

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ
ΜΕΓΕΘΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ. ΤΟ
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ
ΜΟΛΩΝ .**



Α. ΓΑΖΕΤΑ ΔΗΜΗΤΡΑ (3666)

Β. ΚΟΛΟΚΟΥΡΗ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ (3705)

Γ. ΤΣΑΚΑΛΗ ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ (3559)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΕΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ευχαριστούμε όλους όσους μας βοηθήσαν με τις πολύτιμες γνώσεις τους, αλλά πάνω από όλα με την αγάπη τους. Ευχόμαστε η ζωή να μας αξιώνει να συνεργαζόμαστε πάντα με τόσο αξιόλογους ανθρώπους όπως κάποιοι από τους καθηγητές μας.

Ευχαριστούμε το καλό μας καθηγητή κύριο Γιαννέλο για την απλοχέρη βοήθεια του και ευχόμαστε να ξανασυνεργαστούμε με τόσο σωστούς ανθρώπους.

**Με εκτίμηση και σεβασμό
προς όλους.**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.

	Σελ.
1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.2) ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.	7
1.3) ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ.	10
1.4) ΕΡΕΥΝΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΤΙΣ ΗΠΑ.	12
1.5) ΑΝΕΜΟΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ DARRIEUS	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.

2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
2.2) ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	25
2.2.1) ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ (VAWTs).	26
2.2.2) ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ (HAWTs).	28
2.2.3) ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΡΟΤΟΡΑ	30
2.2.4) ΠΤΥΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ.	32
2.3) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ.	34
2.4) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ.	35
2.4.1) ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΥΝΑΜΗΣ	36
2.4.2) ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ.	38
2.5) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ.	41
2.6) ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ.	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ. ΠΑΡΚΑ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

3.1) ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (ΤΟΥΡΜΠΙΝΩΝ).	47
3.2) ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ.	48
3.3) ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.	53
3.4) ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.	55
3.5) ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.	60
3.6) ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ.	67
3.7) ΑΠΩΛΕΙΕΣ.	70
3.8) ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΡΕΛΕ.	75
3.9) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

4.1) ΚΟΣΤΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.	86
4.2) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ (ΑΡΧΕΣ).	96
4.3) ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.	98
4.4) ΑΞΙΑ (ΚΟΣΤΟΣ) ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.	99
4.5) ΑΦΑΝΗ ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΜΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΡΑΤΗ.	100
4.6) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΕ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΚΡΑΤΗ	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΜΟΛΑΩΝ (ΔΗΜΟΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ).

5.1) ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.	107
5.2) ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ, ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ.	109
5.3) ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΕΣ.	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αέρας είναι μια ελεύθερη, καθαρή, και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Έχει εξυπηρετήσει την ανθρωπότητα καλά για πολλούς αιώνες, με την υποκίνηση των σκαφών και την οδήγηση των ανεμοστροβίλων για να αλέσει το σιτάρι και να αντλήσει νερό. Το ενδιαφέρον για τη δύναμη του αέρα καθυστέρησε, εντούτοις, παρουσιάστηκε όταν φτηνά και άφθονα προϊόντα πετρελαίου έγιναν διαθέσιμα μετά από τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο. Οι υψηλές δαπάνες κεφαλαίου και η αβεβαιότητα του αέρα, έθεσε την αιολική ενέργεια σε μια οικονομικά μειονεκτική θέση. Κατόπιν το 1973, τα Αραβικά έθνη ξεκίνησαν εμπάργκο στο πετρέλαιο. Οι ημέρες του φτηνού και άφθονου πετρελαίου τελείωσαν. Οι άνθρωποι άρχισαν να συνειδητοποιούν, ότι οι προμήθειες παγκόσμιου πετρελαίου δεν θα διαρκούσαν για πάντα και ότι τα αποθέματα έπρεπε να συντηρηθούν για την πετροχημική βιομηχανία. Η χρήση του πετρελαίου ως καύσιμο λεβήτων, για παράδειγμα, θα έπρεπε να μειωθεί. Άλλες πηγές ενέργειας εκτός από το πετρέλαιο και τις φυσικές πηγές ενέργειας έπρεπε να αναπτυχθούν.

Δύο ακόμη είδη ενέργειας- εκτός από το πετρέλαιο- που θεωρούνται ικανές να παρέχουν τους όρους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των Ηνωμένων Πολιτειών είναι ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν ότι υπάρχει αρκετός άνθρακας για αρκετούς αιώνες ακόμη, σύμφωνα με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης, και ομοίως για την πυρηνική ενέργεια μετά την πλήρη ανάπτυξη του πυρηνικού αντιδραστήρα. Αυτές είναι αποδεδειγμένες πηγές, με τη λογική ότι η τεχνολογία αναπτύσσεται ιδιαίτερα, και μεγάλη ποσότητα άνθρακα και πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος είναι σε λειτουργία και

παραδίδουν μεγάλα ποσοστά ενέργειας στον καταναλωτή. Δυστυχώς, και ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο άνθρακας απαιτεί μεγάλης κλίμακας μεταλλευτική δραστηριότητα όπου η καύση του, μπορεί να ανατρέψει την ισορροπία της θερμότητας του πλανήτη. Η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα της ατμόσφαιρας του πλανήτη, να παράγει τα τρόφιμα για τους ανθρώπους της. Ο άνθρακας είναι επίσης μία πολύτιμη πετροχημική πρώτη ύλη τροφοδοσίας και πολλοί θεωρούν ότι η καύση του με σκοπό τη μετατροπή του σε καύσιμο λεβήτων, είναι πράξη ανόητη.

