτύπωμα” για κάθε περιοχή. Για τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς η περίμετρος του κύκλου, η οποία εκφράζεται σε μοίρες. Ο κύκλος επιλέχθηκε να χωριστεί σε δεκαέξι διευθύνσεις, με τον βορρά να αντιστοιχεί στη θέση 0° , την ανατολή στη θέση 90° , το νότο στη θέση 180° και τη δύση στη θέση 270° . Θα πραγματοποιηθεί απεικόνιση ροδογραμμάτων για τις δύο χρονικές περιόδους χωριστά, και σε κάθε ένα θα φαίνεται η κατανομή της συχνότητας των διευθύνσεων του ανέμου και από τους δύο ανεμοδείκτες που χρησιμοποιήθηκαν – Ανεμοδείκτης A1 (19 m) & Ανεμοδείκτης A7 (29 m).

Εκτός από τα ροδογράμματα της διεύθυνσης του ανέμου, θα απεικονισθούν και ροδογράμματα, τα οποία αντιστοιχούν στην μέση τιμή ταχύτητας ανέμου που επικρατεί ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου. Από αυτά τα γραφήματα δηλαδή

φαίνεται σε ποιες διευθύνσεις σημειώνονται οι πιο αξιόλογες ταχύτητες ανέμου. Με την σωστή ερμηνεία όλων αυτών των απεικονίσεων επιτυγχάνεται η πιο ακριβής τοποθέτηση των Α/Γ, ώστε να εξασφαλίζεται όσο γίνεται μεγαλύτερη απόδοση.

4.1.3 Επεξεργασία δεδομένων ισχύος ανεμοκινητήρα

Το εξεταζόμενο Α/Π αποτελείται από έξι Α/Γ, η καθεμία από τις οποίες δίνει μια χρονοσειρά δεδομένων ισχύος. Από αυτά τα στοιχεία υπολογίζεται η μέση μηνιαία ισχύς για καθεμία Α/Γ, αλλά και η μέση μηνιαία ισχύς από το σύνολο των Α/Γ του Α/Π. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να απεικονισθεί η εποχικότητα της ισχύος και για τις δύο χρονικές περιόδους μελέτης.

Ένας σημαντικός παράγοντας της ενεργειακής απόδοσης της Α/Γ είναι ο συντελεστής χωρητικότητας, που ορίζεται ως ο λόγος της εκτιμώμενης ή πραγματικής παραχθείσας ενέργειας προς την ενέργεια που θα παραγόταν, αν η μηχανή λειτουργούσε κάθε ώρα του έτους σε πλήρη ονομαστική ισχύ.

$$CF = \frac{E}{E_R} = \frac{\bar{P}}{P_R}$$

Όπου E η ενέργεια που παράγει κατά τη διάρκεια του έτους η Α/Γ, P_R η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (850 kW), E_R η ενέργεια που θα παραγόταν αν η μηχανή λειτουργούσε κάθε ώρα του έτους στην ονομαστική ισχύ (E_R = 8.760 P_R) και $\bar{P}$ η μέση ισχύς που φαίνεται να έχει η Α/Γ (στατιστικά) κατά τη διάρκεια του έτους.

Έτσι υπολογίζεται ο μηνιαίος συντελεστής χωρητικότητας για κάθε Α/Γ, αλλά και ο μηνιαίος συντελεστής χωρητικότητας για το Α/Π συνολικά, και απεικονίζεται η διακύμανσή του κατά τη διάρκεια του έτους.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής μέσω του συντελεστή χωρητικότητας, από την ακόλουθη σχέση :

$$E = 8.760 * \Delta * \omega * N_0$$

Όπου E η ετήσια ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου, Δ η μέση ετήσια διαθεσιμότητα της εγκατάστασης, ω ο μέσος ετήσιος συντελεστής χωρητικότητας και N₀ η ονομαστική ισχύς μιας αιολικής μηχανής.

Η τιμή που θα προκύψει από την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης, από τα πειραματικά δεδομένα, θα συγκριθεί με την τιμή της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής από τη χρήση της προσαρμοσμένης σε αυτά καμπύλης Weibull, κατά το επόμενο στάδιο της μεθοδολογίας με τη χρήση του λογισμικού RETScreen International.

Μια εξίσου ενδιαφέρουσα απεικόνιση είναι η καμπύλη ισχύος της Α/Γ, η οποία δείχνει πόσο μεγάλη είναι η απόδοση της ηλεκτρικής ισχύος σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου. Για τον σχηματισμό της καμπύλης ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των διαφόρων μετρήσεων ισχύος για κάθε εύρος ταχυτήτων, και να σχεδιαστεί η καμπύλη μέσω αυτών των σημείων.

Στην περίπτωση μας το διάγραμμα θα περιλαμβάνει έξι καμπύλες ισχύος, μία για κάθε Α/Γ, και τα εύρη των ταχυτήτων θα αναφέρονται σε ύψος 55 m από το έδαφος (ύψος της κεφαλής του δρομέα). Ο υπολογισμός της ταχύτητας στα 55 m πραγματοποιήθηκε με χρήση της σχέσης :

$$V_r = V_0 \left[\frac{H_r}{H_0} \right]^a$$

Όπου V_r η ταχύτητα στο ύψος αναγωγής – 55 m - (σε m/s), V_0 η ταχύτητα στο ύψος μέτρησης – 10 m - σε (m/s), H_r το ύψος αναγωγής – 55 m - (σε m), H_0 το ύψος μέτρησης – 10 m - (σε m) και a ο συντελεστής τραχύτητας, που υπολογίζεται από την ένταση της τύρβης στα 10 m από το έδαφος. Δηλαδή :

$$a = T_i(10m) = \frac{sdv}{V_{avg}}$$

Όπου T_i η ένταση της τύρβης στα 10 m από το έδαφος, sdv η τυπική απόκλιση της ταχύτητας και V_{avg} η μέση ταχύτητα σε κάθε δεκάλεπτο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η καμπύλη ισχύος δεν χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας ισχύος που παράγει η Α/Γ σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα, αλλά για το πόσο μεγαλώνει η παραγωγή με την αύξηση της ταχύτητας.

4.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RETScreen INTERNATIONAL

Το RETScreen International είναι ένα τυποποιημένο και ολοκληρωμένο εργαλείο ανανεώσιμης ενέργειας που βοηθά στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με αυτή. Το λογισμικό RETScreen, που αφορά στην αιολική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για την εύκολη αξιολόγηση της ενεργειακής παραγωγής, του κύκλου ζωής του κόστους, καθώς επίσης της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για διαφόρων ειδών δίκτυα (κεντρικά, απομακρυσμένα, κ.α.), αλλά και διαφόρων ειδών Α/Π (μεγάλου, μικρού μεγέθους).

Το συγκεκριμένο λογισμικό αναπτύχθηκε στον Καναδά από την υπηρεσία Natural Resource Canada's (NRCan) CANMET Energy Diversification Research Laboratory (CEDRL), με τη συνεισφορά πολλών επιστημόνων της Καναδικής κυβέρνησης και της εγχώριας βιομηχανίας. Παράλληλα το λογισμικό έχει αναπτυχθεί σε συνεργασία με τα προγράμματα United Nations Environment Programme's (UNEP) Division of Technology και το Earth Science Enterprise Program της υπηρεσίας National Aeronautics & Space Administration's (NASA), [RETScreen International, Clean Energy Decision Support Centre].

Η επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού, για την επεξεργασία των δεδομένων από το εξεταζόμενο Α/Π πραγματοποιήθηκε έπειτα από εκτενή αναζήτηση στο διαδίκτυο μιας ευρύτερης ομάδας παρόμοιων λογισμικών. Οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στην εφαρμογή του είναι :

- Αποτελεί ένα καινοτόμο εργαλείο που εμπεριέχει ενημερωμένες και εμπεριστατωμένες βάσεις δεδομένων - μετεωρολογικά δεδομένα διαφόρων περιοχών, χαρακτηριστικά Α/Γ, κ.α. - με απευθείας σύνδεση με το διαδίκτυο και ηλεκτρονικό εγχειρίδιο βοήθειας.
- Είναι αξιόπιστο, καθώς αναπτύχθηκε στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων και εφαρμόστηκε στην Καναδική βιομηχανία.
- Ενσωματώνει απλές λειτουργίες, αφού η μορφοποίησή του στηρίζεται στο ευρέως γνωστό λογισμικό πακέτο της Microsoft, το Excel.
- Υπολογίζει τα μεγέθη που σχετίζονται με την παραγόμενη ενέργεια του Α/Π, τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, την οικονομική βιωσιμότητα της προτεινόμενης επένδυσης.
- Συνθέτει με απλό τρόπο ενεργειακά και οικονομικά μεγέθη, προσφέροντας συμπεράσματα στο χρήστη για τον περαιτέρω σχεδιασμό και υλοποίηση του έργου, ενώ παράλληλα ο χρήστης δύναται να παρουσιάζει μια ανάλυση ευαισθησίας καθορίζοντας νέες παραδοχές και δεδομένα.

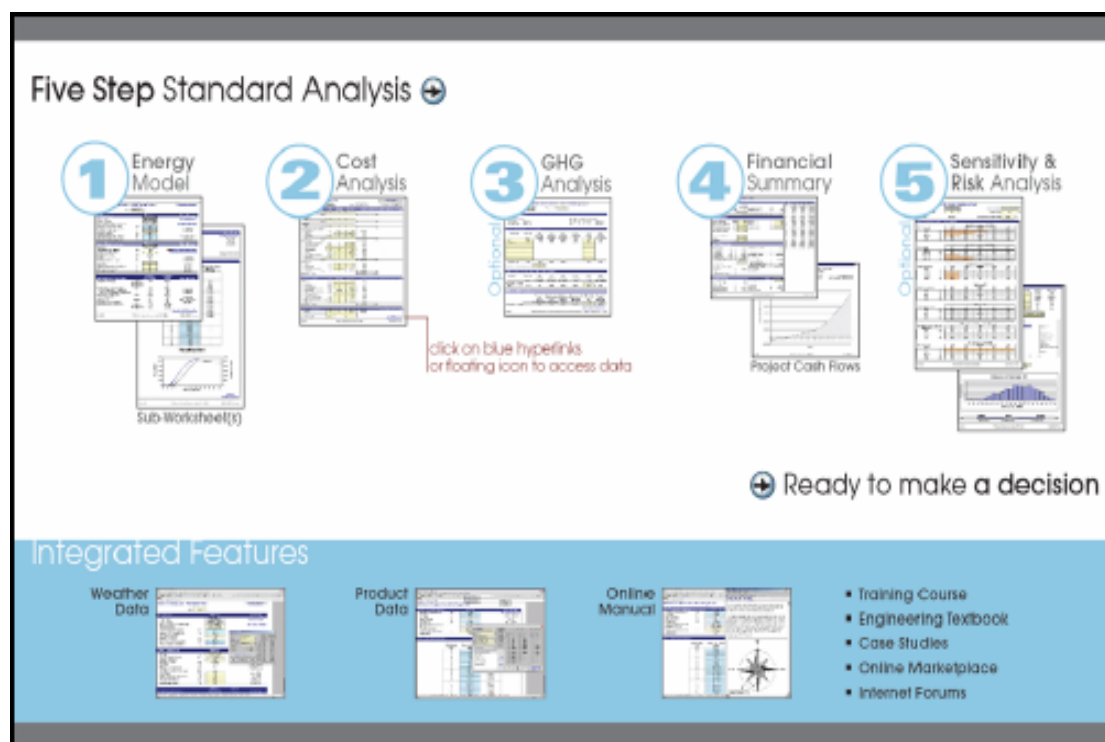
Η συμβολή του λογισμικού RETScreen International στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το εξεταζόμενο αιολικό πάρκο ήταν εξαιρετικά σημαντική, εφόσον χρησιμοποιήθηκε όχι μόνο για τις πραγματικές συνθήκες αλλά και για υποθετικές περιπτώσεις-σενάρια. Η επιμέρους εξέταση όλων των περιπτώσεων δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν αλλά και επιλογής της πλέον βιώσιμης ενεργειακής πολιτικής.

Τα σενάρια που εφαρμόστηκαν αφορούσαν σε αλλαγές στην ονομαστική ισχύ των εγκατεστημένων Α/Γ, στις επιδοτήσεις που μπορεί να χορηγηθούν, όπως επίσης και στο αιολικό δυναμικό της υπό μελέτης περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη ομάδα σεναρίων θα περιλαμβάνει υποθετική εγκατάσταση Α/Γ 1.650 kW (Vestas V82-1.65 MW) και 2.000 kW (Vestas V80-2 MW), αντί των 850 kW (Vestas V52-850 kW) που είναι ήδη εγκατεστημένοι. Με αυτό τον τρόπο θα εξετασθεί το κατά πόσο επηρεάζεται η περάτωση της επένδυσης από την κλιμάκωση του μεγέθους της μηχανής. Η δεύτερη ομάδα σεναρίων αφορά στην διακύμανση του ύψους της επιδότησης που χορηγείται, αν αυτό πέσει από το 25% στο 20%, ή ακόμη και στο 0%. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις θα εξετασθεί το πόσο βιώσιμη είναι η επένδυση, αλλά και ποιο είναι το ελάχιστο ύψος επιδότησης που την καθιστά βιώσιμη. Τέλος, στο τρίτο σετ σεναρίων θα πραγματοποιηθεί υποθετική μείωση της μέσης ταχύτητας ανέμου, κατά μία και δύο μονάδες, ώστε να μελετηθούν οι επιπτώσεις που θα δημιουργήσει η υποβάθμιση του αιολικού δυναμικού στην περάτωση και λειτουργία του έργου.

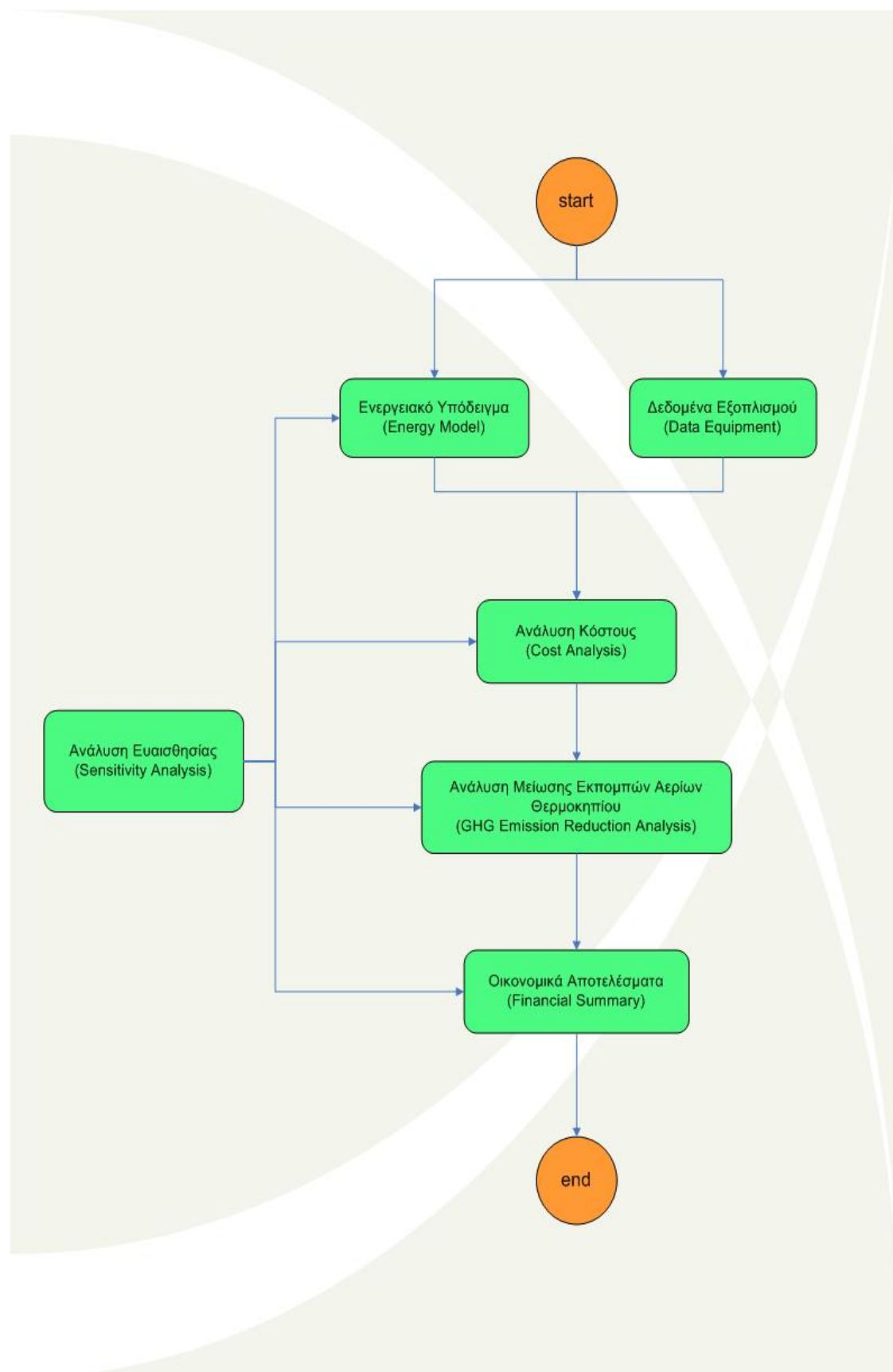
Το διάγραμμα ροής του μοντέλου απαρτίζεται από έξι φύλλα εργασίας που είναι τα ακόλουθα :

1. Ενεργειακό Υπόδειγμα (Energy Model)
2. Δεδομένα Εξοπλισμού (Equipment Data)
3. Ανάλυση Κόστους (Cost Analysis)
4. Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis)
5. Οικονομικά Αποτελέσματα (Financial Summary)
6. Ανάλυση Ευαισθησίας & Επικινδυνότητας (Sensitivity & Risk Analysis)

Εικόνα 4.2 : Απεικόνιση των διαδοχικών σταδίων (φύλλα εργασίας Excel) της ανάλυσης από το λογισμικό RETScreen



Εικόνα 4.3 : Διάγραμμα ροής του λογισμικού RETScreen



4.2.1 Ενεργειακό Μοντέλο (Energy Model)

Το πρώτο μέρος του λογισμικού περιλαμβάνει το ενεργειακό μοντέλο, το οποίο βοηθά στον υπολογισμό της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής για ένα έργο αιολικής ενέργειας, που εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Αρχικά, συμπληρώνονται οι τοπικές επικρατούσες συνθήκες, οι οποίες περιλαμβάνουν το όνομα και την τοποθεσία του έργου, την πηγή των ανεμολογικών δεδομένων, τη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, το ύψος των ανεμολογικών μετρήσεων, το δείκτη τραχύτητας ανέμου, την ταχύτητα ανέμου στα 10 m από το έδαφος, τη μέση ατμοσφαιρική πίεση, καθώς επίσης και τη μέση ετήσια θερμοκρασία.

Στην επόμενη φάση εισάγονται από το χρήστη τα χαρακτηριστικά του συστήματος, τα οποία αναφέρονται στον τύπο δικτύου, στην ισχύ λειτουργίας της Α/Γ, στον αριθμό των Α/Γ, στην συνολικά εγκατεστημένη αιολική ισχύ, στο ύψος της κεφαλής του δρομέα και στην ταχύτητα που σημειώνεται σε αυτό το ύψος, στην πυκνότητα αιολικής ισχύος στο ύψος της Α/Γ, και τέλος σε διάφορες απώλειες που επιδρούν (σκίασης, λόγω μόλυνσης/σκόνης των πτερυγίων ή παγετού, λόγω σταματήματος, και άλλες απρόβλεπτες απώλειες).

Από όλα τα προαναφερθέντα δεδομένα που έχουν εισαχθεί υπολογίζεται από το πρόγραμμα μια σειρά παραμέτρων που αναλύονται στη συνέχεια :

- ***Εγκατεστημένη αιολική ισχύς (Wind plant capacity)***

Το μοντέλο υπολογίζει την εγκατεστημένη αιολική ισχύ, ή την απόδοση ισχύος από τις Α/Γ, από τον αριθμό και την ισχύ λειτουργίας των Α/Γ.

- ***Μη διορθωμένη παραγωγή ενέργειας (Unadjusted energy production)***

Η μη διορθωμένη παραγωγή ενέργειας είναι η ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο υπολογισμός της είναι βασισμένος στην καμπύλη παραγωγής ενέργειας του επιλεγμένου τύπου Α/Γ και στη μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα για τη συγκεκριμένη τοποθεσία.

- ***Συντελεστής διόρθωσης λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης (Pressure adjustment coefficient)***

Ο συντελεστής διόρθωσης λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης, ο οποίος είναι ανάλογος με τη μέση ατμοσφαιρική πίεση στην εξεταζόμενη τοποθεσία, εξαρτάται πρωτίστως από το υψόμετρο της περιοχής. Το τυπικό εύρος τιμών κυμαίνεται μεταξύ 0,59 και 1,02, με το χαμηλό άκρο του εύρους να αναφέρεται σε περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο των 4.000m.

- **Συντελεστής διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας (*Temperature adjustment coefficient*)**

Ο συντελεστής διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας είναι ανάλογος με τη μέση θερμοκρασία στην εξεταζόμενη τοποθεσία. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ακαθάριστης παραγόμενης ενέργειας. Το τυπικό εύρος τιμών κυμαίνεται μεταξύ 0,98 και 1,15, για θερμοκρασίες που κυμαίνονται αντίστοιχα από 20 °C έως -20 °C.

- **Ακαθάριστη παραγόμενη ενέργεια (*Gross energy production*)**

Ακαθάριστη παραγόμενη ενέργεια είναι η συνολική ετήσια παραγωγή χωρίς να έχουν ληφθεί υπόψη οι απώλειες, εισάγοντας την ταχύτητα του ανέμου, την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία της τοποθεσίας εγκατάστασης. Υπολογίζεται από τη μη διορθωμένη παραγωγή ενέργειας και τους συντελεστές διόρθωσης λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας, και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας προς διανομή.

- **Συντελεστής συνολικών απωλειών (*Losses coefficient*)**

Το μοντέλο υπολογίζει το συντελεστή συνολικών απωλειών που συνενώνει όλους τους παράγοντες απωλειών που αναφέρθηκαν (απώλειες σκίασης, λόγω μόλυνσης/σκόνης ή παγετού, διακοπής λειτουργίας και άλλων απρόβλεπτων). Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας προς διανομή και τιμή αυτού κάτω από 0,75 είναι ενδεικτική ενός ανεπαρκούς και φτωχού σχεδιασμού του έργου.

- **Ειδική απόδοση (*Specific yield*)**

Η ειδική απόδοση είναι ένα από τα πιο κοινά κριτήρια στη βιομηχανία αιολικής ενέργειας για την αξιολόγηση και τη σύγκριση της λειτουργίας μίας Α/Γ, στη συνύπαρξή της στο αιολικό σύστημα της περιοχής μελέτης. Προκύπτει από τη διαίρεση της παραγόμενης ενέργειας προς διανομή από μία Α/Γ προς την περιοχή σάρωσης του ρότορα. Το εύρος τιμών κυμαίνεται από 150 έως 1.500 kWh/m² για κάθε κινητήρα, όπου το χαμηλό άκρο του εύρους αντιστοιχεί σε ένα μικρού μεγέθους κινητήρα σε ένα μέτριο αιολικό σύστημα, ενώ το υψηλό άκρο του εύρους σε μια μεγαλύτερη Α/Γ σε ένα καλό αιολικό σύστημα.

- **Συντελεστής παραγωγικότητας αιολικού πάρκου (*Wind plant capacity factor*)**

Ο συντελεστής παραγωγικότητας ενός Α/Π αντιπροσωπεύει το ποσοστό της μέσης ποσότητας που παράγεται από το πάρκο σε ένα έτος προς την εκτιμώμενη δυνατότητα. Υπολογίζεται ως ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς διανομή προς την εγκατεστημένη αιολική ισχύ πολλαπλασιασμένη με τις συνολικές ώρες λειτουργίας σε ένα χρόνο. Το τυπικό εύρος τιμών του συντελεστή παραγωγικότητας Α/Π κυμαίνεται από 20 έως 40%, όπου το χαμηλό τμήμα του εύρους αντιστοιχεί σε παλιές τεχνολογίες εγκατεστημένες σε μέτρια αιολικά συστήματα, ενώ το υψηλό τμήμα του εύρους σε καινούριες Α/Γ εγκατεστημένες σε περιοχή με καλό αιολικό δυναμικό.

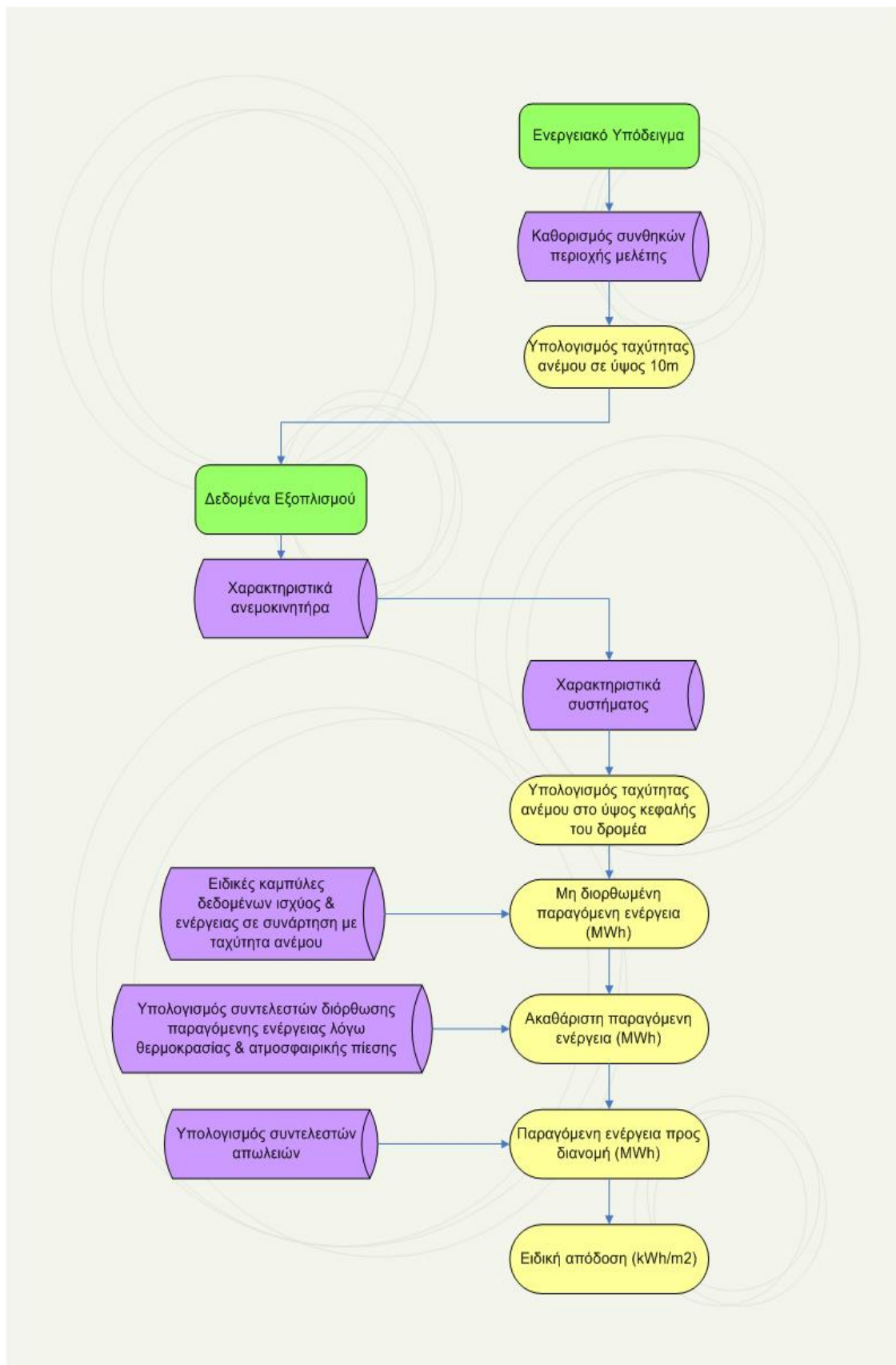
- ***Παραγόμενη ενέργεια προς διανομή (Renewable energy delivered)***

Το μοντέλο υπολογίζει την ετήσια παραγόμενη ενέργεια προς διανομή στο δίκτυο, η οποία αποτελεί την ποσότητα της ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική και κατ' επέκταση αντικαθιστά την ενέργεια που θα παραγόταν διαφορετικά από την υπάρχουσα επιχείρηση κοινής ωφέλειας, χρησιμοποιώντας το συμβατικό σύστημα ηλεκτρισμού.

