

Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ
Π.Σ.Ε ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: *Μελέτη αιολικού πάρκου στη θέση
«Αγία Ελέσσα» της νήσου των Κυθήρων*

Εισηγητής: Χρηστάκης Δημήτρης

Σπουδαστής: Καρλής Ευάγγελος



Ηράκλειο 2006

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	1
Μερος Α΄ Θεωρητικό Μέρος	2
Κεφάλαιο 1^ο	3
Η Αιολική Ενέργεια	3
1.1 Εισαγωγή.....	3
1.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου.....	8
1.3 Επίδραση των επιφανειακών εμποδίων.....	10
Κεφάλαιο 2^ο	13
Αιολικό δυναμικό.....	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Μετρήσεις	13
2.3 Προσδιορισμός Αιολικού δυναμικού.....	16
2.4 Ψηφιοποίηση του χάρτη.....	21
2.5 Το λογισμικό WaSP.....	21
Κεφάλαιο 3^ο	23
Τύρβη και διάτμηση.....	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Τύρβη.....	23
3.3 Διάτμηση.....	24
3.4 WaSP engineering.....	24
Κεφάλαιο 4^ο	25
Ανεμογεννήτριες	25
4.1 Εισαγωγή.....	25
4.2 Τύποι ανεμογεννητριών.....	25
4.3 Επιλογή θέσης ανεμογεννητριών.....	26
Μερος Β΄ Οικονομοτεχνική μελέτη.....	32
Κεφάλαιο 1^ο	33
Τα Κύθηρα.....	33
1.1 Εισαγωγή.....	33
1.2 Μελέτη αιολικού δυναμικού.....	33
1.3 Εκτίμηση τραχύτητας του εδάφους	34
1.4 Υπολογισμός αιολικού άτλαντα και ενεργειακής παραγωγής	34
1.5 Παρουσίαση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.....	39
1.6 Συγκεντρωτικά στοιχεία Α/Π.....	41
Κεφάλαιο 2^ο	42
Περιγραφή βασικών εργασιών.....	42
2.1 Οδοποιία.....	42
2.2 Πλατείες ανέγερσης	42
2.3 Θεμελίωση.....	42
2.4 Υποσταθμοί	42
2.5 Κτίριο ελέγχου.....	43
2.6 Τηλεπικοινωνίες	43
2.7 Τηλεπαρακολούθηση.....	43
2.8 Δίκτυο Υψηλής Τάσης	43
Κεφάλαιο 3^ο	46
Οικονομική μελέτη.....	46

3.1 Εισαγωγή.....	46
3.2 Ορισμοί.....	46
3.3 Οικονομική ανάλυση.....	48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η τεχνικοοικονομική μελέτη ενός αιολικού πάρκου . Η πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε δυο μέρη . Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται στοιχεία για τον άνεμο , το αιολικό δυναμικό , την τύρβη , την διάτμηση καθώς και για τις ανεμογεννήτριες. Στο δεύτερο μέρος , το οποίο είναι και το κύριο της μελέτης , παρουσιάζεται η τεχνικοοικονομική ανάλυση του πάρκου που απαρτίζεται από την περιγραφή της περιοχής , την παρουσίαση όλων των απαραίτητων στοιχείων του πάρκου , την μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς και από την οικονομική μελέτη του πάρκου .

Για την πραγματοποίηση της πτυχιακής χρειάστηκαν γνώσεις από μαθήματα που είχαν διδαχθεί. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές που πρόθυμα με βοήθησαν και μου διέθεσαν τον πολύτιμο χρόνο τους. Ιδιαίτερη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Χρηστάκη ο οποίος είναι ο καθηγητής που με έκανε να ασχοληθώ με τα αιολικά συστήματα για την βοήθεια και την υποστήριξη και που έλαβα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κασαπάκη Μάριο συμφοιτητή μου στη σχολή για την βοήθεια και τις συμβουλές του στην πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας, καθώς και τους καθηγητές και τους σπουδαστές στο Αιολικό Εργαστήριο για την βοήθεια τους.

ΜΕΡΟΣ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

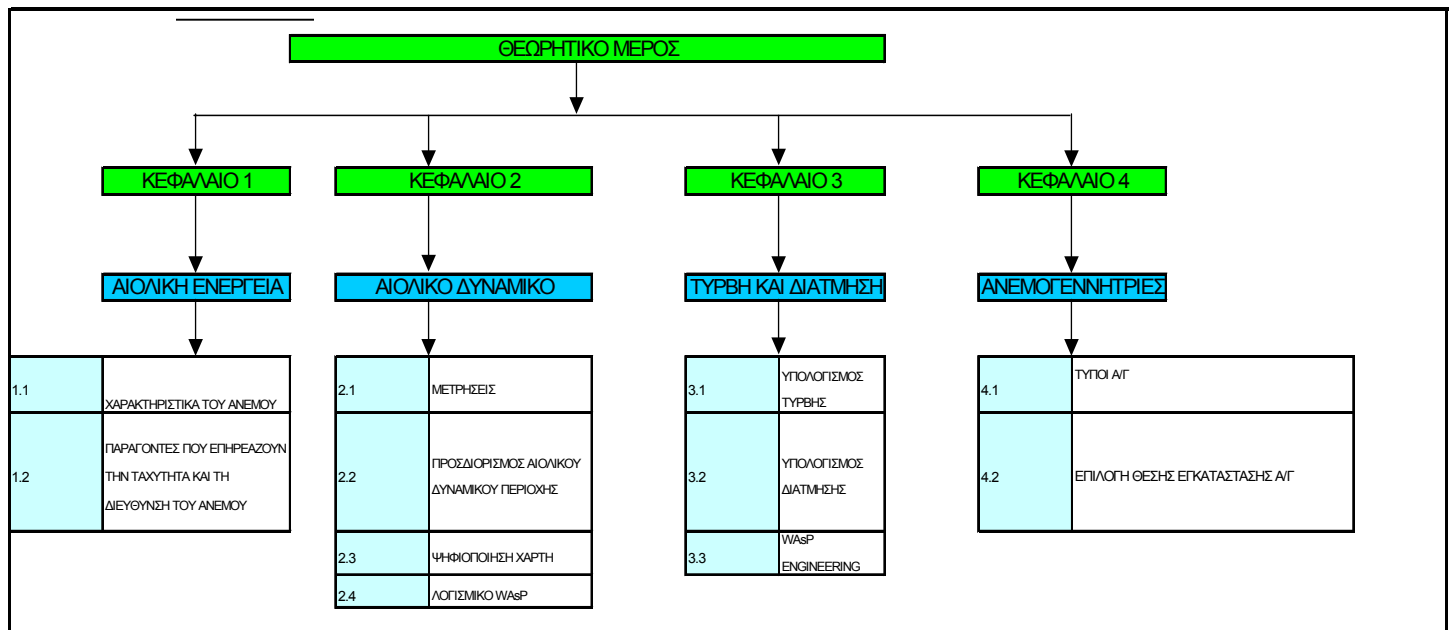
Το μέρος Α αποτελείται από 4 κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται στοιχεία γενικά για την αιολική ενέργεια, τα χαρακτηριστικά του ανέμου καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής από την συλλογή των ανεμολογικών μετρήσεων μέχρι την ψηφιοποίηση του χάρτη και τέλος στο λογισμικό WAsP.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την τύρβη και την διάτμηση καθώς και για τον υπολογισμό τους που γίνεται με το λογισμικό WAsP Engineering.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις ανεμογεννήτριες και στους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας Α/Γ.



Κεφάλαιο 1^ο

Αιολική Ενέργεια

1.1 Εισαγωγή.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας, η οποία προέρχεται κατά βάση από την ηλιακή ενέργεια, από μετατροπή δηλαδή κάποιου ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Η αιολική ενέργεια παίζει σημαντικό ρόλο αν όχι το σημαντικότερο όσον αφορά στις μεταφορές και στην παραγωγική διαδικασία κυρίως στα πρώιμα ιστορικά χρόνια. Αυτός είναι και ο λόγος άλλωστε που οι αρχαίοι Έλληνες θεοποιούν την αιολική ενέργεια αναγνωρίζοντας έτσι τη σημασία της μια και γίνεται αναφορά της ελληνικής μυθολογίας στο θεό Αίολο.

Στη χώρα μας, όπως και σε ολόκληρο το κόσμο, το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας διατηρήθηκε και στα μεταβυζαντινά χρόνια και ιδιαίτερα στη χώρα μας μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι αξιοποιήσιμη. Η χρήση του άνθρακα και του πετρελαίου περιόρισαν σημαντικά τις εφαρμογές της. Σήμερα τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους όπως της Μυκόνου και του Λασιθίου αντικαθιστούν σύγχρονες ανεμογεννήτριες σημαντικής ισχύος και εξαιρετικής αξιοπιστίας. Τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την προσπάθεια αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εξακολουθούν να είναι σημαντικά, όμως η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ενεργειακή και περιβαλλοντική κατάσταση του πλανήτη μας δίνουν μεγαλύτερο βάρος στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα των αιολικών μηχανών κάνοντας την ανάγκη χρησιμοποίησης της αιολικής ενέργειας ιδιαίτερα επιτακτική. Ειδικότερα στη χώρα μας η ύπαρξη εξαιρετικού αιολικού δυναμικού και η εξάρτηση της οικονομίας μας από εισαγόμενα καύσιμα, καθιστά μονόδρομο την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

Βέβαια ακόμα και με τα σημερινά δεδομένα σημαντικό ποσοστό του αιολικού δυναμικού δεν είναι δυνατό να απορροφηθεί από τις διαθέσιμες ανεμογεννήτριες μιας και ο ρυθμός ανάπτυξης αυτής της μη ρυπογόνου μορφής ενέργειας είναι ακόμα παραγκωνισμένος σε σχέση με το πετρέλαιο. Αν λάβουμε όμως υπόψιν μας τον σημαντικό αριθμό των εφαρμογών των αιολικών μηχανών κάθε μεγέθους και τις δυνατότητες μερικής ή ολικής αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, όλα αυτά ενισχύουν την ανταγωνιστική θέση των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας.

Μην ξεχνάμε άλλωστε ότι μια Α/Γ είναι ένα τεχνολογικό θαύμα , μια κατασκευή του ανθρώπου που καταφέρνει να τιθασεύσει την δύναμη του αέρα και να την μετατρέψει σε ηλεκτρική ενεργεια . Τα αιολικά πάρκα προσφέρουν μεγάλα οφέλη στην εθνική , τη περιφερειακή και την τοπική ανάπτυξη και όταν πληρούνται οι προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας τους , όχι μόνο δεν υποβαθμίζουν το περιβάλλον αλλά το προστατεύουν . Η πολιτεία έχει υποχρέωση να στηρίζει τις Α.Π.Ε. και ταυτόχρονα να στηριχθούν από όλους τους ενεργούς πολίτες που επιθυμούν την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας , την προστασία του περιβάλλοντος και την τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη .

Συμπεριλαμβανομένου επίσης και του κόστους παραγωγής ενέργειας από τις διάφορες πηγές, δεδομένου ότι ήδη η αιολική ενέργεια είναι ανταγωνιστική ως προς κάθε άλλη μορφή ενέργειας ενώ σε επιλεγμένες εγκαταστάσεις το κόστος

της αιολικής kWh υπολείπεται σημαντικά του κόστους των συμβατικών καυσίμων, είναι προφανές, ότι ειδικά στη χώρα μας, όπου η αύξηση του κόστους λειτουργίας των συμβατικών σταθμών ενέργειας είναι συνεχής, είναι επιβεβλημένη στο άμεσο μέλλον η δημιουργία αιολικών πάρκων κάθε μεγέθους.

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΑΝΕΜΟΣ

Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται "αιολική ενέργεια". Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) , δεδομένου ότι αφ' ενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον (ήπια ως προς το περιβάλλον) και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη (ανανεώνεται συνεχώς).

Η αιολική ενέργεια προέρχεται από μετατροπή ενός μικρού ποσοστού (περίπου 0.2%) της ηλιακής ενέργειας, που φθάνει στο έδαφος του πλανήτη μας, σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Η ισχύς του ανέμου σε ολόκληρο τον πλανήτη μας εκτιμάται σε 3.6×10^9 MW, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας, ποσοστό περίπου 1% της αιολικής ενέργειας, που ανέρχεται σε 175×10^{12} KWh/y είναι διαθέσιμο για ενεργειακή αξιοποίηση σε διάφορα μέρη του κόσμου. Οι ευνοϊκότερες περιοχές του πλανήτη μας όσον αφορά το αιολικό δυναμικό, είναι οι χώρες που βρίσκονται στην εύκρατη και πολική ζώνη και ιδιαίτερα αυτές που είναι κοντά στις ακτές. Βέβαια η αξιοποίηση όλου αυτού του τεράστιου αιολικού δυναμικού προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης υποδομής και πιο συγκεκριμένα την ύπαρξη κατάλληλων μηχανών για τη δέσμευση και μετατροπή της αιολικής ενέργειας στην επιθυμητή μορφή.

Η αιολική ενέργεια, ιδιαίτερα τα τελευταία είκοσι χρόνια αποτελεί την πλέον συμφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι ήδη το κόστος της παραγόμενης αιολικής kWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής kWh , χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα μετά από τις ενεργειακές κρίσεις και σε συνδυασμό βέβαια με τα οξυμένα περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία εμφανίζονται καθημερινά πλέον στη σημερινή ζωή του σύγχρονου ανθρώπου κάνοντας έτσι το πρόβλημα εμφανές στο μέσο άνθρωπο. Υπάρχει βέβαια και η άλλη όψη του νομίσματος η οποία λέει ότι η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας μη προβλέψιμη και συνεχής, καθώς επίσης ότι παρουσιάζει χαμηλή πυκνότητα, γεγονός που μας παραπέμπει σ αυτές τις μεγάλες κατασκευές ανεμογεννητριών.

Υπάρχει όμως και η αντικρουόμενη άποψη η όποια έρχεται από ανθρώπους που πιστεύουν ότι η κατάλληλη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μπορεί να λύσει το παγκόσμιο ενεργειακό μας πρόβλημα δίνοντας μάλιστα το παράδειγμα ότι οι ενεργειακές ανάγκες της Αμερικής, αποτελούν μόλις το ένα δέκατο του αιολικού δυναμικού της χώρας αυτής. Όλα αυτά βέβαια μπορεί να πει κάποιος ότι ακούγονται ουτοπικά και ότι οι παραπάνω ισχυρισμοί ότι η αιολική ενέργεια

μπορεί να επιλύσει τα ενεργειακά προβλήματα μιας χώρας, είναι υπερβολικοί, τουλάχιστον με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, δεδομένου ότι ένα πολύ μικρό τμήμα του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί τελικά.

Δεν παύει όμως να είναι ρεαλιστικό το γεγονός ότι η σωστή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα βελτιώσει το παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, ενώ στην περίπτωση της χώρας μας θα ανακουφίσει σημαντικά το πλήρως εξαρτώμενο από εισαγόμενα καύσιμα ενεργειακό ισοζύγιό της, χωρίς ταυτόχρονα να επιβαρύνει με πρόσθετους ρύπους το ήδη βεβαρημένο περιβάλλον μας, ιδιαίτερα για μια χώρα σαν τη δική μας που η οικονομία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τουρισμό αφού και το καλύτερο αγαθό που "εξάγει" η χώρα μας δεν άλλο από το ήλιο, τον καθαρό ουρανό, τις καθαρές παραλίες και γενικότερα τη φύση. Τι καλύτερο λοιπόν από το να προστατέψουμε αυτό το πολύτιμο αγαθό που ονομάζεται φύση ή καθαρό περιβάλλον όπως θα λέγε κάποιος άλλος με το να καλύπτουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες σε μεγάλο βαθμό από την ίδια τη φύση χωρίς να την επιβαρύνουμε όμως. Προτού όμως γίνει γενικότερα κατανοητό και γενικότερα αποδεκτό ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια καθαρή και οικονομικά ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα για τη χώρα μας, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας όλα αυτά τα θετικά και αρνητικά στοιχεία που συνοδεύουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και την αξιοποίηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

1.1.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Αιολικής ενέργειας

Πλεονεκτήματα αιολικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν από τον άνθρωπο, τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση και τη γεωργία. Όμως αντικαταστάθηκε από άλλες πηγές ενέργειας για ολόκληρο σχεδόν τον εικοστό αιώνα, λόγω των σημαντικών μειονεκτημάτων που είχε κυρίως λόγω χαμηλής "πυκνότητας". Παρόλα αυτά είναι χρήσιμο να εξετάσουμε τα κυριότερα πλεονεκτήματα που αποδίδονται στην αιολική ενέργεια, ώστε να αποκτήσουμε μια πλέον ολοκληρωμένη εικόνα. Έτσι έχουμε:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς πόρους, των οποίων τα ανά τον κόσμο αποθέματα ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου. Ειδικότερα Η χώρα μας διαθέτει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό (κυρίως τα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου, η ανατολική Πελοπόννησος, η νότια Εύβοια και η Κρήτη) και μάλιστα άριστης ποιότητας. Πράγματι στα περισσότερα νησιά του αρχιπελάγους εμφανίζονται άνεμοι σημαντικής ταχύτητας και διάρκειας σχεδόν ολόκληρο το έτος.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Πράγματι Η ισχυρή εξάρτηση της χώρας μας από εισαγόμενα καύσιμα, τα οποία οδηγούν αφ' ενός σε

συναλλαγματική αιμορραγία τη χώρα μας, αφ' ετέρου σε εξάρτησή της από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ας σημειωθεί ότι η χώρα μας εξαρτάται κυρίως από το εισαγόμενο πετρέλαιο, που προέρχεται κυρίως από χώρες υψηλού πολιτικοοικονομικού κινδύνου και οι οποίες εμπλέκονται αρκετά συχνά σε πολιτικές και στρατιωτικές κρίσεις. Με τον τρόπο αυτό το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον κυριότερο ίσως παραγωγικό συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν μπορεί να προβλεφθεί με λογικά σενάρια, πράγμα που οδηγεί σε υπερβολική αβεβαιότητα τον αντίστοιχο σχεδιασμό της εθνικής οικονομίας.

- Έχουν χαμηλό συνήθως λειτουργικό κόστος το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα της τιμής του πετρελαίου.
- Οι επενδύσεις σε Α.Π.Ε μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να αποτελέσουν πυρήνα αναζωογόνησης υποβαθμισμένων περιοχών και να γίνουν πόλος τοπικής ανάπτυξης δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και προωθώντας επενδύσεις που σχετίζονται ή στηρίζονται στις Α.Π.Ε. Η δυνατότητα τόνωσης της ελληνικής κατασκευαστικής δραστηριότητας με προϊόντα υψηλής Εγχώριας Προστιθέμενης Αξίας (Ε.Π.Α.) και συγκριτικά χαμηλού επενδυτικού κόστους, όπως θα μπορούσε να αποτελέσει η απόφαση συμπαραγωγής ανεμογεννητριών στη χώρα μας, συνεισφέροντας ταυτόχρονα και στη μείωση της ανεργίας.
- Η λειτουργία των συστημάτων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε είναι σε μεγάλο βαθμό ακίνδυνη, χωρίς να παρουσιάζονται ιδιαίτερα τεχνολογικά προβλήματα.
- Υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων, που χρηματοδοτούνται εν μέρει από ελληνικούς και κοινοτικούς φορείς, δεδομένων των υψηλών επιχορηγήσεων και του συγκριτικά χαμηλού κόστους που συνοδεύουν παρόμοιες επενδύσεις σε τομείς αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον είναι δυνατή στην περίπτωση ίδρυσης αιολικών πάρκων η σταδιακή εγκατάσταση των μηχανών, με διαχρονική κατανομή του κόστους επένδυσης σύμφωνα με το σχεδιασμό του επενδυτή.

Μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας.