Η πυρηνική ενέργεια έχει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τον άνθρακα δεδομένου ότι δεν δημιουργείται κανένα διοξείδιο του άνθρακα ή του θείου. Οι διαδικασίες μεταλλείας είναι σε μικρότερη κλίμακα, και δεν έχει καμία άλλη σημαντική χρήση πέρα από την υποστήριξη της θέρμανσης. Το σημαντικότερο είναι το πρόβλημα της διάθεσης αποβλήτων, για το οποίο, σύμφωνα με το φόβο πολλών, πιθανόν δεν θα υπάρξει ποτέ μια αληθινά ικανοποιητική λύση.

Εξαιτίας αυτών των προβλημάτων, η αιολική ενέργεια και άλλες μορφές ηλιακής ενέργειας ενθαρρύνονται έντονα. Η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει μια σημαντική πηγή ενέργειας παρά τα ελαφρώς υψηλότερα κόστη σε σχέση με τον άνθρακα ή την πυρηνική ενέργεια, λόγω των βασικών μη-οικονομικών ή πολιτικών προβλημάτων από την πυρηνική ενέργεια και τον άνθρακα. Αυτό δεν σημαίνει ότι η αιολική ενέργεια θα είναι πάντα ακριβότερη από τον άνθρακα ή την πυρηνική ενέργεια, επειδή σημαντική πρόοδος σημειώνεται στην παραγωγή της αιολικής ενέργειας για να είναι πιο φτηνή. Αλλά ακόμη και χωρίς ένα σαφές πλεονέκτημα δαπανών, η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει αληθινά σημαντική στην παγκόσμια εικόνα ενέργειας.

1.2) ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Ο αέρας έχει χρησιμοποιηθεί ως κινητήρια δύναμη των πλοίων για πολλούς αιώνες. Πολλές χώρες οφείλουν την ευημερία τους, στην ικανότητά τους στη ναυσιπλοΐα. Ο νέος κόσμος εξερευνήθηκε από ιστιοφόρα. Πράγματι, ο αέρας ήταν σχεδόν η μόνη πηγή ενέργειας για τα σκάφη εωσότου οι Watt εφεύραν την ατμομηχανή στο 18^ο αιώνα.

Στο έδαφος, οι ανεμοτουρμπίνες χρονολογούνται πολλούς αιώνες πίσω. Έχει αναφερθεί ότι ο Βαβυλώνιος αυτοκράτορας Hammurabi σκόπευε να χρησιμοποιήσει τις ανεμοτουρμπίνες για την άρδευση στο 17^ο αιώνα π. Χ. Ο Έρωας της Αλεξάνδρειας, που έζησε στον 3^ο αιώνα π. Χ., περιέγραψε μια απλή ανεμοτουρμπίνα οριζοντίου άξονα με τέσσερα πανιά που χρησιμοποιήθηκε για να ωθήσει ένα όργανο.

Οι Πέρσες χρησιμοποιούσαν τις τουρμπίνες εκτενώς από τα μέσα του 7 αιώνα μ.Χ. Δικές τους, ήταν μια μηχανή καθέτου άξονα με διάφορα ακτινωτά-τοποθετημένα πανιά.

Αυτές οι πρώτες μηχανές, ήταν αναμφισβήτητα ακατέργαστες και μηχανικά ανεπαρκείς, αλλά εξυπηρέτησαν το σκοπό τους καλά, για πολλούς αιώνες. Έγιναν από τοπικά υλικά και με φθηνό εργατικό δυναμικό. Η συντήρηση ήταν πιθανόν ένα πρόβλημα, που ανάγκασε να κρατήσει πολλούς ανθρώπους στην εργασία. Το μέγεθός τους, καθορίστηκε πιθανόν από τα διαθέσιμα υλικά, και η ανάγκη για περισσότερη δύναμη ικανοποιήθηκε με την οικοδόμηση περισσότερων ανεμοτουρμπινών παρά μεγαλύτερων. Υπάρχουν πολλές από τις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου, που σήμερα θα μπορούσαν άνετα να χρησιμοποιήσουν τέτοιες μηχανές χαμηλής τεχνολογίας, επειδή απαιτούν (οι μηχανές) μεγάλα ποσά φτηνής, ανειδίκευτης εργασίας. Τέτοιες χώρες έχουν συχνά δυσκολία στο να αποκτήσουν το απαραίτητο συνάλλαγμα για να αγοράσουν τις μηχανές υψηλής τεχνολογίας, και έχουν έπειτα δυσκολία και στη συντήρησή τους.