4.2.2 Δεδομένα Εξοπλισμού (Equipment Data)

Το συγκεκριμένο κομμάτι του λογισμικού αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της Α/Γ που έχει επιλεγεί για το Α/Π. Σε αυτό εισάγεται η ονομαστική ισχύς της Α/Γ, το ύψος κεφαλής του δρομέα, η διάμετρος του ρότορα, η περιοχή σάρωσης, ο κατασκευαστής και το μοντέλο της Α/Γ και προσδιορίζεται το είδος της καμπύλης που θα χρησιμοποιηθεί για την κατανομή των δεδομένων. Εκτός από αυτά τα στοιχεία εισάγεται στη συνέχεια ένα εύρος δυνατών ταχυτήτων ανέμου, η ισχύς και η ενέργεια που παράγει η Α/Γ σε κάθε μία από τις ταχύτητες και προκύπτει τελικά το γράφημα με τις καμπύλες ισχύος και ενέργειας της Α/Γ για το εύρος ταχυτήτων που έχει οριστεί.

Εικόνα 4.4 : Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας προς διανομή & της ειδικής απόδοσης



4.2.3 Ανάλυση Κόστους (Cost Analysis)

Το μέρος της Ανάλυσης Κόστους χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κόστους, που σχετίζεται με κάποιο project αιολικής ενέργειας. Αυτά τα κόστη διακρίνονται σε αρχικά, ή κόστη επένδυσης, και σε ετήσια, ή λειτουργικά κόστη.

Τα αρχικά κόστη, ή κόστη επένδυσης, σχετίζονται με την υλοποίηση του σχεδίου, και οι βασικές κατηγορίες περιλαμβάνουν κόστη για την προετοιμασία της μελέτης επιτευξιμότητας, των αναπτυξιακών λειτουργιών του σχεδίου, της απαραίτητης μηχανικής και επιστημονικής υποστήριξης, την αγορά και εγκατάσταση του ενεργειακού εξοπλισμού, την επίτευξη της σταθερότητας της εγκατάστασης, όπως επίσης και τα απρόβλεπτα κόστη για οποιαδήποτε άλλα θέματα.

Τα ετήσια, ή λειτουργικά, κόστη σχετίζονται με την λειτουργία του έργου αιολικής ενέργειας. Αυτά περιλαμβάνουν ενοικίαση γης, φόρους ιδιοκτησίας, αμοιβές για ασφάλιστρα, διατήρηση της γραμμής μεταφοράς, εξαρτήματα και εργατικό δυναμικό, παρακολούθηση αερίων του θερμοκηπίου και επικύρωση των εκπομπών, επιδόματα κοινότητας, ταξίδια και διαμονή, καθώς επίσης και διοικητικά και διαχειριστικά έξοδα. Επιπρόσθετα, πρέπει να συμπεριληφθεί κάποιος σχεδιασμός τυχόν απροόπτων δαπανών, ώστε να προβλεφθούν τα αντίστοιχα έξοδα.

Εκτός από τα κόστη που προαναφέρθηκαν, υπάρχουν και τα περιοδικά κόστη, τα οποία αντιπροσωπεύουν επαναλαμβανόμενα κόστη που πρέπει να καταβληθούν σε τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να διατηρηθεί το έργο σε κατάσταση λειτουργίας.

4.2.4 Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis)

Το μέρος της Ανάλυσης Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να εκτιμήσει τη πιθανή μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, από το προτεινόμενο Α/Π. Το συγκεκριμένο φύλλο εργασίας έχει αναπτυχθεί σε ένα κοινό πλαίσιο εργασίας, ώστε να απλοποιήσει τη διαδικασία ανάλυσης της βιωσιμότητας διάφορων έργων. Το λογισμικό RETScreen παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να αξιολογήσει προτεινόμενα έργα, τόσο σε εγχώρια όσο και σε διεθνή αγορά, αλλά και σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις οδηγίες του Πρωτόκολλου του Κιότο και άλλων τέτοιων αποφάσεων.

Ένα από τα πρωταρχικά πλεονεκτήματα από τη χρήση του λογισμικού RETScreen είναι η διευκόλυνση που παρέχει στη διαδικασία αξιολόγησης για τη λήψη αποφάσεων. Το μέρος της Ανάλυσης Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου, με την εισαγωγή δεδομένων σχετικών με εκπομπές και με την εξαγωγή αποτελεσμάτων, έπειτα από υπολογισμούς διαφόρων παραγόντων, επιτρέπει τη μελέτη διαφορετικών παραμέτρων εκπομπών με μεγάλη ευκολία. Παρόλα αυτά, ο χρήστης θα πρέπει να ακολουθεί μία κριτική στάση απέναντι στα αποτελέσματα, και να τα προσαρμόζει ανάλογα, ώστε να ανταποκρίνονται σε πραγματικές προσεγγίσεις.

4.2.5 Οικονομικά Αποτελέσματα (Financial Summary)

Η συγκεκριμένη οικονομική σύνοψη περιέχει πέντε ξεχωριστά τμήματα : Ετήσια ενεργειακή σταθερότητα, Οικονομικές παράμετροι, Έξοδα & έσοδα έργου, Οικονομική επιτευξιμότητα, και Ετήσιες ταμειακές ροές. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου λογισμικού διευκολύνει την διαδικασία εκτίμησης του έργου, εφόσον παρέχει πληροφορίες για οικονομικές παραμέτρους και υπολογίζει τους σχετικούς δείκτες απόδοσης.

Στο μέρος της Ετήσιας ενεργειακής σταθερότητας οι παράμετροι που εξετάζονται, υπολογίζονται ή εισάγονται στο Ενεργειακό Μοντέλο (Energy Model) ή στην Ανάλυση των Αερίων Θερμοκηπίου (GHG Analysis), και μεταφέρονται στο εν λόγω σημείο. Ενδεικτικά αναφέρεται η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια, ο τύπος δικτύου, η καθαρή μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τόσο κατά τη διάρκεια της πίστωσης όσο και στη διάρκεια ζωής του έργου.

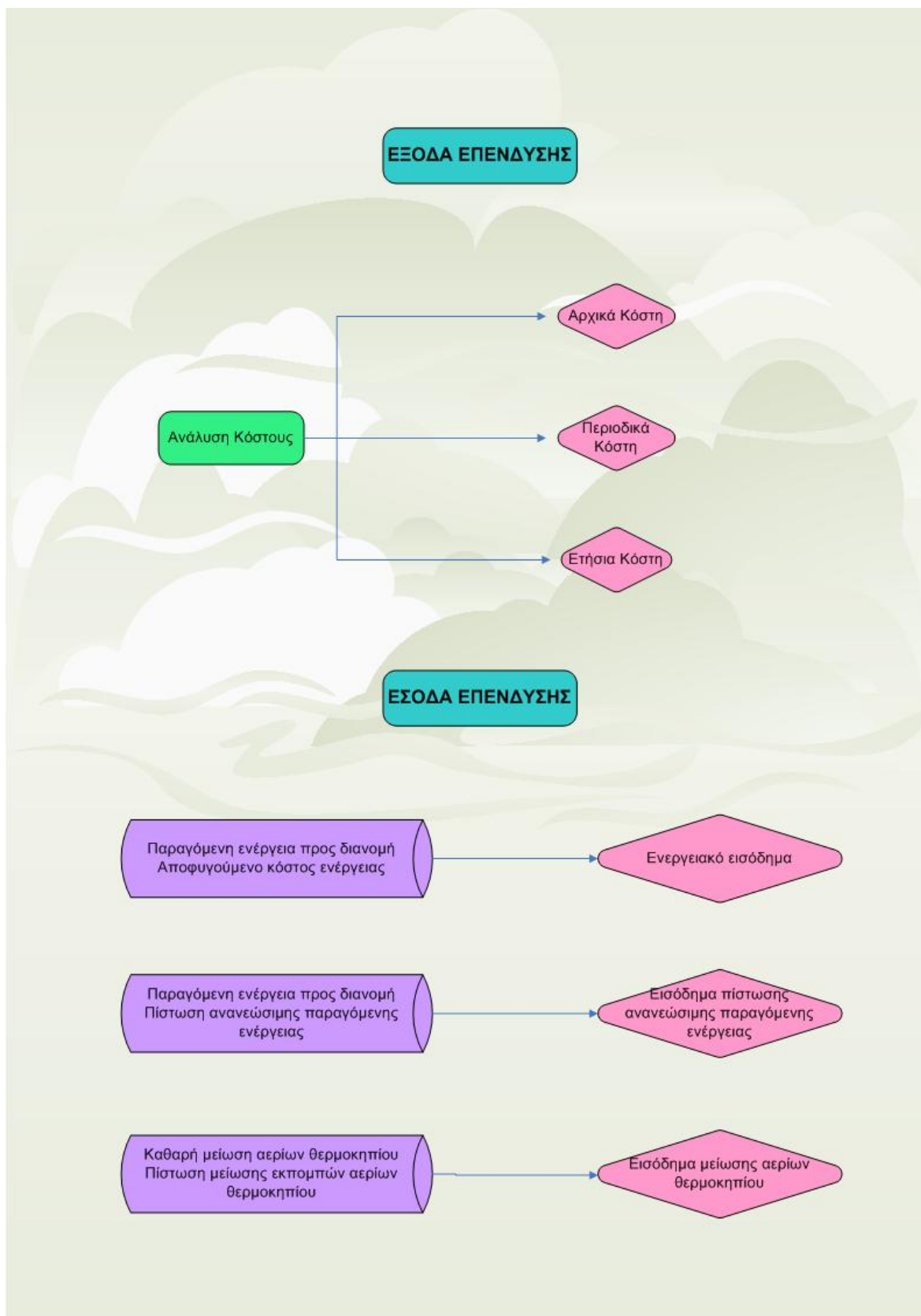
Στο μέρος των Οικονομικών παραμέτρων περιλαμβάνονται στοιχεία που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, και οι τιμές των οποίων συνήθως επιλέγονται από τον χρήστη. Μερικές από αυτές τις παραμέτρους είναι η πίστωση της ανανεώσιμης παραγόμενης ενέργειας, η πίστωση μείωσης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ο πληθωρισμός, το προεξοφλητικό επιτόκιο, η διάρκεια ζωής του έργου, η ανάλυση φόρου εισοδήματος, κ.α..

Τα περισσότερα στοιχεία που παρατίθενται στο μέρος Έξοδα & έσοδα έργου των Οικονομικών Αποτελεσμάτων, έχουν υπολογισθεί ή εισαχθεί στο φύλλο εργασίας της Ανάλυσης Κόστους, ή και σε προηγούμενα τμήματα του παρόντος φύλλου εργασίας, και μεταφέρονται στο εν λόγω σημείο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το καινούριο στοιχείο που προστίθεται στα συγκεκριμένα δεδομένα, είναι το ποσό κάποιας επιδότησης ή συνεισφοράς στο ήδη υπάρχον κεφάλαιο για την επένδυση. Τέλος, ο υπολογισμός των εσόδων της επένδυσης αναλύεται παρακάτω, με την παράθεση του διαγράμματος απεικόνισης [Εικόνα 4.6].

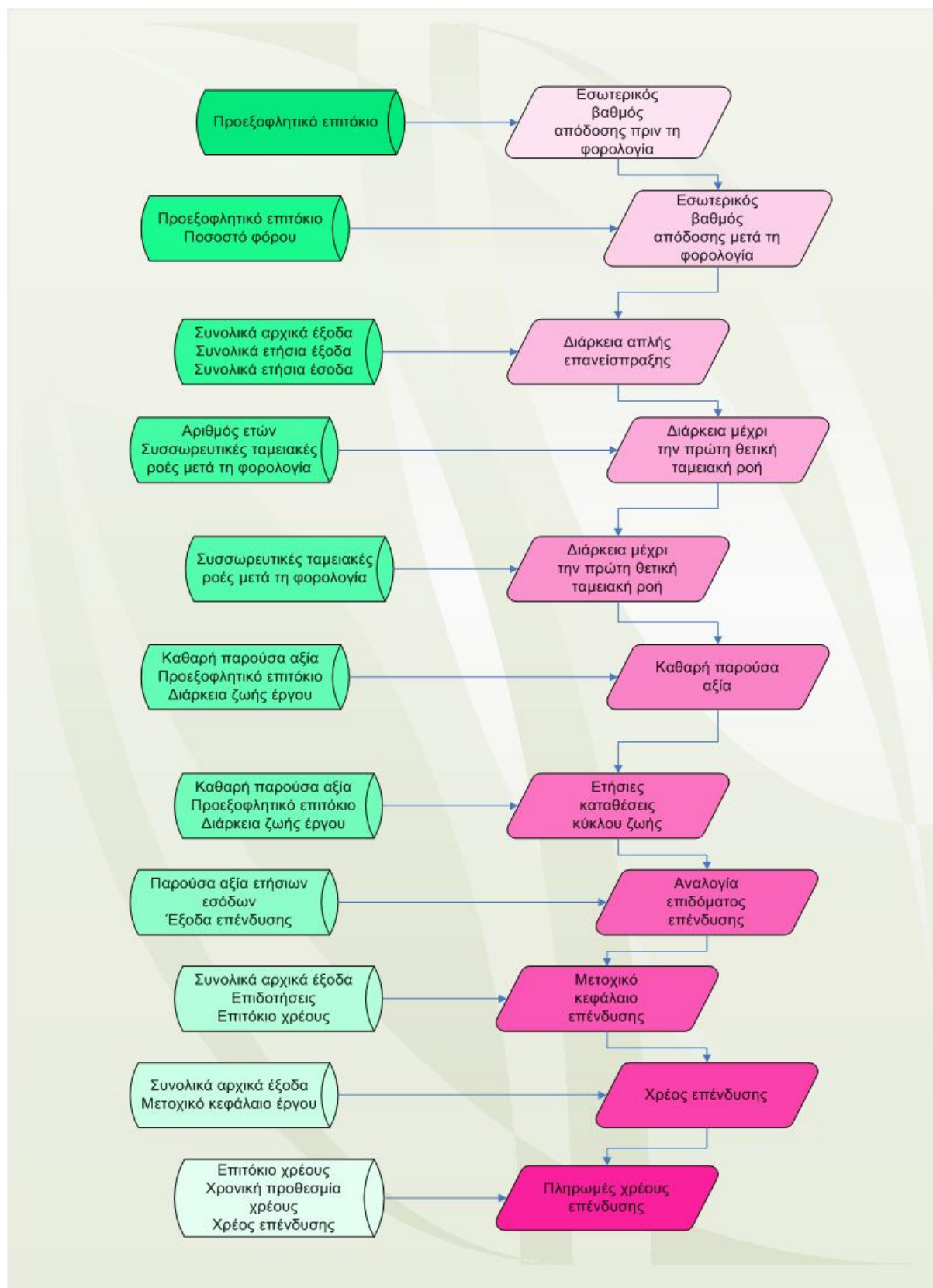
Το επόμενο μέρος της ανάλυσης αποτελεί την Οικονομική επιτευξιμότητα. Σε αυτό παρουσιάζονται οι τιμές που προκύπτουν για διάφορες παραμέτρους, που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Τέτοιες παράμετροι είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, η διάρκεια απόδοσης κεφαλαίου, η καθαρή παρούσα αξία, κ.α. και οι τιμές τους είναι συνάρτηση όλων των υπόλοιπων δεδομένων που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα.

Το τελευταίο τμήμα της Οικονομικής ανάλυσης είναι οι Ετήσιες ταμειακές ροές, οι οποίες χωρίζονται σε καθαρές ταμειακές ροές πριν και μετά την επιβολή της φορολογίας και σε συσσωρευτικές ετήσιες ταμειακές ροές. Από τις τελευταίες ταμειακές ροές προκύπτει και το διάγραμμα των συσσωρευτικών ταμειακών ροών στο χρόνο για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Εικόνα 4.5 : Απεικόνιση εξόδων & εσόδων της επένδυσης – Παράθεση απαιτούμενων δεδομένων για τον υπολογισμό των εσόδων



Εικόνα 4.6 : Απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό των παραμέτρων της Οικονομικής επιτευξιμότητας



4.2.6 Ανάλυση Ευαισθησίας & Επικινδυνότητας (Sensitivity & Risk Analysis)

Το μέρος της Ανάλυσης Ευαισθησίας και Επικινδυνότητας χρησιμοποιείται για να βοηθήσει το χρήστη να εκτιμήσει την ευαισθησία των σημαντικών οικονομικών δεικτών σε σχέση με τις τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους-“κλειδιά” που εισάγονται. Αυτό το πρότυπο είδος ανάλυσης περιλαμβάνει δύο κυρίως τμήματα : την Ανάλυση Ευαισθησίας και την Ανάλυση Επικινδυνότητας. Κάθε τμήμα παρέχει πληροφορίες για τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων και των οικονομικών δεικτών, και δείχνει ποιες έχουν την μεγαλύτερη επίδραση σε αυτούς τους δείκτες. Η Ανάλυση Ευαισθησίας συνίσταται για γενική χρήση, ενώ η Ανάλυση Επικινδυνότητας απευθύνεται σε χρήστες με γνώσεις στατιστικής.

Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι το αποφυγόν κόστος ενέργειας, η ανανεώσιμη παραγόμενη ενέργεια, τα αρχικά και τα ετήσια κόστη, η αναλογία χρέους, το επιτόκιο χρέους, η χρονική προθεσμία χρέους, η πίστωση μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η πίστωση ανανεώσιμης παραγόμενης ενέργειας.

Από τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται στην ανάλυση προκύπτει ένα γράφημα επιρροής, το οποίο απεικονίζει τη σχετική συμβολή αβεβαιότητας κάθε παραμέτρου-“κλειδί” στην διακύμανση του οικονομικού δείκτη. Ακόμη, σχηματίζεται ένα γράφημα κατανομής – ιστόγραμμα, στο οποίο απεικονίζεται η κατανομή των πιθανών τιμών για τον οικονομικό δείκτη. Το ύψος της κάθε στήλης αντιπροσωπεύει τη συχνότητα (%) των τιμών.

Κεφάλαιο 5^ο

5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την στατιστική ανάλυση είναι τα ακόλουθα :

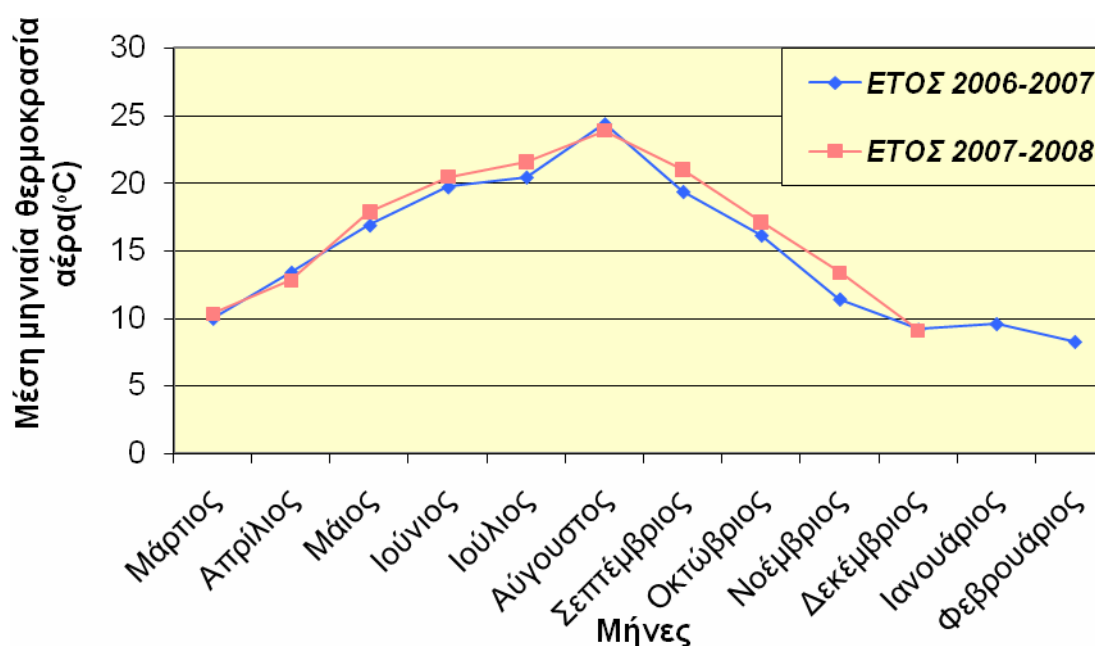
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων μέγιστης, ελάχιστης, μέσης ταχύτητας ανέμου και τυπικής απόκλισης, από δύο ανεμόμετρα, το ένα (C2) στα 10 m από το έδαφος και το άλλο (C4) στα 30 m, για δύο χρονικές περιόδους, Μάρτιος 2006 – Φεβρουάριο 2007 και Μάρτιος 2007 – Δεκέμβριο 2007.
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων μέγιστης, ελάχιστης, μέσης διεύθυνσης ανέμου και τυπικής απόκλισης, από δύο ανεμοδείκτες, ο ένας (A1) στα 19 m από το έδαφος και ο άλλος (A7) στα 29 m για δύο χρονικές περιόδους, Μάρτιος 2006 – Φεβρουάριο 2007 και Μάρτιος 2007 – Δεκέμβριο 2007.
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων μέγιστης, ελάχιστης, μέσης θερμοκρασίας και τυπικής απόκλισης, από θερμόμετρο (A13) στα 3 m από το έδαφος για δύο χρονικές περιόδους, Μάρτιος 2006 – Φεβρουάριο 2007 και Μάρτιος 2007 – Δεκέμβριο 2007.
- Χρονοσειρές δεκαλέπτων ισχύος από έξι Α/Γ, για δύο χρονικές περιόδους, Μάρτιος 2006 – Φεβρουάριο 2007 και Μάρτιος 2007 – Δεκέμβριο 2007.
- Οι μέσες τιμές της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας υπολογίστηκαν ότι ισούνται με : $T_{\max} = 15,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = 14,58 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και $T_{\text{avg}} = 14,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, για την πρώτη χρονική περίοδο, και $T_{\max} = 17,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = 15,89 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και $T_{\text{avg}} = 16,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ για την δεύτερη χρονική περίοδο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες αέρα που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των δύο χρονικών περιόδων που μελετήθηκαν και στη συνέχεια παρατίθεται διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας αέρα. Παρατηρείται ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα σημειώνονται το μήνα Αύγουστο και κυμαίνονται στους 24 με 25 °C και οι χαμηλότερες τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο, αγγίζοντας τους 8 °C. Η γενικότερη συμπεριφορά της διακύμανσης της θερμοκρασίας είναι σχεδόν ίδια και για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.

Πίνακας 5.1 : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους

Μήνας	Μέση Θερμοκρασία Αέρα (□C)	
	Χρονική Περίοδος 2006-2007	Χρονική Περίοδος 2007-2008
Μάρτιος	9,98	10,32
Απρίλιος	13,40	12,79
Μάιος	16,89	17,86
Ιούνιος	19,72	20,45
Ιούλιος	20,45	21,56
Αύγουστος	24,39	23,86
Σεπτέμβριος	19,37	20,98
Οκτώβριος	16,14	17,09
Νοέμβριος	11,41	13,36
Δεκέμβριος	9,17	9,11
Ιανουάριος	9,58	-
Φεβρουάριος	8,26	-
Μέσος Όρος	14,90	16,74

Διάγραμμα 5.1 : Μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας αέρα για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους



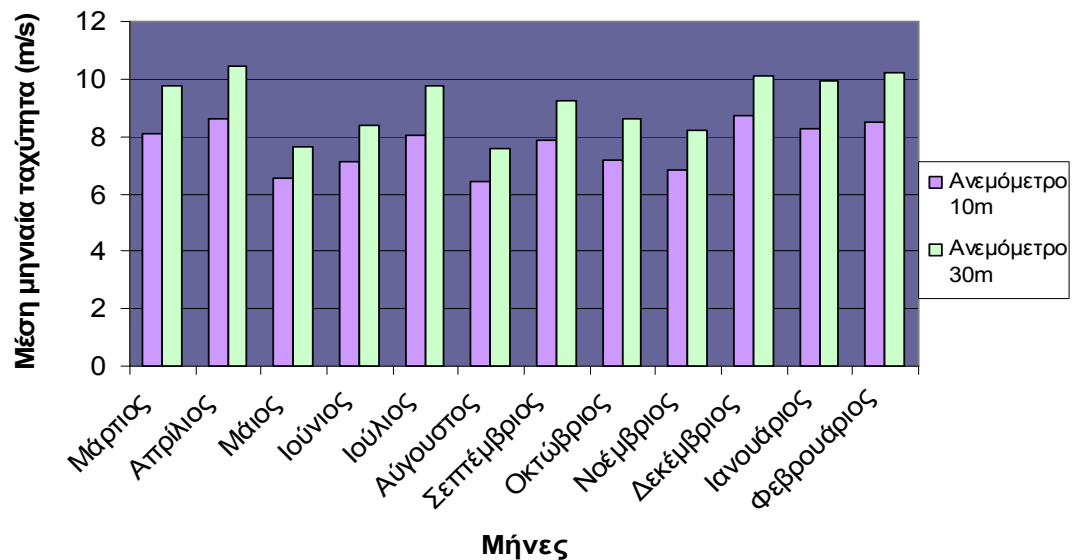
5.1.1 Αποτελέσματα σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου

Έπειτα από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για την εύρεση της μέσης μηνιαίας, αλλά και ετήσιας, ταχύτητας ανέμου, κατά την χρονική περίοδο 2006 - 2007 και 2007 - 2008, προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες με τα αποτελέσματα και τα αντίστοιχα διαγράμματα, στα οποία φαίνεται η εποχιακή διακύμανση των τιμών αυτών. Μελετώντας τα διαγράμματα για τις δύο χρονικές περιόδους, παρατηρούμε ότι οι τιμές της ταχύτητας ακολουθούν περίπου την ίδια συμπεριφορά από τον ένα χρόνο στον άλλο. Όπως φαίνεται, οι πιο υψηλές τιμές ταχύτητας σημειώνονται στην αρχή της εαρινής περιόδου (Μάρτιο - Απρίλιο) και στα μέσα της καλοκαιρινής (Ιούλιο - Αύγουστο) και χειμερινής περιόδου (Δεκέμβριο - Φεβρουάριο). Από τον υπολογισμό των ετήσιων ταχυτήτων φαίνεται ότι το εύρος τους δεν αλλάζει σημαντικά από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη. Όσον αφορά στις διαφορές των ταχυτήτων του ανέμου μεταξύ των δύο ανεμομέτρων κυμαίνονται ανάμεσα σε μία με δύο μονάδες, με το ανεμόμετρο C4 να σημειώνει πάντα τις μεγαλύτερες ταχύτητες λόγω του ύψους στο οποίο βρίσκεται.