Αν και δεν είναι δυνατό να αγνοήσουμε τα πλεονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψη και οι παρακάτω παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους ισχύουν ιδιαίτερα για τη χώρα μας, ώστε να διαμορφώσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα:

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος και ν αποθηκευτεί.
- Δεδομένης της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και ενέργειας που έχουν, για μεγάλη ισχύ συχνά απαιτούνται εκτεταμένες σε μέγεθος εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα , Η χαμηλή ροή αξιοποιήσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου (Watt/m^2) κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις "αραιές" μορφές ενέργειας. Τυπικές τιμές ροής της αξιοποιούμενης αιολικής ισχύος κυμαίνονται μεταξύ 200 W/m^2 και 400 W/m^2 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων, για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας.
- Η στοχαστικότητα των μεγεθών, όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία , έχουν σαν αποτέλεσμα η τιμή της παραγόμενης ισχύος να έχει μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που δεν μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε την απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε, απαιτώντας έτσι την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών (όπως π.χ σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες Diesel κ.λπ.) ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Ειδικότερα σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να έχουμε συγχρονισμό της ζήτησης και της διαθέσιμης ενέργειας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο αρχικό κόστος (λόγω της προσθήκης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας) και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης, καθώς και αυξημένες υποχρεώσεις συντήρησης και εξασφάλισης της ομαλής λειτουργίας. Επίσης οι εγκαταστάσεις είναι συνήθως αισθητικά μη αποδεκτές από το κοινό μιας και έχουν εκφραστεί πολλές φορές παράπονα για αισθητική και ηχητική ρύπανση όσο αφορά τις ανεμογεννήτριες.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι ακόμη υψηλό σε σχέση με τις τιμές των συμβατικών καυσίμων. Ειδικά μάλιστα για μεμονωμένες περιπτώσεις αιολικών μηχανών μικρού μεγέθους. Στο σημείο αυτό πρέπει να προσθέσουμε ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει τα τελευταία χρόνια συμπίεσει σημαντικά τις τιμές των ανεμογεννητριών.
- Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψιν ότι από το σύνολο της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια, μόνο ένα περιορισμένο μέρος της μετατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια λόγω των αεροδυναμικών και των μηχανικών απωλειών και περιορισμών.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι σαφώς περισσότερα σε αριθμό αλλά και σημαντικότερα από τα υπάρχοντα μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό η απόφαση να αξιοποιηθεί στη χώρα μας το ήδη υπάρχον αιολικό δυναμικό και να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις και η υποδομή για επενδύσεις πάνω στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, είναι επιτακτική ανάγκη μιας και μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά βιώσιμες και ελκυστικές επενδύσεις. Λαμβανομένης υπόψη και της τοπογραφίας της χώρας καθώς και το μεγάλο αριθμό διάσπαρτων μικρών νησιών, μπορούν να δοθούν κίνητρα για

εγκατάσταση ανεμογεννητριών μικρό-μεσαίων διαστάσεων από ιδιώτες ενθαρρύνοντας έτσι την ιδιωτική πρωτοβουλία. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τους πιο συντηρητικούς υπολογισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπάρχουν σ' αυτήν πάνω από πεντακόσιες εξήντα χιλιάδες (560000) ιδιωτικές απομονωμένες αγροικίες, από τις οποίες περίπου το 10% ανήκει στη χώρα μας. Οι αγροικίες αυτές δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση ανεμογεννητριών να συνεισφέρει στην επίλυση των ενεργειακών τους προβλημάτων.

1.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου.

Η αιτία δημιουργίας του ανέμου είναι μετατροπή ενός ποσοστού της ηλιακής ενέργειας σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο άνεμος είναι η ίδια η περιστροφή της γης, το ανάγλυφο της εκάστοτε περιοχής που μελετάμε, καθώς επίσης και η ύπαρξη θάλασσας. Προκειμένου να γίνει η καταγραφή των μεγεθών του ανέμου που μας ενδιαφέρουν, όπως διεύθυνση, ταχύτητα τύρβη κτλ, χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα όπως είναι τα ανεμόμετρα, (για την μέτρηση της έντασης του ανέμου) ή μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν και χρήσιμα διαγράμματα όπως είναι το πολικό διάγραμμα το οποίο μας δίνει τη διεύθυνση του ανέμου και το οποίο καθορίζεται σε σχέση με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η συσκευή η οποία μας δίνει τη διεύθυνση του ανέμου σε μονάδες μέτρησης είναι ο ανεμοδείκτης ή ο τριαξονικός ανεμογράφος. Εκτός όμως από αυτά τα βασικά μεγέθη του ανέμου υπάρχουν και είναι χρήσιμο να καταγράφονται οι ριπές, οι στροβιλισμοί, οι διαταράξεις και τα επίπεδα τύρβης του ανέμου προκειμένου να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη συμπεριφορά του ανέμου στην περιοχή που μας ενδιαφέρει.

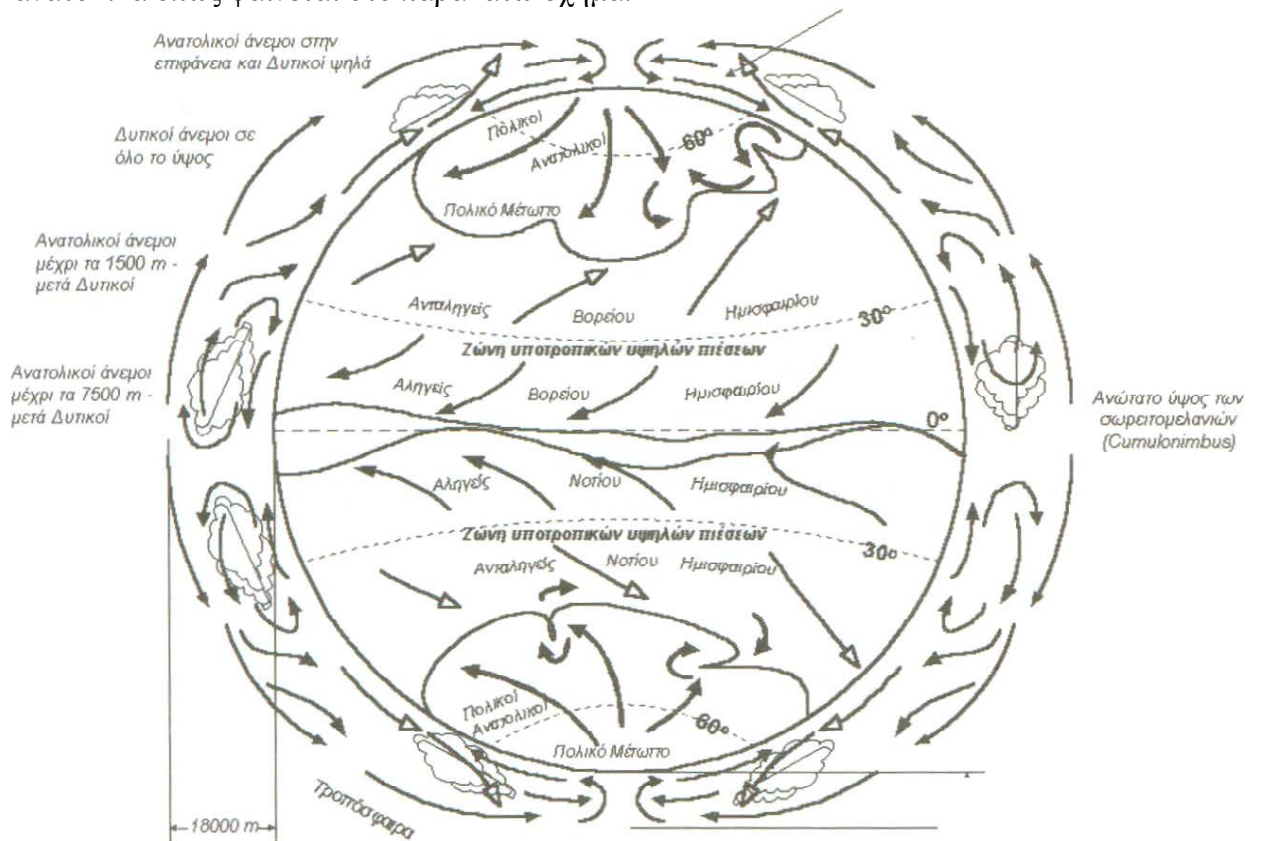
Η περιγραφή της διανομής της ταχύτητας προκύπτει από διάφορους ημι-εμπειρικούς τύπους οι οποίοι βασίζονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα του ανέμου σχετίζεται με το ύψος, δηλαδή όσο αυξάνεται το υψος που μετράμε την ταχύτητα του ανέμου τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα του ανέμου. Βέβαια η διανομή της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους, την ύπαρξη επιφανειακών εμποδίων καθώς και από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.

Μετά την καταγραφή της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου, συνήθως σε ετήσια βάση, ακολουθεί η επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων με στόχο την κατασκευή του ιστογράμματος συχνότητας πιθανότητας του ανέμου, της ετήσιας καμπύλης διάρκειας, του πολικού διαγράμματος και των καμπυλών των διαστημάτων νηνεμίας της περιοχής. Λιγότερο ακριβείς είναι οι ανεμολογικές μετρήσεις που βασίζονται στη κλίμακα Beaufort, λόγω της σχετικής ασάφειας που εμφανίζουν οι επιμέρους βαθμίδες της κλίμακας. Για να γίνουν περισσότερο κατανοητοί αυτοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τον άνεμο καθώς και να εκτιμηθεί η σημασία τους κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στο τι ονομάζεται άνεμος, πως δημιουργείται και που οφείλεται η κίνηση του.

Άνεμος και ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Άνεμος ονομάζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Όπως για οποιοδήποτε ρευστό ευρισκόμενο σε κίνηση, έτσι και στην περίπτωση του ανέμου, για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητάς του απαιτείται η

γνώση του μέτρου (ένταση του ανέμου) και της διεύθυνσης του ανέμου. Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται τόσο από ειδικούς παράγοντες (γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, πεδίο πίεσης) όσο και από τους τοπικούς παράγοντες (δηλ. ανάγλυφο της περιοχής, ύπαρξη θάλασσας κ.λ.π.). Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της γης. Πράγματι η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αερίων μαζών από τους πόλους προς τον ισημερινό και αντίθετως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητάς του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους. Παράλληλα, η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αερίων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Πεδίο ανέμων γύρω από τον πλανήτη μας

Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης. Αποτέλεσμα του συνδυασμού των ανωτέρω παραγόντων είναι η συνεχής μεταβολή της κατάστασης της ατμόσφαιρας και η δημιουργία περιοχών υψηλών πιέσεων (αντικυκλώνες), όπως και περιοχών χαμηλών πιέσεων (κυκλώνες). Εν γένει ο άνεμος έχει μεγαλύτερη ένταση επάνω από τους ωκεανούς παρά επάνω

από την ξηρά, ενώ στην Ευρώπη περιοχές με υψηλή μέση ταχύτητα του ανέμου είναι η Ιρλανδία, η Αγγλία, το Βέλγιο, η Ολλανδία, η Γαλλία, η Πορτογαλία καθώς και οι περιοχές της ανατολικής Μεσογείου ανάμεσα στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η χώρα μας.

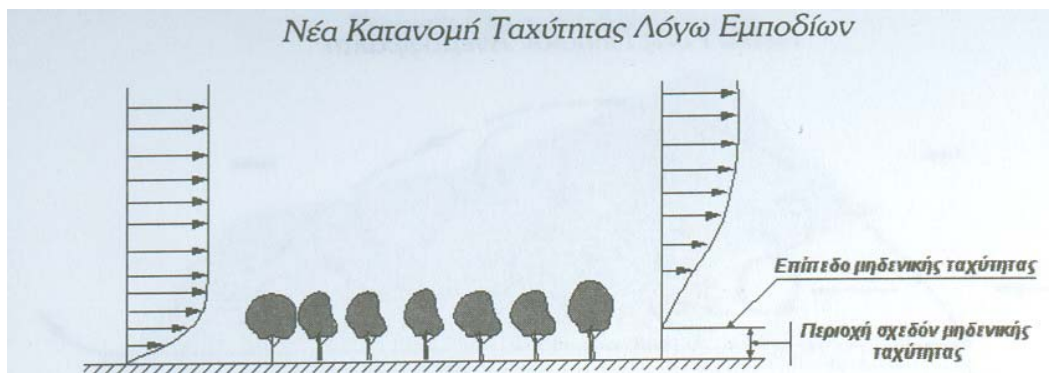
Από το σύνολο των κινήσεων του ανέμου η σπουδαιότερη σε σχέση με τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου. Βέβαια για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας απαιτείται επιπλέον της γνώσης για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, να έχουν καταγραφεί οι επικρατούσες στην περιοχή αναταράξεις, ο στροβιλισμός και η τύρβη του ανέμου, καθώς και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να πει κανείς ότι αυτή είναι μια πιο προσεκτική προσέγγιση όσον αφορά στο τι είναι άνεμος πως δημιουργείται και που οφείλεται η κίνηση του. Πέρα απ αυτό όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνση του.

Έτσι έχουμε:

Επίδραση των επιφανειακών εμποδίων

Με τον ορό επιφανειακό εμπόδιο εννοούμε κάθε εμπόδιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είτε αυτό είναι φυσικό είτε τεχνητό και το οποίο εμποδίζει την ελεύθερη κυκλοφορία του ανέμου. Για την καλύτερη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, είναι καλύτερο η φτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός περιοχής επίδρασης των επιφανειακών εμποδίων και αυτό γιατί έτσι έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής του ανέμου είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου ελάχιστη. Άρα είναι σημαντικό και σκόπιμο προτού κάνουμε οτιδήποτε να εντοπίσουμε αυτές τις περιοχές επιρροής των επιφανειακών εμποδίων. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό αυτό μπορούμε να πάρουμε το χαρακτηριστικό παράδειγμα των δέντρων, των οποίων η παρουσία έχει σαν παράδειγμα το μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου, όταν αυτά βρίσκονται σε συστοιχία όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Νέα κατανομή ταχύτητας λόγω εμποδίων

Παρατηρούμε ότι το οριακό στρώμα φαίνεται να αναπτύσσεται από την κορυφή των δέντρων και κατόπιν. Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος της ζώνης

επιρροής είναι τουλάχιστον πέντε έως έξι (5-6) φορές το μέσο ύψος των δένδρων.

Απ αυτό συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η τοποθέτηση της φτερωτής πρέπει να βρίσκεται εκτός του πεδίου επίδρασης των δέντρων στη συμπεριφορά του ανέμου.

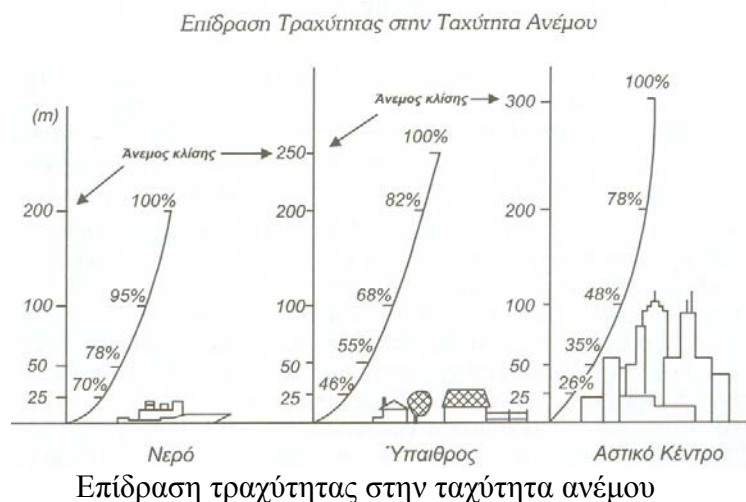
Πολύ συχνά και για περιπτώσεις υψηλών δένδρων αναφέρεται στην υπό μελέτη τοποθεσία η ύπαρξη περιοχών όπου έχουμε μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου και δημιουργία έντονων στροβίλων ανακυκλοφορίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται "ανεμοφράκτες" και αποτελούν σαφή ένδειξη της ύπαρξης ανέμου υψηλών ταχυτήτων.

Τα παρακείμενα κτίρια αποτελούν ένα άλλο είδος εμποδίων, δεδομένου ότι η παρουσία τους διαταράσσει σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου. Επιπλέον οι οξείες γωνίες του κτιρίου αποτελούν την πηγή εκροής μεμονωμένων στροβίλων με αποτέλεσμα την πλήρη τροποποίηση των χαρακτηριστικών του ανέμου.

Εκτεταμένες έρευνες που αφορούν τη ροή γύρω από κτίρια κατέληξαν ότι η ζώνη επιρροής των κτιρίων περιλαμβάνει, δύο φορές το ύψος του κτιρίου ανάντη, δέκα φορές το ύψος του κτιρίου κατόντη και ύψος τουλάχιστον στον διπλάσιο του κτιρίου στην πέραξ του κτιρίου περιοχή. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ότι σε απόσταση δεκαπλάσια του ύψους του κτιρίου έχουμε κατά 5% αύξηση του επιπέδου της τύρβης και κατά 6% μείωση της ταχύτητας του αέρα, η οποία και οδηγεί σε μείωση κατά 17% της διαθέσιμης ενέργειας του αδιατάρακτου ρεύματος στα ανάντη του κτιρίου.

Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

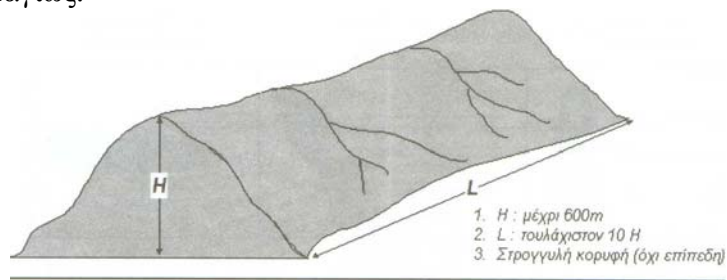
Άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου είναι η τραχύτητα του εδάφους. Το πόσο σημαντική επίδραση έχει στη συμπεριφορά του ανέμου το καταλαβαίνουμε αν αναλογιστούμε ότι καμιά φορά παρόλο που έχουμε ένα αιολικό πάρκο σε μια περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό, η απόδοση του είναι μέτρια. Η αιτία γι αυτό είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ύπαρξη μεμονωμένων κτιρίων ή άλλων εμποδίων όσο και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η επίδραση της τραχύτητας στη διανομή της ταχύτητας του ανέμου:



Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

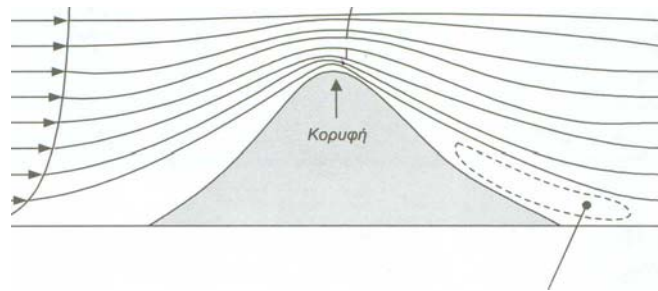
Αν πάρει κανείς τις αναλυτικές σχέσεις που αναφέρονται στη διανομή της ταχύτητας και τις εφαρμόσει σε πραγματικές συνθήκες θα δει ότι υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις απ αυτά που θα περίμενε σύμφωνα με τα νούμερα που εξάγονται από τους τύπους. Αυτό εξηγείται εύκολα αν λάβουμε υπόψη μας ότι όλες αυτές οι σχέσεις ισχύουν σε ιδανικές συνθήκες και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται "επίπεδες επιφάνειες." Στην πραγματικότητα όμως καμία περιοχή δεν είναι έτσι. Μεγάλη επίδραση λοιπόν έχει και η μορφολογία του εδάφους στη συμπεριφορά του ανέμου και στην επιλογή κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση ανεμογεννητριας. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ορισμένα στοιχεία που αφορούν στην παρουσία λοφοσειρών και περασμάτων στην υπό διερεύνηση περιοχή. Για ακριβέστερες αναλύσεις απαιτείται η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής.

Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600m) μέτρα, ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Η ανάλυσή μας βασίζεται στην υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως.



Τυπική λοφοσειρά

Βασιζόμενοι στους κλασσικούς νόμους της αεροδυναμικής υποηχητικών ταχυτήτων (π.χ εξίσωση Bernoulli), μπορούμε να πούμε ότι η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην εν λόγω περιοχή. Συχνά είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν αφενός αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν απόκόλληση της ροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης όπως φαίνεται παρακάτω.



Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης.

Ολοκληρώνοντας πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική διανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει η διαμόρφωση του εδάφους, δεδομένου ότι η παρουσία εμποδίων, στενώσεων ή ανοιγμάτων τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Αν και υπάρχουν αρκετές αναλυτικές ημιεμπειρικές σχέσεις που προτείνουν διορθώσεις της ταχύτητας του ανέμου παρουσία εμποδίων ή λόγω της τραχύτητας του εδάφους, ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μόνο με την αριθμητική προσομοίωση της υπό εξέταση περιοχής και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τέλος σαν γενικός κανόνας πρέπει να θεωρηθεί η αρχή ότι ο δρομέας (πτερωτή) μιας ανεμογεννήτριας, πρέπει να βρίσκεται έξω από τη ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται ανάντη της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τύρβη.

Κεφάλαιο 2^ο

Αιολικό δυναμικό

2.1 Εισαγωγή

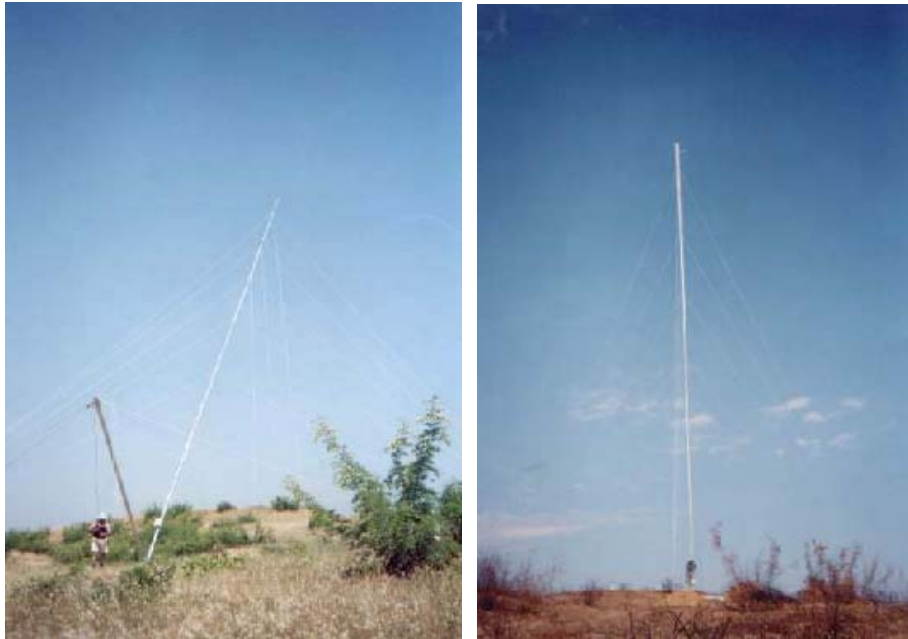
Το αιολικό δυναμικό είναι μια επίπονη διαδικασία τα αποτελέσματα της οποίας στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους συνθήκες οι οποίες είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρξουν όπως για παράδειγμα επίπεδα εδάφη κ.τ.λ. Αυτό το γεγονός μας κάνει να καταλάβουμε ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται απ τα μοντέλα αυτά δεν είναι δυνατό να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα παρά μόνο αν γίνουν κάποιες παραδοχές. Φροντίζουμε λοιπόν έτσι ώστε οι μετρήσεις που παίρνουμε για μια περιοχή να είναι κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα περίπου 10 χιλιόμετρα απ τον ανεμογράφο μπορούμε να δεχτούμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε σαν ακριβή.