Η πιο πρόωρα καταγεγραμμένη αγγλική ανεμοτουρμπίνα χρονολογείται το 1191. Η πρώτη τουρμπίνα για το άλεσμα καλαμποκιού χτίστηκε στην Ολλανδία το 1439. Υπήρξαν διάφορες τεχνολογικές εξελίξεις μέσα στους αιώνες, και από το 1600 η πιο κοινή ανεμοτουρμπίνα ήταν ο μύλος. Η λέξη μύλος, αναφέρεται στη λειτουργία του τριψίματος ή της άλεσης

του σιταριού. Αυτή η εφαρμογή ήταν τόσο κοινή, όπου όλες οι ανεμοτουρμπίνες καλούνταν συχνά ανεμόμυλοι ακόμα και όταν αυτοί πραγματικά αντλούσαν νερό ή εκτελούσαν κάποια άλλη λειτουργία. Θα χρησιμοποιήσουμε συνήθως τους πιο γενικούς όρους ανεμοτουρμπίνα ή μηχανή αέρα, παρά τον ανεμόμυλο, εκτός αν η εφαρμογή είναι πραγματικά αυτή του τριψίματος (λείανση) του σιταριού.

Ο μύλος είχε έναν ενισχυτικό πύργο με ένα περιστρεφόμενο καπέλο που έφερε τον ρότορα. Ο πύργος χτιζόταν συνήθως με τούβλα σε κυλινδρική μορφή, αλλά χτιζόταν μερικές φορές και από ξύλο, και πολυγωνικά στο διαγώνιο τμήμα. Σε ένα στυλ, το καπέλο είχε μια υποστήριξη ή μια ουρά εκτεινόμενη έξω και κάτω στο επίγειο επίπεδο. Ένας κύκλος θέσεων περιέβαλε τον πύργο, όπου το υποστήριγμα άγγιζε το έδαφος. Ο μυλωνάς θα έλεγχε την κατεύθυνση του αέρα που επικρατούσε και θα περίστρεφε το καπέλο και ο στροφέας με ένα βαρούλκο συνδεδεμένο μεταξύ της ουράς και μιας από τις θέσεις. Η ουρά θα δενόταν έπειτα σε μια θέση για να κρατήσει το στροφέα στην κατάλληλη κατεύθυνση. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόταν όταν η κατεύθυνση του αέρα άλλαζε. Η προστασία από τους υψηλούς ανέμους ολοκληρωνόταν με την τοποθέτηση του στροφέα εκτός κατεύθυνσης του αέρα ή με την αφαίρεση του καμβά που καλύπτει το συρματοπλεγμα των στροφών.

Η βελτιστοποίηση της μορφής των στροφών πήρε πιθανώς πολύ χρόνο για να ολοκληρωθεί. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι οι στροφείς σε πολλούς από τους ολλανδικούς μύλους είναι τριμμένοι και εκλεπτυσμένοι, ο ίδιος τρόπος με τους σύγχρονους στροφείς εμφανίζεται να βελτιστοποιεί, σχεδόν, τις αεροδυναμικές παραμέτρους απαραίτητες για μέγιστες αποδόσεις.

Οι στροφείς προς το παρόν στους μύλους πιθανώς δεν έχουν την ίδια ημερομηνία με την αρχική κατασκευή του πύργου, αλλά ακόμα δείχνει την υψηλή αεροδυναμική ποιότητα και εφαρμοσμένη μηχανική μιας περιόδου πολύ νωρίτερα από την τωρινή.

Οι ολλανδικοί άποικοι έφεραν αυτόν τον τύπο ανεμοτουρμπίνας στην Αμερική στα μέσα του 1700. Ένας αριθμός τέτοιων, όντως χτίστηκε αλλά όχι στην ποσότητα που φάνηκε στην Ευρώπη.

Κατόπιν στα μέσα του 1800, μια ανάγκη αναπτύχθηκε για μια μικρότερη ανεμοτουρμπίνα για την άντληση του νερού. Η αμερικανική δύση εγκαθίστατο και υπήρξαν ευρείες περιοχές καλών εδαφών για βοσκή, με καθόλου νερό στην επιφάνεια αλλά με άφθονο υπόγειο νερό μόνο μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Με αυτή τη λογική, μια διακριτική ανεμοτουρμπίνα αναπτύχθηκε, η αποκαλούμενη American Multibladed wind turbine. Είχε την υψηλή αρχική ροπή και επαρκή αποδοτικότητα και άντλησε το νερό με επιτυχία. Εάν ο αέρας δεν φυσούσε για αρκετές ημέρες, η αντλία θα χρησιμοποιούνταν χειροκίνητα. Δεδομένου ότι υπάρχει ένα εύλογο καλό καθεστώς αέρα, η άντληση με τα χέρια ήταν σχετικά σπάνιο περιστατικό.