Πίνακας 5.2 : Μέσες μηνιαίες & ετήσιες ταχύτητες ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2006 - 2007

ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2006 - 2007		
ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (m/s)	
	C2 (10m)	C4 (30m)
Μάρτιος	8,12	9,78
Απρίλιος	8,64	10,47
Μάιος	6,54	7,65
Ιούνιος	7,12	8,39
Ιούλιος	8,05	9,77
Αύγουστος	6,45	7,58
Σεπτέμβριος	7,85	9,22
Οκτώβριος	7,17	8,60
Νοέμβριος	6,85	8,21
Δεκέμβριος	8,72	10,11
Ιανουάριος	8,29	9,92
Φεβρουάριος	8,48	10,21
ΕΤΗΣΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	7,69	9,16

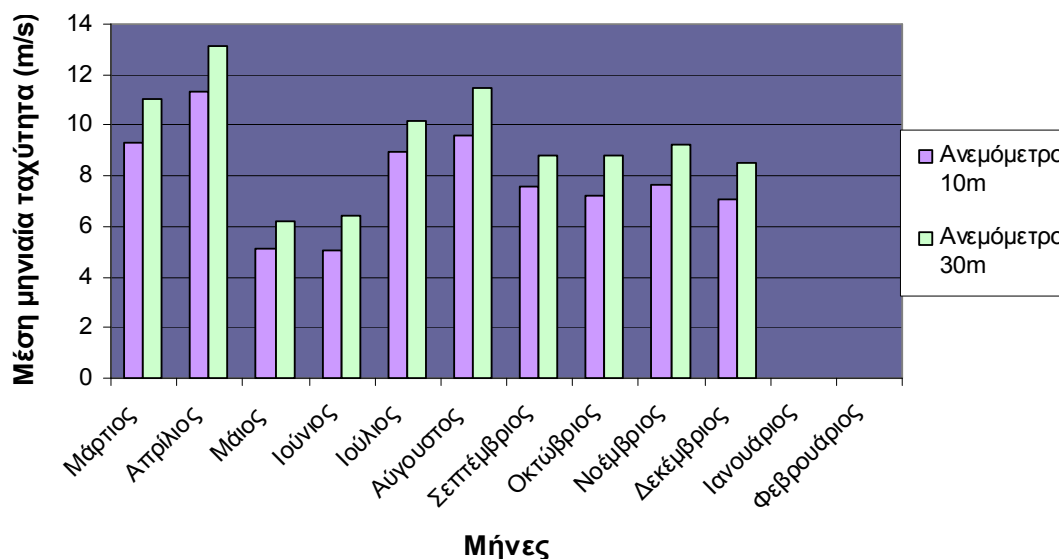
Διάγραμμα 5.2 : Εποχιακή διακύμανση ταχύτητας ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007



Πίνακας 5.3 : Μέσες μηνιαίες & ετήσιες ταχύτητες ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2007 - 2008

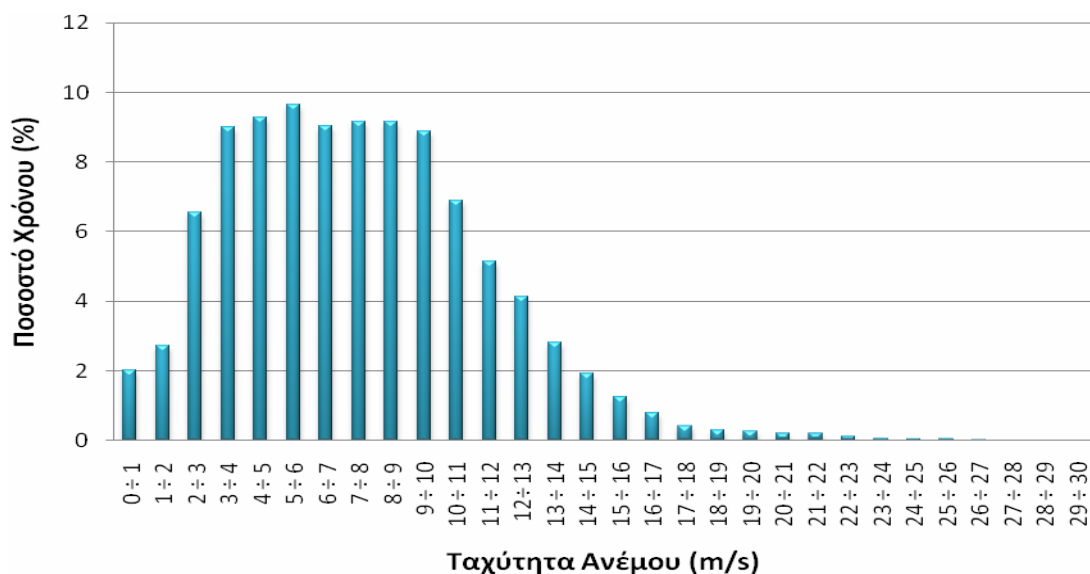
ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2007 - 2008		
ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (m/s)	
	C2 (10m)	C4 (30m)
Μάρτιος	9,27	11,05
Απρίλιος	11,32	13,14
Μάιος	5,13	6,24
Ιούνιος	5,07	6,42
Ιούλιος	8,93	10,18
Αύγουστος	9,58	11,46
Σεπτέμβριος	7,56	8,83
Οκτώβριος	7,20	8,77
Νοέμβριος	7,66	9,22
Δεκέμβριος	7,06	8,51
Ιανουάριος	-	-
Φεβρουάριος	-	-
ΕΤΗΣΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ		
	7,88	9,38

Διάγραμμα 5.3 : Εποχιακή διακύμανση ταχύτητας ανέμου από τα δύο ανεμόμετρα για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008



Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν είναι αρκετό να γνωρίζουμε απλώς τη μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής, αλλά απαιτείται η κατά το δυνατόν ακριβέστερη γνώση της κατανομής των συχνοτήτων εμφάνισης των διάφορων ταχυτήτων. Από τις καταγραφές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου ανά δεκάλεπτο για τη συγκεκριμένη θέση μελέτης και για το ύψος των 30 m, που βρίσκεται το ανεμόμετρο, είναι δυνατή η δημιουργία της ετήσιας καμπύλης συχνότητας του ανέμου, η οποία μας δίνει το ποσοστό του έτους κατά το οποίο η μέση ταχύτητα του ανέμου βρίσκεται μέσα σε καθορισμένα όρια. Στον κατακόρυφο άξονα δίνεται το ποσοστό του χρόνου, ενώ στον οριζόντιο αντιστοιχίζονται οι διάφορες τιμές των ταχυτήτων του ανέμου.

Διάγραμμα 5.4 : Ετήσια καμπύλη συχνότητας ανέμου για το ανεμόμετρο των 30 m κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007



Ένας από τους τρόπους αναλυτικής περιγραφής της καμπύλης συχνότητας είναι η χρήση κατάλληλων αναλυτικών παραμετρικών συναρτήσεων, και πιο συγκεκριμένα η χρήση της κατανομής Weibull.

Χρησιμοποιώντας την αναλυτική σχέση Weibull, όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα ταχύτητας σε σχέση με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, που εκφράζει το ποσοστό του χρόνου, για το οποίο ο άνεμος έχει συγκεκριμένη ταχύτητα. Για το σχεδιασμό αυτών των γραφημάτων προηγήθηκε ο υπολογισμός των παραμέτρων κλίμακας, c , και μορφής, k , με τις μεθόδους που επιλέχθηκαν. Έτσι, για κάθε ανεμόμετρο και ανάλογα με τη χρονική περίοδο προέκυψαν οι ακόλουθες παράμετροι :

Πίνακας 5.4 : Τιμές παραμέτρων κατανομής Weibull για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους

Χρονική Περίοδος	Ανεμόμετρα	Παράμετροι Κατανομής Weibull	
		Παράμετρος μορφής, k	Παράμετρος κλίμακας, c
2006 – 2007	<i>C2 (10m)</i>	2,193	7,178
	<i>C4 (30m)</i>	2,236	8,605
2007 - 2008	<i>C2 (10m)</i>	1,959	7,164
	<i>C4 (30m)</i>	1,964	8,622

Από την απεικόνιση των κατανομών Weibull συμπεραίνουμε ότι ο πλέον καθοριστικός παράγοντας της ομοιομορφίας του ανέμου είναι η διακύμανση του συντελεστή μορφής k . Η ομοιομορφία του ανέμου αυξάνεται με την αύξηση της τιμής του συντελεστή μορφής, αφού σε αυτή την περίπτωση η καμπύλη χαρακτηρίζεται από έντονη αιχμή και το εύρος των ταχυτήτων του ανέμου μειώνεται.

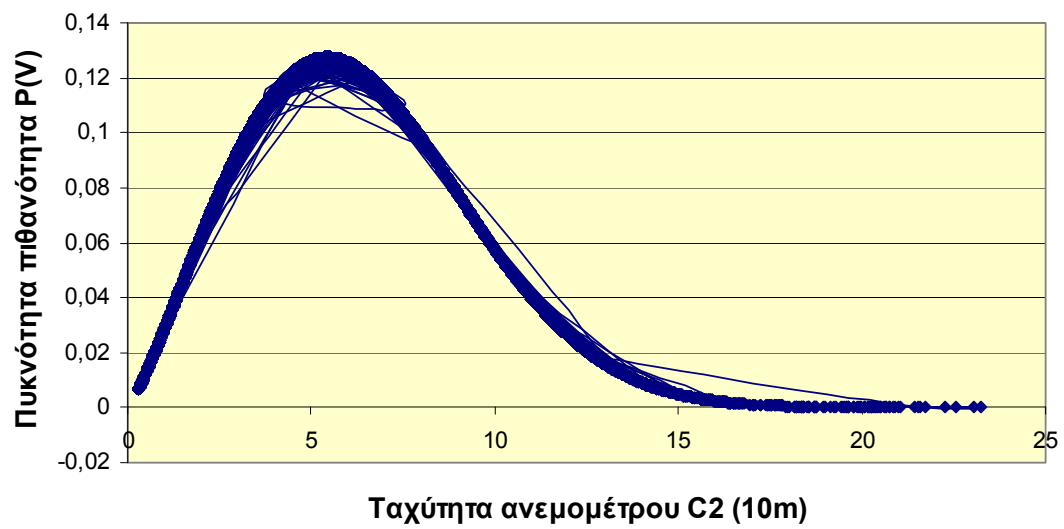
Πιο συγκεκριμένα, εξετάζοντας τα ακόλουθα διαγράμματα σε ζεύγη των ίδιων ανεμομέτρων (5.4 – 5.5 & 5.6 – 5.7), παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις ο συντελεστής μορφής k μειώνεται από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη και κατ' επέκταση το εύρος των ταχυτήτων του ανέμου αυξάνει και η ταχύτητα ανέμου με τη μεγαλύτερη συχνότητα μειώνεται.

Πίνακας 5.5 : Συγκεντρωτικά συμπεράσματα από την απεικόνιση των κατανομών Weibull

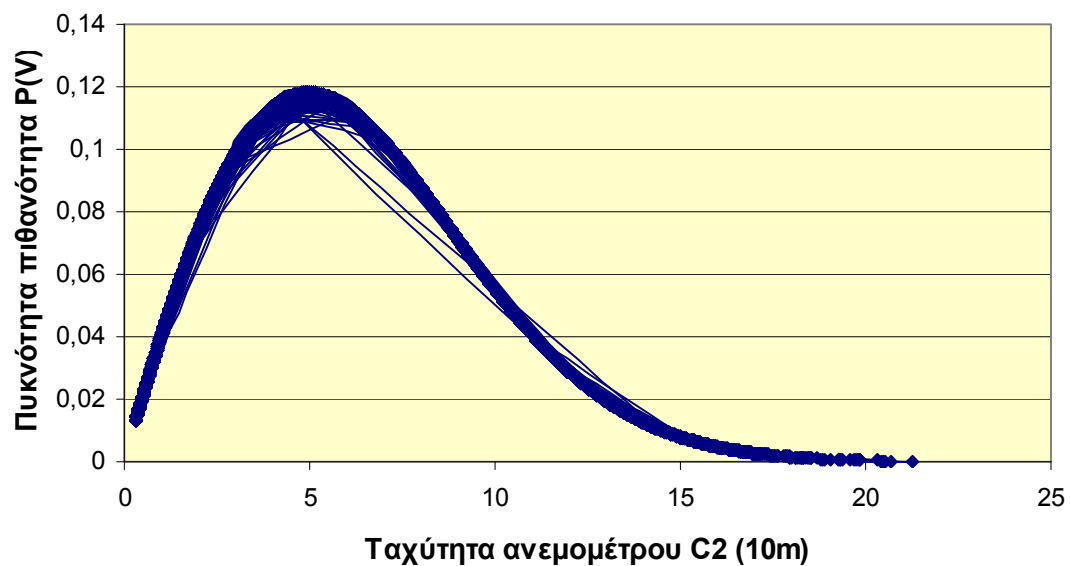
Ανεμόμετρα	Χρονική Περίοδος	Συντελεστής μορφής k	Εύρος ταχυτήτων ανέμου (m/s)	Συχνότερη ταχύτητα ανέμου (m/s)
C2 (10m)	2006 – 2007	2,193	0 – 15,5	5,5
	2007 – 2008	1,959	0 – 17	5
C4 (30m)	2006 – 2007	2,236	0 – 19	6,5
	2007 - 2008	1,964	0 – 20	6

Από τα διαγράμματα που προέκυψαν με την εφαρμογή της αναλυτικής σχέσης Weibull, η οποία αποτελεί μια βέλτιστη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων, και συγκρίνοντας τα με την ετήσια καμπύλη συχνότητας ανέμου που προέκυψε από τα πειραματικά δεδομένα, παρατηρούμε ότι περιγράφει με ικανοποιητική ακρίβεια τα πειραματικά στοιχεία.

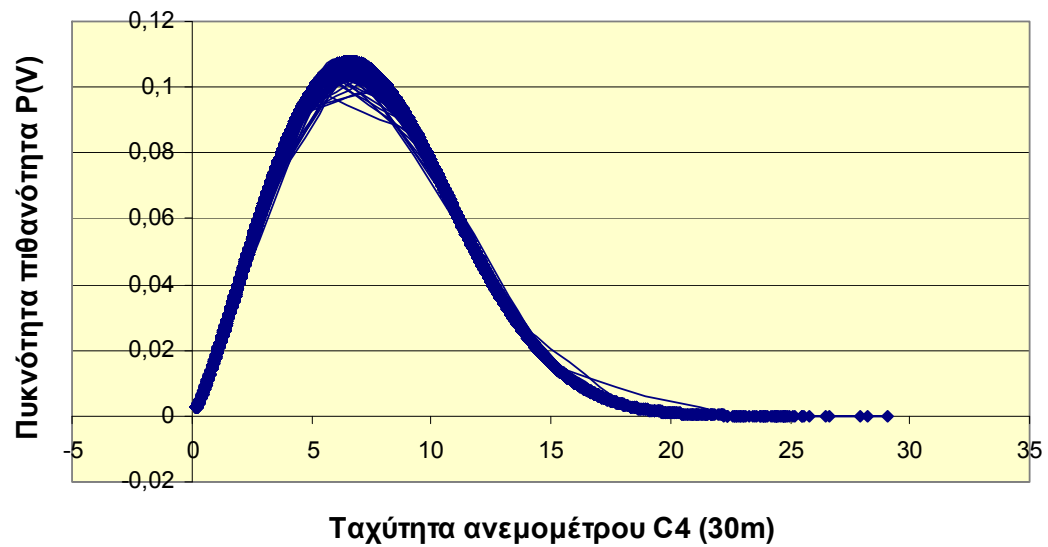
Διάγραμμα 5.5 : Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 10m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2006 – 2007



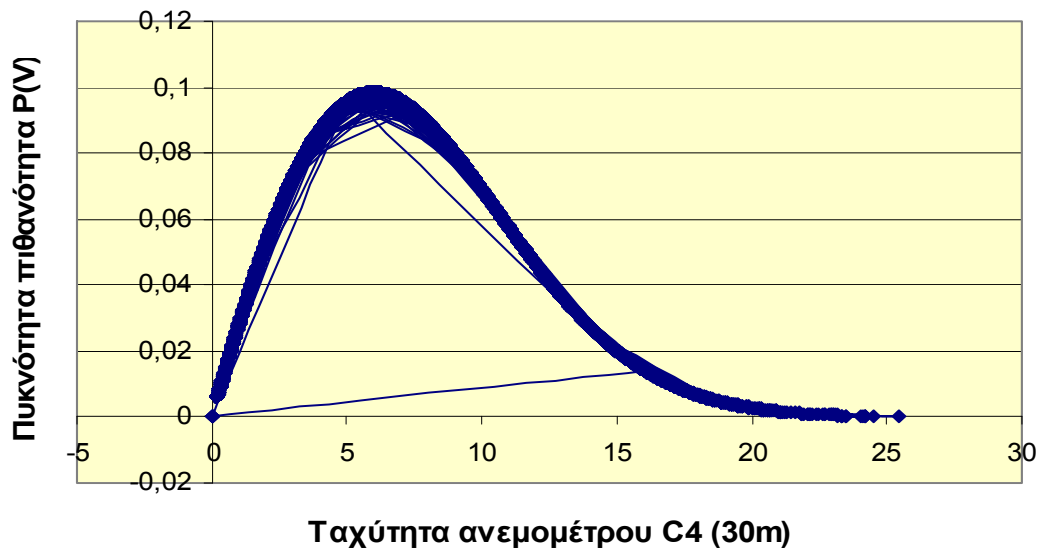
Διάγραμμα 5.6 : Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 10m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2007 – 2008



Διάγραμμα 5.7 : Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 30m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2006 - 2007



Διάγραμμα 5.8: Κατανομή των δεδομένων με βάση την αναλυτική σχέση Weibull, για μέτρηση ταχύτητας στα 30m από το έδαφος, κατά την περίοδο 2007 - 2008



5.1.2 Αποτελέσματα σχετικά με τη διεύθυνση του ανέμου

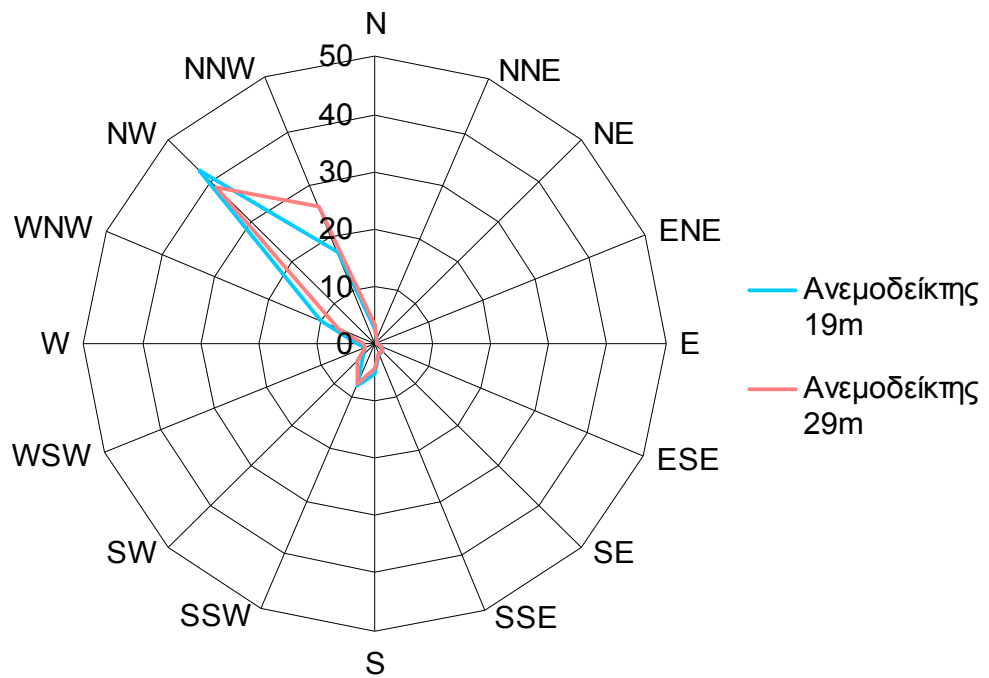
Από την επεξεργασία των δεδομένων που έδωσαν οι ανεμοδείκτες προέκυψαν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και στα αντίστοιχα ροδογράμματα. Από το ροδογράμμα διεύθυνσης ανέμου για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007 [Διάγραμμα 5.7] φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη θέση επικρατούν βορειοδυτικοί [(A1) : 42,65% & (A7) : 38,56%] και βόρειοι – βορειοδυτικοί [(A1) : 17,33% & (A7) : 25,74%] άνεμοι και σε πολύ μικρότερη κλίμακα δυτικοί – νοτιοδυτικοί [(A1) : 10,07% & (A7) : 6,81%] και νότιοι – νοτιοδυτικοί [(A1) : 8,04% & (A7) : 7,65%]. Από το ροδογράμμα διεύθυνσης ανέμου για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008 [Διάγραμμα 5.9] φαίνεται ότι οι επικρατούντες άνεμοι είναι οι βορειοδυτικοί [(A1) : 23,26% & (A7) : 20,68%] και βόρειοι – βορειοδυτικοί [(A1) : 15,54% & (A7) : 14,53%], οι νότιοι – νοτιοδυτικοί [(A1) : 14,9% & (A7) : 10,28] και νότιοι [(A1) : 7,42% & (A7) : 14,11%].

Εκτός από τα ροδογράμματα διεύθυνσης ανέμου, παρακάτω παρατίθενται και τα αντίστοιχα ροδογράμματα ταχύτητας ανέμου ανάλογα με τη διεύθυνση που σημειώνεται κάθε φορά. Παρατηρώντας τα ροδογράμματα και για τις δύο χρονικές περιόδους [Διάγραμμα 5.8 & 5.10] διαπιστώνεται ότι οι μεγαλύτερης έντασης άνεμοι, της κλίμακας των 10 – 12 m/s προέρχονται από νότιους και νότιους – νοτιοανατολικούς ανέμους, ενώ από βορειοδυτικούς και βόρειους – βορειοδυτικούς, οι οποίοι και επικρατούν ως προς τη συχνότητα εμφάνισής τους, δίνουν πιο ήπιους ανέμους, της κλίμακας των 6 – 8 m/s.