2.2 Μετρήσεις

Οι μετρήσεις που μας χρειάζονται προκειμένου να πάρουμε τα στοιχεία που θέλουμε για την περιοχή ενδιαφέροντος λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό ιστό. Τοποθετείται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα στην ψηλότερη κορυφή για την αποφυγή κάθε είδους φυσικού ή τεχνητού εμποδίου

προκειμένου να μην υπάρξει έτσι αλλοίωση αποτελεσμάτων. Οι ιστοί στήνονται σε ύψος τουλάχιστον 10 μ. από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια , όπου αυτό είναι εφικτό . Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας . Σ' αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος έως και 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10μ , 30μ , 45μ , 60μ) . Με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της πτερωτής της Α/Γ που είναι συνήθως πάνω από τα 50μ. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε . Παρακάτω φαίνεται ένα μέρος από διαδικασία στησίματος και ανύψωσης ενός ιστού διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τη συναρμολόγηση του πυλώνα, την τοποθέτηση του ανεμομέτρου και του ανεμοδείκτη , όργανα για τα οποία γίνεται λόγος παρακάτω , τοποθέτηση του καταγραφικού όργανο στο οποίο λαμβάνονται και αποθηκεύονται οι μετρήσεις και τέλος γίνεται η ανέγερση του ιστού με τη βοήθεια κατάλληλων ανυψωτικών διατάξεων.





Σχήμα 2.1 Διαδικασία ανέγερσης ενός μετεωρολογικού ιστού.

Οι μετρητικές διατάξεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, (ανεμόμετρο-ανεμοδείκτης) τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια , έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί , να έχουμε ενδείξεις από το άλλο . Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) το οποίο όπως είπαμε παίρνει τις μετρήσεις και τις αποθηκεύει. Μέσα από το καταγραφικό έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε την περίοδο δειγματοληψίας. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για ανέγερση αιολικού πάρκου οι μετρήσεις γίνονται ανά 1 δευτερόλεπτο και η ολοκλήρωση των μετρήσεων γίνεται κάθε 10 λεπτά . Έτσι έχουμε μέσες 10λεπτες τιμές για την ταχύτητα και την διεύθυνση. Παρακάτω στο σχήμα φαίνεται ένας τύπος καταγραφικού όπου φαίνονται κάποιες μετρήσεις εκείνης της στιγμής που τραβήχτηκε η φωτογραφία και αφορούν στην στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου εκείνη τη στιγμή καθώς επίσης και η μέση ταχύτητα.



Σχήμα 2.2 Data logger

2.3 Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού μιας περιοχής

Ένταση του ανέμου

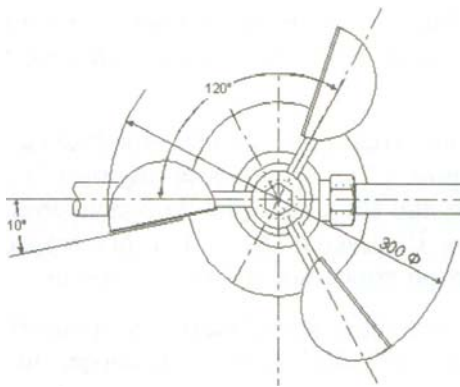
Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

Επιπλέον των προαναφερομένων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου "laser", κύρια σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακρίβειας, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση μελέτης του ομόρου

ανεμογεννήτριας μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα .

Από τα κλασικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πιο γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Αυτά αποτελούνται (βλέπε σχήμα 2.3) από έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη. Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

- α. Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή ενάρξεως λειτουργίας του οργάνου.
- β. Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απ' ευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.



Σχήμα 2.3 Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο.

- γ. Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.
- δ. Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

Μέχρι σήμερα έχουν αναφερθεί αρκετές προσπάθειες συσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου "V" με τη γραμμική ταχύτητα "υ" περιστροφής των κυπέλλων, πράγμα που εάν επιτευχθεί θα διευκολύνει τη βαθμονόμηση των ανεμόμετρων. Εν γένει, ο λόγος "V/υ" δεν είναι σταθερός, ομαλότερη δε συμπεριφορά παρουσιάζουν ανεμόμετρα με:

- α. Τρία κύπελλα αντί τεσσάρων, δεδομένου ότι η στρεπτική ροπή συστήματος με τρία κύπελλα είναι πιο ομοιόμορφη για όλο το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου, ενώ εμφανίζει και μεγαλύτερες τιμές στρεπτικής ροπής ανά μονάδα βάρους.
- β. Κωνικά κύπελλα έναντι των σφαιρικών.
- γ. Στρογγυλεμένα χείλη των κυπέλλων, δεδομένου ότι είναι λιγότερο ευαίσθητα στις αναταράξεις του αέρα από ότι τα έχοντα αιχμηρά χείλη.

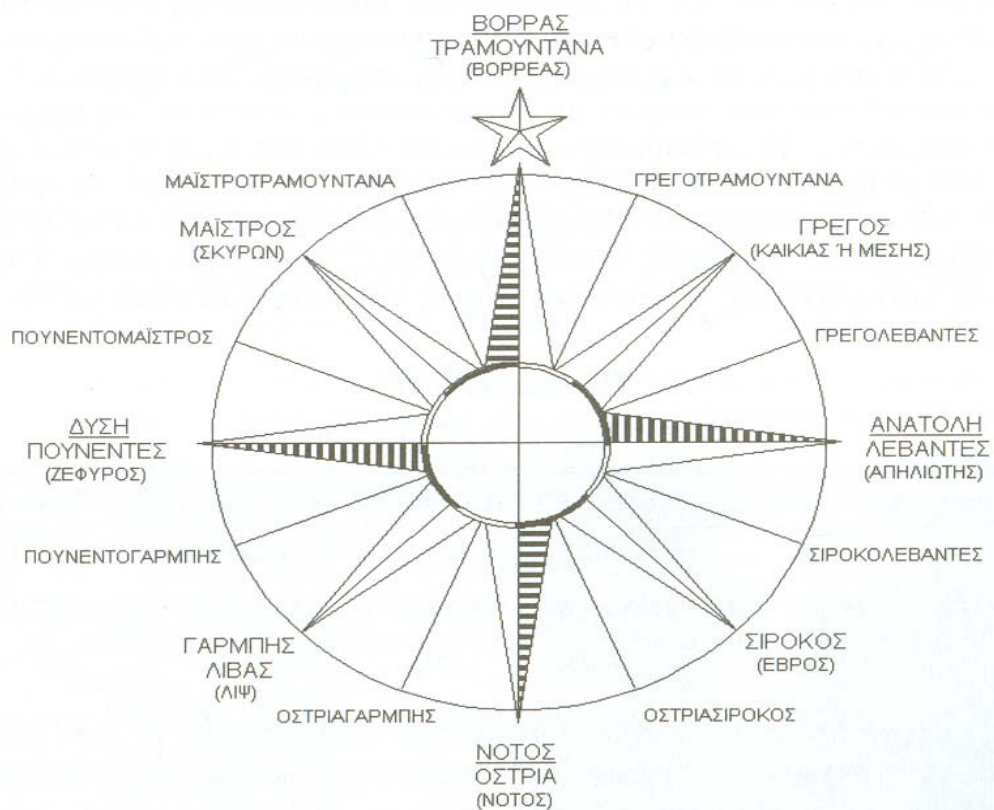
Ένα βασικό μειονέκτημα των ανεμόμετρων αυτού του τύπου είναι το γεγονός ότι δεν έχουν συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή μείωση της έντασης του ανέμου, δεδομένου ότι τα κύπελλα του οργάνου εξακολουθούν λόγω αδράνειας να περιστρέφονται ακόμα και όταν ο άνεμος σταματήσει. Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις του οργάνου είναι μεγαλύτερες από την πραγματική ένταση του ανέμου.

Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομοιογενή περιοχή (η οποία εκτείνεται 300 μέτρα γύρω από το όργανο), ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 10 μέτρα από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Σε μια τοποθεσία με ομοιόμορφη κατανομή εμποδίων με μέσο ύψος εμποδίων "H", το όργανο πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος "10+H" μέτρων από το έδαφος, όπου $H_{max}=12m$. Στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων γύρω από το όργανο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εύρεση της βέλτιστης θέσης του οργάνου οι διαστάσεις των εμποδίων, εφ' όσον είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις στην περιοχή αυτή. Αντίστοιχες διορθώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση υποχρεωτικής τοποθέτησης του ανεμομέτρου σε ειδικές θέσεις, όπως για παράδειγμα στην κορυφή ενός κτιρίου, δεδομένου ότι το ίδιο το κτίριο διαταράσσει τη ροή του ανέμου.

Διεύθυνση του ανέμου.

Μια άλλη σημαντική παράμετρος όσον αφορά στην κατανόηση της συμπεριφοράς του ανέμου είναι η διεύθυνση του. Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Στο σχήμα 2.4 δίνεται η ονοματολογία των ανέμων με βάση ναυτικές, ενετικές και αρχαιοελληνικές ονομασίες. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς βορρά, και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια χρησιμοποιούνται 8, 12, 16 ή 32 τομείς, βλέπε και πίνακα 2.5 όπου καθορίζονται οι κυκλικοί τομείς για κάθε μία από τις 32 διευθύνσεις.

Ονοματολογία Ανέμων Βάσει Διεύθυνσής τους



ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ

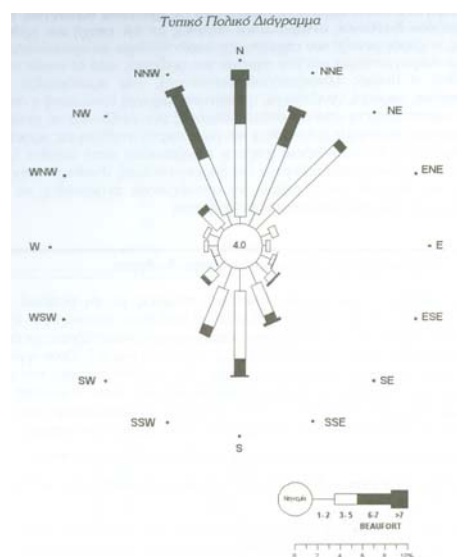
ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ (ΕΝΕΤΙΚΕΣ)
(ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ)

Σχήμα 2.4 Ονοματολογία ανέμων βάσει διεύθυνσής τους

Διεύθυνση	Αντιστοιχ. (°)	Τομέας (°)	Διεύθυνση	Αντιστοιχ. (°)	Τομέας (°)
N	360.00	355-005	S	180.00	175-185
N'E	11.25	006-016	S'W	191.25	186-196
NNE	22.50	017-028	SSW	202.50	197-208
NE'N	33.75	029-039	SW'S	213.75	209-219
NE	45.00	040-050	SW	225.00	220-230
NE'E	56.25	051-061	SW'W	236.25	231-241
ENE	67.50	062-073	WSW	247.50	242-253
E'N	78.75	074-084	W'S	258.75	254-264
E	90.00	085-095	W	270.00	265-275
E'S	101.25	096-106	W'N	281.25	276-286
ESE	112.50	107-118	WNW	292.50	287-298
SE'E	123.75	119-129	NW'W	303.75	299-309
SE	135.00	130-140	NW	315.00	310-320
SE'S	146.25	141-151	NW'N	326.25	321-331
SSE	157.50	152-163	NNW	337.50	332-343
S'E	168.75	164-174	N'W	348.75	344-354

Πίνακας 2.5 Διευθύνσεις ανέμου σε μοίρες και τομείς

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε "πολικό διάγραμμα" (ή ροζέτα) τις συχνότητες (%), σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα είναι δυνατό να παρασταθεί και η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση, σχήμα 2.6. Επιπλέον για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατός ο υπό κλίμακα σχεδιασμός ώστε να εμφανίζονται και τα διαστήματα έντασης του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Τέλος στο κέντρο του πολικού διαγράμματος και σε ειδικό κύκλο κατάλληλης ακτίνας καταγράφεται το ποσοστό της νηνεμίας.



Σχήμα 2.6 Τυπικό πολικό διάγραμμα

Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, χαρακτηρίζουμε σαν κύρια διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι διαφορετικές για κάθε τοποθεσία, δεδομένου ότι ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών και των κοιλάδων, η υπάρχουσα βλάστηση καθώς και η ύπαρξη κτιρίων ανάμεσα στα άλλα επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου.

Η διεύθυνση του ανέμου η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ονομάζεται επικρατούσα διεύθυνση. Η επικρατούσα διεύθυνση μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου. Τέλος, ο χώρος μεταξύ του σημείου το οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα, από το οποίο πνέει συνήθως ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση), μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή. Αντίστοιχα, η υπήνεμη περιοχή είναι αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο (περιοχές που εκτίθενται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης) και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής. Στον Ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου, χωρίς βέβαια να αποκλείονται περιπτώσεις σε περιοχές με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

Μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου.

Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια των ανεμοδεικτών. Ο ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δύο ελάσματα στο ένα άκρο του, βλέπε σχήμα 2.7. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δύο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη (που βρίσκεται και το αντίβαρο εξισορρόπησης του ελάσματος) να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος.

Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- α. Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του με ελάχιστες τριβές.
- β. Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.
- γ. Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- δ. Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.
- ε. Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων.

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι επειδή η διεύθυνση του ανέμου μετρείται συναρτήσει του αληθούς βορρά, το όργανο πρέπει να προσανατολισθεί με τη βοήθεια της χαραγής που υπάρχει επάνω του.



Σχήμα 2.7 Ανεμοδείκτης

2.4 Ψηφιοποίηση του χάρτη.

Η μέθοδος που ακολουθήσαμε για να μεταφέρουμε τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής της Αγίας Ελεσσας της νήσου των Κυθήρων στον υπολογιστή, ήταν η ψηφιοποίηση των χαρτών με χρήση digitizer. Χρησιμοποιήθηκαν χάρτες κλίμακας 1:5.000 από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.) . Για να έχουμε καλή ακρίβεια ψηφιοποιήθηκαν όλες οι ισοϋψείς ανά είκοσι μέτρα και για την περιοχή ενδιαφέροντος η ψηφιοποίηση έγινε ανά 4 μέτρα . Δημιουργήθηκαν έτσι τριάντα τρία αρχεία σε περιβάλλον Autocad (ένα για κάθε χάρτη 1:5.000) και στη συνέχεια οι χάρτες ενώθηκαν μεταξύ τους με τη χρήση των κατάλληλων εντολών. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήσαμε ένα χάρτη όλης της νήσου των Κυθήρων με ισοϋψείς ανά είκοσι μέτρα. Στη συνέχεια ο χάρτης αυτός πέρασε από λεπτομερή έλεγχο έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι όλες οι ισοϋψείς βρίσκονται στο σωστό ύψος και ότι κάθε μια απ' αυτές είναι μια κλειστή καμπύλη.

2.5 Το λογισμικό WASP .

Το πακέτο λογισμικού WASP είναι ένα πρόγραμμα, το οποίο, χρησιμοποιώντας δεδομένα για το αιολικό δυναμικό και τη μορφολογία μιας περιοχής , δημιουργεί ανεμολογικούς χάρτες και παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα για την εγκατάσταση αιολικών συστημάτων στις εξεταζόμενες περιοχές .

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του WASP είναι ανάλογη της αξιοπιστίας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Δηλαδή , αν έχουμε έντονη ορογραφία ή μη ελεγμένες μετρήσεις , η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του προγράμματος μειώνεται .

Η δομή του WASP

Το WASP αποτελείται από 4 κυρίως λειτουργίες:

- ✓ Ανάλυση και επεξεργασία γεωγραφικών χαρτών. Αυτή η επιλογή δίνει την δυνατότητα ανάλυσης κάθε είδους χάρτη (WASP map editor)
- ✓ Δημιουργία των δεδομένων Αιολικού Άτλαντα. Τα αναλυμένα ανεμολογικά δεδομένα μπορούν να μετατραπούν σ' ένα σετ δεδομένων για τους ανεμολογικούς χάρτες. Σ' ένα τέτοιο σετ, οι πληροφορίες από τις παρατηρήσεις του ανέμου έχουν «καθαριστεί» από τις ιδιομορφίες της εξεταζόμενης περιοχής και ανάγονται σε σταθερές συνθήκες. (owc wizard)

- ✓ Εκτίμηση του κλίματος του ανέμου. Χρησιμοποιώντας το σετ δεδομένων που παρέχει ένας ανεμολογικός άτλαντας και το χάρτη , το πρόγραμμα μπορεί να δώσει μια εκτίμηση του κλίματος του ανέμου στην συγκεκριμένη περιοχή . (WAsP)
- ✓ Εκτίμηση δυνατοτήτων παραγωγής .Το ολικό ενεργειακό αποτέλεσμα του μέσου ανέμου υπολογίζεται από το WAsP. Επιπλέον, αν δοθεί στο WAsP η καμπύλη ισχύος της Α/Γ που θα χρησιμοποιηθεί, αυτό μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας .

Ανάλυση του αιολικού άτλαντα

Ο κύριος στόχος του WAsP είναι δίπτυχος. Πρώτα διορθώνει τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουν μετρηθεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο και τα μετατρέπει σε ένα σύνολο που να περιγράφει το ανεμολογικό κλίμα μιας περιοχής τον αποκαλούμενο αιολικό άτλαντα. Μετά, χρησιμοποιεί αυτά τα σύνολα δεδομένων ώστε να εκτιμήσει τις ανεμολογικές συνθήκες σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο και ύψος στην περιοχή.

Η δημιουργία αιολικού άτλαντα με το WAsP ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Τα υπάρχοντα μετεωρολογικά δεδομένα, είτε σε μορφή χρονοσειρών είτε σε κλιματολογικό πίνακα μεταφέρονται σ' ένα φάκελο του δίσκου.
2. Η περιγραφή του μετεωρολογικού σταθμού μπορεί να εισαχθεί απ' ευθείας από το πληκτρολόγιο ή με ψηφιοποίηση που μπορεί μετά να αποθηκευτεί για αναφορά αργότερα , το ύψος του ανεμομέτρου , την τραχύτητα του εδάφους γύρω από τον σταθμό και πιθανόν την παρουσία εμποδίων κοντά στο σταθμό. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις να επηρεάζονται και από την ορογραφία, οι πληροφορίες που απαιτούνται από το μοντέλο του πολύπλοκου εδάφους πρέπει επίσης να εισαχθούν .
3. Οι πληροφορίες που δίνονται στα παραπάνω δυο σημεία χρησιμοποιούνται σαν βάση για να υπολογίσει το WAsP την τάξη ταχύτητας του ανέμου σε ιστόγραμμα, την αντίστοιχη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου πιο ψηλά από το ανεμόμετρο και όλα αυτά για κάθε περιοχή. Σ' αυτή την διαδικασία οι πληροφορίες «φιλτράρονται» από τα αποτελέσματα των εμποδίων, της ανομοιογένειας της τραχύτητας και τις διαταράξεις λόγω της γεωμετρίας του εδάφους.
4. Χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές σχέσεις μεταξύ του ανέμου πάνω από ομοιογενές έδαφος και την υποτιθέμενη μεγάλη ή συνοπτική διαβάθμιση του ανέμου, τα δεδομένα προσεγγίζονται για να αναλογούν στο γεωστροφικό κλίμα της περιοχής. Αυτό θεωρείται ανεξάρτητο από τις ειδικές συνθήκες στην επιφάνεια. Οι αντίστροφοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για να δώσουν το αιολικό δυναμικό σε μερικά, ορισμένα, ύψη και σε διάφορες τραχύτητες του εδάφους.
5. Τελικά, αυτά τα δεδομένα αναλύονται σε όρους της κατανομής Weibull. Οι παράμετροι της Weibull αποτελούν τον αιολικό άτλαντα της περιοχής και είναι η αρχή των υπολογισμών για την τοποθέτηση συστημάτων αιολικής ενέργειας.