Κατ' εκτίμηση 6,5 εκατομμύρια μονάδες χτίστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ 1880 και 1930 από ποικίλες επιχειρήσεις. Πολλές από αυτές λειτουργούν ακόμα ικανοποιητικά. Με την παροχή του ύδατος για το ζωικό κεφάλαιο, αυτές οι μηχανές διαδραμάτισαν έναν σημαντικό ρόλο στην εγκατάσταση της αμερικανικής δύσης.

1.3) ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ

Η Δανία ήταν η πρώτη χώρα που χρησιμοποίησε τον αέρα για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι Δανοί ήταν χρήστες μιας ανεμογεννήτριας διαμέτρου 23μ. το 1890 για να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Μέχρι το 1910, αρκετές μονάδες με ικανότητες 5 έως 25 kW ήταν σε λειτουργία.

Περίπου το 1925, εμπορικές ανεμο-ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, χρησιμοποιώντας προωσθήρες με 2 και 3 πτερύγια εμφανίστηκαν στην αμερικανική αγορά. Τα πιο κοινά εμπορικά σήματα ήταν τα Wincharger (200 έως 1200 W) και Jacobs (1,5 έως 3 kW). Αυτά χρησιμοποιήθηκαν στα αγροκτήματα για να φορτίσουν τις μπαταρίες αποθήκευσης, που χρησιμοποιήθηκαν έπειτα για να ενεργοποιήσουν τα ραδιόφωνα, τα φώτα, και τις μικρές συσκευές με τις εκτιμήσεις τάσης 12 ..32, ή 110 V. Μια καλή επιλογή 32 vdc συσκευών αναπτύχθηκε από τη βιομηχανία για να συναντήσει αυτή την απαίτηση. Κατόπιν η Αγροτική Ηλεκτρική Διοίκηση (ΑΗΔ) καθιερώθηκε από το συνέδριο του 1936. Παρέχονταν δάνεια χαμηλού τόκου και έτσι οι απαραίτητες γραμμές μετάδοσης και διανομής θα μπορούσαν να κατασκευαστούν ,για να εφοδιάσουν τους αγρότες με την ηλεκτρική ενέργεια. Τις πρώτες ημέρες της ΑΗΔ, περίπου το 1940, η ηλεκτρική ενέργεια θα μπορούσε να παρασχεθεί στον αγροτικό πελάτη με κόστος 3 έως 6 σεντς ανά kWh ενώ το αντίστοιχο κόστος της παραγόμενης άνεμο-ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 12 έως 30 σεντς ανά kWh. Το χαμηλότερο κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από πλευράς χρησιμότητας, συν τη μεγαλύτερη αξιοπιστία, οδήγησαν στη γρήγορη μετάβαση- στην κατάσταση -«κάθε σπίτι και μία ηλεκτρική γεννήτρια».

Μετά το 1940, το κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε και έπεσε κάτω από τα 3 σεντς ανά kWh στις αρχές της δεκαετίας του '70. Αυτό συνοδεύθηκε από πολλές καταναλωτικές καταγγελίες, φυσικά, οι οποίες ήταν κατά ένα μεγάλο μέρος αδικαιολόγητες, όταν μακροπρόθεσμα, η απόδοση των χρησιμότητων στην παροχή του χαμηλότερου κόστους για αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια εξετάζεται.

Εκτός από την ηλεκτρική παραγωγή εγχώριου αέρα, διάφορες χρησιμότητες σε όλο τον κόσμο έχουν χτίσει μεγαλύτερες ανεμοτουρμπίνες για να παρέχουν τη δύναμη στους πελάτες τους. Η μεγαλύτερη ανεμοτουρμπίνα χτίστηκε πριν την δεκαετία του '70. Ήταν μια μηχανή 1250 KW που στηρίχτηκε στο εξόγκωμα Grandpa, κοντά στο Rutland, Βερμόντ, το 1941. Η έννοια για αυτό άρχισε το 1934 όταν ένας μηχανικός, Palmer Γ. Putnam, άρχισε να εξετάζει τις ηλεκτρικές γεννήτριες αέρα για να μειώσει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας . Αυτή η χρησιμότητα είχε κάποια υδροηλεκτρική ικανότητα, η οποία κάνει έναν καλό συνδυασμό με την παραγωγή αέρα.