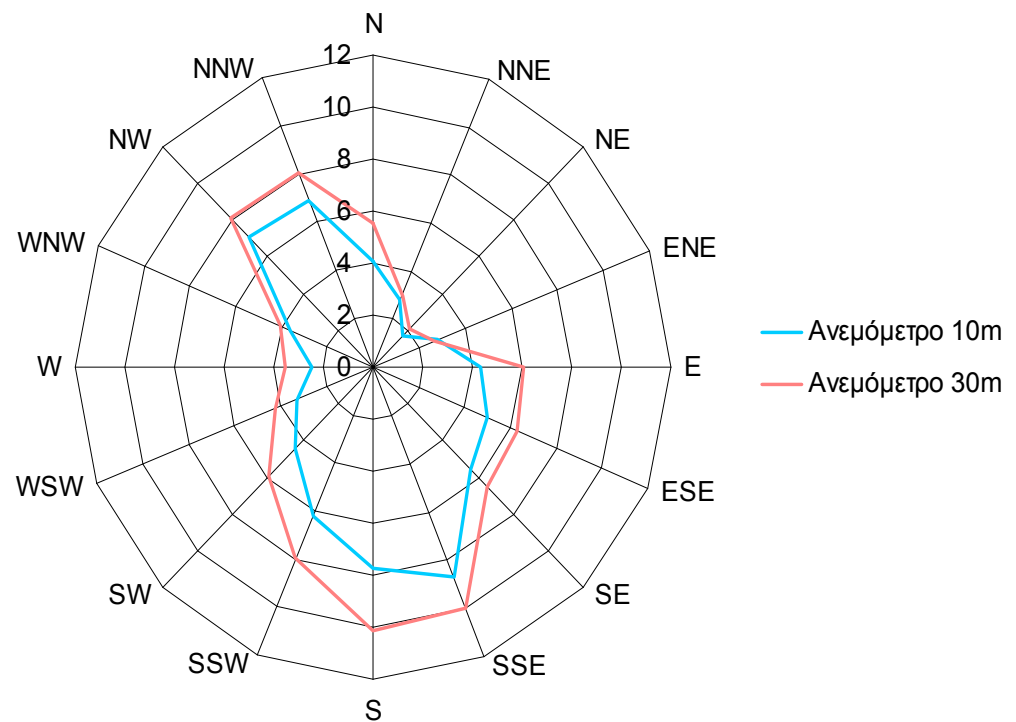
Πίνακας 5.6 : Ανεμολόγιο διευθύνσεων – Ποσοστό συχνότητας ανά διεύθυνση & μέση τιμή ταχύτητας ανέμου που αντιστοιχεί σε καθεμία διεύθυνση, κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007

ΕΤΟΣ 2006 - 2007						
Region	Direction	Angle	% (A1)	V _{avg} (C2)	% (A7)	V _{avg} (C4)
1	N	348,75 - 11,25	2,65	4,07	3,23	5,54
2	NNE	11,25 - 33,75	0,66	2,80	0,75	3,00
3	NE	33,75 - 56,25	0,36	1,73	0,34	2,05
4	ENE	56,25 - 78,75	0,42	2,79	0,26	2,67
5	E	78,75 - 101,25	0,55	4,35	0,41	6,05
6	ESE	101,25 - 123,75	1,22	4,99	1,09	6,35
7	SE	123,75 - 146,25	1,53	5,61	1,5	6,49
8	SSE	146,25 - 168,75	2,06	8,73	1,69	9,97
9	S	168,75 - 191,25	5,15	7,75	4,26	10,12
10	SSW	191,25 - 213,75	8,04	6,21	7,65	7,99
11	SW	213,75 - 236,25	2,75	4,50	4,17	5,93
12	WSW	236,25 - 258,75	1,51	3,30	1,65	4,27
13	W	258,75 - 281,25	3,05	2,49	1,89	3,53
14	WNW	281,25 - 303,75	10,07	3,63	6,81	4,09
15	NW	303,75 - 326,25	42,65	7,06	38,56	8,16
16	NNW	326,25 - 348,75	17,33	6,93	25,74	8,08

Διάγραμμα 5.9 : Ροδόγραμμα διεύθυνσης ανέμου για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007



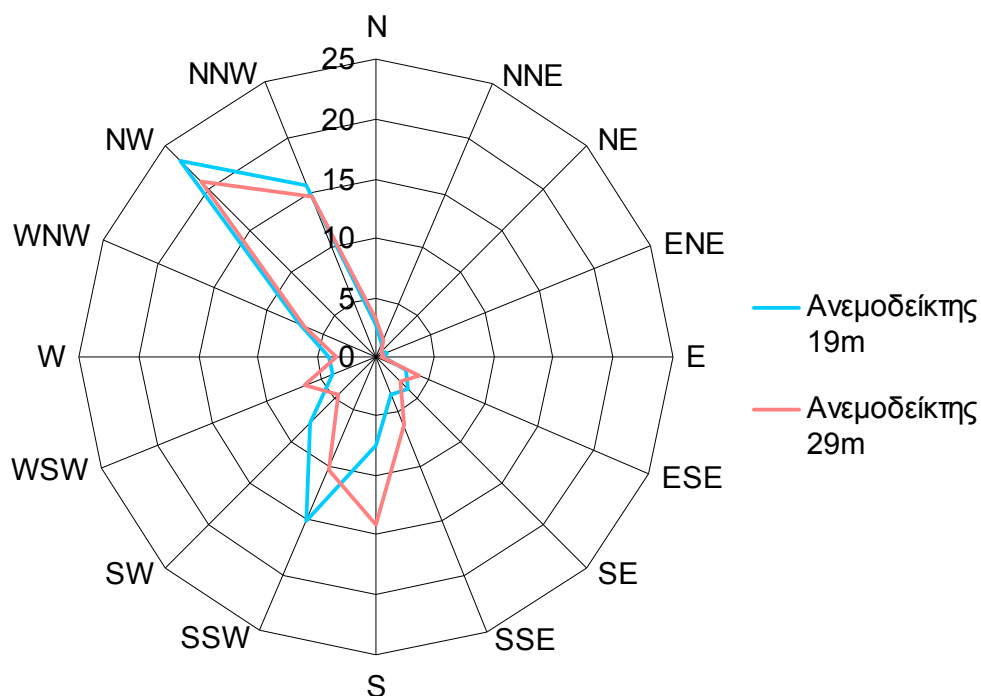
Διάγραμμα 5.10 : Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου ανάλογα με τη διεύθυνση που σημειώνεται για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007



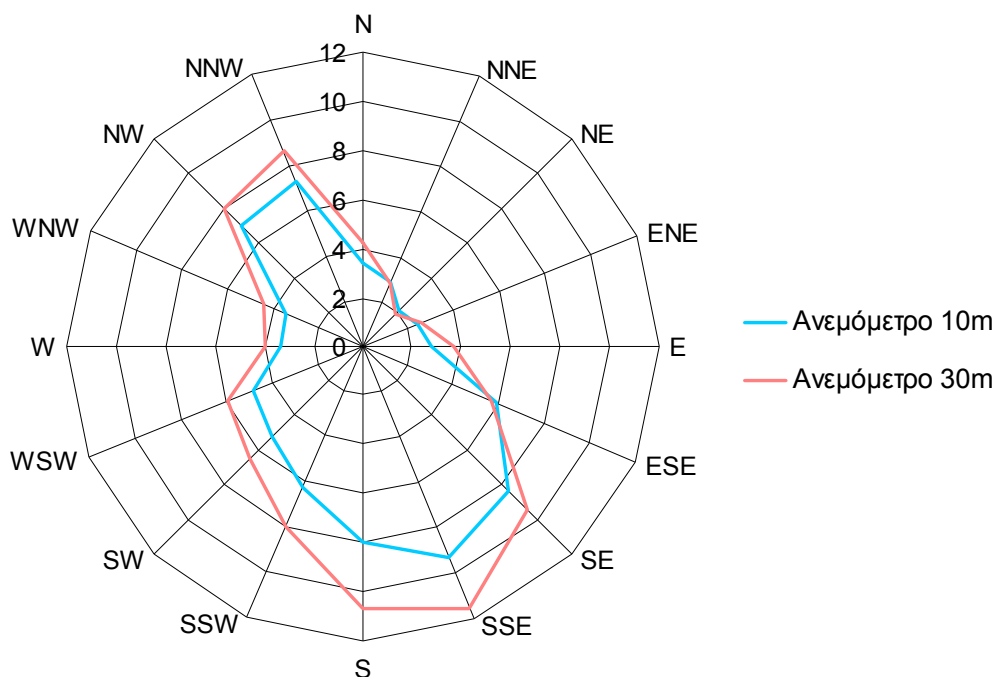
Πίνακας 5.7 : Ανεμολόγιο διεύθυνσεων – Ποσοστό συχνότητας ανά διεύθυνση & μέση τιμή ταχύτητας ανέμου που αντιστοιχεί σε καθεμία διεύθυνση, κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008

ΕΤΟΣ 2007 - 2008						
Region	Direction	Angle	% (A1)	V _{avg} (C2)	% (A7)	V _{avg} (C4)
1	N	348,75 - 11,25	2,72	3,38	3,12	4,24
2	NNE	11,25 - 33,75	1,33	2,82	1,58	2,80
3	NE	33,75 - 56,25	0,59	2,02	0,6	1,87
4	ENE	56,25 - 78,75	0,89	2,44	0,68	2,59
5	E	78,75 - 101,25	0,62	2,78	0,43	3,65
6	ESE	101,25 - 123,75	2,64	5,92	3,9	5,71
7	SE	123,75 - 146,25	3,83	8,33	3,03	9,43
8	SSE	146,25 - 168,75	3,42	9,26	6,18	11,50
9	S	168,75 - 191,25	7,42	8,01	14,11	10,67
10	SSW	191,25 - 213,75	14,9	6,25	10,28	7,94
11	SW	213,75 - 236,25	7,84	5,18	4,5	6,50
12	WSW	236,25 - 258,75	3,99	4,82	6,5	5,89
13	W	258,75 - 281,25	3,91	3,33	3,39	3,95
14	WNW	281,25 - 303,75	7,1	3,37	6,49	4,34
15	NW	303,75 - 326,25	23,26	6,92	20,68	7,89
16	NNW	326,25 - 348,75	15,54	7,29	14,53	8,62

Διάγραμμα 5.11 : Ροδόγραμμα διεύθυνσης ανέμου για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008

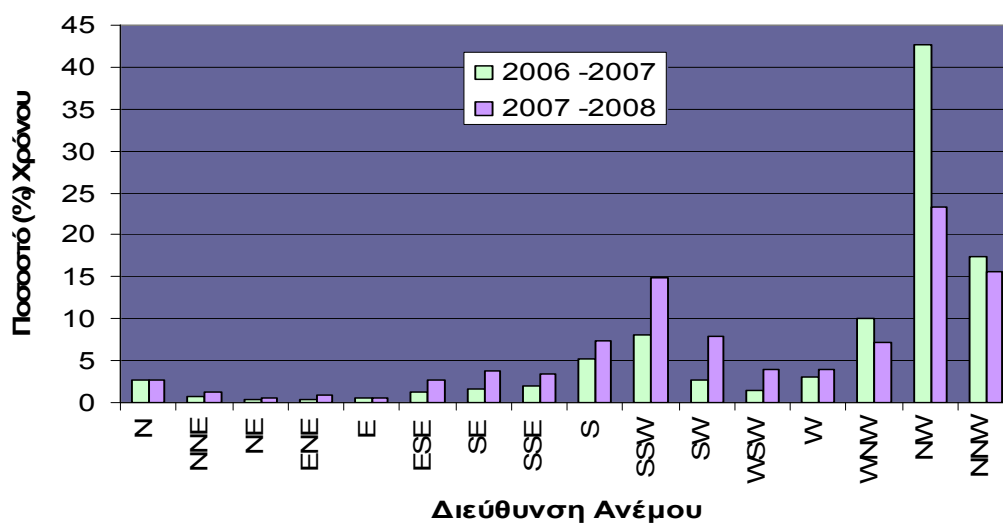


Διάγραμμα 5.12 : Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου ανάλογα με τη διεύθυνση που σημειώνεται για την εξεταζόμενη περιοχή κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008

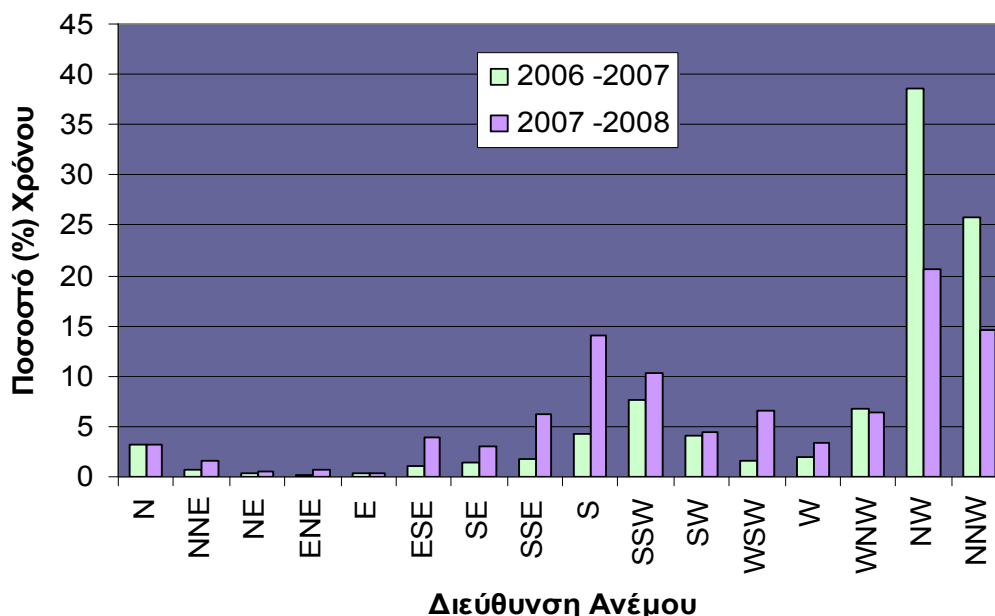


Από τα παρακάτω διαγράμματα παρατηρείται ότι μεταξύ των δύο εξεταζόμενων χρονικών περιόδων οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή είναι οι ίδιοι και το μόνο που αλλάζει είναι τα ποσοστά συχνότητας εμφάνισής κάποιων από αυτούς. Πιο συγκεκριμένα, αισθητή μεταβολή στη συχνότητα από τη μία περίοδο στην άλλη φαίνεται να σημειώνεται στους βορειοδυτικούς και βόρειους – βορειοδυτικούς ανέμους, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες διευθύνσεις οι μεταβολές είναι ανεπαίσθητες.

Διάγραμμα 5.13 : Σύγκριση ανεμολογιών δύο διαδοχικών χρονικών περιόδων, 2006 – 2007 & 2007 – 2008, από τον ανεμοδείκτη (A1) στα 19m από το έδαφος



Διάγραμμα 5.14 : Σύγκριση ανεμολογιών δύο διαδοχικών χρονικών περιόδων, 2006 – 2007 & 2007 – 2008, από τον ανεμοδείκτη (A7) στα 29m από το έδαφος



Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων διεύθυνσης ανέμου δείχνουν ότι ο προσανατολισμός των Α/Γ του Α/Π για τη βέλτιστη χωροθέτηση και κατ' επέκταση ενεργειακή αποδοτικότητα της επένδυσης είναι βορειοδυτικός και βόρειος – βορειοδυτικός. Η εγκυρότητα αυτής της πρόβλεψης επιβεβαιώνεται από την ήδη εγκατάσταση του υπό μελέτη αιολικού πάρκου, του οποίου οι Α/Γ είναι τοποθετημένες κάθετα ως προς αυτή τη διεύθυνση του ανέμου. και πιο συγκεκριμένα, η απόσταση που έχουν μεταξύ τους είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη από το τριπλάσιο μήκος της διαμέτρου του ρότορα της Α/Γ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το αιολικό πάρκο δεν είχε εγκατασταθεί η χωροθέτηση των Α/Γ θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και παράλληλα προς τη διεύθυνση του ανέμου, με τη διαφορά ότι η απόσταση μεταξύ τους θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον 5 φορές τη διάμετρο του ρότορα, για την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων σκίασης των Α/Γ.

5.1.3 Αποτελέσματα σχετικά με την ισχύ της Α/Γ

Από την καταγραφή της ισχύος των Α/Γ για τις δύο χρονικές περιόδους και από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για την εύρεση των μέσων μηνιαίων τιμών αυτής για κάθε Α/Γ, αλλά και για το Α/Π στο σύνολό του, προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες και το σχετικό διάγραμμα.

Πίνακας 5.8 : Μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ & από το Α/Π (σύνολο Α/Γ) – Μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ, κατά τη χρονική περίοδο 2006 - 2007

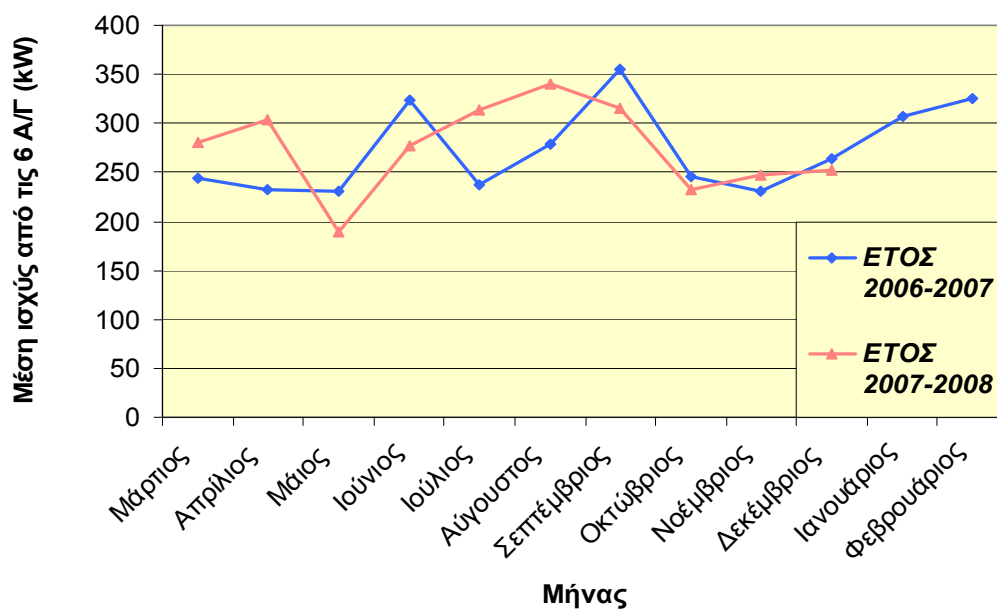
ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2006-2007							
Α/Γ	Μέση Μηνιαία Παραγόμενη Ισχύς (kW)						ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΙΣΧΥΣ Α/Π
	1	2	3	4	5	6	
Μάρτιος	278,05	277,92	177,96	253,07	268,43	210,99	244
Απρίλιος	201,75	157,03	86,62	302,63	308,34	341,92	233
Μάιος	194,10	203,34	236,56	239,34	251,44	262,44	231
Ιούνιος	305,52	310,84	324,13	337,10	332,92	336,19	324
Ιούλιος	233,65	216,45	245,45	249,49	248,39	226,63	237
Αύγουστος	278,52	267,91	279,40	280,75	276,84	285,60	278
Σεπτέμβριος	331,35	333,91	359,70	373,39	360,33	375,82	356
Οκτώβριος	199,36	213,20	239,77	261,91	270,74	284,94	245
Νοέμβριος	206,62	213,63	242,16	176,32	267,88	273,66	230
Δεκέμβριος	221,02	232,80	259,37	272,29	302,39	299,47	265
Ιανουάριος	252,24	264,81	287,04	313,72	361,28	359,55	306
Φεβρουάριος	284,73	302,58	333,46	338,18	340,93	350,86	325
ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ Α/Γ	248,91	249,53	255,97	283,18	299,16	300,67	

Πίνακας 5.9 : Μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ & από το Α/Π (σύνολο Α/Γ) – Μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ, κατά τη χρονική περίοδο 2007 - 2008

ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2007-2008							
Α/Γ	Μέση Μηνιαία Παραγόμενη Ισχύς (kW)						ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΙΣΧΥΣ Α/Π
	1	2	3	4	5	6	
Μάρτιος	254,29	258,82	293,34	291,74	296,49	293,17	281
Απρίλιος	216,36	243,22	308,29	335,19	355,29	361,71	303
Μάιος	155,93	162,12	202,48	206,18	200,60	207,71	189
Ιούνιος	251,92	259,80	287,65	290,17	287,26	286,84	277
Ιούλιος	331,38	314,10	329,91	240,91	331,58	337,67	314
Αύγουστος	341,87	321,94	342,88	346,01	343,43	346,19	340
Σεπτέμβριος	281,16	299,32	319,68	325,30	323,47	342,16	315
Οκτώβριος	200,12	202,28	235,68	246,17	250,30	263,27	233
Νοέμβριος	189,94	210,85	238,78	269,30	279,50	295,17	247
Δεκέμβριος	235,88	229,27	244,23	203,03	289,66	308,82	252
Ιανουάριος	-	-	-	-	-	-	-
Φεβρουάριος	-	-	-	-	-	-	-
ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ Α/Γ	245,89	250,17	280,29	275,40	295,76	304,27	

Από το διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρείται ότι η μέση μηνιαία ισχύς που παράγεται από το Α/Π στο σύνολό του παρουσιάζει κάποιες διακυμάνσεις στην επαναληψιμότητα των τιμών της από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη. Πιο συγκεκριμένα, η συμπεριφορά της παραγόμενης ισχύος για τα εξεταζόμενα χρονικά διαστήματα διαφέρει από το μήνα Μάρτιο στον Μάιο και από το μήνα Ιούνιο στο Σεπτέμβριο. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται και από τη διαφορά που υπήρχε στις ταχύτητες του ανέμου κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων περιόδων. Σε όλη την υπόλοιπη χρονική διαδρομή η ισχύς που παράγεται κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα από το ένα έτος στο επόμενο.

Διάγραμμα 5.15 : Εποχιακή διακύμανση παραγόμενης ισχύος από το Α/Π & για τις δύο χρονικές περιόδους, 2006 – 2007 & 2007 - 2008



Ο συντελεστής χωρητικότητας, ο οποίος αποτελεί ένα μέτρο της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης της Α/Γ, υπολογίστηκε με βάση τη σχέση που προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 της μεθοδολογίας για κάθε μήνα λειτουργίας κάθε Α/Γ. Από τις μέσες μηνιαίες τιμές που προέκυψαν υπολογίστηκε ο ετήσιος συντελεστής χωρητικότητας κάθε Α/Γ, ο οποίος, όπως φαίνεται από τους ακόλουθους πίνακες, κυμαίνεται από 29 έως 35% για την χρονική περίοδο 2006 – 2007 και από 29 – 36% για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008. Τα ποσοστά αυτά υποδηλώνουν την καλή σχεδίαση και κατασκευή των Α/Γ, πράγμα που συμβάλλει καθοριστικά στη βιώσιμη λειτουργία του Α/Π.

Πίνακας 5.10 : Μηνιαίος & ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας (CF) ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ της κάθε Α/Γ, για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007

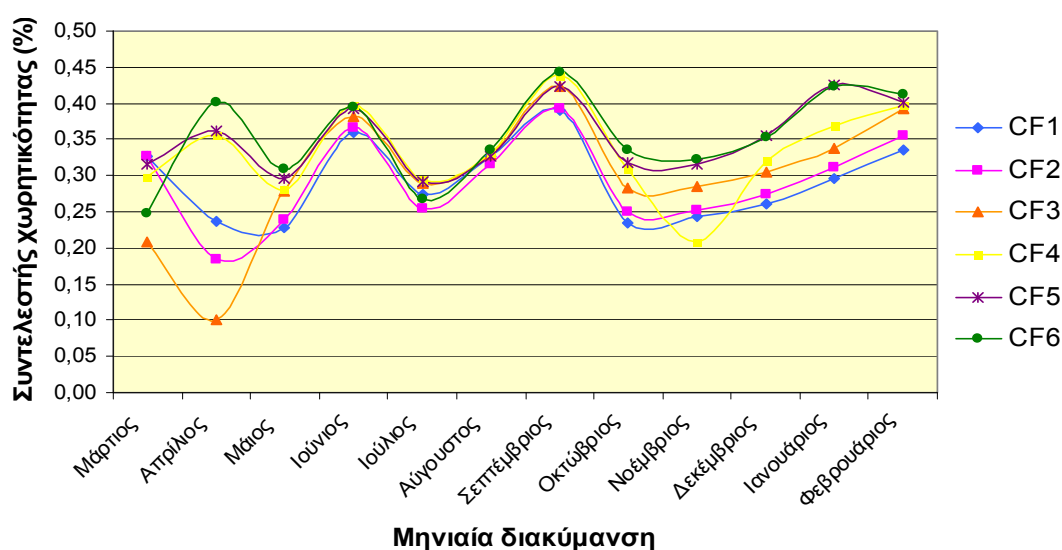
ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2006-2007												
ΜΗΝΑΣ	Μέση Μηνιαία Παραγόμενη Ισχύς - Συντελεστής Χωρητικότητας (CF)											
	Α/Γ 1	CF1	Α/Γ 2	CF2	Α/Γ 3	CF3	Α/Γ 4	CF4	Α/Γ 5	CF5	Α/Γ 6	CF6
Μάρτιος	278,05	0,33	277,92	0,33	177,96	0,21	253,07	0,30	268,43	0,32	210,99	0,25
Απρίλιος	201,75	0,24	157,03	0,18	86,62	0,10	302,63	0,36	308,34	0,36	341,92	0,40
Μάιος	194,10	0,23	203,34	0,24	236,56	0,28	239,34	0,28	251,44	0,30	262,44	0,31
Ιούνιος	305,52	0,36	310,84	0,37	324,13	0,38	337,10	0,40	332,92	0,39	336,19	0,40
Ιούλιος	233,65	0,27	216,45	0,25	245,45	0,29	249,49	0,29	248,39	0,29	226,63	0,27
Αύγουστος	278,52	0,33	267,91	0,32	279,40	0,33	280,75	0,33	276,84	0,33	285,60	0,34
Σεπτέμβριος	331,35	0,39	333,91	0,39	359,70	0,42	373,39	0,44	360,33	0,42	375,82	0,44
Οκτώβριος	199,36	0,23	213,20	0,25	239,77	0,28	261,91	0,31	270,74	0,32	284,94	0,34
Νοέμβριος	206,62	0,24	213,63	0,25	242,16	0,28	176,32	0,21	267,88	0,32	273,66	0,32
Δεκέμβριος	221,02	0,26	232,80	0,27	259,37	0,31	272,29	0,32	302,39	0,36	299,47	0,35
Ιανουάριος	252,24	0,30	264,81	0,31	287,04	0,34	313,72	0,37	361,28	0,43	359,55	0,42
Φεβρουάριος	284,73	0,33	302,58	0,36	333,46	0,39	338,18	0,40	340,93	0,40	350,86	0,41
Ετήσιος CF		0,29		0,29		0,30		0,33		0,35		0,35

Πίνακας 5.11 : Μηνιαίος & ετήσιος υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας (CF) ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ της κάθε Α/Γ, για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008

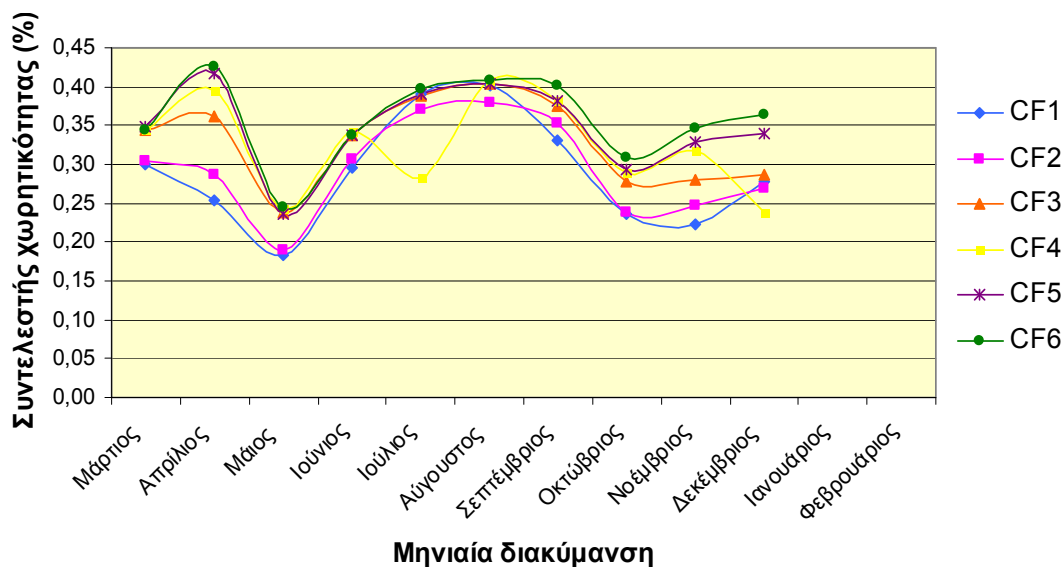
ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2007-2008												
ΜΗΝΑΣ	Μέση Μηνιαία Παραγόμενη Ισχύς - Συντελεστής Χωρητικότητας (CF)											
	Α/Γ 1	CF1	Α/Γ 2	CF2	Α/Γ 3	CF3	Α/Γ 4	CF4	Α/Γ 5	CF5	Α/Γ 6	CF6
Μάρτιος	254,29	0,30	258,82	0,30	293,34	0,35	291,74	0,34	296,49	0,35	293,17	0,34
Απρίλιος	216,36	0,25	243,22	0,29	308,29	0,36	335,19	0,39	355,29	0,42	361,71	0,43
Μάιος	155,93	0,18	162,12	0,19	202,48	0,24	206,18	0,24	200,60	0,24	207,71	0,24
Ιούνιος	251,92	0,30	259,80	0,31	287,65	0,34	290,17	0,34	287,26	0,34	286,84	0,34
Ιούλιος	331,38	0,39	314,10	0,37	329,91	0,39	240,91	0,28	331,58	0,39	337,67	0,40
Αύγουστος	341,87	0,40	321,94	0,38	342,88	0,40	346,01	0,41	343,43	0,40	346,19	0,41
Σεπτέμβριος	281,16	0,33	299,32	0,35	319,68	0,38	325,30	0,38	323,47	0,38	342,16	0,40
Οκτώβριος	200,12	0,24	202,28	0,24	235,68	0,28	246,17	0,29	250,30	0,29	263,27	0,31
Νοέμβριος	189,94	0,22	210,85	0,25	238,78	0,28	269,30	0,32	279,50	0,33	295,17	0,35
Δεκέμβριος	235,88	0,28	229,27	0,27	244,23	0,29	203,03	0,24	289,66	0,34	308,82	0,36
Ιανουάριος												
Φεβρουάριος												
Ετήσιος CF		0,29		0,29		0,33		0,32		0,35		0,36

Ακολουθώς, παρατίθενται τα διαγράμματα της μέσης μηνιαίας διακύμανσης του συντελεστή χωρητικότητας των έξι Α/Γ του εξεταζόμενου Α/Π και για τις δύο χρονικές περιόδους. Παρατηρώντας τις καμπύλες που προκύπτουν συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο τμήμα, αν όχι όλο, καθεμιάς από αυτές βρίσκεται στην περιοχή πάνω από την τιμή 25% του συντελεστή χωρητικότητας. Από αυτό διαπιστώνεται ότι η συμπεριφορά της κάθε Α/Γ είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική και η συμβολή της στην συνολική απόδοση του πάρκου άκρως σημαντική. Θετικό στοιχείο αποτελεί επίσης το ότι οι διακυμάνσεις του συντελεστή χωρητικότητας δεν είναι αρκετά μεγάλες (0,2 – 0,4) σε όλη τη διάρκεια του έτους, γεγονός που ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες για προβλήματα στη λειτουργία.