Κεφάλαιο 3^ο

Τύρβη και διάτμηση

3.1 Εισαγωγή

Επειδή οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι μια παράμετρος η οποία δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί και να αναλυθεί με τρόπο σαφή και εμπειριστατωμένο, για το λογο αυτό χρησιμοποιούμε στατιστικές τεχνικές για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ανέμου . Μ αυτό τον τρόπο , από τον ορισμό της μέσης τιμής της ταχύτητας , προκύπτει η τύρβη που ορίζεται ως η διαταραχή της ταχύτητας με περίοδο μικρότερη από την περίοδο ολοκλήρωσης της μέσης τιμής . Συνήθως για να έχουμε ένα κοινό σημείο αναφοράς , υπολογίζουμε την τύρβη δεκαλέπτου I_{10} . Η διάτμηση (shear) μας δείχνει αν έχουμε πρόβλημα με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου σε ύψος μικρότερο της πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξετάσουμε τη συγκεκριμένη παράμετρο όταν χωροθετούμε τις ανεμογεννήτριες γιατί ένας λάθος υπολογισμός μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα για τα φτερά των ανεμογεννητριών .

3.2 Τύρβη

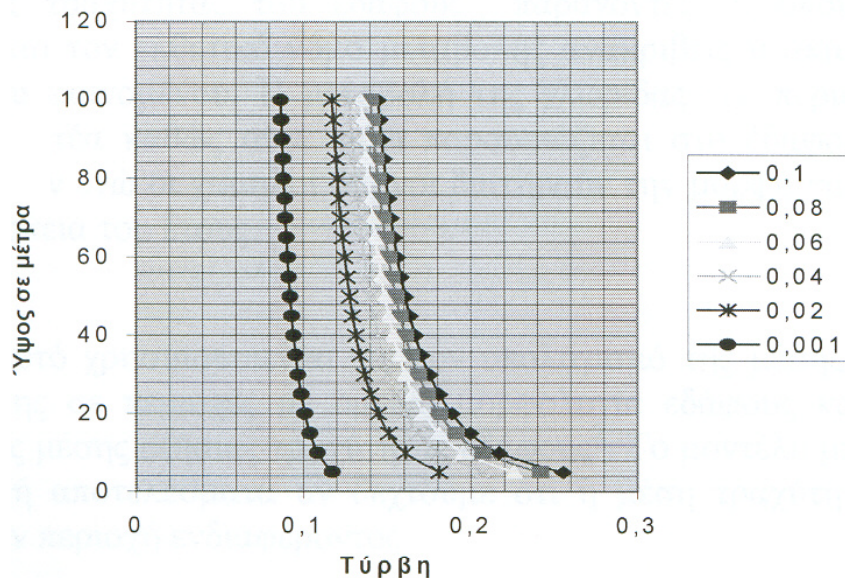
Ο υπολογισμός της τύρβης γίνεται με βάση τη θεωρία περί ανάπτυξης τυρβώδους ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Κριτήριο για την επιλογή των σχέσεων για τους υπολογισμούς υπήρξε η μορφή της κατανομής της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Η κατανομή της κλίσης αυτής στο χώρο, είναι ένδειξη της κατανομής της παραγωγής και της απόσβεσης της τύρβης.

Μια λογαριθμική κατανομή, όπως αυτή παρουσιάζεται στο υπό μελέτη πεδίο, μακριά από απόκρημνες πλαγιές αναμένεται να δώσει κατανομή τύρβης όπως αυτή των ομογενών πεδίων. Στην περίπτωση αυτή η σχέση που υιοθετείται είναι η ακόλουθη:

$$I = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

όπου z_0 το μήκος τραχύτητας του εδάφους. Το έδαφος του υπό μελέτη πεδίου παρουσιάζει τραχύτητα μεταξύ 0,05 και 0,1 μέτρα . Η αναμενόμενη τύρβη θα είναι περίπου 10% - 15% . Στο σχήμα 3.1 φαίνεται μια τυπική κατανομή της τύρβης για πεδιάδες . Η απλή αυτή σχέση παύει να ισχύει όταν η κατανομή της ταχύτητας χάνει την λογαριθμική της μορφή και αυτό συμβαίνει σε ορεινά μέρη . Η εκτίμηση της κατανομής της τύρβης σε περιπτώσεις επιτάχυνσης της ροής πάνω από λόφους που παρουσιάζουν οξείες ακμές και τελειώνουν σε κρημνώδεις πλαγιές μπορεί να γίνει μόνο με προσομοίωση σε υπολογιστή μέσω του κατάλληλου προγράμματος .

Κατανομή της τύρβης σε ομογενές πεδίο



Σχήμα 3.1

Η κατανομή της τύρβης, (καμπύλες για τραχύτητα $Z_0 = 0,1$ έως $0,001$) σε ομογενές πεδίο σύμφωνα με τον European Wind Atlas του RISOE

3.3 Διάτμηση

Ως διάτμηση ορίζεται η κλίση της καμπύλης της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος από το έδαφος . Όταν αυτή η κλίση πάρει μια ορισμένη αρνητική τιμή (εξαρτάται από τον κατασκευαστή της Α/Γ) τότε αυτό είναι επικίνδυνο για τα φτερά της Α/Γ καθώς υπάρχει πιθανότητα να χτυπήσουν στον πυλώνα και να καταστραφούν . Αρνητική διάτμηση είναι πιθανότερο να εμφανιστεί σε περιοχές με έντονη ορογραφία . Αυτές οι δυο πολύ σημαντικές παράμετροι του ανέμου που είναι καθοριστικοί για την επιλογή της κατάλληλης περιοχής προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αιολικό πάρκο αξιοποιούνται με τη βοήθεια ενός κατάλληλου προγράμματος που ονομάζεται **WASP Engineering**.

3.4 **WASP Engineering**

Το λογισμικό WASP Engineering χρησιμοποιεί δεδομένα από τον ανεμογράφο και τον χάρτη της περιοχής . Χρησιμοποιώντας ένα αρκετά περίπλοκο σετ εξισώσεων δίνει στο χρήστη αναφορές που δείχνουν την πιθανότητα να έχουμε εμφάνιση υψηλού ποσοστού τύρβης ή αρνητικής διάτμησης στις θέσεις όπου έχουμε επιλέξει να εγκαταστήσουμε τις Α/Γ. Αν οι τιμές αυτές υπερβαίνουν τα ανώτατα όρια που έχει ορίσει ο κατασκευαστής των ανεμογεννητριών τότε είμαστε αναγκασμένοι να επιλέξουμε νέα θέση για την Α/Γ γιατί οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές .

Κεφάλαιο 4^ο

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

4.1 Εισαγωγή.

Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις, που έχουν σαν σκοπό την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Τελικός στόχος είναι η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, δηλαδή σε οποιαδήποτε εύχρηστη μορφή ενέργειας, άμεσα απολήψιμης από τον άνθρωπο. Λέγεται δε ότι μέχρι σήμερα έχουν επινοηθεί και εφαρμοσθεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιαδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης, χωρίς όμως να επιτευχθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου.

4.2 Τύποι ανεμογεννητριών.

Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Ως εκ τούτου οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες "οριζοντίου" και οι ανεμογεννήτριες "κατακόρυφου" άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν συνήθως τον άξονα τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου (cross-wind).

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, δεδομένου ότι ο άξονάς των είναι κάθετος σε αυτή καθώς και στην επιφάνεια της γης

Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής των ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής " λ ". Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λ.π. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50Hz για τη χώρα μας και τις χώρες της Ε.Ε., και 60Hz για τις Η.Π.Α

Ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα με τη γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής είναι η παράμετρος περιστροφής (tip-speed ratio) της μηχανής " λ ", η οποία ορίζεται σαν:

$$\lambda = \frac{\omega_0 * R}{V_w}$$

- όπου "R" είναι η ακτίνα της πτερωτής
- "ω₀" η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και
- "V_w" η ταχύτητα του ανέμου

Ακόμα, ανάλογα με τη μηχανική ισχύ "N₀" που παρέχουν οι ανεμοκινητήρες στην έξοδό τους κατατάσσονται από πλευράς μεγέθους σαν:

α. "Μικροί", όταν για την ονομαστική ισχύ τους ισχύει ότι:

$$50W \leq N_0 \leq 30kW \quad (1)$$

β. "Μεσαίοι", όταν για την ονομαστική ισχύ τους έχουμε ότι:

$$30kW \leq N_0 \leq 200kW \quad (2)$$

γ. "Μεγάλοι", όταν για την ονομαστική ισχύ τους έχουμε ότι:
200kW ≤ N₀ (3)

Ο χαρακτηρισμός μιας ανεμογεννήτριας σε μικρή ή μεγάλη δεν ακολουθεί αυστηρά τις τιμές των ανισώσεων (1) έως (3), δεδομένου ότι οι εν λόγω τιμές είναι ενδεικτικές, και αλλάζουν σε κάθε χρονική περίοδο.

Τέλος, οι υφιστάμενες μηχανές κατατάσσονται και βάσει του αριθμού των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή τους. Ως εκ τούτου οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε πολυπτερυγες, όπως οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής, και οι ολιγοπτερυγες που αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων ανεμογεννητριών οριζοντίου και καθέτου άξονα, με αριθμό πτερυγίων που κυμαίνεται από ένα έως τρία πτερύγια σε κάθε πτερωτή.

Τέλος μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων είναι η παράμετρος στιβαρότητας "σ" (solidity) της κατασκευής, η οποία για μηχανές "οριζοντίου" άξονα ορίζεται σαν:

$$\sigma = \frac{z * c * R}{\pi * R^2}$$

ενώ για μηχανές "κατακόρυφου" άξονα ορίζεται σαν:

$$\sigma = \frac{z * c *}{R}$$

όπου

- "z" Ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής,
- "R" η ακτίνα της πτερωτής και
- "c" η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής.

Η παράμετρος στιβαρότητας δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων,

προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους.

Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές "αργόστροφες", αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφή "λ", έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες δυνάμεις στα πτερύγια και συνεπώς μεγάλη ροπή στον άξονα περιστροφής, ξεκινούν μόνες τους όταν αρχίζει να φυσάει ο άνεμος, είναι κατάλληλες για αγροτικές χρήσεις (π.χ. άντληση νερού) και στηρίζονται σε σχετικά απλή τεχνολογία.

Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες μικρής στιβαρότητας είναι μηχανές "πολύστροφες", αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου "λ", διαθέτουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης, είναι πλέον ευπαθείς από τις μηχανές μεγάλης στιβαρότητας και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρές δυνάμεις στα πτερύγια και περιορισμένη ροπή στον άξονά τους. Επίσης, οι μηχανές αυτές απαιτούν κάποτε εξωτερική βοήθεια για να ξεκινήσουν, είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή και θεωρούνται προϊόντα αρκετά υψηλής τεχνολογίας, ιδιαίτερα οι μεγαλύτερες από αυτές.

4.3 Επιλογή θέσης ανεμογεννητριών.

Η συμπεριφορά του ανέμου σε μία θέση, είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας καθώς η καθαρή παραγωγή ενέργειας δεν μπορεί να υπολογιστεί ούτε να προσεγγιστεί αν δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση της ανεμογεννητριας. Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου στη θέση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της ανεμογεννήτριας όχι όμως και οι μοναδικές. Ανεμογεννήτριες τοποθετημένες σε βιώσιμες θέσεις πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Η παραγωγή ενέργειας να είναι συμφέρουσα οικονομικά (το κόστος της παραγόμενης KWh να είναι μικρό).
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας να είναι συμβατή με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου.
- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης θέσης (παγετοί, εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κλπ.).
- Η επιλεγμένη θέση να είναι αποδεκτή από το κοινό.

Η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής, όταν είναι δυνατός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο προσδιορισμός περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Έπειτα, αφού γίνει προσεκτικός έλεγχος της περιοχής αυτής, επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις υπόλοιπες παραμέτρους που απαριθμήθηκαν προηγουμένως.

Ένας πρωταρχικός παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια

της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για να ανάγουμε υπάρχοντα δεδομένα, σε θέσεις που μας ενδιαφέρουν δεν είναι ακριβείς. Έτσι, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο μετρήσεων ταχυτήτων του ανέμου που να μπορεί να μας δώσει το αιολικό δυναμικό σε κάθε θέση μιας μεγάλης περιοχής. Επίσης οι μετρήσεις χρειάζονται χρόνο και χρήματα να πραγματοποιηθούν.

Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης ανεμογεννήτριας, είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις.

Υπάρχουν όμως κάποιες παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας. Μια τοποθεσία στην οποία πνέουν δυνατοί άνεμοι, δεν σημαίνει ότι βρήκαμε και τη βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Πολλές και σημαντικές είναι οι επιμέρους παράμετροι, που πρέπει να έχει υπόψη του ο μηχανικός, προκειμένου να καταλήξει στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Και η επιλογή αυτή θα είναι η βέλτιστη, μόνον εφόσον γίνει σωστή και λεπτομερής αξιολόγηση των παραμέτρων τούτων.

Οικονομική αξία

Ο σημαντικότερος στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή όχι μιας θέσης. Επειδή η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν φυσάει άνεμος, χρησιμοποιείται συνήθως σαν εξοικονομητής καυσίμου.

Έτσι, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Για να κρίνουμε επομένως την οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης ανεμογεννήτριας, χρειαζόμαστε πληροφορίες για το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σ' ένα έτος.

Ένας άλλος οικονομικός παράγοντας πρωταρχικού ενδιαφέροντος είναι το κόστος εγκατάστασης. Τούτο είναι αισθητά μειωμένο αν η εγκατάσταση γίνει κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιδράσεις στο περιβάλλον

Γενικά, οι επιδράσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί η ανεμογεννήτρια να έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι επιδράσεις που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι:

1. Οπτικοαισθητική επίδραση

Η εγκατάσταση μιας τεράστιας ανεμογεννήτριας σε μία όχι και τόσο ανοιχτή περιοχή δημιουργεί σε ορισμένους μια αρνητική οπτική εντύπωση. Αντίθετα η εγκατάσταση της ίδιας ανεμογεννήτριας σε μία αχανή έκταση περνάει σχεδόν απαρατήρητη.

2. Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση.

Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής.

3. Γενικοί κανονισμοί και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης.

Όταν προσπαθούμε να βρούμε κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, πρέπει να έχουμε υπόψη μας κανονισμούς και νόμους που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση γης για εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών. Τέτοιοι νόμοι μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων .

4. Μετεωρολογικά προβλήματα

Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες. Ορισμένες απ' αυτές μπορεί πράγματι να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή. Άλλες πάλι απλώς επηρεάζουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

5. Παγετός

Η δημιουργία παγετού μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία ανεμογεννήτριας με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα η επικάθηση στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα συστήματα της ανεμογεννήτριας και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Όταν επικάθονται σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση λοιπόν παγετού θα πρέπει να σταματάμε τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και να καθαρίζουμε τα πτερύγια. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχουμε επιλέξει εμφανίζει συχνά φαινόμενα παγετού. Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης ανεμογεννήτριας να εκτιμάται από μετεωρολόγο η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης παγετών.

Πρέπει να αποφεύγεται επίσης η επιλογή περιοχών που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

6. Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι

Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης ανεμογεννήτριας που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Βλέπουμε λοιπόν ότι ανάλογα με τη θέση που επιλέγουμε μεταβάλλεται και ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα εγκαταστήσουμε. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

7. Τύρβη

Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις εκτείνονται σε μέγεθος και διάρκεια και μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής.

Η τύρβη μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής ή το κόστος συντήρησης της μηχανής. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος (βουνά, κοιλάδες, λόφοι κλπ.) είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από επίπεδο, ομαλό έδαφος. Ωστόσο υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα που να αποσαφηνίζουν αυτές τις διαφορές.

Η μεγάλη πλειοψηφία των μετρήσεων έχει γίνει πάνω από επίπεδο έδαφος, όπου μπορούν να αναπτυχθούν απλές θεωρίες για να περιγράψουν τη συμπεριφορά της ροής. Αλλά και αν είχαμε μετρήσεις της τύρβης πάνω από ανώμαλο έδαφος, θα ήταν δύσκολο να εκτιμήσουμε την επίδρασή της στη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερη εμπειρία, από τη λειτουργία μεγάλης ποικιλίας ανεμογεννητριών κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Προς το παρόν, θα ήταν επιθυμητό, να διαλέγουμε θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.

8. Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα

Ανεμογεννήτριες που πρόκειται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές υπόκεινται σε διάβρωση επειδή ο αέρας σ' αυτές τις περιοχές περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Πρέπει λοιπόν ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν ώστε να διαθέτουν αντισκωρική προστασία.

Αν μια ανεμογεννήτρια είναι τοποθετημένη σε άγονη περιοχή, είναι πιθανό ο αέρας να μεταφέρει επάνω της σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κλπ. Τέτοια τραχιά υλικά μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού. Προκειμένου να επιτύχουμε ικανοποιητική συντήρηση της μηχανής κάτω από τέτοιες συνθήκες, απαιτούνται σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης. Τέτοιες διαδικασίες και τροποποιήσεις αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

9. Η σταθερότητα των ανέμων

Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου κατά το χρονικό διάστημα μιας ώρας, σαφώς επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής, ενώ μπορούν να επιδράσουν και στη διάρκεια ζωής της. Αλλά και οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, στη διάρκεια μιας ώρας, επηρεάζουν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής.

Είναι πολύ νωρίς να πούμε τι επίδραση έχει στη διάρκεια ζωής της μηχανής η συχνή περιστροφή της γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της. Είναι όμως φανερό ότι η λειτουργία μιας μηχανής σε μια θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερους ανέμους.

Ένα άλλο ενδιαφέρον αιολικό χαρακτηριστικό είναι η διαχρονική μεταβλητότητα δηλαδή η μεταβολή των αιολικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής από χρόνο σε χρόνο. Βέβαια οι από χρόνο σε χρόνο μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι συνήθως πολύ μικρότερες από τις εποχιακές ή ημερήσιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου έτους. Όμως η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει οπωσδήποτε το μέσο κόστος της ενέργειας που παράγεται καθ όλη τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Ας μη ξεχνάμε ότι η μέση διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας είναι 20 χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να είναι σημαντική. Έτσι, η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν οι αποφάσεις για την επιλογή τοποθεσίας στηριχτούν σε δεδομένα ενός «άσχημου ή πολύ καλού αιολικού έτους».

10. Αποδοχή από την πλευρά του κοινού

Σε τελευταία ανάλυση, η επιτυχής επιλογή μιας τοποθεσίας για την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την αποδοχή της από την κοινή γνώμη. Το κοινό πρέπει να νιώσει ότι τα έργα υποδομής που θα γίνουν για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας δεν θα αλλοιώσουν το τοπίο και η ανεμογεννήτρια που θα εγκατασταθεί θα ταιριάζει με το σκηνικό των γύρω περιοχών. Η στάση του κοινού επηρεάζεται τόσο από τις αντιλήψεις του για τις ανεμογεννήτριες γενικά, όσο και από τις αντιλήψεις του για τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στην συγκεκριμένη θέση.

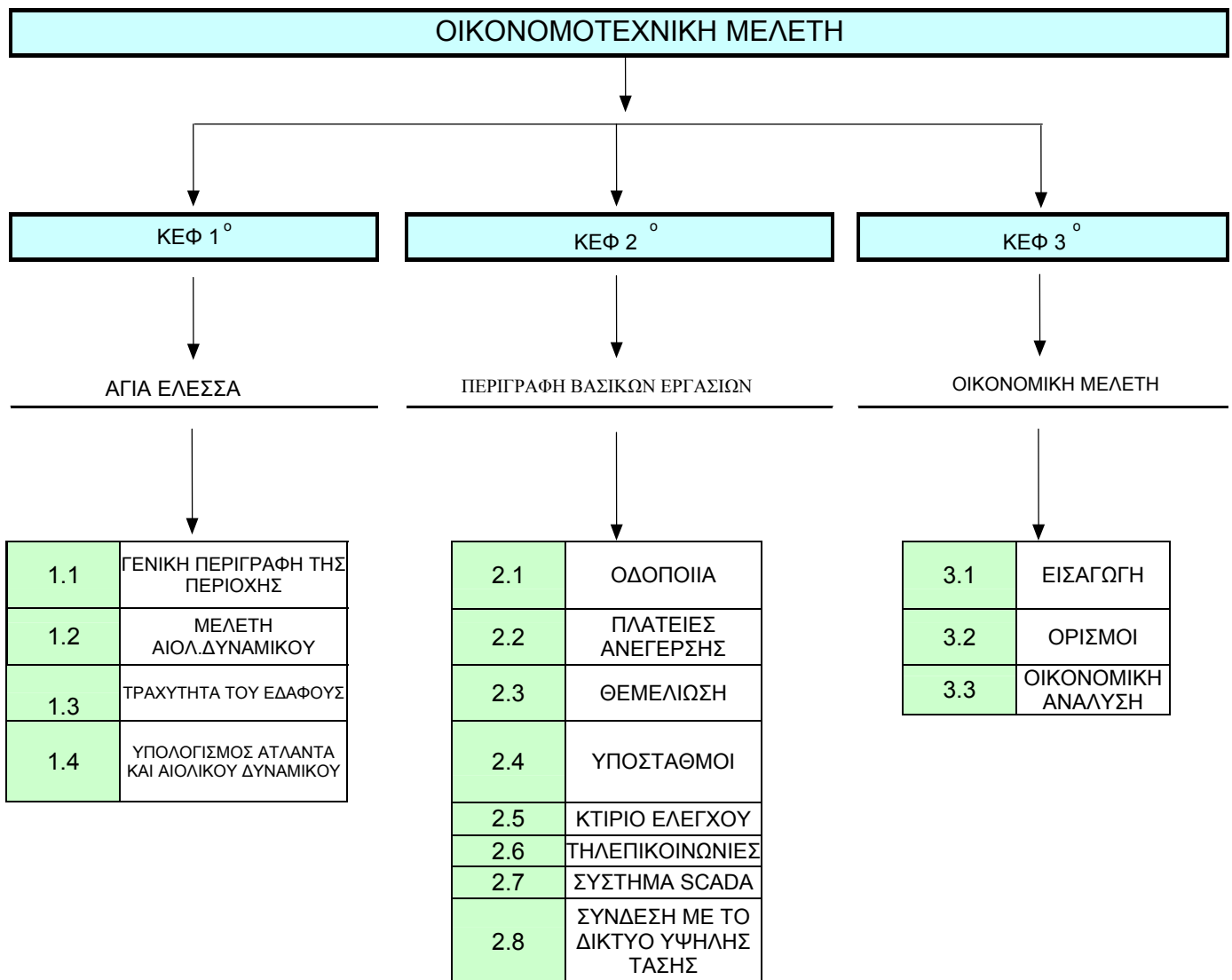
Προς το παρόν οι αντιλήψεις της πλειονότητας του κοινού για τις ανεμογεννήτριες είναι θετικές αφού αυτές δεν μολύνουν το περιβάλλον, χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και εξοικονομούν καύσιμα.