1.4) **ΕΡΕΥΝΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΤΙΣ ΗΠΑ.**

Το ομοσπονδιακό ενεργειακό πρόγραμμα αέρα ξεκίνησε το 1972, όταν μια κοινή ηλιακή ενεργειακή επιτροπή του εθνικού ιδρύματος επιστήμης (NSF) και η NASA σύστησαν, ότι η αιολική ενέργεια αναπτύσσεται για να διευρύνει τις ενεργειακές επιλογές του έθνους, για τις νέες πηγές ενέργειας. Το 1973, από τη NSF δόθηκε η ευθύνη για Ομοσπονδιακό πρόγραμμα ηλιακής ενέργειας, του οποίου η αιολική ενέργεια ήταν ένα μέρος. Το ερευνητικό κέντρο Lewis, ένα ομοσπονδιακό εργαστήριο που ελέγχθηκε από τη NASA, επιλέχθηκε για να διαχειριστεί την ανάπτυξη τεχνολογίας και την αρχική επέκταση των μεγάλων ανεμογεννητριών. Στις αρχές του 1974, η NASA χρηματοδοτήθηκε από την NSF για να:

- (1) σχεδιάσει, χτίσει, και ενεργοποιήσει μια ανεμογεννήτρια για ερευνητικούς λόγους (υπέδειξε τα MOD- 0),
- (2) αρχίσει τις μελέτες των ανεμογεννητριών για την εφαρμογή χρησιμότητας, και
- (3) αναλάβει ένα πρόγραμμα ενισχυτικής Τεχνολογικής Ερευνάς και Ανάπτυξης για τις ανεμογεννήτριες.

Το 1975, η ευθύνη μέσα στην ομοσπονδιακή κυβέρνηση για την ανάπτυξη ανεμογεννητριών, ορίστηκε στην πρόσφατα δημιουργημένη διοίκηση αναζήτησης και ανάπτυξης ενεργειακών πόρων (ERDA). Η ERDA απορροφήθηκε έπειτα από το τμήμα ενέργειας (DOE) το 1977. Το ερευνητικό κέντρο Lewis της NASA συνέχισε να κατευθύνει την ανάπτυξη τεχνολογίας των μεγάλων γεννητριών κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Κατά τη διάρκεια της περιόδου που ακολουθεί το 1973, ομοσπονδιακά εργαστήρια αναμίχθηκαν με άλλα.