Διάγραμμα 5.16 : Μέση μηνιαία διακύμανση του συντελεστή χωρητικότητας των έξι Α/Γ του Α/Π, για τη χρονική περίοδο 2006 – 2007



Διάγραμμα 5.17 : Μέση μηνιαία διακύμανση του συντελεστή χωρητικότητας των έξι Α/Γ του Α/Π, για τη χρονική περίοδο 2007 – 2008



Η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια από μια Α/Γ του υπό μελέτη αιολικού πάρκου υπολογίζεται από τη σχέση που προαναφέρθηκε στο μέρος της μεθοδολογίας και έτσι έχουμε ότι :

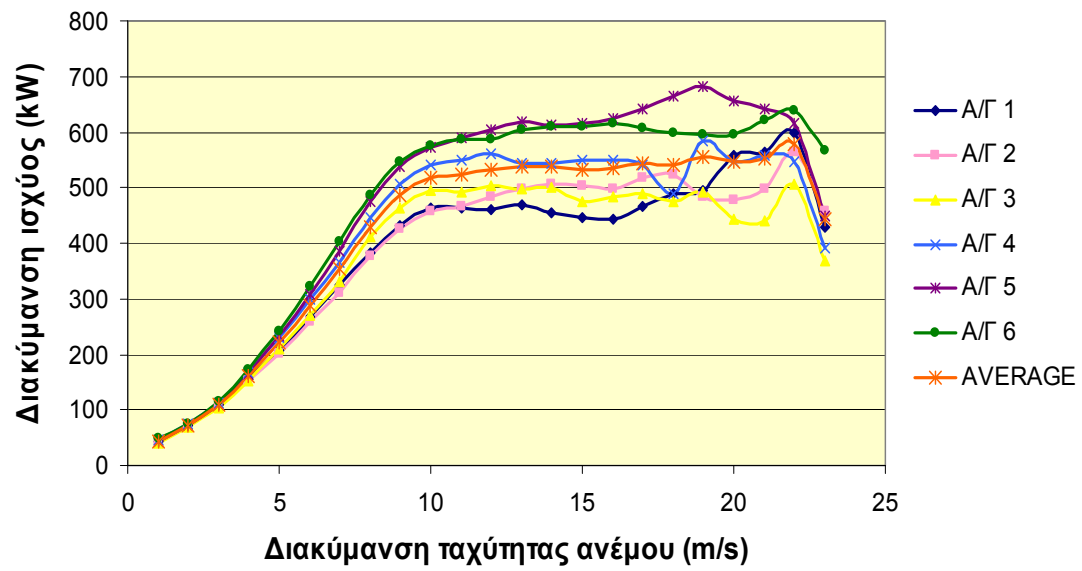
$$E = 8.760 * \Delta * \omega * N_0 = 8.760 * 1 * 0,37 * 850 = 2.751,87 \text{ MWh}$$

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας και το σχετικό διάγραμμα που αφορούν στις καμπύλες ισχύος των έξι Α/Γ, όπως επίσης και του συνόλου του Α/Π. Έτσι λοιπόν, με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, μέχρι τα 13 m/s, παρατηρείται αύξηση και της παραγόμενης ισχύος, όπου στο σημείο αυτό κυμαίνεται από 480 έως 600 kW. Από τα 13 m/s και με την περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του ανέμου διαπιστώνεται μια σταθερότητα στην παραγόμενη ισχύ, με πολύ μικρές διακυμάνσεις, από όλες τις Α/Γ του πάρκου μέχρι και τα 25 m/s, όπου σταματάει και η λειτουργία της Α/Γ για λόγους ασφαλούς λειτουργίας του.

Πίνακας 5.12 : Παραγόμενη ισχύς από κάθε Α/Γ, αλλά και από το Α/Π στο σύνολό του, σε συνάρτηση με το εύρος της ταχύτητας του ανέμου

Εύρος Ταχυτήτων (m/s)	Παραγόμενη Ισχύς (kW)						
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 4	Α/Γ 5	Α/Γ 6	Α/Π
4	43,5	44,4	39,5	46,7	42,6	47,8	44,1
5	71,0	72,4	67,9	74,1	70,6	76,1	72,0
6	108,3	107,0	104,4	112,9	108,3	115,6	109,4
7	154,9	153,5	153,6	167,8	162,8	172,7	160,9
8	207,4	202,7	210,1	228,9	232,6	241,9	220,6
9	266,8	257,9	269,3	299,4	307,0	322,6	287,2
10	325,4	311,5	330,4	365,7	384,4	403,6	353,5
11	383,8	375,8	410,4	447,4	473,4	487,0	429,7
12	431,0	425,8	464,5	505,5	537,5	545,7	485,0
13	464,6	456,1	496,0	539,7	571,5	574,4	517,0
14	463,8	464,9	491,9	549,5	591,3	586,1	524,6
15	460,9	483,6	503,2	561,8	604,6	586,5	533,4
16	468,3	497,1	496,9	544,7	619,9	604,5	538,6
17	455,4	506,0	500,1	544,6	612,0	611,5	538,3
18	446,9	502,7	475,6	550,0	616,8	609,0	533,5
19	444,1	497,9	483,8	550,1	625,3	615,9	536,2
20	467,2	518,2	488,6	540,9	641,7	608,2	544,1
21	490,4	522,5	474,3	488,1	665,8	597,8	539,8
22	495,5	484,5	491,3	585,0	681,0	595,7	555,5
23	558,3	478,8	443,6	545,5	655,5	595,0	546,1
24	564,5	496,7	440,2	557,7	642,5	620,3	553,7
25	597,6	565,0	507,1	547,1	615,2	638,3	578,4
>26	427,4	457,1	367,0	392,0	450,0	567,0	443,4

Διάγραμμα 5.18 : Καμπύλες ισχύος για τις έξι Α/Γ & για το Α/Π στο σύνολό του



5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen INTERNATIONAL

5.2.1 Χρησιμοποιούμενα δεδομένα

Δεδομένα που αφορούν στο Ενεργειακό Υπόδειγμα (Energy Model) & στα Δεδομένα Εξοπλισμού (Equipment Data)

- Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου υπολογίστηκε από τη στατιστική ανάλυση ότι ισούται με 9,2 m/s.
- Το ύψος από το έδαφος όπου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις ορίστηκε στα 30 m.
- Ο συντελεστής τριβής, α , υπολογίστηκε από τη χρονοσειρά της τυπικής απόκλισης του ανεμομέτρου C2 ότι ισούται περίπου με 0,1.
- Η ατμοσφαιρική πίεση, δεδομένου του υψομέτρου της εξεταζόμενης περιοχής, που είναι περίπου 670 m, ισούται με 1,225 kg/m³.
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα υπολογίστηκε περίπου στους 15 °C.
- Ο αριθμός των Α/Γ του Α/Π είναι έξι, τύπου Vestas V52 850/52, ονομαστικής ισχύος 850 kW, διαμέτρου ρότορα 52 m, ύψους κεφαλής δρομέα 55 m, (ταχύτητας εισόδου 4 m/s, ταχύτητας εξόδου 25 m/s και ηλεκτρικές απώλειες μεταφοράς στο κεντρικό δίκτυο 2%). Το εμβαδό που καλύπτεται από την περιστροφή του ρότορα είναι $A_T = 2.123,71 \text{ m}^2$.
- Η τιμή των απωλειών που επιδρούν λόγω σκίασης (array losses) επιλέχθηκε να είναι 10%. Λόγω μόλυνσης/σκόνης των πτερυγίων (airfoil soiling and/or icing losses) 5%, λόγω διακοπής λειτουργίας (downtime losses) 4% και άλλες απρόβλεπτες απώλειες (miscellaneous losses) 3%.

Δεδομένα που αφορούν στην Ανάλυση Κόστους (Cost Analysis)

- Το γενικό κόστος για την αγορά και εγκατάσταση των Α/Γ υπολογίζεται ότι είναι περίπου 1.200.000 €/MW, επομένως για το εξεταζόμενο αιολικό πάρκο των 5,1 MW, το κόστος των Α/Γ θα φτάσει περίπου τα 6.120.000 €.
- Το κόστος των ανταλλακτικών περιγράφεται ως ποσοστό του συνολικού κόστους των Α/Γ. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 1,5 έως 30% (με τη χαμηλότερη τιμή να αντιστοιχεί σε μεγάλα αιολικά πάρκα και την υψηλότερη σε μικρά). Για την εγκατάσταση του συγκεκριμένου αιολικού πάρκου επιλέχθηκε το ποσοστό 10%, το οποίο εκφράζει ικανοποιητικά ένα αιολικό πάρκο των 5,1 MW.
- Για ένα αιολικό πάρκο, τα στοιχεία που αφορούν στην ισορροπία της εγκατάστασης περιλαμβάνουν : τα θεμέλια των Α/Γ, την ανέγερση, την οδική

οικοδόμηση, τη γραμμή μετάδοσης, τον υποσταθμό, καθώς και τις δαπάνες μεταφορών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ποσοστό αυτών των δαπανών επιλέχθηκε να είναι 14,1% του συνολικού κόστους.

Δεδομένα που αφορούν στην Οικονομική Σύνοψη (Financial Summary)

- Η τιμή της kWh για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ισούται με 0,095 €.
- Ο ετήσιος πληθωρισμός ορίστηκε στο 3%.
- Η διάρκεια ζωής του έργου προβλέπεται να είναι 20 χρόνια περίπου.
- Το ποσοστό επιδοτήσεων που χορηγούνται για την περάτωση του έργου επιλέχθηκε να είναι 25% του συνολικού κόστους της επένδυσης.
- Το ποσοστό έκπτωσης, το οποίο είναι το ποσοστό που χρησιμοποιείται για να απορρίψει τις μελλοντικές ροές μετρητών, προκειμένου να ληφθεί η παρούσα αξία τους, κυμαίνεται από 3 έως 18%. Για το συγκεκριμένο έργο επιλέχθηκε η τιμή του να είναι 7%.
- Το ποσοστό χρέους επιλέχθηκε να ισούται με 60% και το επιτόκιο χρέους με 8%. Η χρονική διάρκεια αυτής της διαδικασίας ισούται με το χρόνο ζωής του έργου.

Δεδομένα που αφορούν στην Ανάλυση Ευαισθησίας & Επικινδυνότητας (Sensitivity & Risk Analysis)

- Το εύρος ευαισθησίας (sensitivity range), το οποίο ορίζει το μέγιστο ποσοστό διακύμανσης για όλες τις παραμέτρους- “κλειδιά”, έχει επιλεγεί στο 20%.
- Η τιμή κατωφλίου (threshold) για τον οικονομικό δείκτη, όπου αντιπροσωπεύει το ποσοστό κάτω/ πάνω του οποίου η επένδυση δεν είναι βιώσιμη, έχει επιλεγεί στο 15%.
- Το επίπεδο αβεβαιότητας (level of risk), το οποίο εισάγεται για να ορίσει ένα διάστημα εμπιστοσύνης μέσα στο οποίο ο οικονομικός δείκτης αναμένεται να σημειωθεί, έχει επιλεγεί στο 10%.

5.2.2 Αποτελέσματα για την παρούσα κατάσταση (Present Scenario)

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό RETScreen International, προέκυψαν αποτελέσματα, τα οποία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες : Ενεργειακά, Περιβαλλοντικά και Οικονομικά. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει αυτά τα αποτελέσματα για τις πραγματικές συνθήκες της κατασκευής αλλά και λειτουργίας του Α/Π.

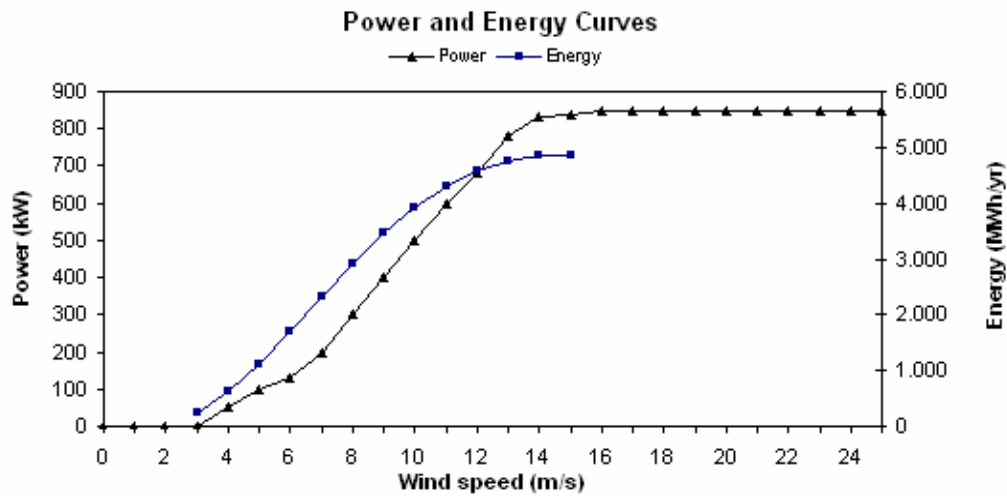
Μελετώντας τα εξαγόμενα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι το ήδη εγκατεστημένο Α/Π πληροί όλες τις προϋποθέσεις για σωστή και βιώσιμη λειτουργία, εφόσον συμβάλλει σημαντικά στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με την ανανεώσιμη ενέργεια που παράγει και συγχρόνως συνδυάζει μια ικανοποιητική οικονομική πολιτική προώθησης της αιολικής ενέργειας.

Πίνακας 5.13 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την περίπτωση της πραγματικότητας

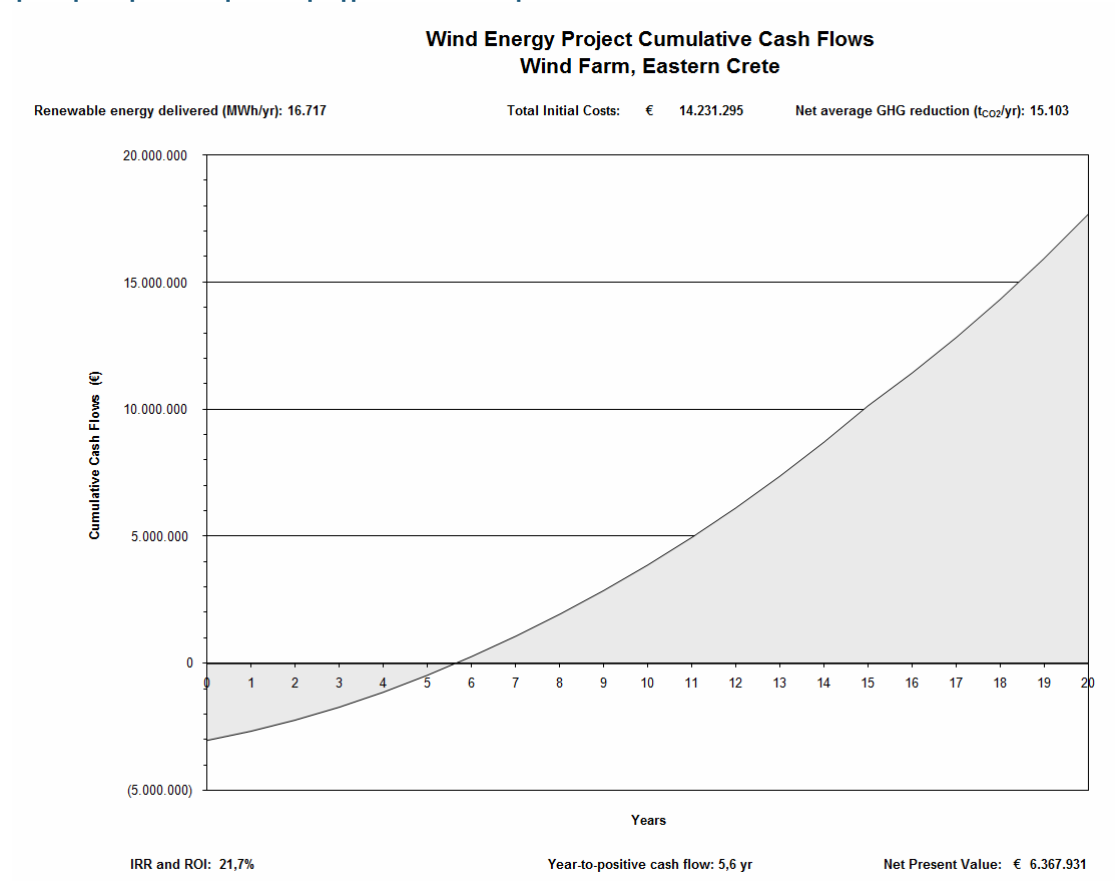
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	<i>Χωρητικότητα Α/Π (MW)</i>	5,1
	<i>Ειδική Απόδοση (kWh/m²)</i>	1.312
	<i>Συντελεστής Χωρητικότητας Α/Π (%)</i>	37
	<i>Παραγόμενη Ανανεώσιμη Ενέργεια (MWh)</i>	16.717
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	<i>Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (t CO₂/yr)</i>	10.498
	<i>Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου -20 yr (t CO₂)</i>	209.960
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	<i>Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (%)</i>	21,7
	<i>Περίοδος Απόδοσης Κεφαλαίου (yr)</i>	9,1
	<i>Διάρκεια Πρώτης Θετικής Συσσωρευτικής Ταμειακής Ροής (yr)</i>	5,6
	<i>Καθαρή Παρούσα Αξία (€)</i>	6.367.931
	<i>Απλός Συντελεστής Απόδοσης Κεφαλαίου</i>	2,12

Ακολουθώς παρατίθενται τα διαγράμματα για την παραγόμενη ισχύ και ενέργεια ανάλογα με την ταχύτητα ανέμου, για τις Α/Γ του Α/Π των 850 kW, και για τις συσσωρευτικές ταμειακές ροές της επένδυσης στην κατάσταση της πραγματικότητας. Από το Διάγραμμα 5.19 είναι εμφανές ότι σχεδόν όλες οι ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια των 20 ετών, αν εξαιρεθεί το πρώτο διάστημα της επένδυσης του αρχικού κεφαλαίου, είναι θετικές. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το εξεταζόμενο έργο αποτελεί μια βέλτιστη οικονομικά επένδυση.

Διάγραμμα 5.19 : Καμπύλες ισχύος & παραγόμενης ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου για την περίπτωση της πραγματικότητας



Διάγραμμα 5.20 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για την περίπτωση των πραγματικών συνθηκών



5.2.3 Αποτελέσματα για την α' ομάδα σεναρίων – Αύξηση της ισχύος της Α/Γ

Κατά την εφαρμογή της α' ομάδας σεναρίων πραγματοποιήθηκε υποθετική εγκατάσταση Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος από εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στην πραγματικότητα, για να μελετηθούν οι επιπτώσεις που πιθανό να υπήρχαν από τη χρήση τους. Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει την εγκατάσταση Α/Γ 1.650 kW (Vestas V82-1,65 MW) και το δεύτερο την εγκατάσταση Α/Γ 2.000 kW (Vestas V80-2 MW). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εισαγωγή των νέων δεδομένων συγκρίνονται με εκείνα από την περίπτωση της πραγματικότητας και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.14.

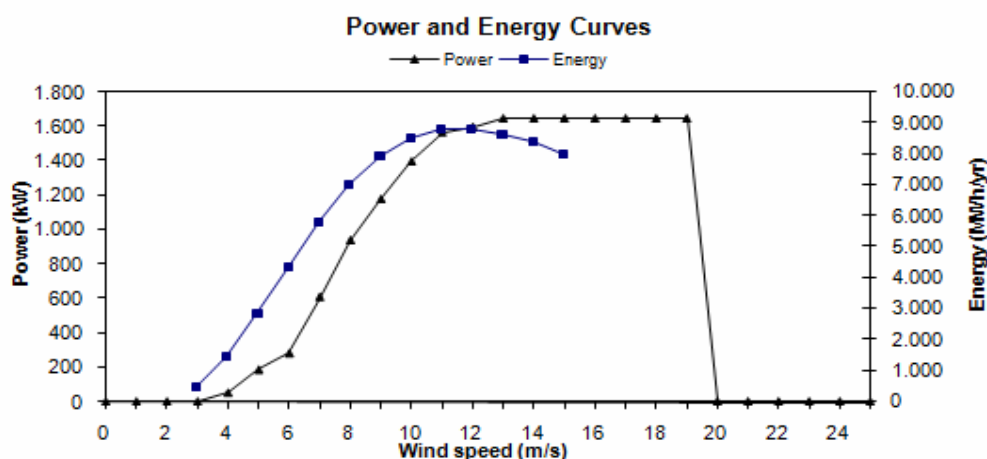
Από τα εξαγόμενα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι η αύξηση της ισχύος των Α/Γ οδηγεί σε ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα, τόσο στις ενεργειακές παραμέτρους, όσο και στις οικονομικές. Η επένδυση ενός αιολικού πάρκου μεγαλύτερης ισχύος στην υπό μελέτη περιοχή, αφενός μπορεί να απαιτεί μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή του, αφετέρου όμως η λειτουργία του δείχνει ότι θα απέφερε μεγαλύτερα και πιο σύντομα κέρδη, εξαιτίας της μεγαλύτερης ποσότητας ανανεώσιμης ενέργειας που θα παρήγαγε. Θα πρέπει παρόλα αυτά να αναφερθεί ότι το ρίσκο της επένδυσης, όταν αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς, μεγαλώνει και αυτή η αβεβαιότητα ωθεί τους επενδυτές σε πιο ασφαλείς τρόπους οικονομικής επιτευξιμότητας του έργου.

Πίνακας 5.14 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την α' ομάδα σεναρίων – Αύξησης της ισχύος της Α/Γ

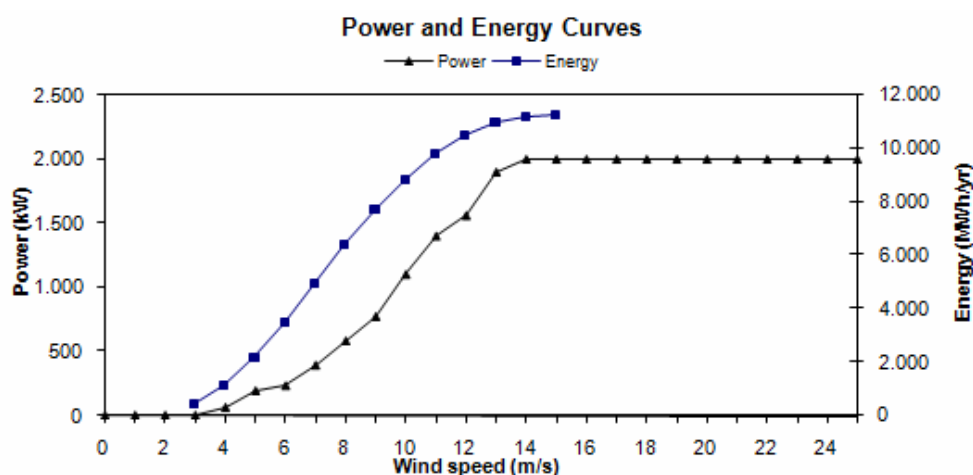
ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ - Α' ΟΜΑΔΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ		
		Πραγματική Κατάσταση	Σενάριο Α/Γ 1,65 MW	Σενάριο Α/Γ 2 MW
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ	Παραγόμενη Ανανεώσιμη Ενέργεια (MWh)	16.717	37.635	39.671
	Συντελεστής Χωρητικότητας (%)	37	43	38
	Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (t CO ₂ /yr)	10.498	23.635	24.913
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ	Περίοδος Απόδοσης Κεφαλαίου (yr)	9,1	6,9	6,7
	Διάρκεια Πρώτης Θετικής Συσσωρευτικής Ταμειακής Ροής (yr)	5,6	4	3,9
	Απλός Συντελεστής Απόδοσης Κεφαλαίου	2,12	2,84	2,89
	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	6.367.931	19.145.957	20.734.598
	Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (%)	21,7	29,1	30,1

Στα διαγράμματα 5.20 και 5.21 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καμπύλες ισχύος των Α/Γ του Α/Π για την υποτιθέμενη αύξηση της ονομαστικής τους ισχύος στα 1650 kW και στα 2000 kW. Από αυτές προκύπτουν οι καμπύλες της παραγόμενης ενέργειας, από τις οποίες υπολογίζεται η ετήσια ενεργειακή παραγωγή του Α/Π με τη χρήση της εξίσωσης Weibull.