Μέρος Β΄ Οικονομοτεχνική μελέτη

Στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχει η παρουσίαση της περιοχής ενδιαφέροντος , η μελέτη αιολικού δυναμικού , και η μελέτη τύρβης και διάτμησης .

Στο δεύτερο κεφάλαιο υπάρχει μια πλήρης Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) όπως αυτή κατατίθεται στις αρμόδιες υπηρεσίες για την αδειοδότηση του Α/Π .

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικονομική μελέτη του αιολικού πάρκου η οποία περιλαμβάνει μερικούς βασικούς οικονομικούς ορισμούς που χρειάζονται για την αξιολόγηση της επένδυσης , τα βασικά οικονομικά στοιχεία του Α/Π καθώς και τους οικονομικούς δείκτες της επένδυσης .



1.2 Μελέτη αιολικού δυναμικού.

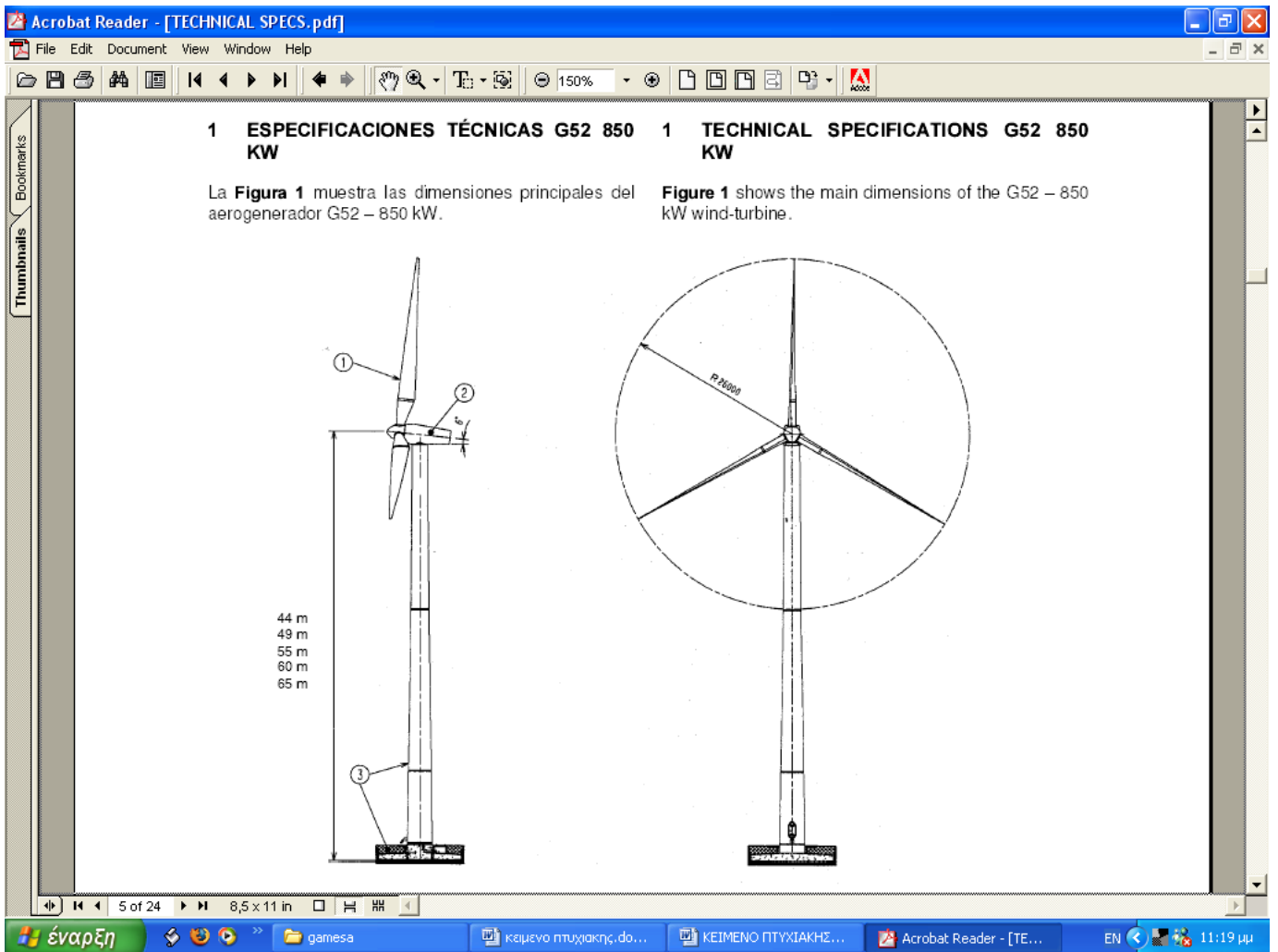
Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού και της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις 42 ετών από ανεμογράφο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας που βρίσκεται στον ευρύτερο χώρο της περιοχής ενδιαφέροντος , κοντά στην εκκλησία της Αγίας Ελεσσας και πιο συγκεκριμένα στις συντεταγμένες 1788 , -11200 (σε μορφή HATT) και σε υψόμετρο 166,8 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

1.3 Εκτίμηση της τραχύτητας του εδάφους.

Για την τραχύτητα του εδάφους έγινε προσέγγιση με επί τόπου στοιχεία. Για τον προσδιορισμό της λάβαμε υπόψιν την τυπική μορφολογία του Ελληνικού χώρου δηλαδή ορεινό βραχώδες τοπίο με θαμνώδη βλάστηση χωρίς δέντρα ή άλλα ογκώδη χαρακτηριστικά , καθώς και την μορφολογία της περιοχής ενδιαφέροντος . Από τις μελέτες που έχουν γίνει μια τέτοια μορφολογία εδάφους έχει κατά μέσο όρο τραχύτητα 0.03 έως 0.06 μέτρα. Η τιμή η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι 0.05 μέτρα.

1.4 Υπολογισμός αιολικού άτλαντα και ενεργειακής παραγωγής.

Η συνολική παραγωγή παρουσιάζεται από το WaSP στο σύνολο 9 ανεμογεννητριων. Χρησιμοποιούμε μια γεννήτρια τύπου Pitch ονομαστικής ισχύος 850 kW. Η επιλογή της Α/Γ είναι από την εταιρεία **GAMESA** και πιο συγκεκριμένα είναι τύπου G52. Η επιλογή της συγκεκριμένης μηχανής έγινε γιατί παρουσιάζει καλύτερη καμπύλη ισχύος σε σχέση με άλλες ιδίου τύπου ανταγωνιστικών εταιρειών όμως καθώς επίσης ότι είναι πιο φθηνή σε σχέση με τις υπόλοιπες. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά τεχνικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη Α/Γ καθώς και η καμπύλη ισχύος της συγκεκριμένης μηχανής (σχήμα 1.1) , καθώς και οι γραφικές C_p , C_t . (σχήμα 1.2)



Σχήμα 1.1 σχεδιάγραμμα Α/Γ G52.

Acrobat Reader - [TECHNICAL SPECS.pdf]

File Edit Document View Window Help

170%

Bookmarks

Thumbnails

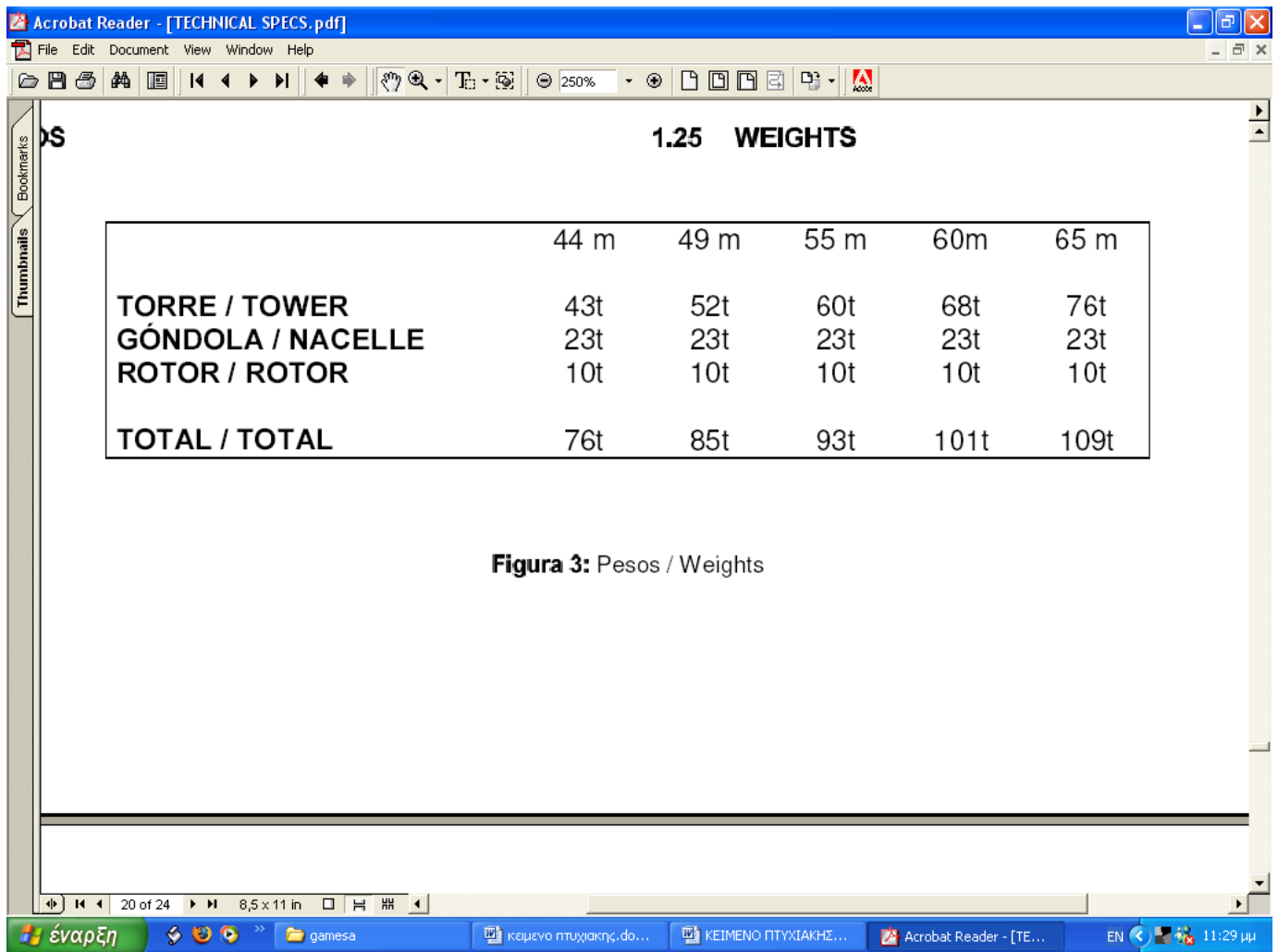
Características de los tramos / Tower sections characteristics				
	Longitud / Length (mm)	Ø Inferior Externo / Outer Ø at Bottom (mm)	Ø Superior Externo / Outer Ø at Top (mm)	Peso / Weight (kg)
Torre / Tower 44 m				
Inferior / Bottom	17688	3018	2440	23000
Superior / Top	24448	2440	2170	20200
Torre 49 m				
Inferior / Bottom	22688	3320	2440	31751
Superior / Top	24448	2440	2170	20200
Torre / Tower 55 m				
Inferior / Bottom	9610	3320	3026	17100
Intermedio / Intermediate	19185	3026	2440	22700
Superior / Top	24448	2440	2170	20200
Torre / Tower 60 m				
Inferior / Bottom	14005	3620	3026	22995
Intermedio / Intermediate	19170	3026	2440	24500
Superior / Top	24448	2440	2170	20200
Torre / Tower 65 m				
Inferior / Bottom	18975	3620	3026	31700
Intermedio / Intermediate	19170	3026	2440	24300
Superior / Top	24448	2440	2170	20200

Figura 2: Características de los tramos / Tower sections characteristics

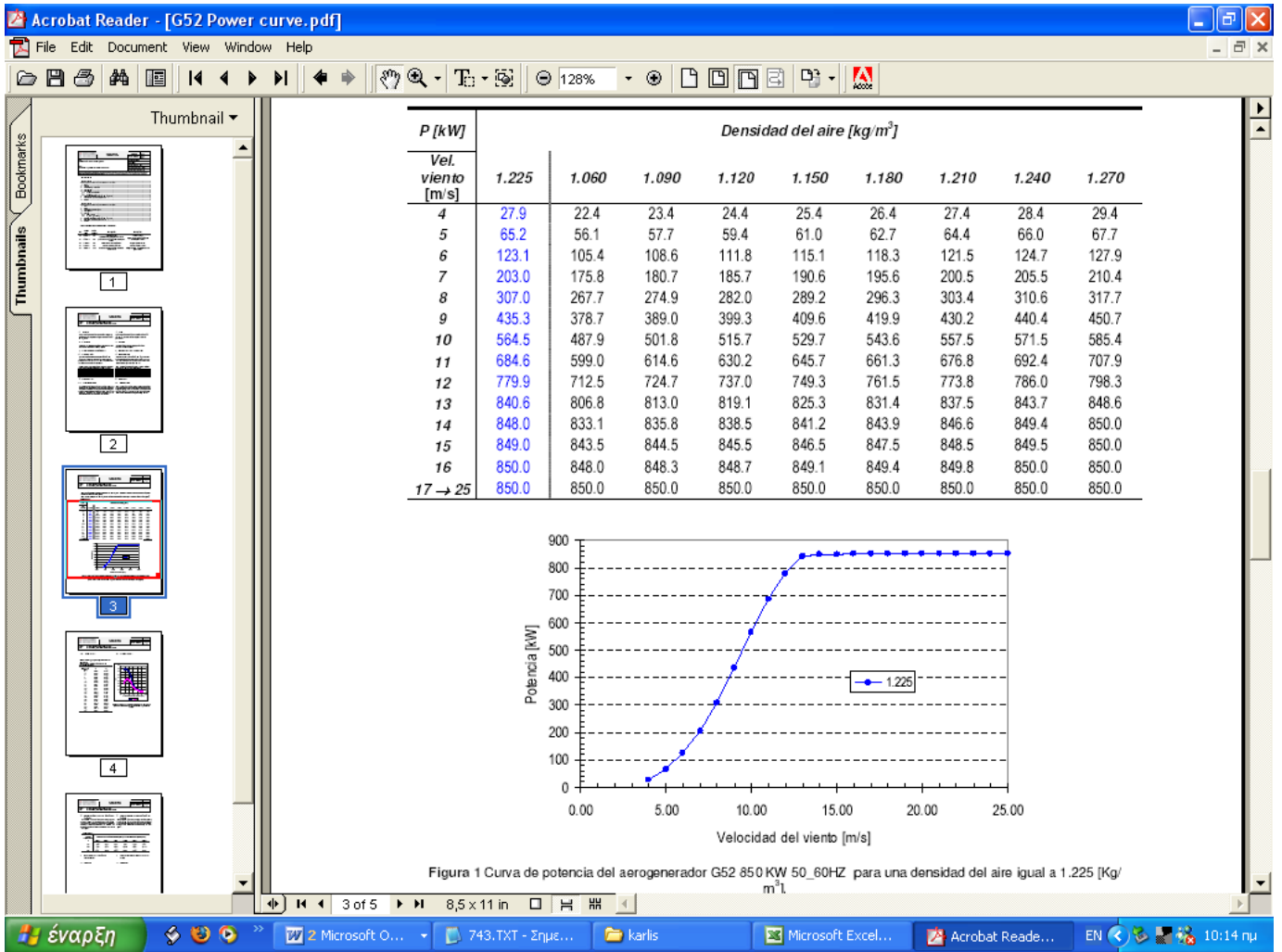
20 of 24 8,5 x 11 in

έναρξη gamesa κείμενο πτυχιακής, do... ΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ... Acrobat Reader - [TE... EN 11:25 μμ

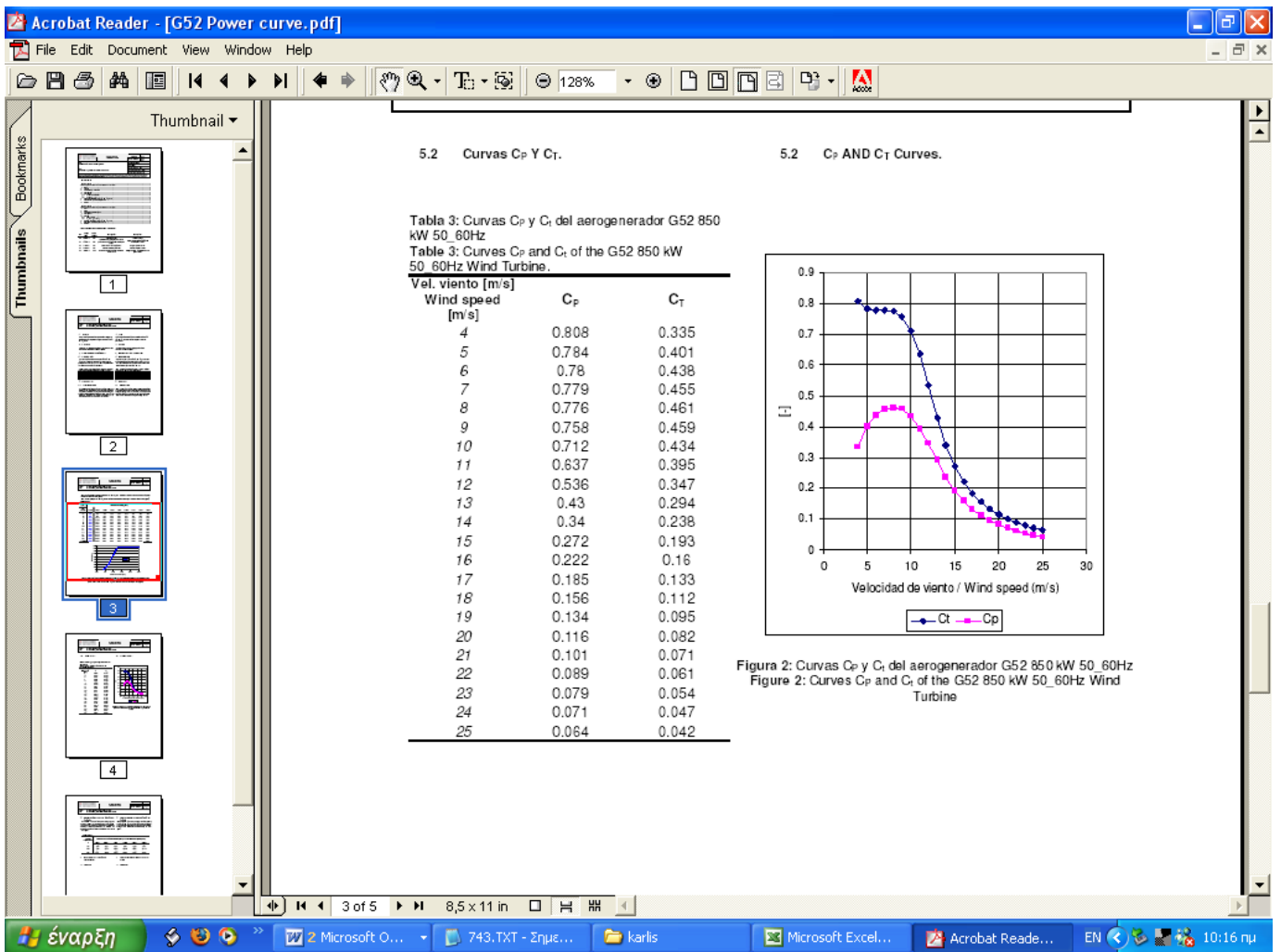
Σχήμα 1.2 Τεχνικά χαρ/κά τμημάτων Α/Γ



Σχήμα 1.3 Επιμέρους βάρη τμημάτων Α/Γ.