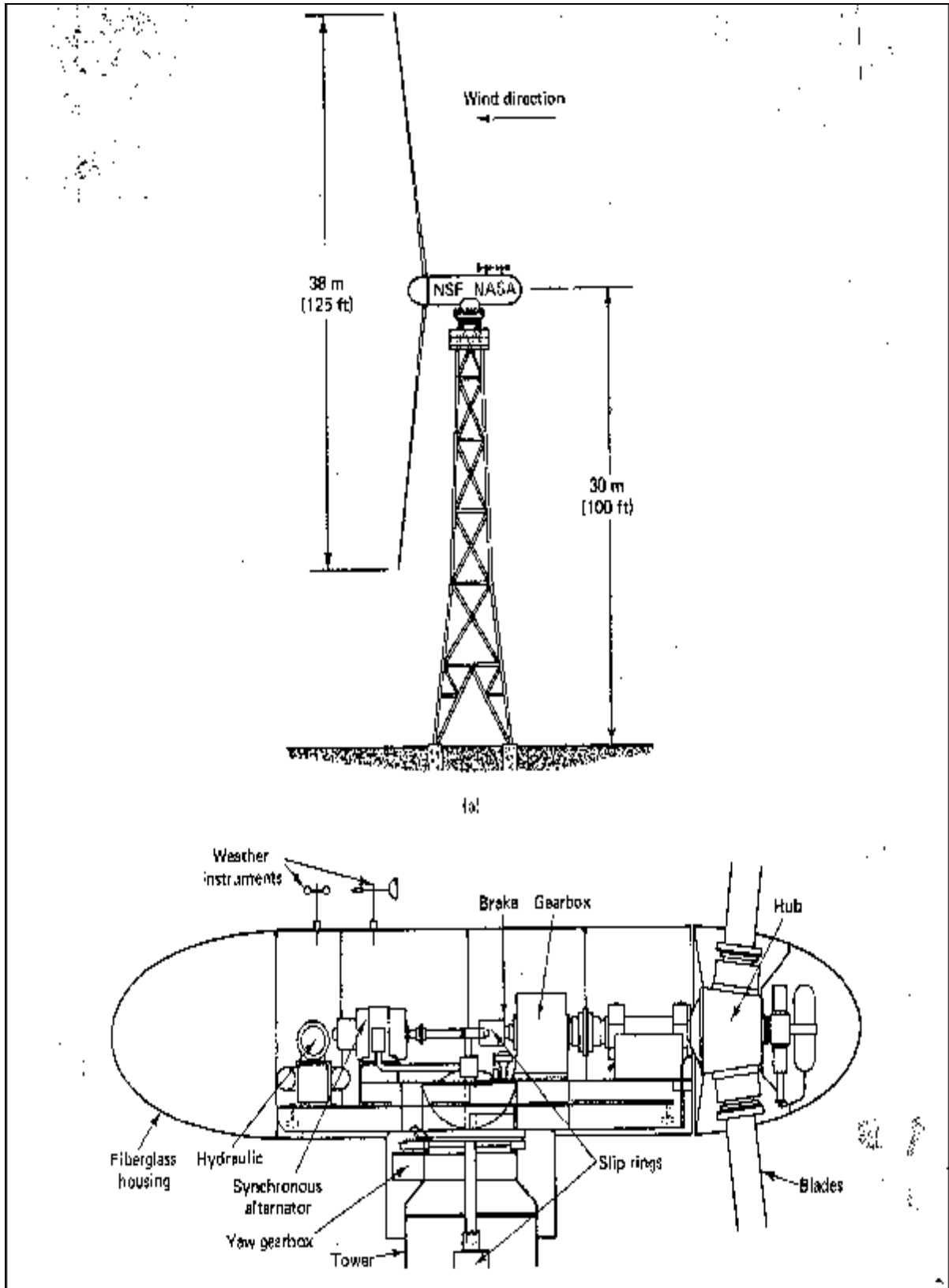
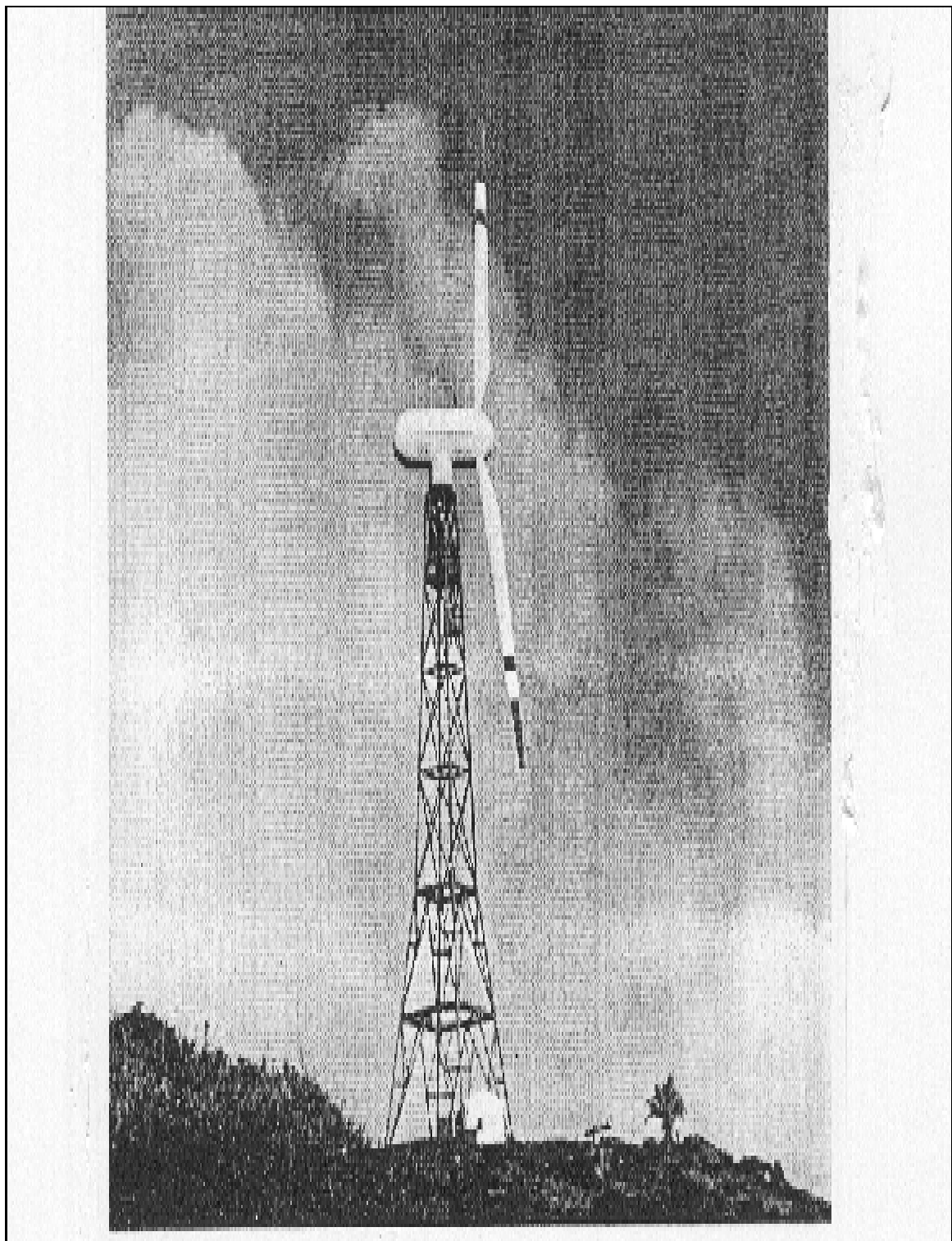