Διάγραμμα 5.21 : Καμπύλες ισχύος & παραγόμενης ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου για την περίπτωση υποθετικής εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 1,65 MW

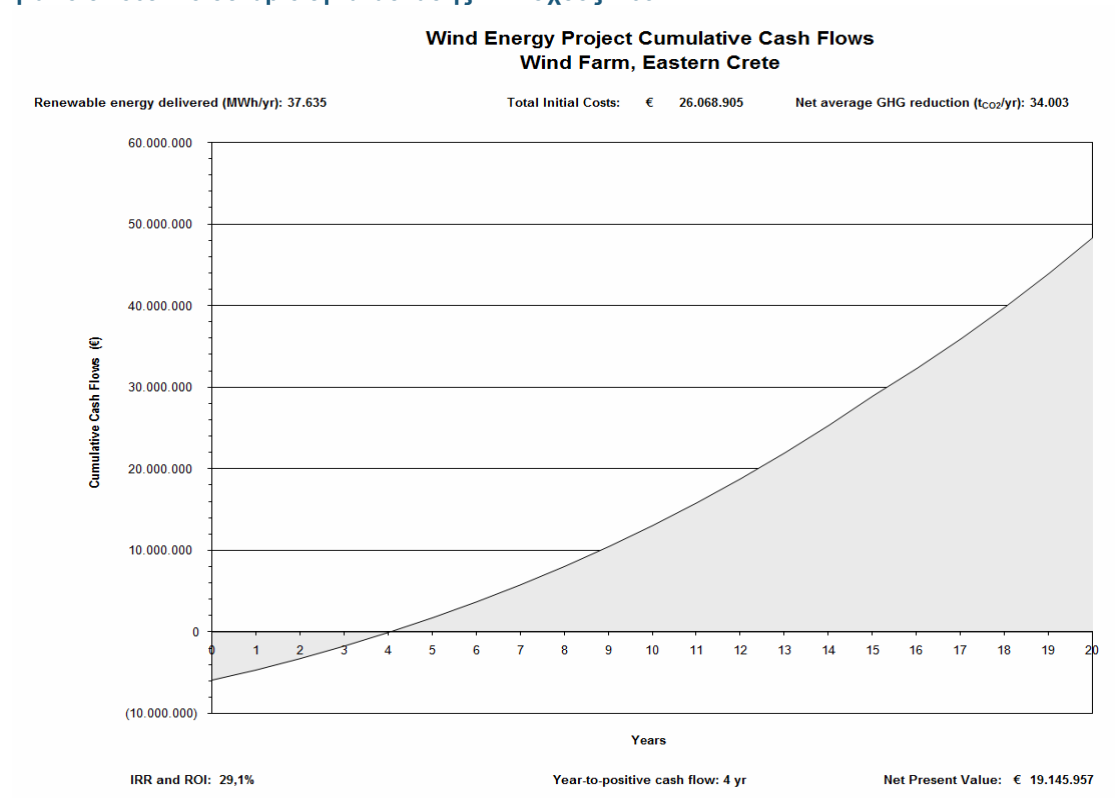


Διάγραμμα 5.22 : Καμπύλες ισχύος & παραγόμενης ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου για την περίπτωση υποθετικής εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 2 MW

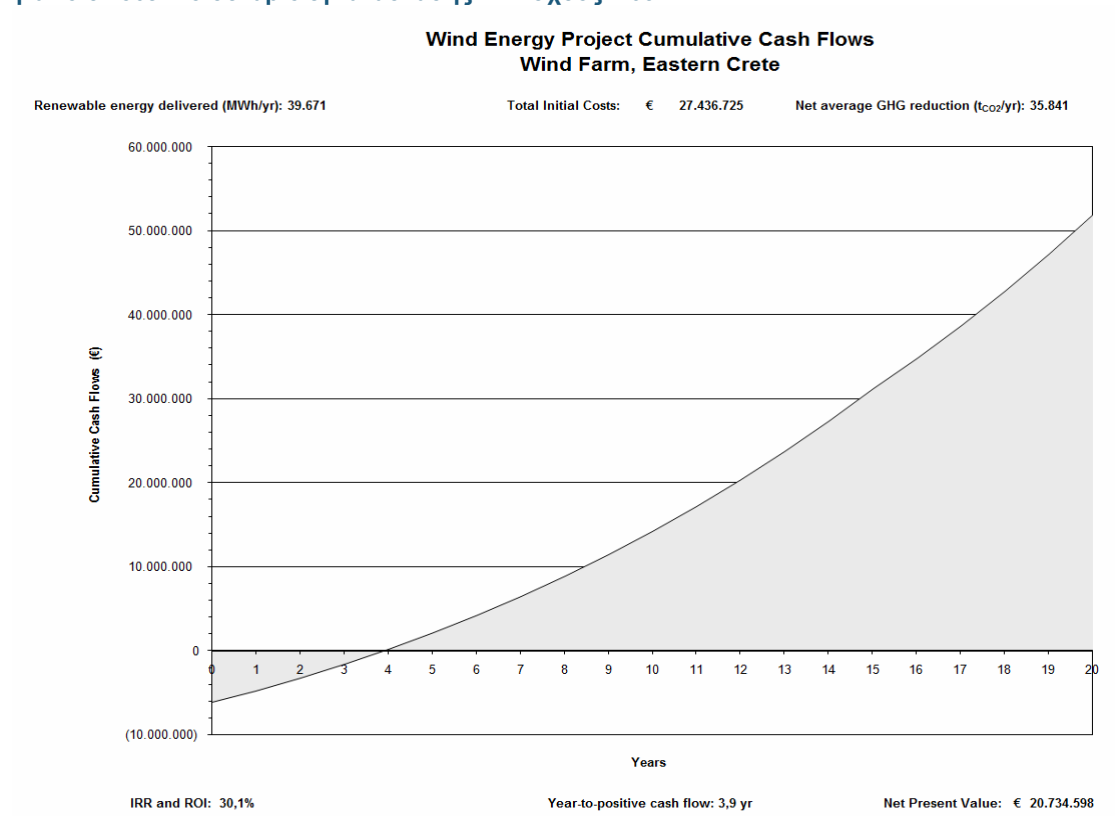


Στα επόμενα γραφήματα 5.22 και 5.23 φαίνεται η συμπεριφορά των συσσωρευτικών ταμειακών ροών της επένδυσης για τα υποθετικά σενάρια εγκατάστασης Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος. Και για τις δύο περιπτώσεις οι ταμειακές ροές παρατηρούμε πως ακολουθούν ικανοποιητική πορεία στο χρόνο ζωής του έργου, με αρκετά μικρό χρόνο αποπληρωμής, της τάξης των 7 χρόνων, και εξαιρετικά υψηλό εσωτερικό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% περίπου. Από αυτά συμπεραίνουμε ότι η επένδυση και για τα δύο σενάρια είναι οικονομικά βιώσιμη, αλλά και ενεργειακά και περιβαλλοντικά συμφέρουσα.

Διάγραμμα 5.23 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 1.65 MW



Διάγραμμα 5.24 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο εγκατάστασης Α/Γ ισχύος 1.65 MW



5.2.4 Αποτελέσματα για την β' ομάδα σεναρίων – Μείωση των επιδοτήσεων της επένδυσης

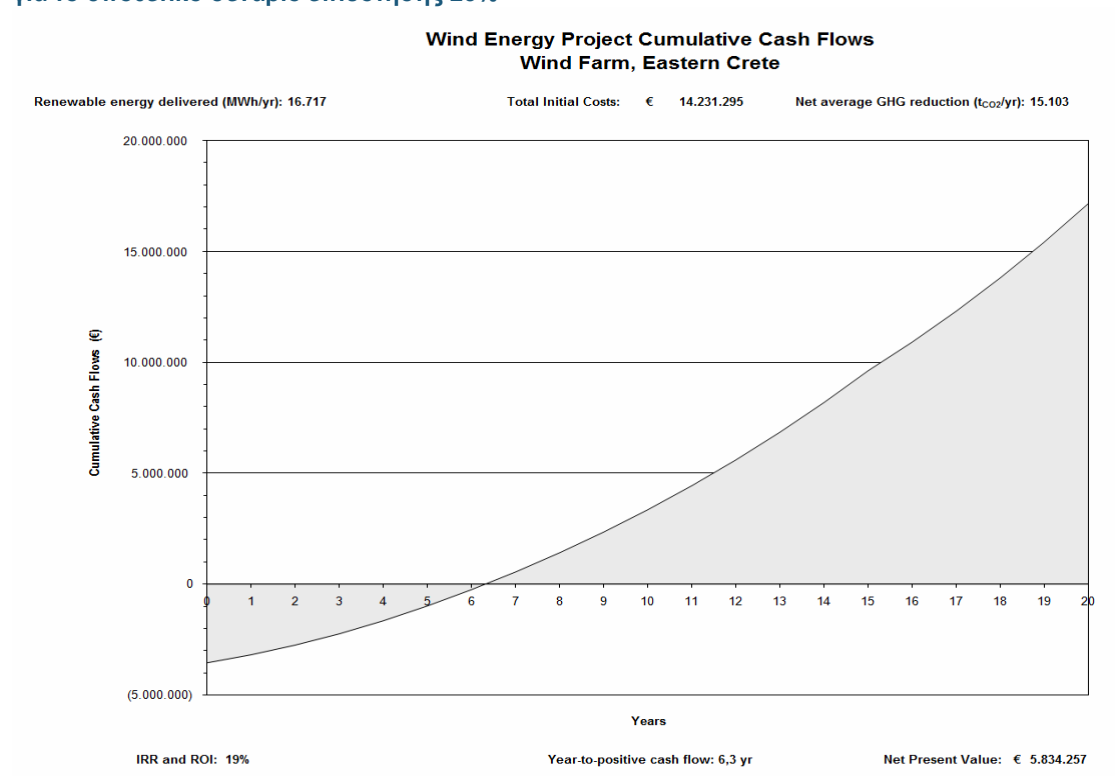
Η β' ομάδα σεναρίων αφορά στη διακύμανση του ύψους των επιδοτήσεων που συνήθως χορηγούνται για την περάτωση διαφόρων έργων αλλά και στο πόσο επηρεάζεται η βιωσιμότητα της επένδυσης από αυτή τη διακύμανση. Το πρώτο υποθετικό σενάριο αναφέρεται στη μείωση του επιδοτούμενου ποσού από 25% του συνολικού κόστους σε 20% και το δεύτερο στην περίπτωση που δεν δοθεί καθόλου επιδότηση στο υπό μελέτη έργο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εισαγωγή των νέων δεδομένων συγκρίνονται με εκείνα από την περίπτωση της πραγματικότητας και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.15.

Είναι εμφανές ότι από την εφαρμογή αυτών των υποθετικών περιπτώσεων τα εξαγόμενα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά, αφού όλες οι εξεταζόμενες παράμετροι καθιστούν την επένδυση βιώσιμη και επομένως και τα δύο σενάρια αποδεκτά. Πιο συγκεκριμένα, για την πρώτη περίπτωση υποθετικής μείωσης της επιδότησης σε 20%, οι τιμές των οικονομικών αποτελεσμάτων είναι πολύ κοντά με αυτές της παρούσας κατάστασης, γεγονός που την καθιστά οικονομικά βιώσιμη. Όσον αφορά στη δεύτερη περίπτωση της μηδενικής επιδότησης, παρατηρείται μια σχετικά μικρή απόκλιση των οικονομικών παραμέτρων από αυτές της παρούσας κατάστασης, ωστόσο δεν συνεπάγεται σημαντικές επιπτώσεις στη βιωσιμότητα της επένδυσης, εφόσον οι τιμές που προκύπτουν βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια για αποδοχή της συγκεκριμένης πρότασης ως συμφέρουσα. Για αυτό το λόγο και τα δύο σενάρια καθίστανται οικονομικά, αλλά και ενεργειακά αποδεκτά.

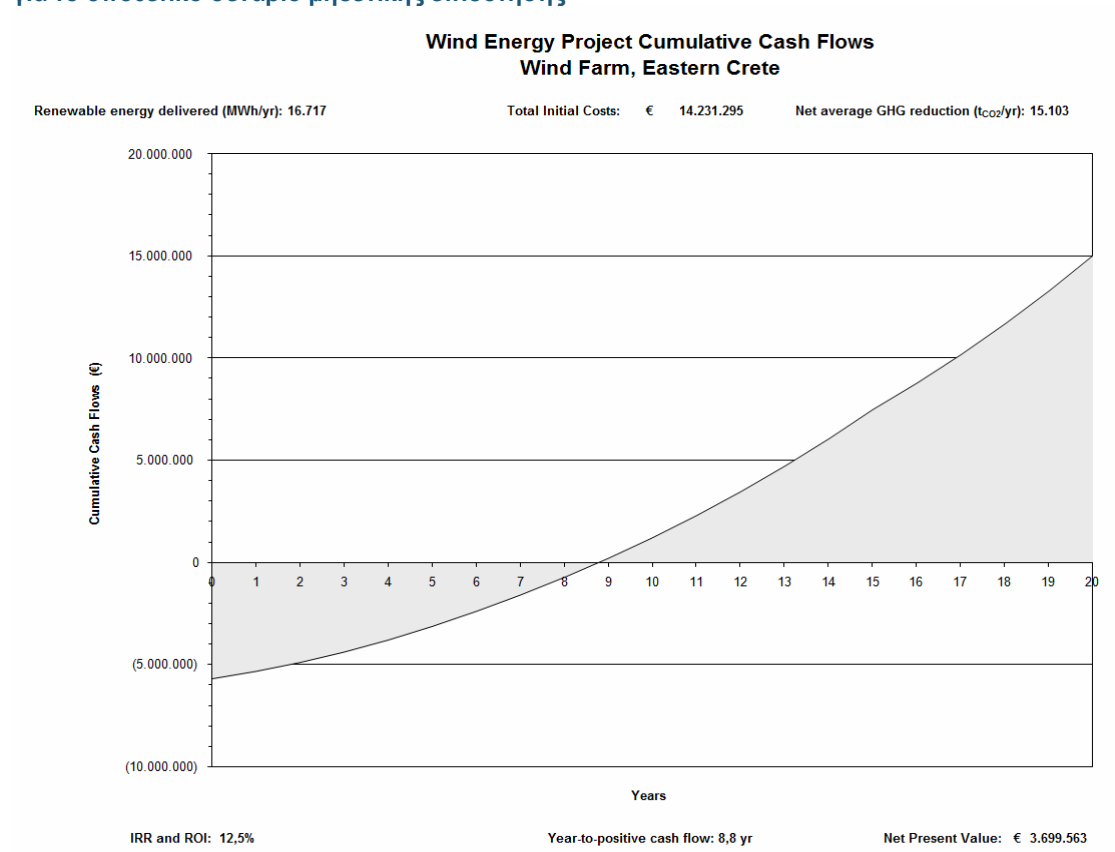
Πίνακας 5.15 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την β' ομάδα σεναρίων – Μείωσης των επιδοτήσεων της επένδυσης

ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ - Β' ΟΜΑΔΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ		
		Πραγματική Κατάσταση	Σενάριο επιδότησης 20%	Σενάριο επιδότησης 0%
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ	Παραγόμενη Ανανεώσιμη Ενέργεια (MWh)	16.717	16.717	16.717
	Συντελεστής Χωρητικότητας (%)	37	37	37
	Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (t CO ₂ /yr)	10.498	10.498	10.498
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ	Περίοδος Απόδοσης Κεφαλαίου (yr)	9,1	9,7	12,2
	Διάρκεια Πρώτης Θετικής Συσσωρευτικής Ταμειακής Ροής (yr)	5,6	6,3	8,8
	Απλός Συντελεστής Απόδοσης Κεφαλαίου	2,12	2,02	1,65
	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	6.367.931	5.834.257	3.699.563
	Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (%)	21,7	19	12,5

Διάγραμμα 5.25 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο επιδότησης 25%



Διάγραμμα 5.26 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο μηδενικής επιδότησης



5.2.5 Αποτελέσματα για την γ' ομάδα σεναρίων –Μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου

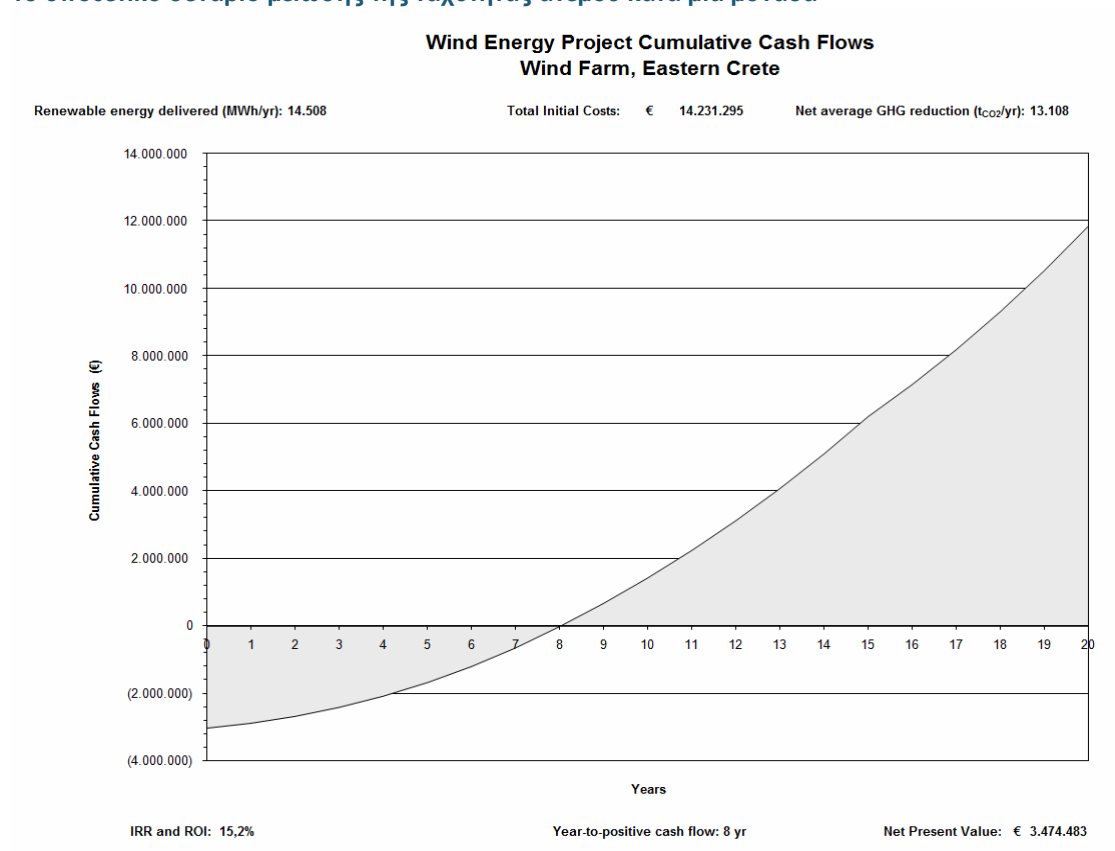
Στην γ' και τελευταία ομάδα σεναρίων επιδιώχθηκε η υποθετική υποβάθμιση του αιολικού δυναμικού με μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου, με σκοπό τη μελέτη των επιπτώσεων που θα προκληθούν στην περάτωση και λειτουργία του έργου. Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά μία μονάδα και η δεύτερη κατά δύο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εισαγωγή των νέων δεδομένων συγκρίνονται με εκείνα από την παρούσα κατάσταση και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.16.

Από τα εξαγόμενα αποτελέσματα παρατηρείται ότι μία μικρή σχετικά μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου της κλίμακας της μίας μονάδας δεν ενδέχεται να δημιουργήσει σοβαρές διακυμάνσεις ούτε στις ενεργειακές – περιβαλλοντικές παραμέτρους, αλλά ούτε και στις οικονομικές. Αξιοσημείωτες επιπτώσεις ενδέχεται να έχει η μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά δύο μονάδες, αφού και οι οικονομικές αλλά και οι ενεργειακές – περιβαλλοντικές παράμετροι επηρεάζονται σημαντικά και τείνουν στη μη βιώσιμη εφαρμογή του σεναρίου. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση της παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας οδηγεί σε μείωση της καθαρής ετήσιας μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που συμβάλλει στην υποβάθμιση της ενεργειακής αποδοτικότητας αλλά και της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης, με την αρνητική τιμή της Καθαρής Παρούσας Αξίας και τη μικρή τιμή του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης).

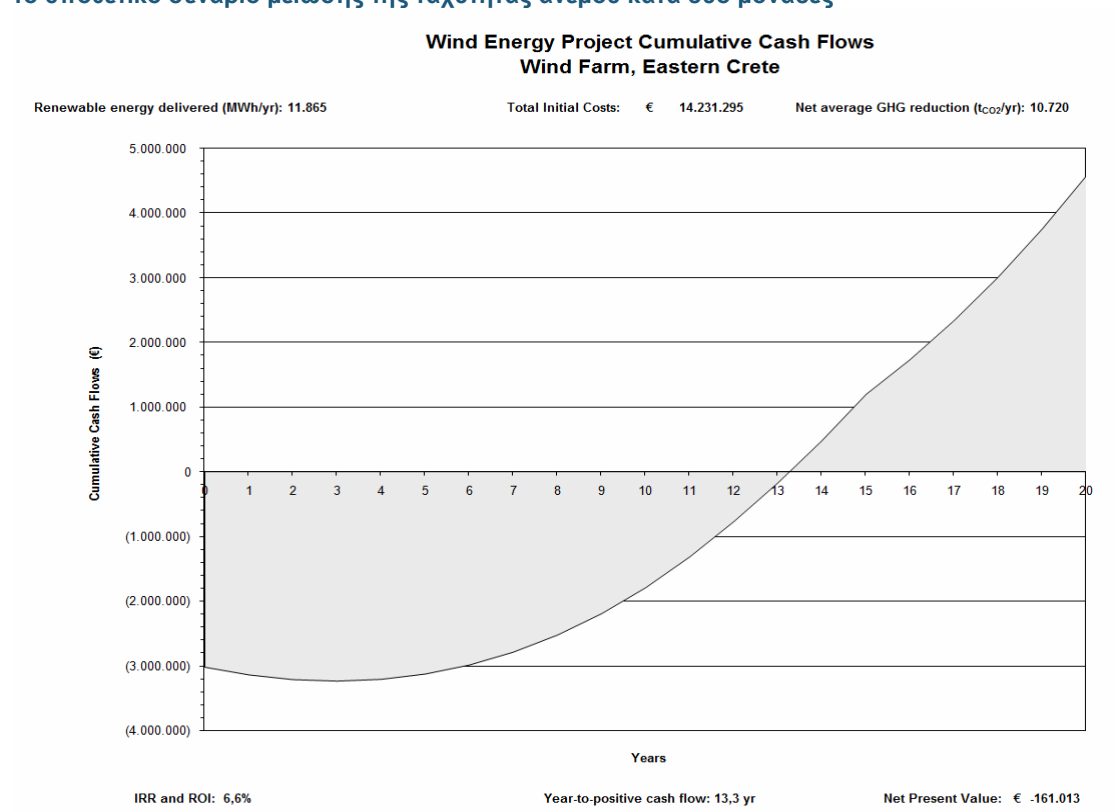
Πίνακας 0.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την β' ομάδα σεναρίων – Μείωσης των επιδοτήσεων της επένδυσης

ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ - Γ' ΟΜΑΔΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ		
		Πραγματική Κατάσταση	Σενάριο μείωσης ταχύτητας ανέμου στα 8,2 m/s	Σενάριο μείωσης ταχύτητας ανέμου στα 7,2 m/s
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ	Παραγόμενη Ανανεώσιμη Ενέργεια (MWh)	16.717	14.508	11.865
	Συντελεστής Χωρητικότητας (%)	37	32	27
	Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (t CO ₂ /yr)	10.498	9.111	7.451
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ	Περίοδος Απόδοσης Κεφαλαίου (yr)	9,1	11,1	15,1
	Διάρκεια Πρώτης Θετικής Συσσωρευτικής Ταμειακής Ροής (yr)	5,6	8	13,3
	Απλός Συντελεστής Απόδοσης Κεφαλαίου	2,12	1,61	0,24
	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	6.367.931	3.474.483	-161.013
	Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (%)	21,7	15,2	6,6

Διάγραμμα 0.1 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο μείωσης της ταχύτητας ανέμου κατά μία μονάδα



Διάγραμμα 0.2 : Απεικόνιση συσσωρευτικών ταμειακών ροών του έργου αιολικής ενέργειας, για το υποθετικό σενάριο μείωσης της ταχύτητας ανέμου κατά δύο μονάδες



5.3 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Τα βασικά αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που προηγήθηκαν, οι οποίες είχαν σκοπό την αξιολόγηση της βιωσιμότητας ενός εγκατεστημένου Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης, παρουσιάζονται παρακάτω :

- ❁ Τα αποτελέσματα σχετικά με τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου δείχνουν ότι ακολουθούν μια εποχιακή επαναληψιμότητα από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη, με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται στην αρχή της εαρινής περιόδου (Μάρτιο – Απρίλιο) και στα μέσα της καλοκαιρινής (Ιούλιο – Αύγουστο) και χειμερινής περιόδου (Δεκέμβριο – Φεβρουάριο). Όσον αφορά στις ετήσιες ταχύτητες ανέμου παρατηρείται ότι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα, με τιμή 9,16 m/s το 2006 – 2007 και 9,38 m/s το 2007 – 2008.
- ❁ Από την απεικόνιση των κατανομών Weibull για τα ανεμολογικά δεδομένα των ταχυτήτων ανέμου υπήρξαν κάποιες διαφοροποιήσεις από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη, όπως η μείωση του συντελεστή μορφής k , η οποία οδηγεί στην αύξηση του εύρους τιμών των ταχυτήτων ανέμου αλλά και στη μείωση της τιμής της συχνότερα εμφανιζόμενης ταχύτητας ανέμου. Συγκρίνοντας τις απεικονίσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή της βέλτιστα προσαρμοσμένης κατανομής Weibull στα πειραματικά δεδομένα με την ετήσια καμπύλη συχνοτήτων παρατηρείται ικανοποιητική προσέγγιση των δεδομένων με εξαιρετική ακρίβεια.
- ❁ Τα ροδογράμματα που προέκυψαν και για τις δύο εξεταζόμενες χρονικές περιόδους έδειξαν ότι στη συγκεκριμένη θέση οι άνεμοι που επικρατούν στη συχνότητα εμφάνισης είναι βορειοδυτικοί και βόρειοι – βορειοδυτικοί, οι οποίοι είναι σχετικά ήπιοι σε ένταση, ενώ οι άνεμοι που δίνουν μεγαλύτερη ένταση, αλλά δεν σημειώνονται συχνά είναι νότιοι – νοτιοανατολικοί, νότιοι και νότιοι – νοτιοδυτικοί, αλλά και νοτιοανατολικοί. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων διεύθυνσης ανέμου, επιβεβαιώνουν την έγκυρη χωροθέτηση και εγκατάσταση των Α/Γ του Α/Π, και επομένως καθιστούν τη διαδικασία εύρεσης του προσανατολισμού των Α/Γ αξιόπιστη.
- ❁ Η μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς από το Α/Π δεν ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά στις δύο χρονικές περιόδους που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα το έτος 2006 – 2007 η παραγόμενη ισχύς σχηματίζει τρεις κορυφές μεγίστων τιμών κατά τους μήνες Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Φεβρουάριο, ενώ το έτος 2007 – 2008 σχηματίζει δύο κορυφές μεγίστων τιμών κατά τους μήνες Απρίλιο και Αύγουστο.
- ❁ Ο συντελεστής χωρητικότητας όλων των Α/Γ του Α/Π κατά τη διάρκεια των περιόδων που μελετήθηκαν δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και η ετήσια τιμή του κυμαίνεται από 29 έως 36%, ανάλογα με την Α/Γ και το έτος που εξετάζουμε. Οι τιμές αυτές του συντελεστή χωρητικότητας δηλώνουν το σωστό σχεδιασμό και τη βιώσιμη λειτουργία του Α/Π.