Σχήμα 1.4 καμπύλη ισχύος G52



Σχήμα 1.5 γραφικές C_p , C_t

Η ετήσια παραγωγή του πάρκου υπολογίζεται από το WaSP στο σύνολο 9 Α/Γ.

	ΣΥΝΟΛΙΚΗ	Μ.Ο	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
ΜΙΚΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ [GWh]	26,504	2,945	2,833	3,206
ΚΑΘΑΡΗ [GWh]	26,026	2,892	2,764	3,177
ΑΠΩΛΕΙΕΣ [%]	1,8	-	-	-

1.2.4 Παρουσίαση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι υπολογισμοί που έγιναν με τη χρήση του λογισμικού WAsP 8 ήταν η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της εν λόγω περιοχής και ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής ενέργειας από τις 9 Α/Γ.

Τα δεδομένα που εισάγαμε στο WasP είναι:

- Ο χάρτης σε format WasP (.map) όπου έχουν επεξεργαστεί και έχουν οριστεί ισοϋψείς που ορίζουν την διαφορετική τραχύτητα δεξιά και αριστερά τους. Έτσι για την ισοϋψή γύρω από την κορυφογραμμή εγκατάστασης του ανεμογράφου ορίστηκε τραχύτητα $z=0.05$ μ
- Ο Wind Atlas που περιέχει το μετεωρολογικό σταθμό (ανεμογράφο) και δεδομένα των μετρήσεων.
- Η χωροθέτηση του αιολικού πάρκου (wind farm) που περιέχει τις ακριβείς συντεταγμένες των Α/Γ .

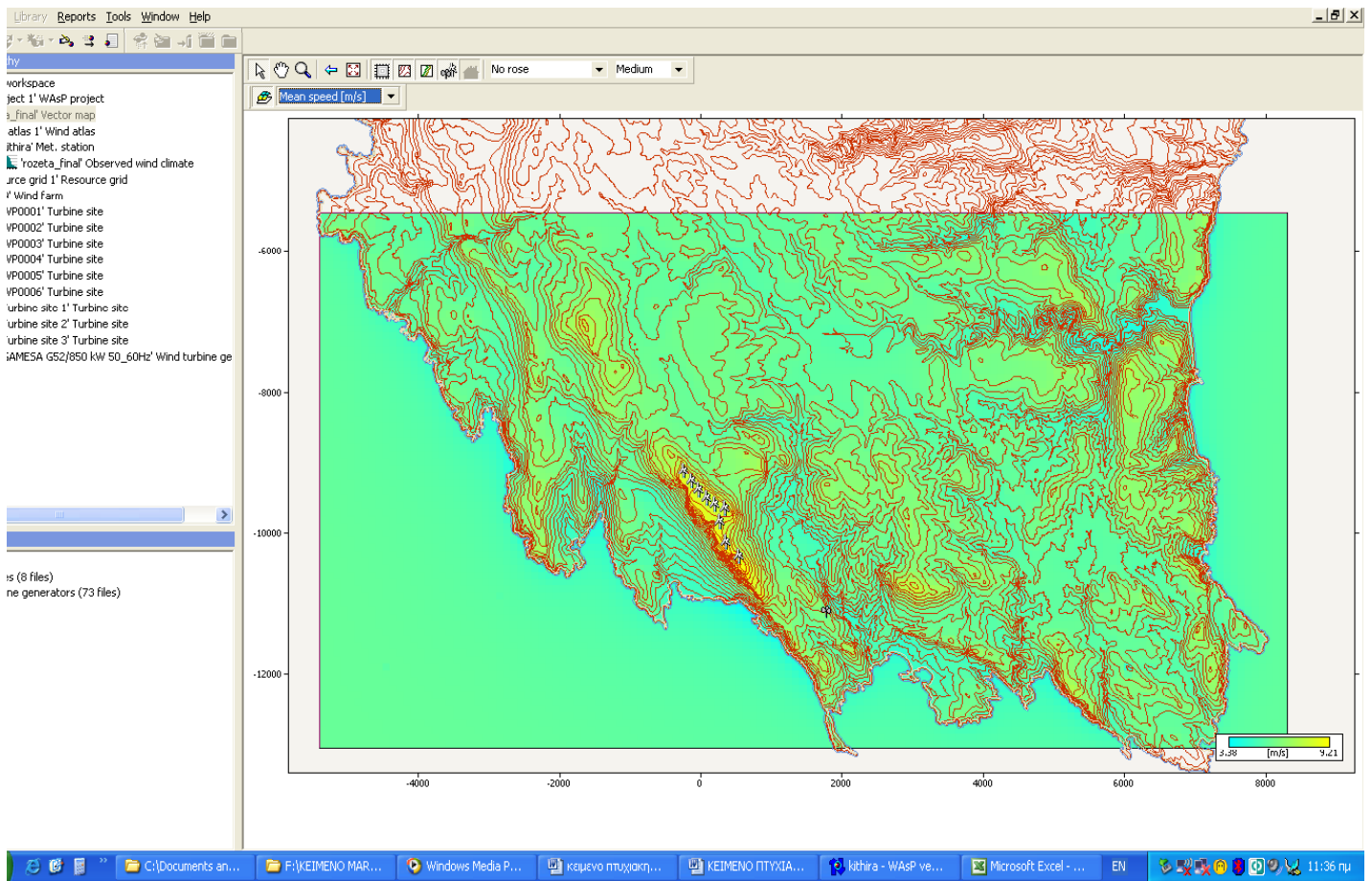
Το WasP μπορεί να μας δώσει προβλέψεις για την παραγόμενη ετήσια ενέργεια του πάρκου στα 70m από το έδαφος καθώς και αναλυτικά στοιχεία για κάθε Α/Γ που έχουν να κάνουν με τη μέση ταχύτητα, σκίαση από γειτονικές Α/Γ και απώλειες ανά περιοχή διεύθυνσης του ανέμου

Η εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας του αιολικού πάρκου έγινε λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες λόγω σκίασης (wake effect losses) μεταξύ των Α/Γ.

Χωροθέτηση αιολικού πάρκου στην περιοχή.

Οι συντεταγμένες είναι σε σύστημα HATT

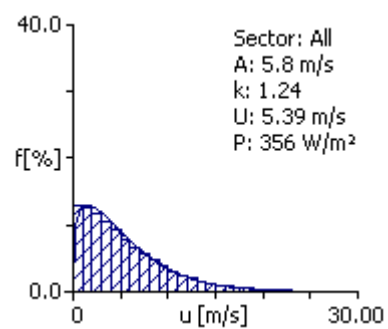
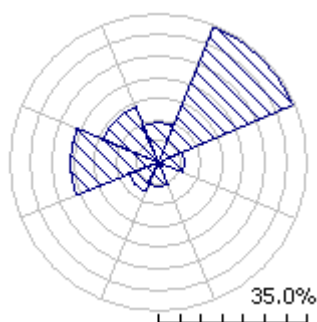
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ	Χ	Υ	ΥΨΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΥΛΩΝΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ(m/s)
ΑΓ 1	254,1	-9207,2	441	44	8,27
ΑΓ 2	140,4	-9351,9	448	44	8,25
ΑΓ 3	-42,2	-9478,5	460	44	8,32
ΑΓ 4	68,9	-9581,9	460	44	8,2
ΑΓ 5	180	-9669,8	460	44	8,16
ΑΓ 6	329,9	-9729,2	460	44	8,25
ΑΓ 7	534	-10419,1	420	44	9,37
ΑΓ 8	254,9	-9910,1	442	44	8,24
ΑΓ 9	348	-10207,2	440	44	9,32



Σχήμα 1.6 Αιολικός Ατλαντας της περιοχής

1.2.4 Συγκεντρωτικά στοιχεία Α/Π

Τα ανεμολογικά δεδομένα δίνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του ανέμου



Κεφάλαιο 2^ο

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

2.1 Οδοποιία.

Η πρόσβαση στις παρυφές του λόφου εγκατάστασης του Α/Π γίνεται μέσω του υφισταμένου επαρχιακού οδικού δικτύου και του αγροτικού δρόμου, ο οποίος κρίνεται ικανοποιητικός με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται κάποια επέμβαση για την διέλευση των φορτηγών μεταφοράς του εξοπλισμού του Α/Π. Από το τέλος του υπάρχοντος δρόμου θα γίνει διάνοιξη δρόμου για τη μεταφορά του αναγκαίου εξοπλισμού ο οποίος θα κατασκευαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει η ελληνική νομοθεσία.

Εσωτερικά του Α/Π θα κατασκευαστεί δρόμος για την κάλυψη των αναγκών μεταφοράς των διαφόρων τμημάτων του συστήματος της ανεμογεννήτριας (π.χ. τμήματα πυλώνα στήριξης, πτερύγια δρομέα, οικίσκοι υποσταθμών Χ.Τ./Μ.Τ., κλπ.), των υλικών και εξοπλισμού υποδομής, καθώς και για τις μετέπειτα ανάγκες συντήρησης και λειτουργίας του Α/Π.

Η εσωτερική οδοποιία καθώς και ο δρόμος προσπέλασης στο Α/Π θα είναι ποιότητας επαρχιακού δρόμου με επίστρωση υλικού 3Α. Το πλάτος του δρόμου θα είναι τουλάχιστον 5 μέτρα και κλίσεις όχι μεγαλύτερες από 12 %, ώστε να επιτρέπει την διακίνηση βαρέων οχημάτων μεταφοράς καθώς και διακίνηση ανυψωτικών οχημάτων (γερανοί).

2.2. Πλατείες ανέγερσης

Πλατείες Ανέγερσης

Σε κάθε σημείο ανέγερσης ανεμογεννήτριας θα κατασκευαστούν πλατείες ανέγερσης για την θεμελίωση των Α/Γ , εμβαδού 2000 m² περίπου .

2.3 Θεμελίωση

Για την ασφαλή στήριξη και λειτουργία της κάθε ανεμογεννήτριας θα κατασκευασθεί βάση θεμελίωσης από σκυρόδεμα . Στην προκαθορισμένη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας θα εκσκαφθεί η βάση θεμελίωσης διαστάσεων εκσκαφής 12 x 12 x 3 μέτρα περίπου. Στον πυθμένα της βάσης, πριν την ρίψη του οπλισμένου σκυροδέματος θα γίνει η έκχυση άοπλου (μπετό καθαριότητας) με πάχος περίπου 10 εκατοστών. Η βάση θεμελίωσης θα έχει κωνικό σχήμα κάτω από το έδαφος και κυκλικό στο επίπεδο του εδάφους .

2.4 Υποσταθμοί

Ο υποσταθμός Χ.Τ. / Μ.Τ. για κάθε Α/Γ θα είναι εξωτερικά από κάθε Α/Γ σε κοντινή απόσταση από τον πυλώνα με περιμετρική περίφραξη για λογούς ασφαλείας προσωπικού και επισκεπτών και θα υπάρχει πρόβλεψη για προστασία από τα καιρικά φαινόμενα .

2.5 Κτίριο ελέγχου

Σε θέση εντός του Α/Π θα κατασκευασθεί το κτίριο ελέγχου του Α/Π , με προδιαγραφές να στεγάσει τον κεντρικό ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, τον ηλεκτρονικό υπολογιστή τα συστήματα τηλεοπτείας, τηλεελέγχου και τηλεχειρισμού των ανεμογεννητριών , βοηθητικούς χώρους αποθήκευσης εργαλείων και ανταλλακτικών, καθώς και να παρέχει τις απαραίτητες διευκολύνσεις για την παραμονή των τεχνικών συντήρησης και λειτουργίας

2.6 Τηλεπικοινωνίες

Για την ενσύρματη επικοινωνία του Α/Π με το κτίριο ελέγχου καθώς και για την μεταφορά δεδομένων σε απομακρυσμένα σημεία εκτός των ορίων του πάρκου , θα προμηθευτούμε από τον Ο.Τ.Ε. δύο τηλεφωνικές γραμμές τύπου ISDN τουλάχιστον . Σε περίπτωση που διατίθενται γραμμές ADSL , αυτές θα προτιμηθούν

2.7 Σύστημα Τηλεπαρακολούθησης- Τηλεελέγχου (SCADA)

Το σύστημα βασίζεται στην εμπορική εφαρμογή που έχει αναπτύξει η εταιρεία κατασκευής των Α/Γ και αποτελείται από τα αισθητήρια των υποσυστημάτων των Α/Γ ένα κεντρικό Η/Υ που βρίσκεται στο κτήριο ελέγχου , τα απαραίτητα τηλεπικοινωνιακά συστήματα (modem , ISDN γραμμή) καθώς και το απαραίτητο λογισμικό παρακολούθησης των Α/Γ .

2.8 Σύνδεση με το δίκτυο υψηλής τάσης

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το Α/Π θα συγκεντρώνεται μέσω υπογείων καλωδίων μέσης τάσης (20 kV) στον Υ/Σ ο οποίος ευρίσκεται στο κτίριο ελέγχου και στη συνέχεια μέσω υπογείων καλωδίων θα οδηγείται στην ανεξάρτητη γραμμή μέσης τάσης (20 kV) για μεταφορά και απορρόφησή της στον υποσταθμό. Η γραμμή διασύνδεσης των 20kV θα κατασκευασθεί από την ΔΕΗ με έξοδα της εταιρείας και θα είναι εναέρια σύμφωνα με τις σχετικές τεχνικές προδιαγραφές της ΔΕΗ.

Διασύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η

Η σύνδεση αιολικών πάρκων με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) είναι ένα πρόβλημα που αφορά κυρίως την ποιότητα ισχύος που προσφέρεται στο δίκτυο, πρόβλημα το οποίο είναι πολύπλοκο και έχει το χαρακτηριστικό ότι είναι διαφορετικό για κάθε δίκτυο ή σημείο σύνδεσης.

Ο όρος "ποιότητα ισχύος" μιας Α/Γ ή ενός Α/Π αναφέρεται στην απόδοση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Α/Γ ή του Α/Π. Το πρόβλημα της ποιότητας ισχύος έχει να κάνει με την δημιουργία διαταραχών στο δίκτυο, δηλαδή στην επίδραση μιας Α/Γ ή ενός Α/Π στην ποιότητα ισχύος και τάσης του δικτύου. Δεν υπάρχει ένα μόνο μέτρο εκτίμησης της ποιότητας ισχύος και διαφορετικές περιγραφές αναφέρονται σε διαφορετικές κλίμακες χρόνου ή φασματικών τμημάτων. Η ανάγκη για την εξασφάλιση της εν λόγω ποιότητας είναι μεγάλη και εξαρτάται από το δίκτυο, τα ανεμολογικά δεδομένα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Α/Γ.

Χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών δικτύων.

Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χωριστεί σύμφωνα με το επίπεδο τάσης στο :

- Δίκτυο χαμηλής τάσης (ονομαστική τάση κάτω του 1 kV)
- Δίκτυο μέσης τάσης (ονομαστική τάση 1 kV έως 60 kV)
- Δίκτυο υψηλής τάσης (ονομαστική τάση πάνω από 60 kV)

Μικροί καταναλωτές, όπως οικίες, συνδέονται με το δίκτυο χαμηλής τάσης. Μεγάλοι καταναλωτές, όπως βιομηχανίες, συνδέονται με το δίκτυο μέσης τάσης. Συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας συνδέονται με το δίκτυο υψηλής τάσης.

Η σύνδεση Α/Γ με το δίκτυο διανομής μπορεί να γίνει:

- Στο δίκτυο χαμηλής τάσης για μικρές και μεσαίες Α/Γ
- Στο δίκτυο μέσης τάσης για μεσαίες ή μεγάλες Α/Γ ή μικρά και μεσαία Α/Π
- Στο δίκτυο υψηλής τάσης για μεγάλα Α/Π

Η ικανότητα μεταφοράς ισχύος συνήθως μειώνεται όσο μειώνεται η πυκνότητα του πληθυσμού. Οι περιοχές όπου βρίσκονται συνήθως οι ανεμογεννήτριες είναι περιοχές με μειωμένη πληθυσμιακή πυκνότητα και επομένως μικρή ικανότητα μεταφοράς ισχύος.

Η ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί είναι:

- 2- 5 MW κατευθείαν στο δίκτυο μέσης τάσης
- 10 - 40 MW σε ένα υποσταθμό μετασχηματισμού μέσης τάσης / υψηλής τάσης
- > 100 MW στο δίκτυο υψηλής τάσης

Τα ηλεκτρικά δίκτυα μπορούν επίσης να διακριθούν σε αυτά που είναι μέρος του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου της χώρας, δηλαδή στα τοπικά δίκτυα και στα αυτόνομα δίκτυα τα οποία αποτελούνται συνήθως από ένα σταθμό παραγωγής από νηζελογεννήτριες ή και αποθηκευτικές διατάξεις. Τα αυτόνομα δίκτυα ονομάζονται έτσι γιατί δεν είναι συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο διανομής λόγω κόστους ή τεχνικών δυσκολιών. Στο Ελλαδικό χώρο θα μπορούσαμε με βάση τα παραπάνω να διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις. α) Το κεντρικό δίκτυο διανομής το οποίο υπάρχει στην ηπειρωτική Ελλάδα και είναι μεγάλο σε μέγεθος, β) τα δίκτυα που υπάρχουν στα μεγάλα νησιά (π.χ. Κρήτη) και που διαθέτουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεσαίου μεγέθους και διαφόρων τεχνολογιών (π. χ. αεροστρόβιλος , ατμοπαραγωγός, κ.α.) και είναι που αυτόνομα και γ) τα αυτόνομα δίκτυα των μικρών νησιών που τροφοδοτούνται από μικρούς σταθμούς νηζελογεννήτριες

Τέλος, μια σημαντική διάκριση των ηλεκτρικών δικτύων είναι αυτή σε ασθενή και ισχυρά. Τα ισχυρά δίκτυα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ηλεκτρική ισχύ και μεγάλη στιβαρότητα, καθώς επίσης και από μικρή ενόχληση λόγω διαταραχών. Τα ασθενή δίκτυα είναι ακριβώς το αντίθετο. Επίσης, ένα ισχυρό δίκτυο μπορεί να είναι ασθενές τοπικά.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω το Α/Π θα συνδεθεί στο δίκτυο Μέσης Τάσης της Δ.Ε.Η με γραμμή που θα κατασκευαστεί από την Δ.Ε.Η έτσι ώστε να πληρεί τις δικές τις προδιαγραφές .

Κεφάλαιο 3^ο

Οικονομική Μελέτη

3.1 Εισαγωγή

Σε κάθε επένδυση ο μελετητής καλείται να απαντήσει στο απλό ερώτημα : Θα έχουμε απόσβεση της επένδυσης ; Αν ναι,σε ποσά χρόνια; Είναι φανερό ότι η ανέγερση ενός Α/Π είναι μια αρκετά μεγάλη επένδυση και είναι αναμενόμενο να θέλει ο επενδυτής την όσο το δυνατόν συντομότερη απόσβεση του πάρκου.

Η Ελληνική και η Ευρωπαϊκή νομοθεσία , στην προσπάθεια τους να δώσουν ώθηση στον τομέα των επενδύσεων για τις Α.Π.Ε. έχουν κάνει γενναιόδωρες επιδοτήσεις σε ποσοστό μέχρι και 100% (VALOREN) . Είναι άλλωστε γνωστό ότι μέχρι και σήμερα , η συντριπτική πλειονότητα των Α/Π επιδοτείται σε ποσοστό 40% επί του συνόλου της επένδυσης. Ωστόσο , σήμερα η ανέγερση ενός Α/Π είναι μια άκρως προσοδοφόρα επένδυση , γεγονός που έχει οδηγήσει στην μείωση της επιχορήγησης από το Ελληνικό κράτος .

3.2 Ορισμοί

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί βασικοί οικονομικοί ορισμοί που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της επένδυσης .

- **ΑΚΕ(I.I.C) : Αρχικό Κόστος Επένδυσης**

Είναι η δαπάνη που καταβάλλει ο επενδυτής, κατά το χρόνο που πραγματοποιείται η

επένδυση. Γενικά μπορεί να εκφρασθεί ως εξής:

$$ΑΚΕ = K_e \cdot M + K_a$$

όπου

K_e : Εξαρτώμενο κόστος συστήματος

M : Μέγεθος συστήματος

K_a : Ανεξάρτητο (του μεγέθους) κόστος συστήματος .

Στην περίπτωση μας το ΑΚΕ είναι συνδεδεμένο με το πλήθος των Α/Γ που θα επιλέξουμε να εγκαταστήσουμε (M) . Το επιπλέον κόστος στο ΑΚΕ είναι τα έργα πολιτικού μηχανικού (οδοποιία , εκσκαφές) , οι αμοιβές του προσωπικού , το κόστος των οικοπέδων καθώς και το κόστος των μελετών που κατά ένα μεγάλο μέρος είναι ανεξάρτητα του αριθμού των Α/Γ που θα εγκαταστήσουμε .

- **ΕΟΟ: Ετήσιο Οικονομικό Όφελος**

Είναι το υπολογιζόμενο οικονομικό όφελος ανά έτος από τις πωλήσεις ενέργειας στη Δ.Ε.Η. Υπολογίζεται βασιζόμενο στο γεγονός ότι η Δ.Ε.Η έχει ορίσει μια σταθερή τιμή για την αγορά της κιλοβατώρας που παράγεται από αυτόνομους παραγωγούς , όπως τα αιολικά πάρκα . Η τιμή αυτή έχει καθοριστεί στα 0,088€ / kWh.