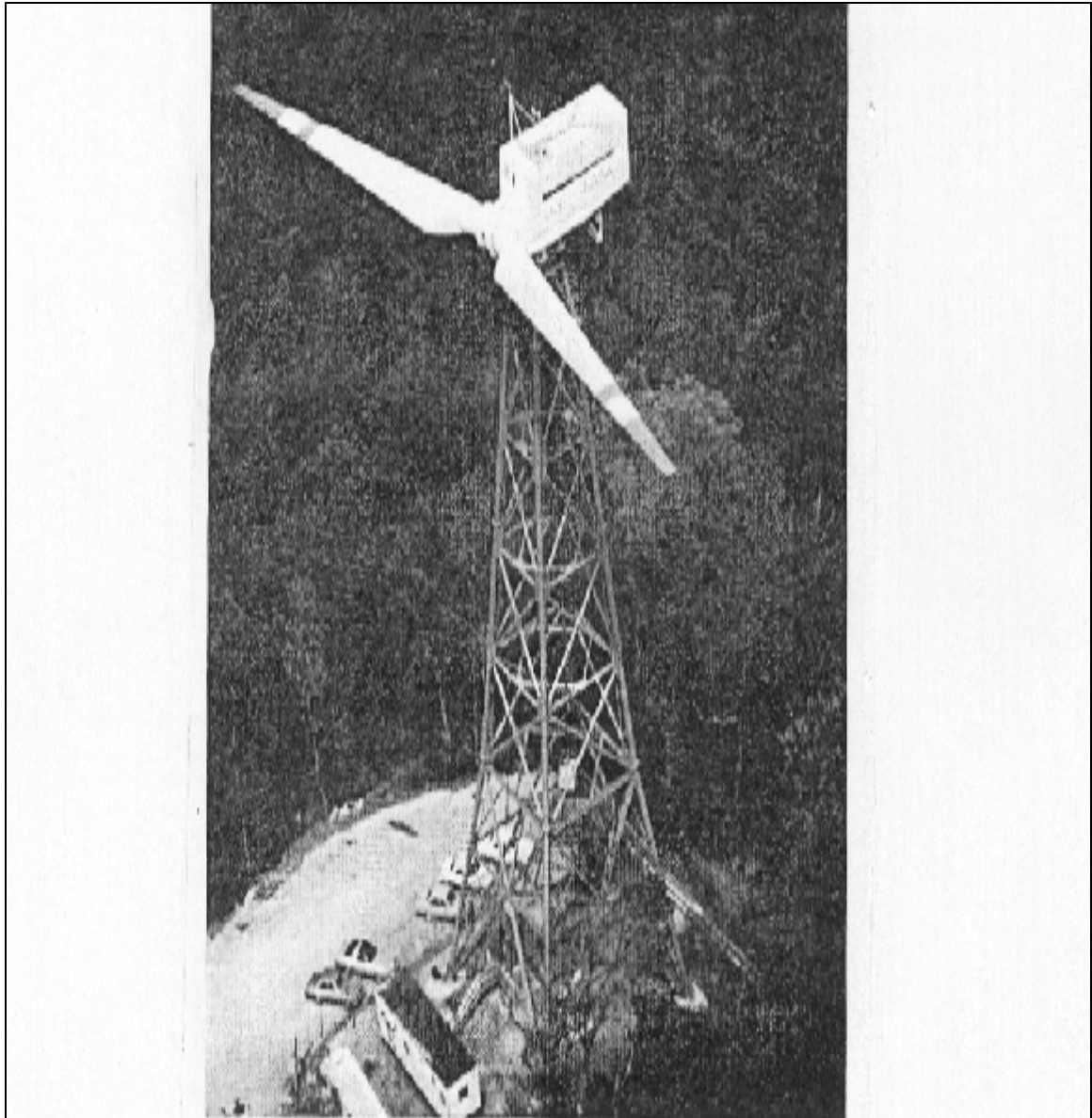