- Από τις καμπύλες ισχύος των έξι Α/Γ αλλά και του Α/Π στο σύνολό του, διαπιστώνεται ότι η παραγόμενη ισχύς δεν αυξάνεται συνεχώς με την αύξηση της ταχύτητας ανέμου, αλλά από κάποια τιμή ταχύτητας ανέμου και μετά αρχίζει να σταθεροποιείται, μέχρι την ταχύτητα αποκοπής λειτουργίας, όπου και σταματάει η παραγωγή. Η σταθεροποίηση της παραγόμενης ισχύος αρχίζει περίπου από τη στιγμή που η ταχύτητα ανέμου είναι στα 10 – 13 m/s, ονομαστικής ταχύτητας ανέμου.
- Από την εφαρμογή του λογισμικού για τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι το ήδη εγκατεστημένο Α/Π λειτουργεί κάτω από συνθήκες βιωσιμότητας, εφόσον η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια και η καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, αλλά και οι οικονομικοί δείκτες κυμαίνονται σε ικανοποιητικές τιμές που επιτρέπουν την αποδοχή της εξεταζόμενης περίπτωσης ως ενεργειακά και οικονομικά βιώσιμης.
- Συγκρίνοντας την υπολογισθείσα ετήσια παραγόμενη ενέργεια που προκύπτει άμεσα από τα πειραματικά ανεμολογικά στοιχεία, στο μέρος της στατιστικής ανάλυσης, και από τη χρήση της βέλτιστα προσαρμοσμένης στα πειραματικά δεδομένα κατανομής Weibull, στο μέρος της εφαρμογής του λογισμικού RETScreen, παρατηρείται μια διαφορά της τάξης των 34 MWh, δηλαδή του 1,23% περίπου, διαφορά ιδιαίτερα περιορισμένη, που καθιστά τους δύο τρόπους υπολογισμού ενεργειακής παραγωγής αξιόπιστους.
- Μελετώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την υποθετική εγκατάσταση Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος παρατηρείται για Α/Γ 1.650 kW μια αύξηση της τάξης των 125% της παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας και της καθαρής ετήσιας μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, σε σχέση με την περίπτωση της πραγματικότητας, ενώ για Α/Γ 2.000 kW αύξηση της τάξης των 137%. Αυτά τα θετικά στοιχεία συνοδεύονται και από ικανοποιητικά συμπεράσματα από τις εξεταζόμενες οικονομικές παραμέτρους, γεγονός που καθιστά βιώσιμη την επένδυση.
- Η β' ομάδα σεναρίων που αφορά στη μείωση των επιδοτήσεων από το 25% στο 20%, αλλά και στο 0%, χαρακτηρίζεται ως επιτεύξιμη οικονομικά, εφόσον τα αποτελέσματα από τους οικονομικούς δείκτες βρίσκονται μέσα στα επιθυμητά όρια και επιτρέπουν την εφαρμογή τους, χωρίς επιζήμιες οικονομικά επιπτώσεις για τον επενδυτή.
- Η υποθετική υποβάθμιση του αιολικού δυναμικού της περιοχής, με τη μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου, αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα στις ενεργειακές – περιβαλλοντικές παραμέτρους αλλά και στις οικονομικές. Πιο συγκεκριμένα, σε σχέση με την περίπτωση της πραγματικότητας, η μείωση της ετήσιας ταχύτητας ανέμου κατά μία μονάδα οδηγεί σε μείωση 15% της παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας αλλά και της καθαρής ετήσιας μείωσης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ενώ η μείωση της ταχύτητας ανέμου κατά δύο μονάδες οδηγεί σε μείωση 40% των παραμέτρων που αναφέρθηκαν.

Κεφάλαιο 6^ο

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ❖ Με δεδομένη τη σημαντικότητα που έχει η δυνατότητα πρόβλεψης της ενεργειακής παραγωγής, πριν την εγκατάσταση ενός Α/Π, η ερμηνεία των ανεμολογικών δεδομένων από την υπό μελέτη περιοχή είναι άκρως καθοριστική. Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης για την εγκατάσταση ενός Α/Π απαιτεί ένα ελάχιστο και βέλτιστο χρονικό διάστημα, στο οποίο θα πρέπει να γίνουν λεπτομερείς μετρήσεις των ανεμολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, ώστε να διεξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα.
- ❖ Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν είναι αρκετό να γνωρίζουμε απλώς τη μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής, αλλά απαιτείται η κατά το δυνατόν ακριβέστερη γνώση της κατανομής των συχνοτήτων εμφάνισης των διάφορων ταχυτήτων καθώς και των αντίστοιχων διευθύνσεων.
- ❖ Η χρήση των αναλυτικών εξισώσεων έχει ως στόχο την πρόβλεψη του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής με βάση ορισμένα στοιχεία μετρήσεων. Η ακριβής γνώση της ποιότητας του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής αποτελεί ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα, που συχνά σχετίζεται με την επιτυχία ή αποτυχία μιας αιολικής επένδυσης.
- ❖ Η έγκυρη αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μια περιοχής είναι αναγκαίο να συνοδεύεται και από σωστό σχεδιασμό χωροθέτησης και κατασκευής των Α/Γ, όπως επίσης και από τον αναγκαίο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, προκειμένου να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ενεργειακή παραγωγή και η βιώσιμη λειτουργία του Α/Π.
- ❖ Η υψηλή ενεργειακή απόδοση αποτελεί ίσως το βασικότερο παράγοντα βιωσιμότητας και αποτελεσματικότητας μιας αιολικής εγκατάστασης. Καθοριστική σημασία στην ενεργειακή συμπεριφορά μιας αιολικής επένδυσης έχει η τιμή του συντελεστή χωρητικότητας, γεγονός που υπογραμμίζει την αναγκαιότητα σωστής αλληλεπίδρασης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των υποψήφιων προς εγκατάσταση Α/Γ.
- ❖ Η κατανομή Weibull, εκτός από το ότι περιγράφει ικανοποιητική ακρίβεια τα πειραματικά στοιχεία που προέρχονται από μια εξεταζόμενη περιοχή, παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής. Από τη σύγκριση της υπολογιζόμενης ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, όπως αυτή προκύπτει αφενός από τα πειραματικά δεδομένα και αφετέρου από τη χρήση της προσαρμοσμένης σε αυτά καμπύλης Weibull, μπορεί να παρατηρήσουμε στα αποτελέσματα μια διαφορά που πιθανό να φτάνει και στο επίπεδο του

40% [Καλδέλλης, 2005]. Το γεγονός αυτό πρέπει να καθιστά ιδιαίτερα προσεχτική τη χρήση της ανάλυσης κατά Weibull για την εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή μιας εγκατάστασης, εφόσον πρόκειται για ανάλυση βέλτιστα (σύμφωνα με στατιστικά κριτήρια) προσαρμοσμένη στα πειραματικά δεδομένα.

- ❖ Το ήδη εγκατεστημένο Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης πληροί όλες τις προϋποθέσεις για σωστή και βιώσιμη λειτουργία, εφόσον συνδυάζει τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη με επιτυχημένη οικονομική πολιτική. Το υπό μελέτη Α/Π σε όλη τη διάρκεια ζωής του, που είναι γύρω στα 20 έτη, θα έχει μειώσει τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου κατά 209.960 t CO₂, συμβάλλοντας στην προώθηση των “πράσινων” μορφών ενέργειας.
- ❖ Η πολιτική για ενίσχυση των Α/Π με Α/Γ μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, συνήθως αποτελεί συμφέρουσα απόφαση, αν είναι δυνατή η κάλυψη του αρχικού κόστους της επένδυσης από την εκάστοτε επιχείρηση. Ωστόσο, η επιλογή πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το αιολικό δυναμικό, αλλά και με τις τοπογραφικές συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής.
- ❖ Η ύπαρξη μέτρων οικονομικής στήριξης μέσω επιδοτήσεων και επιχορηγήσεων, ειδικά σε περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από υψηλό αιολικό δυναμικό, είναι εξαιρετικά σημαντική και αποτελεί ένα ελκυστικό κίνητρο, αφού με αυτό τον τρόπο ενισχύεται η δυνατότητα επένδυσης έργων ανανεώσιμης ενέργειας. Ακόμη και στην περίπτωση του εν λόγω εξεταζόμενου Α/Π, που η επένδυση χαρακτηρίζεται βιώσιμη ακόμη και με μηδενικές επιδοτήσεις, η συμβολή της οικονομικής ενίσχυσης βοηθά στην άμεση περίοδο αποπληρωμής του κεφαλαίου αλλά και στην κάλυψη οποιωνδήποτε έκτακτων εξόδων παρουσιαστούν.
- ❖ Μία ενδεχόμενη μείωση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου στην εξεταζόμενη περιοχή, μπορεί να δημιουργήσει από μικρής έως μεγάλης κλίμακας επιπτώσεις, ανάλογα με την τάξη της μείωσης που θα σημειωθεί. Στην περίπτωση του Α/Π που μελετάται, μία μείωση της ταχύτητας ανέμου από μία μονάδα και πάνω προκαλεί την μη οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.
- ❖ Η αδυναμία των επενδυτών να προβλέψουν τις συνέπειες κάθε εναλλακτικής επένδυσης εισάγει την έννοια του οικονομικού κινδύνου μιας επιχειρηματικής απόφασης. Ο όρος επιχειρηματικός κίνδυνος χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης των μελλοντικών εσόδων, εξόδων και κατά συνέπεια των κερδών μιας επένδυσης. Τρεις βασικοί παράγοντες που συνθέτουν την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις επενδυτικές αποφάσεις είναι η αβεβαιότητα λόγω αστάθειας των οικονομικών παραμέτρων, λόγω εσωτερικών και διεθνών πολιτικών εξελίξεων και η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις αντιλήψεις των επενδυτών για το περιβάλλον και τους περιορισμούς του. Η βασική προϋπόθεση όλων των μεθόδων αξιολόγησης επενδύσεων είναι ότι η υψηλή απόδοση είναι επιθυμητή και ο κίνδυνος ανεπιθύμητος.

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα εργασία εστίασαμε στην μελέτη και αξιολόγηση ενός ήδη εγκατεστημένου Α/Π στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης, μέσω της στατιστικής ανάλυσης που εφαρμόστηκε σε πραγματικά ανεμολογικά δεδομένα, όπως επίσης και μέσω της χρήσης του λογισμικού RETScreen International, που εφαρμόστηκε όχι μόνο για τις πραγματικές επικρατούσες συνθήκες, αλλά και για υποθετικές περιπτώσεις – σενάρια.

Όσον αφορά στο μέρος της στατιστικής ανάλυσης, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί επεξεργασία εκτός των χρονοσειρών των μέσων τιμών ταχύτητας ανέμου ανά δεκάλεπτο και των ελάχιστων ή/και μέγιστων τιμών, προκειμένου να μελετηθούν οι ακραίες συμπεριφορές του πάρκου.

Επίσης, στην εργασία δεν αναφέρθηκαν τεχνικές λεπτομέρειες των μεθόδων που εφαρμόζονται για την χωροθέτηση των Α/Γ και τον ακριβή καθορισμό της θέσης εγκατάστασης όλου του Α/Π.

Ακόμη, κατά τη στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική σχέση Weibull, η οποία περιγράφει τις διακυμάνσεις του ανέμου με αποδεκτή ακρίβεια. Υπάρχει παρ' όλα αυτά πλήθος μεθόδων προσαρμογής αναλυτικών εκφράσεων σε διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις, από τις οποίες κάποιες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για περαιτέρω σύγκριση των αποτελεσμάτων και της εγκυρότητας των μεθόδων.

Ένα επιπλέον μέρος της εργασίας που θα μπορούσε να διευρυνθεί είναι εκείνο που αφορά στην εφαρμογή των διαφόρων υποθετικών περιπτώσεων στο λογισμικό RETScreen, και το οποίο θα μπορούσε να περιλαμβάνει επιπλέον σενάρια, όπως τη μεταβολή διαφόρων οικονομικών παραμέτρων, ώστε να μελετηθεί πιο αναλυτικά η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

Τέλος, εκτός από το λογισμικό RETScreen International που αποτελεί ένα αδιαμφισβήτητο έγκυρο εργαλείο για τους ενεργειακούς υπολογισμούς, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί έρευνα για τυχόν ύπαρξη κάποιου παρεμφερούς λογισμικού, και αν υπήρχε, αξιολόγηση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων από αυτό και σύγκρισή τους με το λογισμικό RETScreen.

Κεφάλαιο 7^ο

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

Ζαπουνίδης Κ., 2003, *Βασικές αρχές & σύγχρονα θέματα του χρηματοοικονομικού μάνατζμεντ*, Εκδόσεις “Κλειδάριθμος”

Καλδέλλης Ι.Κ., 2005, *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*, Εκδόσεις Σταμούλης

Καλδέλλης Ι.Κ., Καββαδίας Κ.Α., 2005, *Υπολογιστικές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας*, Εκδόσεις Σταμούλης

Κανελλόπουλος Δ. Β., 2008, *Αιολική Ενέργεια – Σχεδιάζοντας στις Αυλές των Ανέμων*, Εκδόσεις “ΙΩΝ”

Μπεργελές Γ., 2005, *Ανεμοκινητήρες*, Εκδόσεις Συμεών

RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre, 2004, *RETScreen Software Online User Manual*

Sathyajith Mathew, 2006, *Wind Energy – Fundamentals Resource Analysis & Economics*, Springer

Άρθρα

Γεωργακέλλος Δ. Α., 2002, “Χρηματοοικονομική ανάλυση & αξιολόγηση της οικονομικής απόδοσης μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού”

Γουργιώτης Α., Κυριαζόπουλος Ε., 2007, “Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα : Η «Χάρτα Α/Γ του Finistere» & η Ελληνική Χωροταξική Εμπειρία”

Καλδέλλης Ι. Κ., Φυριππής Ι., Νεονάκης Ι., Καββαδίας Κ. Α., 2007, “Επίδραση της χωροθέτησης Α/Π στην ενεργειακή παραγωγή των μηχανών της εγκατάστασης”

Aksoy H., Fuat Toprak Z., Ali Aytek, Erdem Unal N., 2004, “Stochastic generation of hourly mean wind speed data”

Bagiorgas H. S., Assimakopoulos M. N., Theoharopoulos D., Matthopoulos D., Mihalakakou G. K., 2006, *“Electricity generation using wind energy conversion systems in the area of Western Greece”*

Celik A. N., 2002, *“Assessing the suitability of wind speed probability distribution functions based on wind power density”*

Celik A. N., 2002, *“Energy output estimation for small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data”*

Celik A. N., 2003, *“A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey”*

Mabel M. C., Fernandez E., 2007, *“Analysis of wind power generation and prediction using ANN – a case study”*

Papathanassiou S. A., Boulaxis N. G., 2005, *“Power limitations and energy yield evaluation for wind farms operating in island systems”*

Roney J. A., 2007, *“Statistical wind analysis for near-space applications”*

Voorspools K. R., D’haeseleer W. D., 2005, *“An analytical formula for the capacity credit of wind power”*

Links

European Wind Energy Association, www.ewea.org

Danish Wind Industry Association, www.windpower.org

Electrotech Electronics, www.electrotech.gr

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, www.cres.gr

Υπουργείο Ανάπτυξης, www.ypan.gr

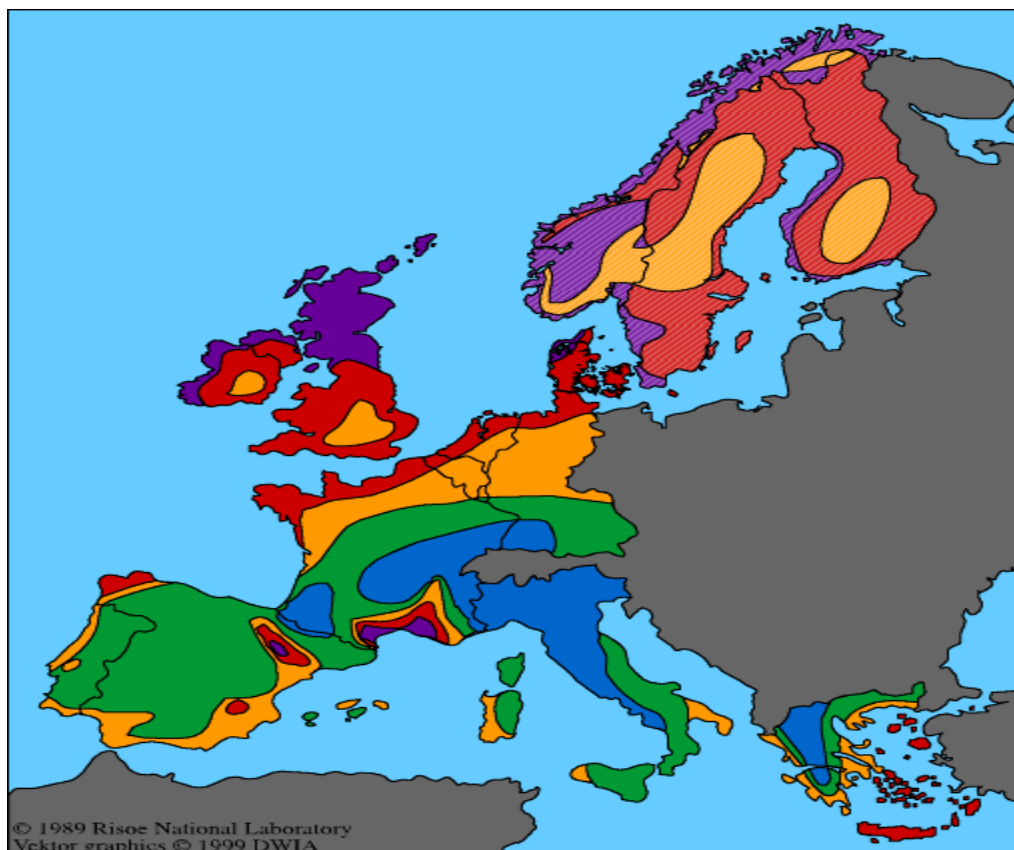
www.windfair.net

Κεφάλαιο 8^ο

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8.1 ΧΑΡΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

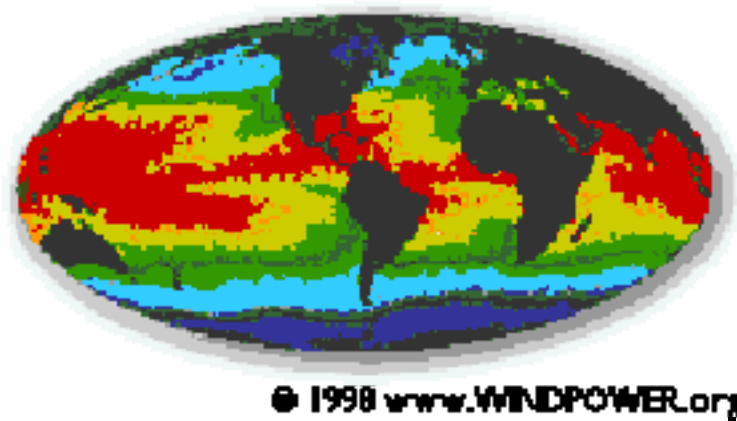
✿ Χάρτης αιολικού δυναμικού μέρους της Ευρώπης & σχετικό υπόμνημα



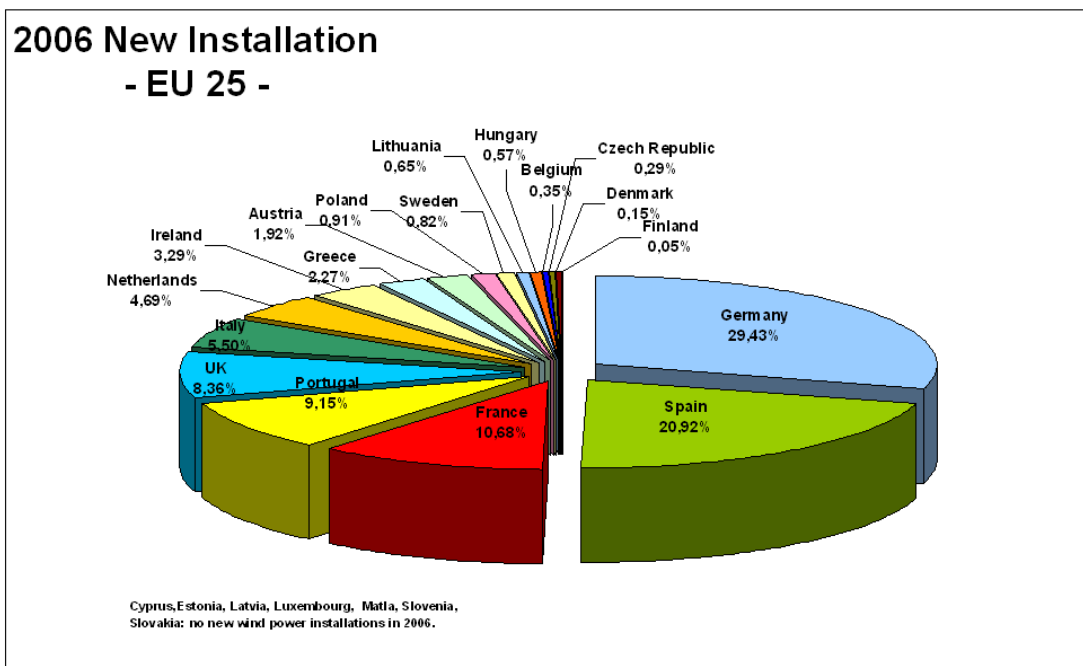
	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
	>6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<5.5	<200	<7.0	<400
			>7.5							
			5.5-7.5							
			<5.5							

Πηγή : EWEA, 1999

☀ Χάρτης θερμοκρασιών παγκοσμίως



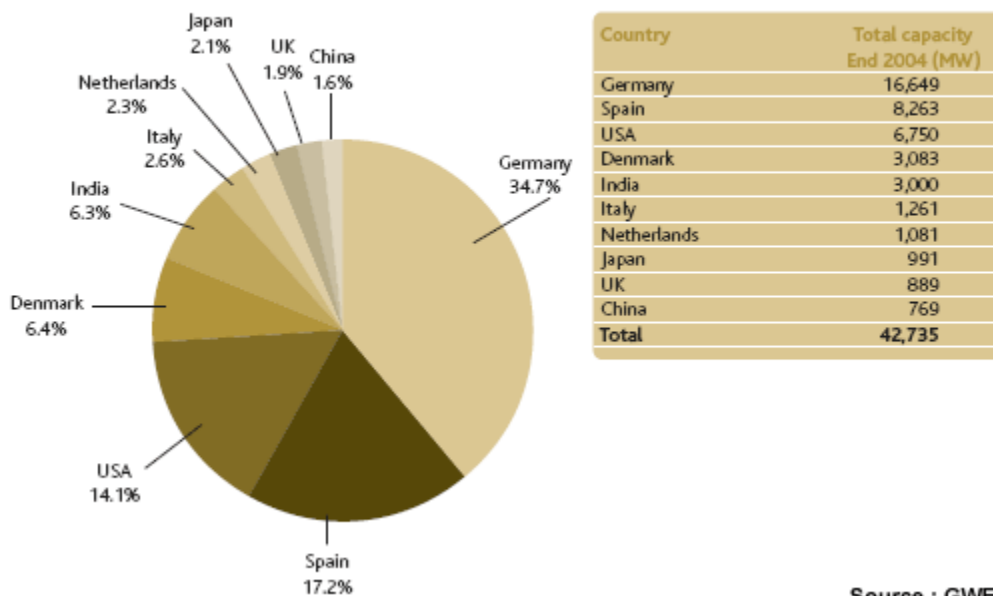
☀ Διάγραμμα νέων εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων στην Ευρώπη



Πηγή : EWEA, 2008

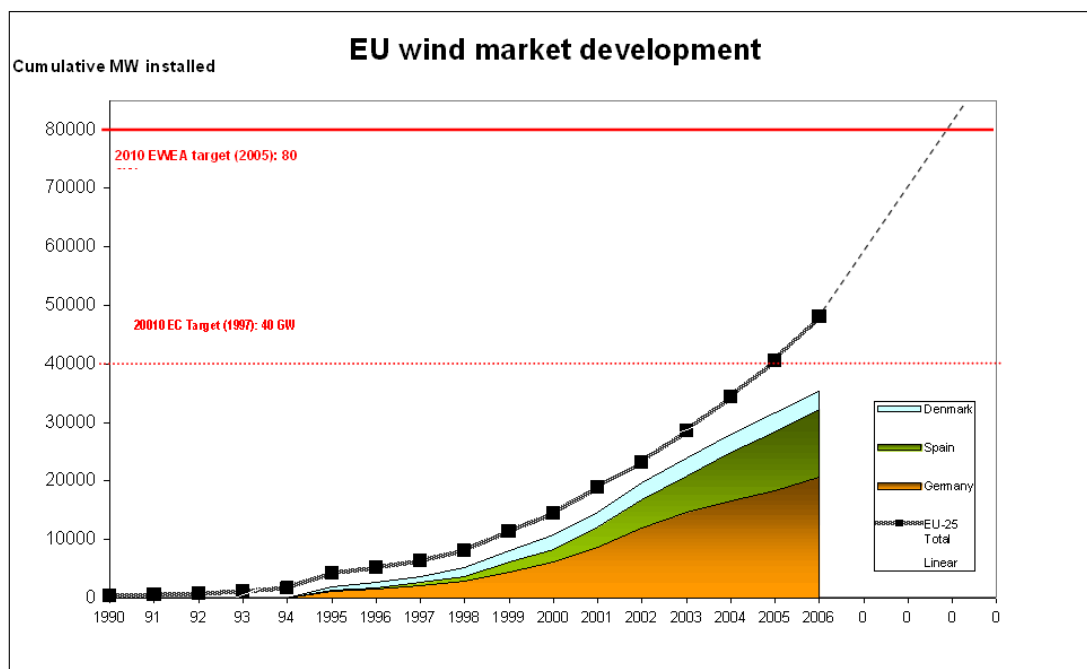
- Κυκλικό διάγραμμα εγκατεστημένης αιολικής ισχύος των δέκα καλύτερων αγορών αιολικής ενέργειας παγκοσμίως.