- **ΕΛΔ: Ετήσιες Λειτουργικές Δαπάνες**

Είναι οι μισθοί των εργαζομένων , τα κόστη συντήρησης των Α/Γ , τα ενοίκια

που πιθανώς να δίνονται στους ιδιοκτήτες των οικοπέδων καθώς και οι δαπάνες που γίνονται για την ασφάλιση των Α/Γ

- **ΚΕΟΟ : Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος:**
Είναι το ποσό που μένει αν από το ετήσιο οικονομικό όφελος αφαιρέσουμε τις ετήσιες λειτουργικές δαπάνες .
 $ΚΕΟΟ = ΕΟΟ - ΕΛΛ$
- **d: Επιτόκιο αναγωγής** (Εκφράζεται %, αλλά στους τύπους: $0 < d < 1$)
Το επιτόκιο αυτό είναι το επιθυμητό επιτόκιο που θα ήθελε ο επενδύτης .
- **r: Αποπληθωρισμένο επιτόκιο**
Συνήθως λαμβάνουμε υπόψιν και τον ετήσιο πληθωρισμό, ο οποίος υπολογίζεται γύρω στο 3%
Το αποπληθωρισμένο επιτόκιο είναι ίσο με :

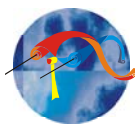
$$r = \frac{d - i}{1 + i}, \text{ όπου}$$

d : το επιτόκιο αναγωγής και
i : ο ετήσιος πληθωρισμός

Για την αξιολόγηση των επενδύσεων , χρησιμοποιούνται κριτήρια όπως η καθαρά παρούσα αξία, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης

- **Καθαρά παρούσα αξία (net present value)**
Στην καθαρά παρούσα αξία ανάγουμε όλα τα μελλοντικά έσοδα και έξοδα για Ν έτη στο χρόνο 0.
- **Εσωτερικός βαθμός απόδοσης(IRR)**
Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το επιτόκιο εκείνο για το οποίο η καθαρά παρούσα αξία μηδενίζεται
- **Κριτήριο έντοκης περιόδου αποπληρωμής**
Το κριτήριο αυτό είναι το σημαντικότερο για τον επενδύτη καθώς του δείχνει σε πόσα χρόνια θα έχει αποσβέσει τα χρήματα που επένδυσε . Είναι ο χρόνος για τον οποίο η ΚΠΑ μηδενίζεται .

$$ΕΠΑ = \frac{-\ln(1 - r * (ΑΚΕ) / (ΚΕΟΟ))}{\ln(1 + r)}$$



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων
Εσταυρωμένος, 71004, Ηράκλειο Κρήτης. Ταχυδρομική Θυρίδα 1939,
Τηλ-Fax (2810) 256191, 319478, Email: dhr@cs.teiher.gr, URL: www.wel.gr

ΕΡΓΟ	
Τύπος Ανεμογεννήτριας	GAMESA G52/850 kW
Επενδυτής	ΒΑΓΓΕΛΗΣ ΚΑΡΛΗΣ Α.Ε.
Είδος Επένδυσης	Ανεξάρτητη παραγωγή
Διάρκεια	20 Έτη
Συντελεστής Φορολογίας	35 %
Περιοχή	Αγ. Ελέσσα (Κύθηρα)

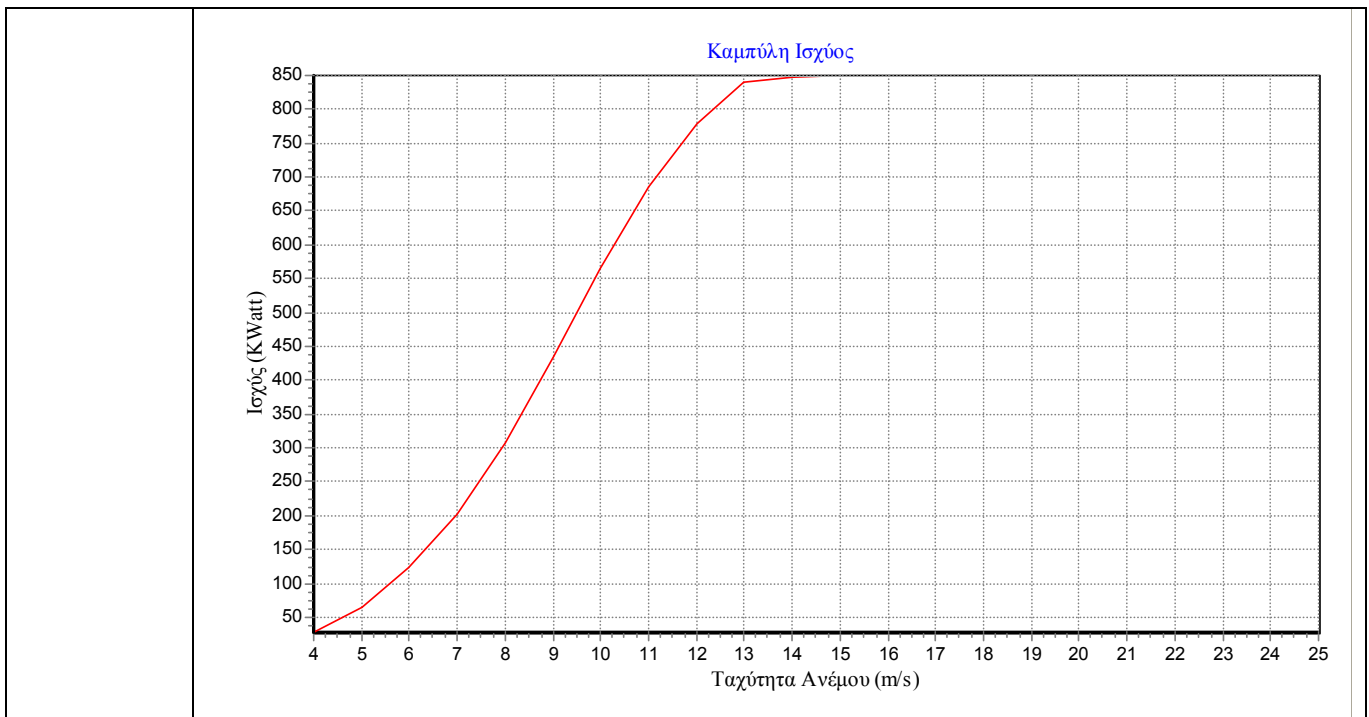
Ανεμολογικά Δεδομένα	Δεδομένα Wasp	
Πηγή Δεδομένων:	Δεδομένα Wasp	
Υψος από επιφ. Εδάφους	44	m
Turbine 1	(-254,1, -9207,2, 441)	
Weibull C	9,03	m/s
Weibull k	1,37	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,27	m/s
Turbine 2	(-140,4, -9351,9, 448)	
Weibull C	9,02	m/s
Weibull k	1,37	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,25	m/s
Turbine 3	(-42,2, -9478,5, 460)	
Weibull C	9,13	m/s
Weibull k	1,40	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,32	m/s
Turbine 4	(68,9, -9581,9, 460)	
Weibull C	8,99	m/s
Weibull k	1,39	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,20	m/s
Turbine 5	(180, -9669,8, 460)	
Weibull C	8,95	m/s
Weibull k	1,40	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,16	m/s
Turbine 6	(329,9, -9729,2, 460)	
Weibull C	9,07	m/s
Weibull k	1,42	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,25	m/s
Turbine 7	(534, -10419,1, 420)	
Weibull C	10,25	m/s
Weibull k	1,37	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	9,37	m/s
Turbine 8	(254,9, -9910,1, 442)	
Weibull C	9,07	m/s

Weibull k	1,44	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,24	m/s
Turbine 9	(348, -10207,2, 440)	
Weibull C	10,24	m/s
Weibull k	1,41	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	9,32	m/s



Παραγωγή Ενέργειας					
Έτος	Υπολ. Παραγωγή (Kwh)	Μηχανική Διαθ. (%)	Συντελεστής Διείδυσης (%)	Απώλειες Μεταφοράς (%)	Παραγωγή (Kwh)
1	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
2	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
3	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
4	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
5	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
6	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
7	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
8	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
9	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
10	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
11	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
12	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
13	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
14	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
15	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
16	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
17	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
18	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
19	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
20	25.834.843	95,00	90,00	3,60	21.293.594
Σύνολο:					425.871.884
Απόδοση:					31,77%

Χαρακτηριστικά Α/Γ	
Μοντέλο	GAMESA_G52_850kW
Ονομαστική Ισχύς	850 KWatt
Ονομαστική Ταχύτητα	16 m/s
Ταχύτητα Έναρξης	4 m/s
Ταχύτητα Αποκοπής	25 m/s
Διάμετρος Φτερωτής	52 m
Επιφάνεια Σάρωσης	2123 m ²
Ύψος Πυλώνα	44 m



Καμπύλη Ισχύος		
α/α	Ταχύτητα Ανέμου	Ισχύς
1	4	27,90
2	5	65,20
3	6	123,10
4	7	203,00
5	8	307,00
6	9	435,30
7	10	564,50
8	11	684,60
9	12	779,90
10	13	840,60
11	14	848,00
12	15	849,00
13	16	850,00
14	17	850,00
15	18	850,00
16	19	850,00
17	20	850,00
18	21	850,00
19	22	850,00
20	23	850,00
21	24	850,00
22	25	850,00

Αρχικό Κόστος Αιολικού Πάρκου		
Αγορά Α/Γ, πυλώνων κ.τ.λ.	5.274.000	€
Μεταφορά και ασφάλιστρα	100.000	€
Γενικός και Ειδικός Ηλεκτρολ. & Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός	513.000	€
Έργα Πολιτικού Μηχανικού-Οικοδομικά Έργα	750.000	€
Σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ	400.000	€
Μελέτες	131.900	€
Απρόβλεπτα	15.000	€
Σύνολο	7.183.900	€
Ειδικό Κόστος / KW	939	€/KW

Χρηματοδότηση		
Ίδια κεφάλαια (25%)	1.795.975	€
Επιχορηγήσεις (35%)	2.514.365	€
Δανειακά κεφάλαια (40%)	2.873.560	€
Σύνολο (100%)	7.183.900	€

Πίνακας Υπολογισμού Αποσβέσεων*

α/α	Δαπάνη	Σύνολο	Μέθοδος Απόσβεσης	Ποσοστό
1	Αγορά Α/Γ, πυλώνων κ.τ.λ.	3.428.100	Σταθερή Μέθοδος	10%
2	Μεταφορά και ασφάλιστρα	65.000	Σταθερή Μέθοδος	10%
3	Γενικός και Ειδικός Ηλεκτρολ. & Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός	333.450	Σταθερή Μέθοδος	5%
4	Έργα Πολιτικού Μηχανικού-Οικοδομικά Έργα	487.500	Σταθερή Μέθοδος	8%
5	Σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ	260.000	Σταθερή Μέθοδος	5%
6	Μελέτες	85.735	Σταθερή Μέθοδος	8%
7	Απρόβλεπτα	9.750	Σταθερή Μέθοδος	15%

Πίνακας Ετήσιας Απόσβεσης ανά Δαπάνη																				
Έτος Δ/νη	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	343	343	343	343	343	343	343	343	343	343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
4	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	20	-	-	-	-	-	-	-
5	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	-	-	-	-	-	-	-
7	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	426	426	426	426	426	426	426	425	425	425	76	76	53	30	30	30	30	30	30	30

**Τα ποσά αναφέρονται σε χιλ.(€)

* Στα ποσά δεν περιλαμβάνεται η επιχορήγηση

Χρηματοροές					
Έτος	Έσοδα από Πωλήσεις Ενέργειας (€)	Συντήρηση (€)	Δαπάνες συντήρησης για έκτατες ανάγκες (€)	Προσωπικό (€)	Δαπάνες προσωπικού για έκτατες ανάγκες (€)
1	1.801.012	130.500	43.500	40.000	13.333
2	1.801.012	130.500	43.500	40.000	13.333
3	1.801.012	130.500	43.500	40.000	13.333
4	1.801.012	130.500	43.500	40.000	13.333
5	1.801.012	130.500	43.500	40.000	13.333
6	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
7	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
8	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
9	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
10	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
11	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
12	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
13	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
14	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
15	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
16	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
17	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
18	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
19	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
20	1.801.012	169.650	56.500	40.000	13.333
Σύνολο	36.020.244	3.197.250	1.065.000	800.000	266.660

Χρηματοροές					
Έτος	Ενοίκιο Οικοπέδου (€)	Ανταποδοτικά Τέλη 2% (€)	Ασφάλιση (€)	Λειτουργικές Δαπάνες (Σύνολο) (€)	Κέρδη προ Αποσβ. Τόκων και Φόρων (€)
1	18.000	36.289		281.622	1.519.390
2	18.000	36.289		281.622	1.519.390
3	18.000	36.289		281.622	1.519.390
4	18.000	36.289		281.622	1.519.390
5	18.000	36.289		281.622	1.519.390
6	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
7	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
8	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
9	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
10	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
11	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
12	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
13	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
14	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
15	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
16	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
17	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
18	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
19	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
20	18.000	36.289	31.089	364.861	1.436.151
Σύνολο	360.000	725.780	466.335	6.881.025	29.139.219

Χρηματοροές				
Έτος	Τόκοι Δανείων (€)	Αποσβέσεις (€)	Φορολογητέο (€)	Φορολογία (€)
1	158.046	426.304	935.041	327.264
2	145.771	426.304	947.316	331.560
3	132.821	426.304	960.266	336.093
4	119.158	426.304	973.928	340.875
5	104.744	426.304	988.342	345.920
6	89.538	426.304	920.310	322.108
7	73.495	425.816	936.840	327.894
8	56.569	424.841	954.741	334.159
9	38.713	424.841	972.597	340.409
10	19.874	424.841	991.435	347.002
11		75.531	1.360.620	476.217
12		75.531	1.360.620	476.217
13		52.602	1.383.549	484.242
14		29.673	1.406.479	492.268
15		29.673	1.406.479	492.268
16		29.673	1.406.479	492.268
17		29.673	1.406.479	492.268
18		29.673	1.406.479	492.268
19		29.673	1.406.479	492.268
20		29.673	1.406.479	492.268
Σύνολο	938.728	4.669.535	23.530.956	8.235.835

Χρηματοροές				
Έτος	Πληρωμές Δανείων (€)	Σύνολο Εισροής (€)	Καθαρή Χρηματική Ροή (€)	Κ.Χ.Ρ (Αθροιστική) (€)
1	381.229	810.897	810.897	810.897
2	381.229	806.601	806.601	1.617.498
3	381.229	802.068	802.068	2.419.566
4	381.229	797.286	797.286	3.216.853
5	381.229	792.242	792.242	4.009.095
6	381.229	732.814	732.814	4.741.909
7	381.229	727.028	727.028	5.468.937
8	381.229	720.763	720.763	6.189.700
9	381.229	714.513	714.513	6.904.213
10	381.229	707.920	707.920	7.612.133
11		959.934	959.934	8.572.068
12		959.934	959.934	9.532.002
13		951.909	951.909	10.483.911
14		943.884	943.884	11.427.795
15		943.884	943.884	12.371.678
16		943.884	943.884	13.315.562
17		943.884	943.884	14.259.445
18		943.884	943.884	15.203.329
19		943.884	943.884	16.147.213
20		943.884	943.884	17.091.096
Σύνολο	3.812.288	17.091.096	17.091.096	

Χρηματοροές		
Έτος	Παρούσα Αξία (€)	Παρούσα Αξία (Αθροιστική) (€)
1	750.831	750.831
2	691.530	1.442.361
3	636.708	2.079.069
4	586.029	2.665.098
5	539.186	3.204.284
6	461.797	3.666.082
7	424.214	4.090.296
8	389.406	4.479.701
9	357.435	4.837.136
10	327.904	5.165.040
11	411.699	5.576.739
12	381.203	5.957.942
13	350.015	6.307.957
14	321.356	6.629.313
15	297.551	6.926.865
16	275.511	7.202.375
17	255.102	7.457.478
18	236.206	7.693.684
19	218.709	7.912.393
20	202.509	8.114.901
Σύνολο	8.114.901	

Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης	Ιδίων κεφαλαίων	Ιδίων κεφαλαίων και επιχορηγήσεων	
Καθαρή Παρούσα Αξία (8%):	6.318.926	3.804.561	€
Χρόνος Αποπληρωμής:	2,2	5,4	Έτη
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής:	2,6	7,6	Έτη
Εσωτερικός Ρυθμός Απόδοσης:	44,403	18,027	%
Ειδικό Κόστος Παραγωγής:	0,03826	0,05662	€/kWh

Ανάλυση Ευαισθησίας

Weibull (C)				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
4,65	-3,75	-2.076.736,09		
5,58	9,23	201.129,47	11,21	17,28
6,51	19,69	1.991.973,27	4,97	7,00
7,44	29,14	3.647.985,87	3,37	4,09
8,38	37,43	5.100.973,42	2,63	3,07
9,31	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
10,24	50,01	7.298.777,84	1,98	2,25
11,17	54,35	8.055.247,32	1,82	2,05
12,10	57,54	8.612.299,10	1,72	1,93
13,03	59,74	8.997.341,85	1,66	1,86
13,96	61,12	9.237.687,56	1,62	1,81

Αρχικό Κόστος				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
3.591.950,00	108,07	8.374.490,71	0,92	1,00
4.310.340,00	86,85	7.963.377,83	1,15	1,26
5.028.730,00	71,68	7.552.264,96	1,38	1,54
5.747.120,00	60,29	7.141.152,08	1,64	1,84
6.465.510,00	51,45	6.730.039,21	1,92	2,17
7.183.900,00	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
7.902.290,00	38,67	5.907.813,46	2,55	2,97
8.620.680,00	33,94	5.496.700,59	2,91	3,46
9.339.070,00	29,98	5.085.587,72	3,31	4,00
10.057.460,00	26,63	4.674.474,84	3,74	4,65
10.775.850,00	23,76	4.263.361,97	4,23	5,45

Λειτουργικό κόστος				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
172.025,63	49,75	7.375.147,05	1,99	2,27
206.430,75	48,69	7.163.902,91	2,04	2,32
240.835,87	47,62	6.952.658,77	2,08	2,38
275.241,00	46,55	6.741.414,62	2,13	2,43
309.646,13	45,48	6.530.170,48	2,17	2,49
344.051,25	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
378.456,38	43,32	6.107.682,19	2,27	2,62
412.861,50	42,24	5.896.438,05	2,33	2,69
447.266,63	41,15	5.685.193,91	2,39	2,76
481.671,75	40,06	5.473.949,77	2,45	2,84
516.076,88	38,97	5.262.705,62	2,51	2,92

Τιμή Πώλησης				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
0,04	11,46	572.080,28	10,10	13,94
0,05	18,14	1.721.449,49	5,48	8,06
0,06	24,71	2.870.818,70	3,96	4,98
0,07	31,26	4.020.187,91	3,14	3,77
0,08	37,83	5.169.557,13	2,60	3,04
0,08	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
0,09	50,99	7.468.295,55	1,94	2,20
0,10	57,57	8.617.664,76	1,72	1,93
0,11	64,14	9.767.033,97	1,55	1,73
0,12	70,72	10.916.403,18	1,41	1,56
0,13	77,28	12.065.772,39	1,29	1,42

Ετήσια Παραγωγή				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
12.917.421,45	11,46	572.080,28	10,10	13,94
15.500.905,74	18,14	1.721.449,49	5,48	8,06
18.084.390,04	24,71	2.870.818,70	3,96	4,98
20.667.874,33	31,26	4.020.187,91	3,14	3,77
23.251.358,62	37,83	5.169.557,13	2,60	3,04
25.834.842,91	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
28.418.327,20	50,99	7.468.295,55	1,94	2,20
31.001.811,49	57,57	8.617.664,76	1,72	1,93
33.585.295,78	64,14	9.767.033,97	1,55	1,73
36.168.780,07	70,72	10.916.403,18	1,41	1,56
38.752.264,36	77,28	12.065.772,39	1,29	1,42