TOP TEN WIND POWER MARKETS 2004: CUMULATIVE MW INSTALLED



Source : GWEC

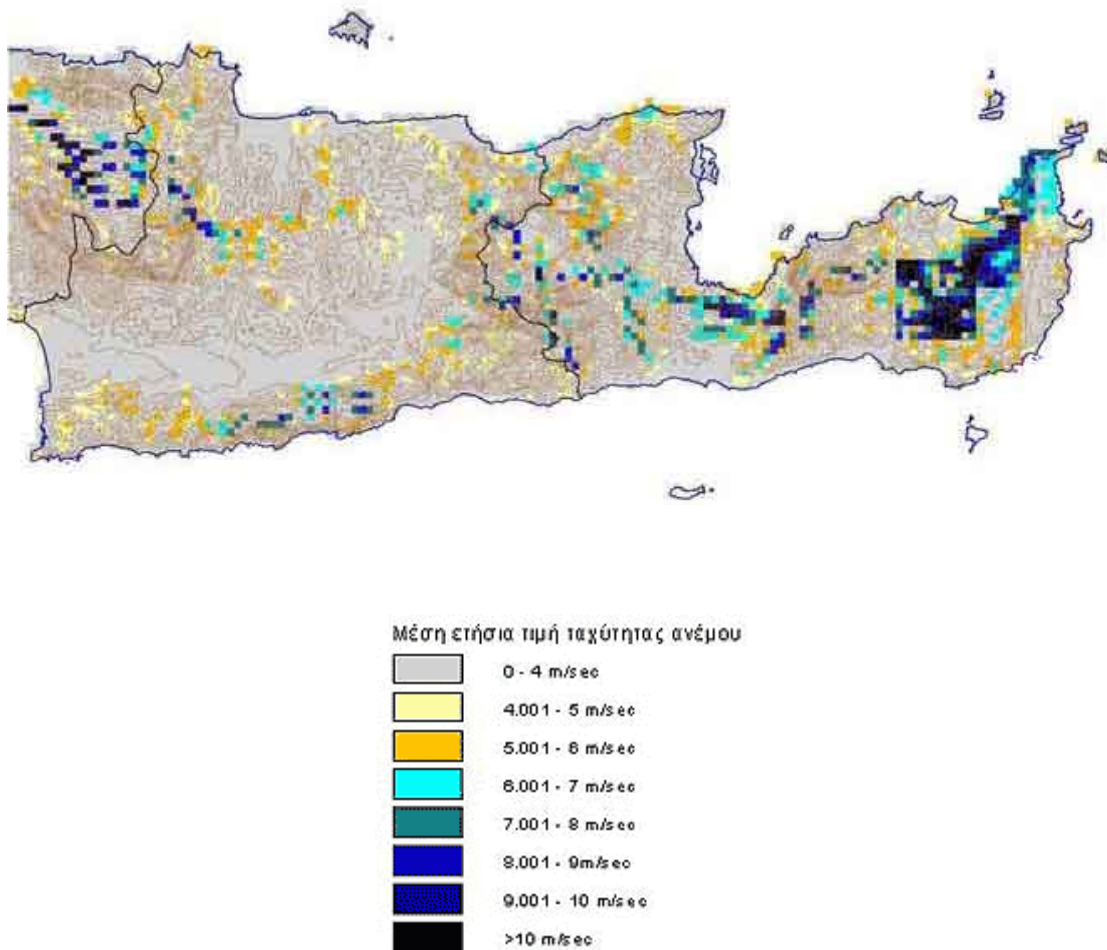
- Διάγραμμα ανάπτυξης της ευρωπαϊκής αγοράς στην αιολική ενέργεια



Πηγή : EWEA, 2008

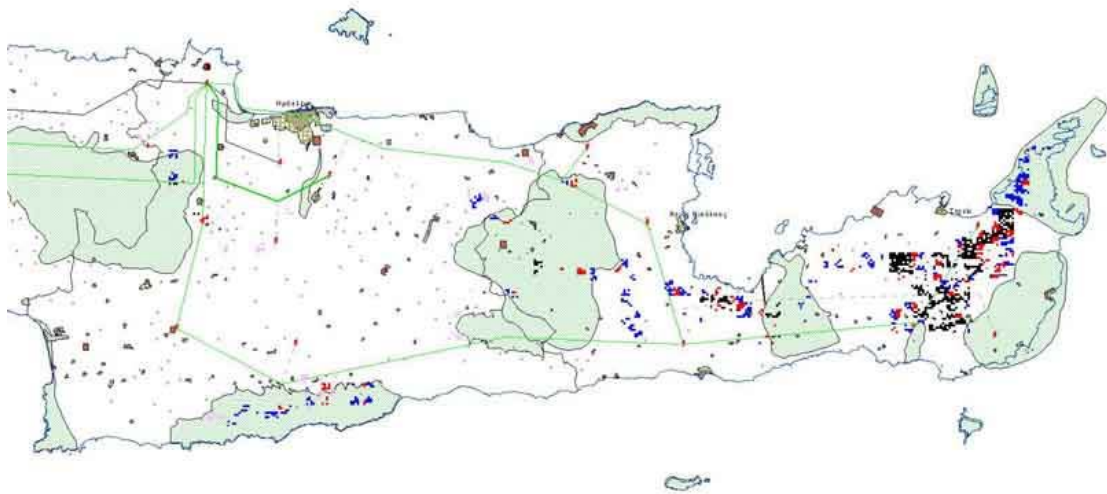
8.2 ΧΑΡΤΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

- ✻ Χάρτης αιολικού δυναμικού της ευρύτερης υπό μελέτη περιοχής της ανατολικής Κρήτης & σχετικό υπόμνημα



Πηγή : ΚΑΠΕ, 2008

- ✿ Χάρτης έκθεσης τεχνικών & οικονομικών στοιχείων εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού & σχετικό υπόμνημα



ΝΟΜΟΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ, ΛΑΣΙΘΙΟΥ

Έκθεση στοιχείων τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου Αιολικού Δυναμικού

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ *

Δείκτες*	Όριο ταχύτητας ανέμου (m/sec)			
	>7	>8	>9	>10
Εκταση διαθέσιμης περιοχής (τετρ.χλ.)	44,44	28,31	19,01	13,21
Μέση ετήσια τιμή ταχύτητας άνεμου στην περιοχή (m/sec)	9,25	10,23	11,80	11,60
Τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό (GWh/έτος)	4.838,58	3.469,11	2.494,81	1.778,37
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)	1.398,40	888,00	594,40	406,40
Συνολιστική χρησιμοποίησης (%)	39,50	44,60	47,91	49,95
Κόστος παραγωγής ηλ. ενέργειας (δρχ/kWh)**	12,63	11,23	10,46	10,07
Συνολικός κόστος εγκατάστασης (δρχ/δρχ)	436,30	277,06	185,45	126,80
Ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (δρχ/δρχ/έτος)	26,42	16,81	11,27	7,77

*Οι περιοχές που έχουν επιλεγεί ικανοποιούν τεχνικές και περιβαλλοντικές προϋποθέσεις απαραίτητες για την εγκατάσταση Αιολικών Πάρκων.

**Δεν περιλαμβάνεται το κόστος σύνδεσης στο δίκτυο και το κόστος της αδοποίησης

10000 0 10000 20000 Meters



ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕΤΡΟ 3.1



8.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ





8.4 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen® INTERNATIONAL ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

☀ Ενεργειακό Υπόδειγμα (Energy Model)

RETScreen® Energy Model - Wind Energy Project

[Training & Support](#)

Units: Metric

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		Wind Farm	See Online Manual
Project location		Eastern Crete	
Wind data source		Wind speed	
Nearest location for weather data		Hyderabad	See Weather Database
Annual average wind speed	m/s	9.2	
Height of wind measurement	m	30.0	3.0 to 100.0 m
Wind shear exponent	-	0.10	0.10 to 0.40
Wind speed at 10 m	m/s	8.2	
Average atmospheric pressure	kPa	93.3	60.0 to 103.0 kPa
Annual average temperature	°C	15	-20 to 30 °C

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Grid type	-	Central-grid	
Wind turbine rated power	kW	850	➔ Complete Equipment Data sheet
Number of turbines	-	6	
Wind plant capacity	kW	5,100	
Hub height	m	55.0	6.0 to 100.0 m
Wind speed at hub height	m/s	9.7	
Wind power density at hub height	W/m²	1.026	
Array losses	%	10%	0% to 20%
Airfoil soiling and/or icing losses	%	5%	1% to 10%
Other downtime losses	%	4%	2% to 7%
Miscellaneous losses	%	3%	2% to 6%

Annual Energy Production		Estimate Per Turbine	Estimate Total	Notes/Range
Wind plant capacity	kW	850	5,100	
	MW	0.850	5,100	
Unadjusted energy production	MWh	3,804	22,822	
Pressure adjustment coefficient	-	0.92	0.92	0.59 to 1.02
Temperature adjustment coefficient	-	1.00	1.00	0.98 to 1.15
Gross energy production	MWh	3,499	20,996	
Losses coefficient	-	0.80	0.80	0.75 to 1.00
Specific yield	kWh/m²	1,312	1,312	150 to 1,500 kWh/m²
Wind plant capacity factor	%	37%	37%	20% to 40%
Renewable energy delivered	MWh	2,786	16,717	
	GJ	10,030	60,180	

[Complete Cost Analysis sheet](#)

🌿 Δεδομένα Εξοπλισμού (Equipment Data)

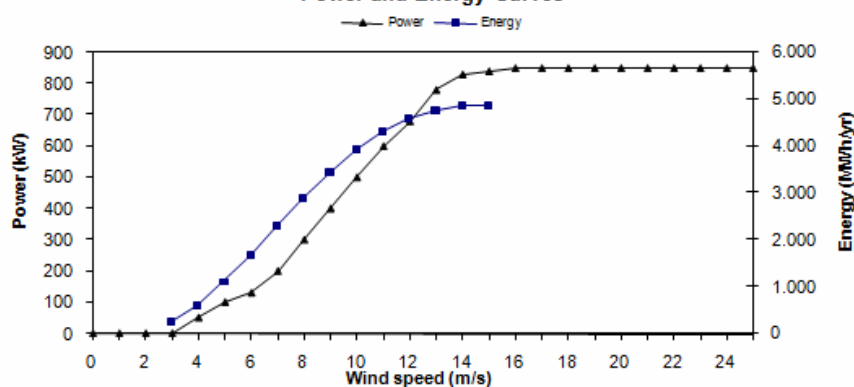
RETScreen® Equipment Data - Wind Energy Project

Wind Turbine Characteristics		Estimate	Notes/Range
Wind turbine rated power	kW	850	See Product Database
Hub height	m	55,0	6.0 to 100.0 m
Rotor diameter	m	52	7 to 80 m
Swept area	m²	2.124	35 to 5,027 m²
Wind turbine manufacturer		VESTAS	
Wind turbine model		V52-850	
Energy curve data source	-	Custom	Weibull wind distribution
Shape factor	-	2,0	

Wind Turbine Production Data

Wind speed (m/s)	Power curve data (kW)	Energy curve data (MWh/yr)
0	0,0	-
1	0,0	-
2	0,0	-
3	0,0	255,2
4	50,0	614,6
5	100,0	1.105,7
6	130,0	1.689,8
7	200,0	2.308,7
8	300,0	2.910,5
9	400,0	3.458,8
10	500,0	3.929,6
11	600,0	4.307,5
12	680,0	4.585,7
13	780,0	4.765,8
14	830,0	4.856,8
15	840,0	4.871,8
16	850,0	-
17	850,0	-
18	850,0	-
19	850,0	-
20	850,0	-
21	850,0	-
22	850,0	-
23	850,0	-
24	850,0	-
25	850,0	-

Power and Energy Curves



[Return to
Energy Model sheet](#)

Ανάλυση Κόστους (Cost Analysis)

RETScreen® Cost Analysis - Wind Energy Project

Type of analysis:

Currency:

Cost references:

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
Feasibility Study							
Feasibility study	Cost	1	€ 120.000	€ 120.000		-	-
Sub-total:				€ 120.000	0,8%		
Development							
Development	Cost	1	€ 100.000	€ 100.000		-	-
Sub-total:				€ 100.000	0,7%		
Engineering							
Engineering	Cost	1	€ 250.000	€ 250.000		-	-
Sub-total:				€ 250.000	1,8%		
Energy Equipment							
Wind turbine(s)	kW	5.100	€ 1.200	€ 6.120.000		-	-
Spare parts	%	10,0%	€ 6.120.000	€ 612.000		-	-
Transportation	turbine	6	€ 500.000	€ 3.000.000		-	-
Other - Energy equipment	Cost	1	€ 200.000	€ 200.000		-	-
Sub-total:				€ 9.932.000	69,8%		
Balance of Plant							
Balance of plant	Cost	1	€ 2.000.000	€ 2.000.000		-	-
Sub-total:				€ 2.000.000	14,1%		
Miscellaneous							
Contingencies	%	2%	€ 12.402.000	€ 248.040		-	-
Interest during construction	25,0%	12 month(s)	€ 12.650.040	€ 1.581.255		-	-
Sub-total:				€ 1.829.295	12,9%		
Initial Costs - Total				€ 14.231.295	100,0%		

Annual Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
O&M							
O&M	Cost	1	€ 400.000	€ 400.000		-	-
Contingencies	%	5%	€ 400.000	€ 20.000		-	-
Annual Costs - Total				€ 420.000	100,0%		

Periodic Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Interval Range	Unit Cost Range
Drive train	Cost	10 yr	€ -	€ -	-	-
Blades	Cost	15 yr	€ -	€ -	-	-
End of project life	Credit	-	€ -	€ -	-	-

Version 3.2

© Minister of Natural Resources Canada 1997-2005.

NRCan/CETC - Varennes

Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis)

RETScreen® Greenhouse Gas (GHG) Emission Reduction Analysis - Wind Energy Project

Use GHG analysis sheet?
Potential CDM project?

Type of analysis:

Background Information

Project Information					Global Warming Potential of GHG
Project name	Wind Farm	Project capacity	5,10 MW	21 tonnes CO ₂ = 1 tonne CH ₄	(IPCC 1996)
Project location	Eastern Crete	Grid type	Central-grid	310 tonnes CO ₂ = 1 tonne N ₂ O	(IPCC 1996)

Base Case Electricity System (Baseline)

Fuel type	Fuel mix	CO ₂ emission factor	CH ₄ emission factor	N ₂ O emission factor	Fuel conversion efficiency	T & D losses	GHG emission factor
	(%)	(kg/GJ)	(kg/GJ)	(kg/GJ)	(%)	(%)	(tCO ₂ /MWh)
Diesel (#2 oil)	70,0%	74,1	0,0020	0,0020	30,0%	8,0%	0,975
Wind	25,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	8,0%	0,000
Solar	5,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	8,0%	0,000
Electricity mix	100%	187,9	0,0051	0,0051		8,0%	0,683

Does baseline change during project life?

Proposed Case Electricity System (Wind Energy Project)

Fuel type	Fuel mix	CO ₂ emission factor	CH ₄ emission factor	N ₂ O emission factor	Fuel conversion efficiency	T & D losses	GHG emission factor
	(%)	(kg/GJ)	(kg/GJ)	(kg/GJ)	(%)	(%)	(tCO ₂ /MWh)
Electricity system							
Wind	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	8,0%	0,000

GHG Emission Reduction Summary

	Base case GHG emission factor	Proposed case GHG emission factor	End-use annual energy delivered	Gross annual GHG emission reduction	GHG credits transaction fee	Net annual GHG emission reduction
	(tCO ₂ /MWh)	(tCO ₂ /MWh)	(MWh)	(tCO ₂)	(%)	(tCO ₂)
Electricity system	0,683	0,000	15.379	10.498	0,0%	10.498

[Complete Financial Summary sheet](#)

Version 3.2

© United Nations Environment Programme & Minister of Natural Resources Canada 2000 - 2005.

UNEP/DTIE and NRCan/CETC - Varennes

Οικονομική Σύνοψη (Financial Summary)

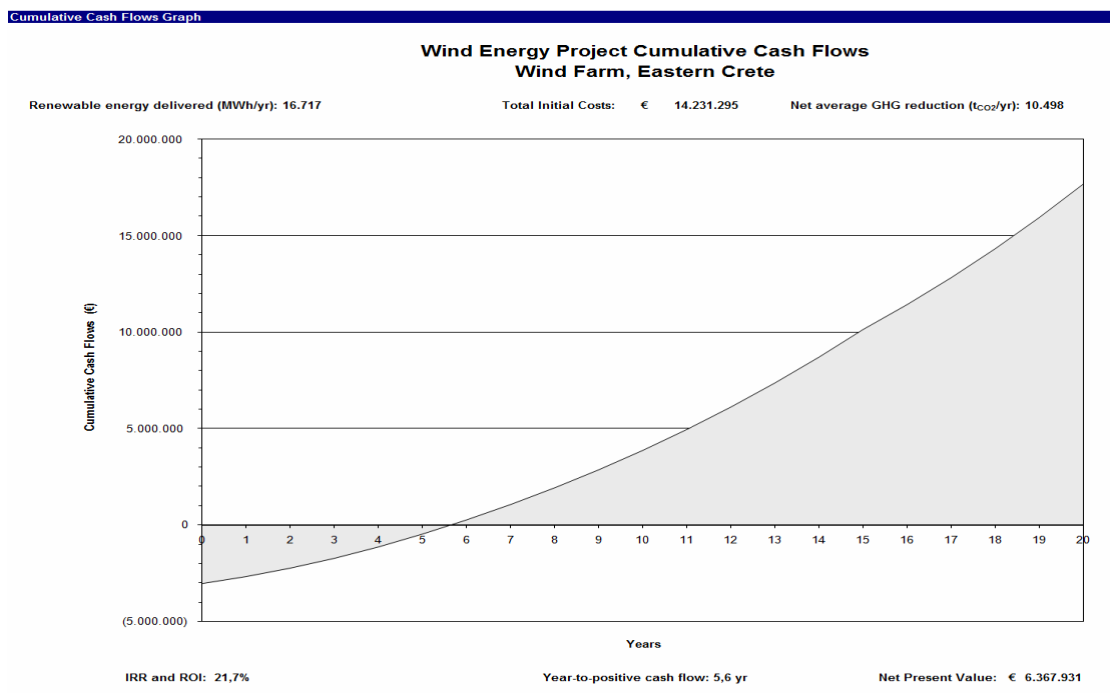
RETScreen® Financial Summary - Wind Energy Project

Annual Energy Balance						Yearly Cash Flows			
Project name	Wind Farm					Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
Project location	Eastern Crete					#	€	€	€
Renewable energy delivered	MWh	16.717	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	10.498	0	(2,134,694)	(3,024,150)	(3,024,150)
Excess RE available	MWh	-				1	365,182	365,182	(2,658,968)
Firm RE capacity	kW	-				2	435,578	435,578	(2,223,390)
Grid type	Central-grid					3	509,753	509,753	(1,713,636)
			Net GHG emission reduction - 20 yrs	t _{CO2}	209.960	4	587,905	587,905	(1,125,732)
						5	670,239	670,239	(455,493)
						6	756,973	736,377	280,884
						7	848,337	799,416	1,080,300
						8	944,569	865,669	1,945,969
						9	1,045,923	935,289	2,881,258
						10	1,152,664	1,008,437	3,889,695
						11	1,265,071	1,085,282	4,974,977
						12	1,383,436	1,166,000	6,140,977
						13	1,508,069	1,250,773	7,391,750
						14	1,639,293	1,339,794	8,731,544
						15	1,777,448	1,433,261	10,164,804
						16	1,922,892	1,294,194	11,458,999
						17	2,076,001	1,397,188	12,856,187
						18	2,237,170	1,505,280	14,361,466
						19	2,406,813	1,618,704	15,980,171
						20	2,585,368	1,737,708	17,717,879
Financial Parameters									
Avoided cost of energy	€/kWh	0.0950	Debt ratio	%	60.0%				
RE production credit	€/kWh	-	Debt interest rate	%	8.0%				
			Debt term	yr	20				
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-	Income tax analysis?	yes/no	Yes				
			Effective income tax rate	%	25.0%				
			Loss carryforward?	-	No				
			Depreciation method	-	Straight-line				
			Depreciation tax basis	%	100.0%				
Energy cost escalation rate	%	5.0%	Depreciation period	yr	15				
Inflation	%	3.0%	Tax holiday available?	yes/no	No				
Discount rate	%	7.0%							
Project life	yr	20							
Project Costs and Savings									
Initial Costs			Annual Costs and Debt						
Feasibility study	0.8%	€ 120,000	O&M	€	420,000				
Development	0.7%	€ 100,000							
Engineering	1.8%	€ 250,000	Debt payments - 20 yrs	€	869,693				
Energy equipment	69.8%	€ 9,932,000	Annual Costs and Debt - Total	€	1,289,693				
Balance of plant	14.1%	€ 2,000,000							
Miscellaneous	12.9%	€ 1,829,295	Annual Savings or Income						
Initial Costs - Total	100.0%	€ 14,231,295	Energy savings/income	€	1,588,072				
			Capacity savings/income	€	-				
Incentives/Grants	€	3,557,824	Annual Savings - Total	€	1,588,072				
Periodic Costs (Credits)									
Drive train	€	-							
Blades	€	-							
	€	-							
End of project life - Credit	€	-							
Financial Feasibility									
Pre-tax IRR and ROI	%	29.7%	Calculate energy production cost?	yes/no	No				
After-tax IRR and ROI	%	21.7%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No				
Simple Payback	yr	9.1							
Year-to-positive cash flow	yr	5.6	Project equity	€	5,692,518				
Net Present Value - NPV	€	6,367,931	Project debt	€	8,538,777				
Annual Life Cycle Savings	€	601,088	Debt payments	€/yr	869,693				
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	2.12	Debt service coverage	-	1.42				

Version 3.2

© Minister of Natural Resources Canada 1997-2005.

NRCan/CETC - Varennes



Version 3.2

© Minister of Natural Resources Canada 1997-2005.

NRCan/CETC - Varennes

Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

RETScreen® Sensitivity and Risk Analysis - Wind Energy Project

Use sensitivity analysis sheet?	Yes	Perform analysis on	Net Present Value - NPV
Perform risk analysis too?	Yes	Sensitivity range	20%
Project name	Wind Farm	Threshold	0 €
Project location	Eastern Crete		

Sensitivity Analysis for Net Present Value - NPV

		Avoided cost of energy (€/kWh)				
RE delivered (MWh)		0,0760 -20%	0,0855 -10%	0,0950 0%	0,1045 10%	0,1140 20%
13.373	-20%	-1.827.973	79.503	1.936.026	3.743.973	5.506.188
15.045	-10%	79.503	2.165.135	4.188.664	6.152.609	8.060.535
16.717	0%	1.936.026	4.188.664	6.367.931	8.476.589	10.518.590
18.388	10%	3.743.973	6.152.609	8.476.589	10.719.043	12.892.098
20.060	20%	5.506.188	8.060.535	10.518.590	12.892.098	15.250.774

		Avoided cost of energy (€/kWh)				
Initial costs (€)		0,0760 -20%	0,0855 -10%	0,0950 0%	0,1045 10%	0,1140 20%
11.385.036	-20%	4.663.402	6.807.092	8.865.048	10.847.108	12.812.671
12.808.166	-10%	3.317.897	5.518.531	7.642.045	9.691.819	11.673.047
14.231.295	0%	1.936.026	4.188.664	6.367.931	8.476.589	10.518.590
15.654.425	10%	530.145	2.825.398	5.052.115	7.213.486	9.311.133
17.077.554	20%	-896.035	1.436.965	3.705.638	5.911.241	8.054.647

		Avoided cost of energy (€/kWh)				
Annual costs (€)		0,0760 -20%	0,0855 -10%	0,0950 0%	0,1045 10%	0,1140 20%
336.000	-20%	2.950.012	5.168.584	7.313.855	9.389.012	11.398.515
378.000	-10%	2.446.431	4.680.786	6.843.091	8.936.629	10.961.244
420.000	0%	1.936.026	4.188.664	6.367.931	8.476.589	10.518.590
462.000	10%	1.424.993	3.692.824	5.888.487	8.014.841	10.074.617
504.000	20%	907.181	3.193.283	5.406.059	7.547.883	9.622.234

		Debt ratio (%)				
Debt interest rate (%)		48,0% -20%	54,0% -10%	60,0% 0%	66,0% 10%	72,0% 20%
6,4%	-20%	7.033.004	7.146.018	7.255.561	7.357.045	7.457.033
7,2%	-10%	6.697.342	6.764.126	6.820.454	6.874.425	6.920.959
8,0%	0%	6.349.080	6.360.811	6.367.931	6.368.469	6.362.889
8,8%	10%	5.982.037	5.943.464	5.896.899	5.841.979	5.784.388
9,6%	20%	5.604.826	5.510.111	5.406.882	5.298.995	5.181.154

		Debt term (yr)				
Debt interest rate (%)		16,0 -20%	18,0 -10%	20,0 0%	N/A 10%	N/A 20%
6,4%	-20%	7.047.970	7.154.887	7.255.561		
7,2%	-10%	6.671.767	6.748.061	6.820.454		
8,0%	0%	6.281.407	6.326.118	6.367.931		
8,8%	10%	5.872.854	5.884.421	5.896.899		
9,6%	20%	5.454.331	5.428.555	5.406.882		

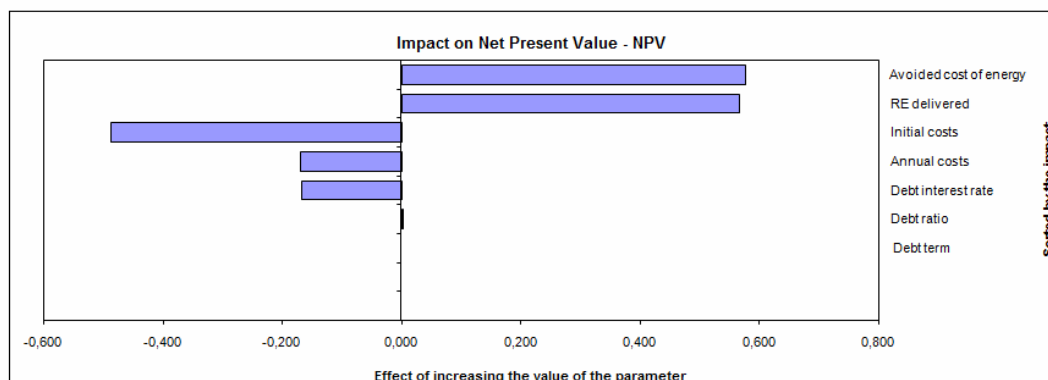
		GHG emission reduction credit (€/tCO ₂)				
Net GHG emission reduction - 20 yrs (tCO ₂)		0,0 -20%	0,0 -10%	0,0 0%	0,0 10%	0,0 20%
167.968	-20%	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931
188.964	-10%	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931
209.960	0%	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931
230.956	10%	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931
251.952	20%	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931

		RE production credit (€/kWh)				
RE delivered (MWh)		0,000 -20%	0,000 -10%	0,000 0%	0,000 10%	0,000 20%
13.373	-20%	1.936.026	1.936.026	1.936.026	1.936.026	1.936.026
15.045	-10%	4.188.664	4.188.664	4.188.664	4.188.664	4.188.664
16.717	0%	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931	6.367.931
18.388	10%	8.476.589	8.476.589	8.476.589	8.476.589	8.476.589
20.060	20%	10.518.590	10.518.590	10.518.590	10.518.590	10.518.590

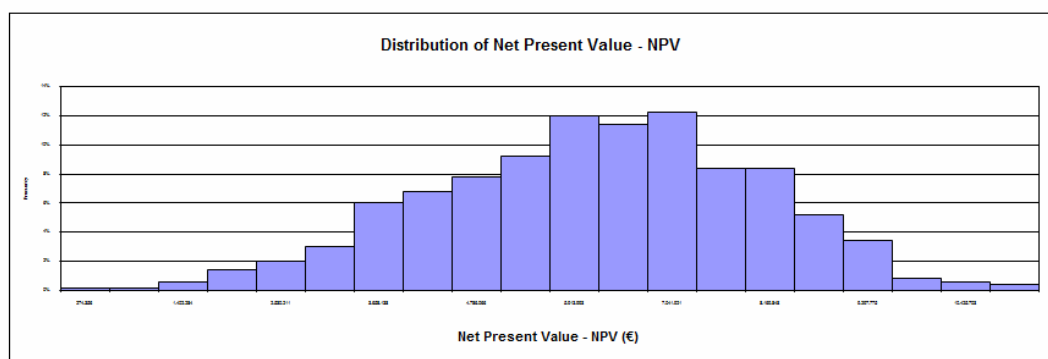
Ανάλυση Επικινδυνότητας (Risk Analysis)

Risk Analysis for Net Present Value - NPV

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Avoided cost of energy	€/kWh	0,0950	15%	0,0808	0,1093
RE delivered	MWh	16.717	15%	14.209	19.224
Initial costs	€	14.231.295	20%	11.385.036	17.077.554
Annual costs	€	420.000	20%	336.000	504.000
Debt ratio	%	60,0%	5%	57,0%	63,0%
Debt interest rate	%	8,0%	20%	6,4%	9,6%
Debt term	yr	20	0%	20	20
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	0,0	0%	0,0	0,0
RE production credit	€/kWh	0,000	0%	0,000	0,000



Median	€	6.261.121
Level of risk	%	10%
Minimum within level of confidence	€	2.922.428
Maximum within level of confidence	€	9.017.298



Minimum	Median	Maximum
5,0%	Level of confidence = 90%	5,0%
€ 2.922.428	€ 6.261.121	€ 9.017.298