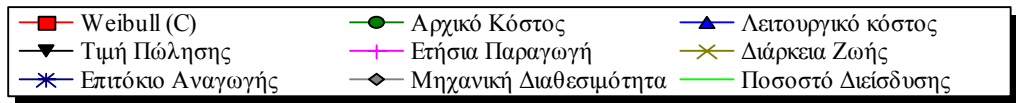
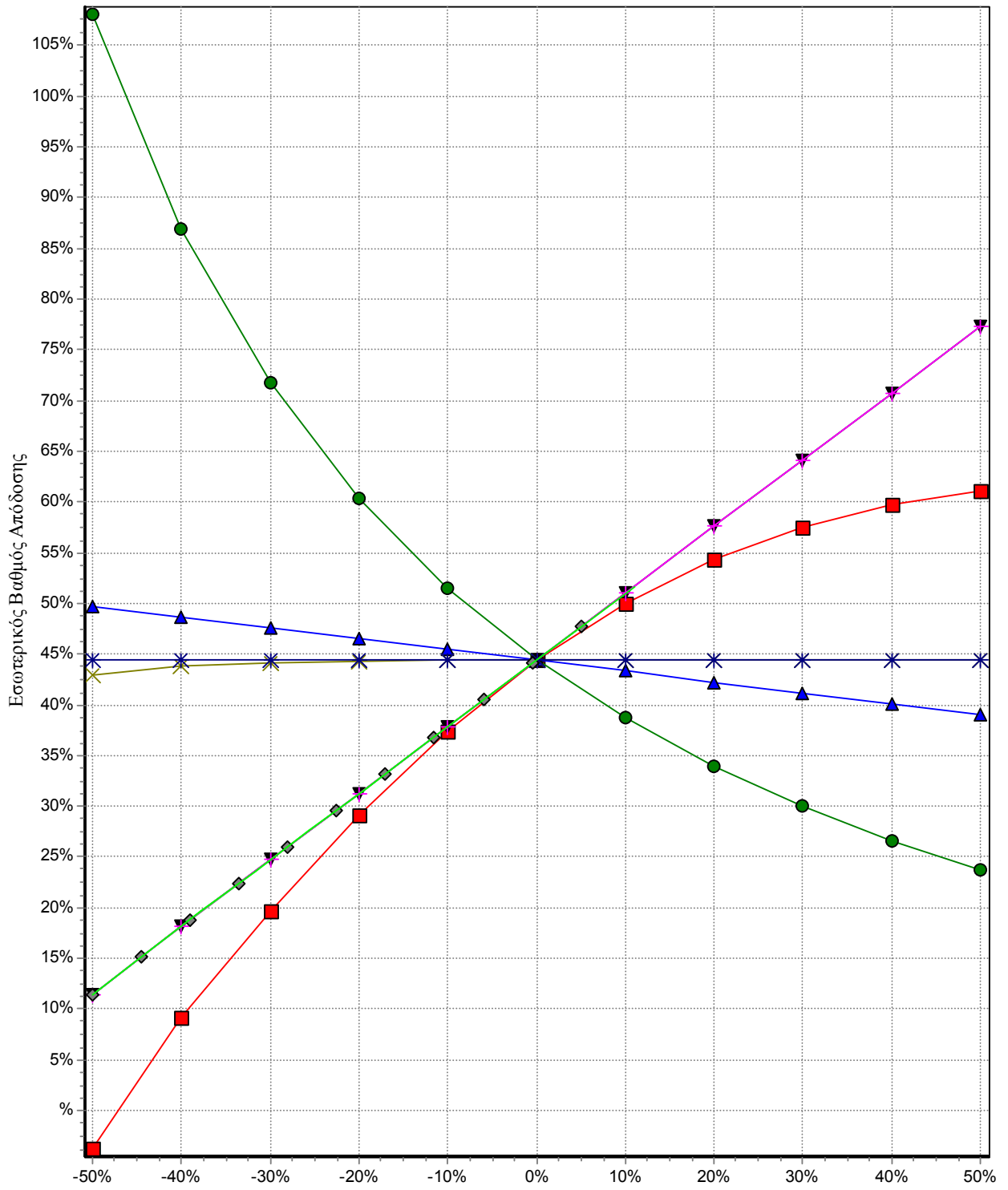
Διάρκεια Ζωής				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
10,00	42,94	3.369.065,03	2,22	2,56
12,00	43,76	4.161.967,46	2,22	2,56
14,00	44,12	4.833.338,01	2,22	2,56
16,00	44,29	5.406.400,15	2,22	2,56
18,00	44,37	5.897.708,56	2,22	2,56
20,00	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
22,00	44,42	6.676.079,28	2,22	2,56
24,00	44,43	6.982.280,37	2,22	2,56
26,00	44,43	7.244.798,44	2,22	2,56
28,00	44,43	7.469.865,38	2,22	2,56
30,00	44,44	7.662.824,01	2,22	2,56

Επιτόκιο Αναγωγής				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
0,04	44,40	9.610.965,21	2,22	2,38
0,05	44,40	8.808.569,28	2,22	2,41
0,06	44,40	8.087.188,68	2,22	2,45
0,06	44,40	7.437.184,29	2,22	2,48
0,07	44,40	6.850.188,97	2,22	2,52
0,08	44,40	6.318.926,34	2,22	2,56
0,09	44,40	5.837.057,01	2,22	2,59
0,10	44,40	5.399.047,93	2,22	2,63
0,10	44,40	5.000.061,09	2,22	2,67
0,11	44,40	4.635.858,70	2,22	2,71
0,12	44,40	4.302.722,14	2,22	2,75

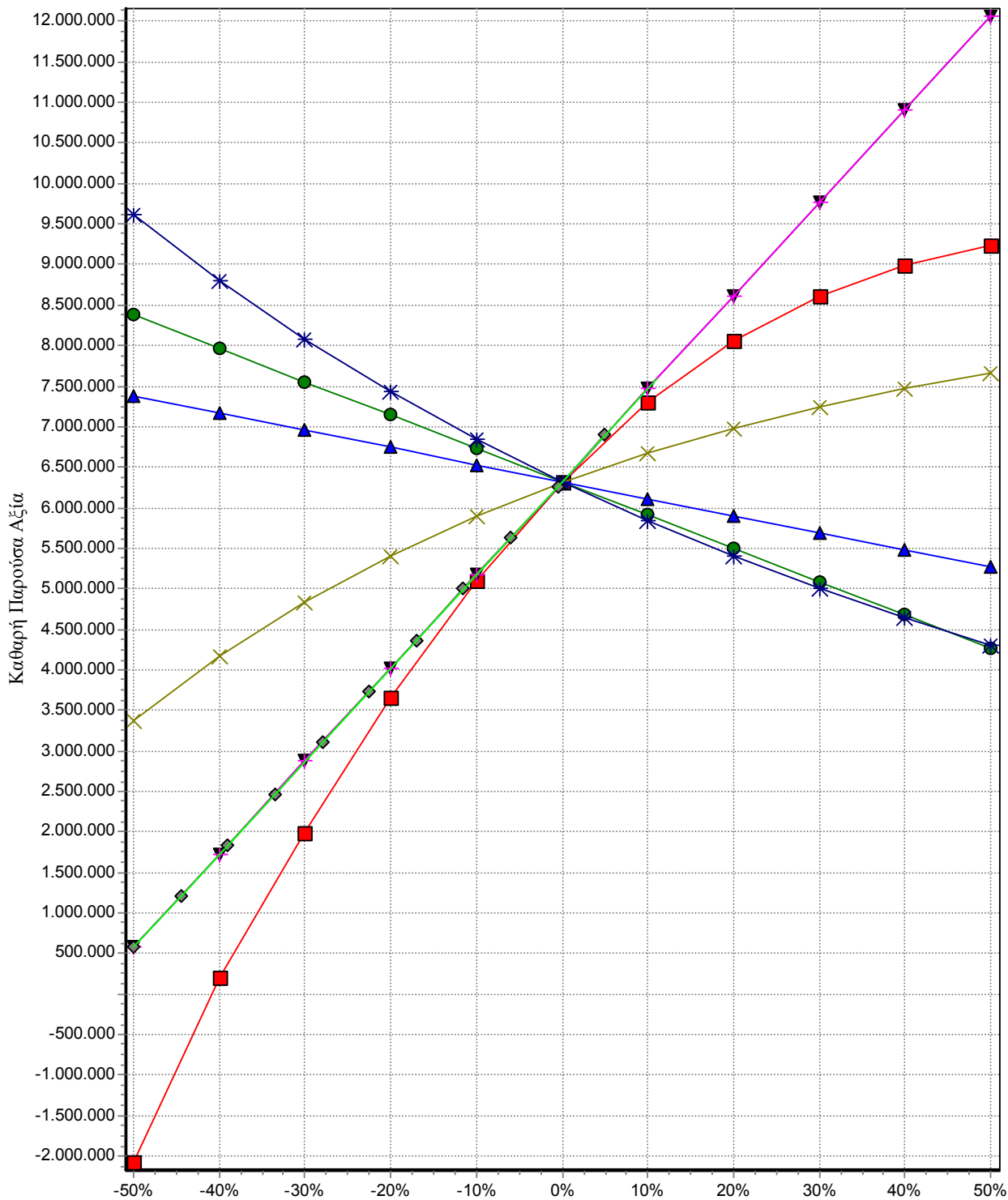
Μηχανική Διαθεσιμότητα				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
0,48	11,46	572.080,28	10,10	13,94
0,53	15,16	1.204.233,35	6,87	10,67
0,58	18,80	1.836.386,41	5,25	7,58
0,63	22,42	2.468.539,48	4,37	5,73
0,68	26,02	3.100.692,54	3,77	4,69
0,74	29,62	3.732.845,61	3,31	4,01
0,79	33,23	4.364.998,68	2,96	3,52
0,84	36,84	4.997.151,74	2,67	3,13
0,89	40,46	5.629.304,81	2,44	2,82
0,95	44,07	6.261.457,88	2,24	2,58
1,00	47,69	6.893.610,94	2,07	2,36

Ποσοστό Διείσδυσης				
Τιμή Μεταβλητής	IRR	Κ.Π.Α	Χρ.Αποπ.	Ε.Π.Α.
0,45	11,46	572.080,28	10,10	13,94
0,50	15,56	1.273.195,50	6,65	10,41
0,56	19,59	1.974.310,72	5,00	7,06
0,61	23,59	2.675.425,94	4,15	5,32
0,67	27,59	3.376.541,16	3,55	4,37
0,72	31,59	4.077.656,37	3,11	3,73
0,78	35,59	4.778.771,59	2,76	3,26
0,83	39,60	5.479.886,81	2,49	2,89
0,89	43,61	6.181.002,03	2,26	2,61
0,94	47,63	6.882.117,25	2,07	2,37
1,00	51,64	7.583.232,47	1,92	2,17

Ανάλυση Ευαισθησίας

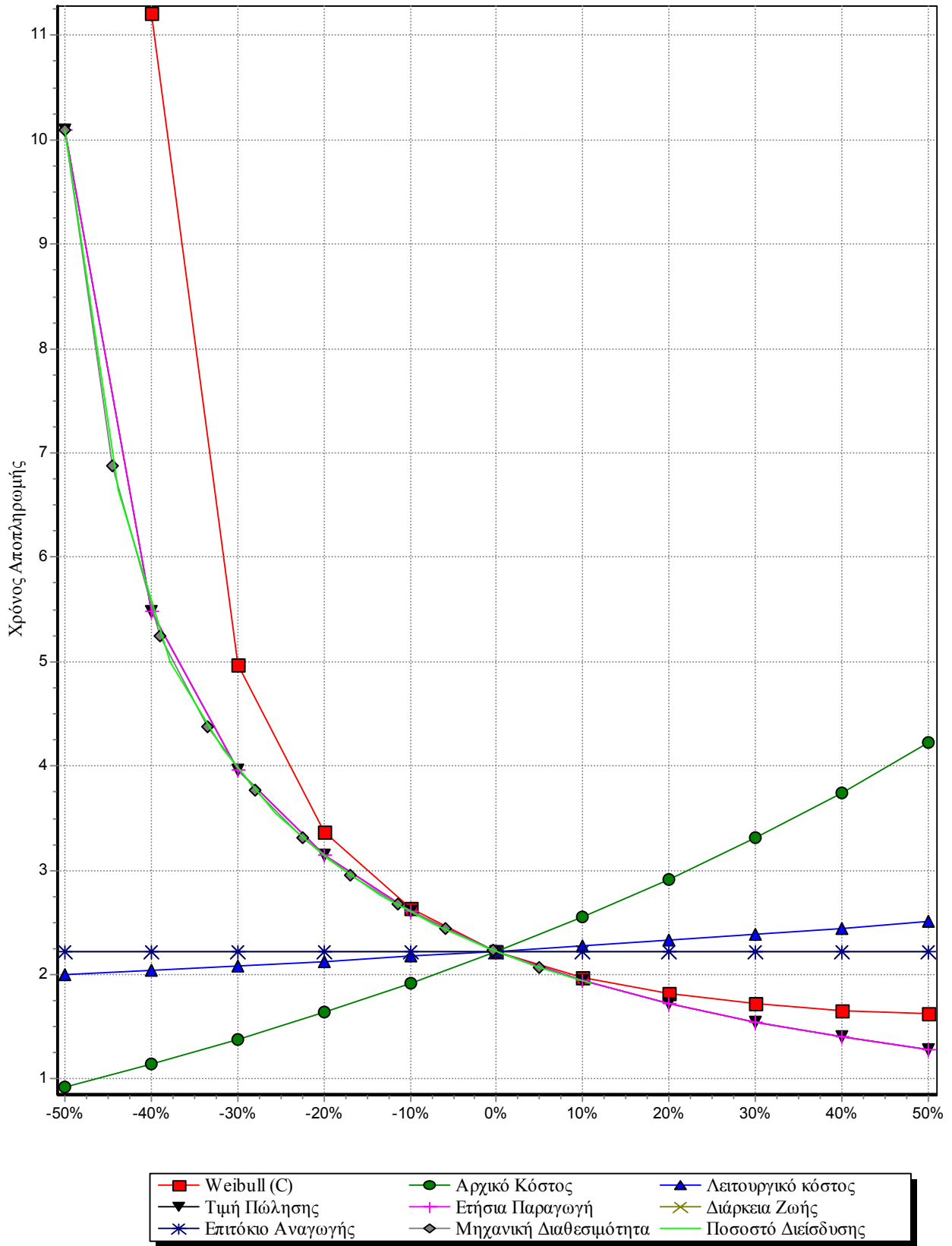


Ανάλυση Ευαισθησίας

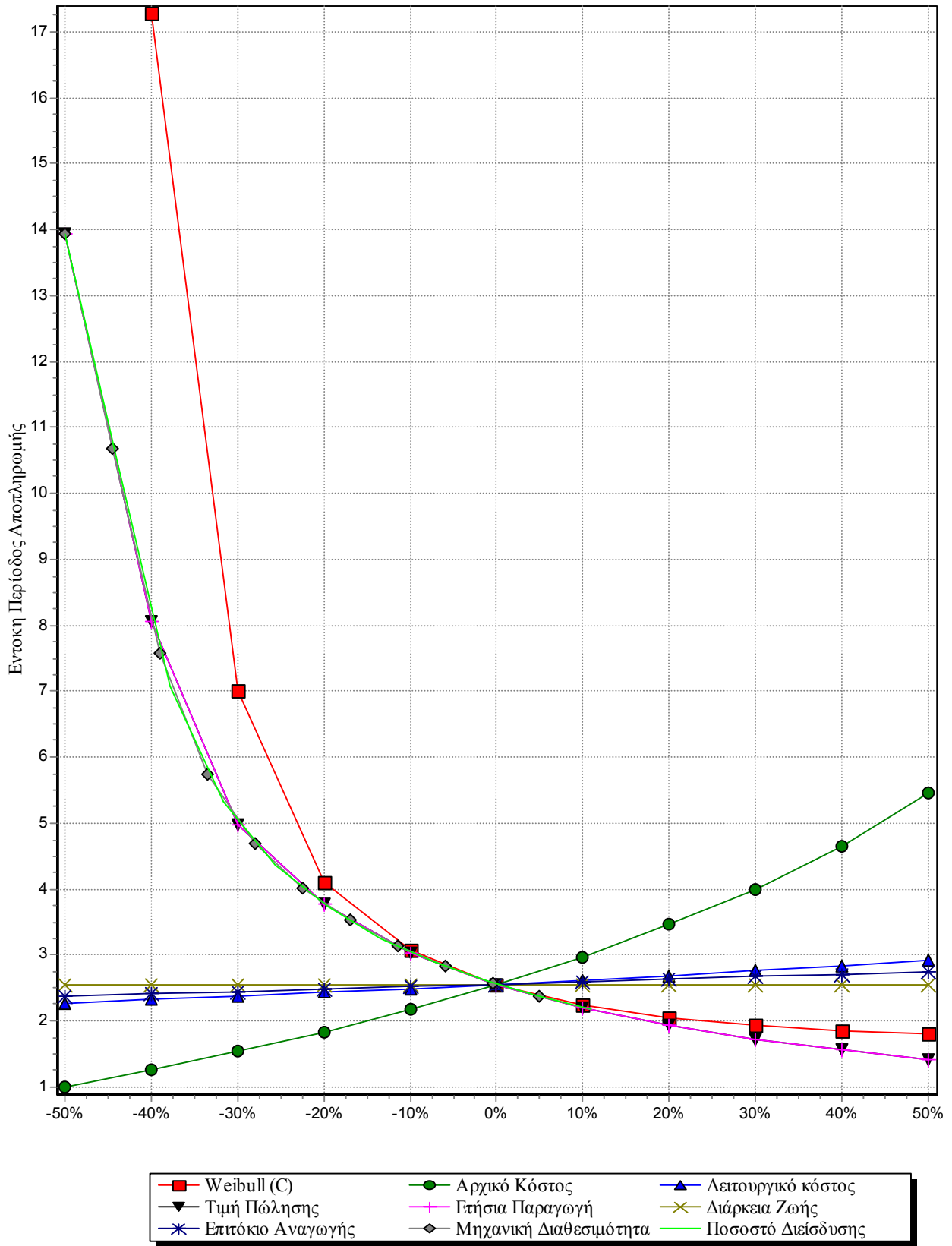


- | | | |
|---|--|---|
| ■ Weibull (C) | ● Αρχικό Κόστος | ▲ Λειτουργικό κόστος |
| ▼ Τιμή Πώλησης | + Ετήσια Παραγωγή | × Διάρκεια Ζωής |
| * Επιτόκιο Αναγωγής | ◆ Μηχανική Διαθεσιμότητα | — Ποσοστό Διείσδυσης |

Ανάλυση Ευαισθησίας



Ανάλυση Ευαισθησίας



Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να παρουσιάσει στον επενδυτή τα αναγκαία κριτήρια έτσι ώστε αυτός να μπορεί να αποφασίσει για την κατασκευή του πάρκου. Το πρώτο που ελέγχει ο κάθε επενδυτής είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσής του .

Τα δυο σημεία στα οποία πρέπει να επικεντρώσουμε την προσοχή μας στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσής είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής . Στην περίπτωση μας ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι 18% και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής είναι 7,6 έτη

Οι τιμές αυτές κρίνονται αρκετά ικανοποιητικές και υπερέχουν πολλών επενδύσεων ανάλογου ποσού . Να επισημάνουμε ότι το ρίσκο σε μια επένδυση Α/Π είναι πολύ μικρότερο από επενδύσεις παρεμφερούς κόστους και πολύ αποδοτικότερο από τραπεζικές επενδύσεις. Είναι γεγονός ότι η ανέγερση ενός Α/Π θα αναβαθμίσει την γύρω περιοχή, θα γίνει πόλος έλξης επιστημόνων αλλά και απλών πολιτών εξαιτίας της σύγχρονης τεχνολογίας που χρησιμοποιεί. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι στο συγκεκριμένο έργο υπάρχει ήδη οδικό δίκτυο σε μικρή απόσταση από την περιοχή που πρόκειται να γίνει η επένδυση πράγμα που διευκολύνει τις συνθήκες όσον αφορά στα έργα διάνοιξης δρόμων που πρέπει να γίνουν. Η σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η επίσης είναι εύκολη καθώς υπάρχει υποσταθμός της Δ.Ε.Η σε απόσταση δύο χιλιομέτρων από την περιοχή ενδιαφέροντος. Γενικά το αιολικό πάρκο μπορεί να κατασκευαστεί από τεχνικής πλευράς καθώς και να συντηρηθεί μιας και οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κρίνονται ικανοποιητικές. Τέλος από περιβαλλοντικής πλευράς δεν υπάρχουν προβλήματα μιας και το μέρος δεν αποτελεί πέρασμα για αποδημητικά πουλιά ούτε συμπεριλαμβάνεται σε κάποιο προστατευόμενο πρόγραμμα (NATURA κτλ.). Από όλα τα παραπάνω αλλά και από το σύνολο της παρούσας μελέτης βγαίνει καθαρά το συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση ενός Α/Π στη θέση «Αγία Ελέσσα» της νήσου των Κυθήρων είναι μια συμφέρουσα ενέργεια από οποία σκοπιά και αν εξεταστεί .

Βιβλιογραφία

- Ιωάννης Κλεάνθη Καλδελλης , «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας» , εκδόσεις Αθ. Σταμουλης , Αθήνα 1999 , ISBN 960-351-255-9
- Γ. Μπεργελές «Ανεμοκινητήρες» , Εκδόσεις Συμεών , Αθήνα 1994 , ISBN 960-7346-19-x
- Σημειώσεις Μαθήματος "Διαχείριση και εξοικονόμηση Ενέργειας" , Κτενιαδάκης Μιχάλης , Μηχανολόγος – Ηλεκτρολόγος Μηχανικός , Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Μηχανολογίας ΤΕΙ Ηρακλείου , Ηράκλειο 2002
- Αξιολόγηση και χρηματοοικονομική διοίκηση – Αποτίμηση κινδύνου και επενδύσεων , Π.Ε. Πετράκης , Αθήνα 1998 , ISBN 960-91016-0-7
- Αιολικά Πάρκα "Η αναπτυξιακή και περιβαλλοντική τους διάσταση" , Ελληνικός σύνδεσμος επενδυτών Α.Π.Ε.

Παραπομπές

- [1] , [2] , [3] , [4] , [5] , [6] Ιωάννης Κλεάνθη Καλδελλης «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας» , εκδόσεις Αθ. Σταμουλης , Αθήνα 1999 , ISBN 960-351-255-9
- [7] Γ. Μπεργελές «Ανεμοκινητήρες» , Εκδόσεις Συμεών , Αθήνα 1994 , ISBN 960-7346-19-x