Figure 1: NSF-NASA MOD-0 wind power system: (a) general view; (b) superstructure and equipment. Rated power output, 100 kW; rated wind speed, 8 m/s (18 mi/h). (Courtesy of DOE.) Wind Energy Systems by Dr. Gary L. Johnson November 20, 2001



Σχήμα 2: Mod- 0a τοποθετημένος στο σημείο Kahuku, οαηυ, Χαβάη.
(Ευγενική χορηγία του DOE.)

Η μηχανή Kahuku βρίσκεται σε ένα περιβάλλον εμπορικού αέρα όπου υπάρχουν σχετικά σταθεροί και , υψηλής ταχύτητας άνεμοι για μακριές χρονικές περιόδους .



Σχήμα 3: Mod-1 τοποθετημένος σε Boone, βόρεια Καρολίνα. (Ευγενική χορηγία του DOE.)

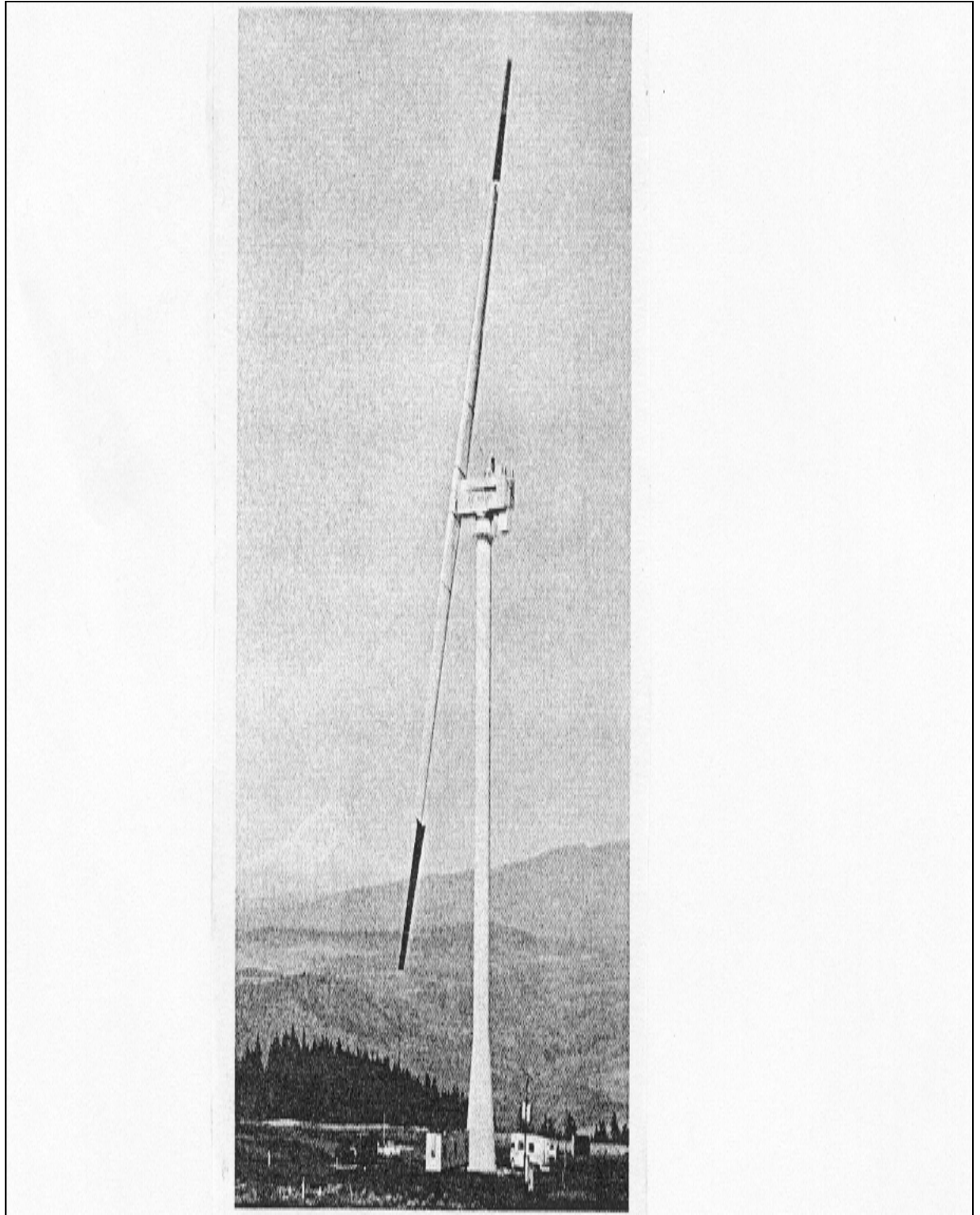


Figure 4: MOD-2 τοποθετημένη στο Goodhoe Hills site κοντά στο Goldendale, Washington. (Ευγενική χορηγία του DOE.)

1.5) **ΑΝΕΜΟΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ DARRIEUS**

Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες, που σχεδιάζονται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από δύο ή τρεις λογχοειδείς προωσθήρες που περιστρέφονται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα. Αυτά τα πτερύγια τείνουν να είναι ακριβά, υψηλής τεχνολογίας αντικείμενα, και η τουρμπίνα πρέπει να προσαρμοστεί στον αέρα.

Αυτά τα προβλήματα έχουν οδηγήσει πολλούς ερευνητές σε αναζήτηση απλούστερων και λιγότερο ακριβών μηχανών. Ένας που έχει υποστεί ιδιαίτερη ανάπτυξη είναι η ανεμοτουρμπίνα Darrieus. Το Darrieus κατοχυρώθηκε, με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον G. G. J. M. Darrieus το 1931. Εφευρέθηκε εκ νέου από τους μηχανικούς με το εθνικό ερευνητικό Συμβούλιο του Καναδά στα εργαστήρια Sandia στις αρχές της δεκαετίας του '70. Τα εργαστήρια SANDIA έχτισαν έναν Darrieus με 5 μ διάμετρο το 1974, και έχει περιληφθεί έντονα, με την περαιτέρω έρευνα για τουρμπίνα Darrieus, από εκείνη την στιγμή.

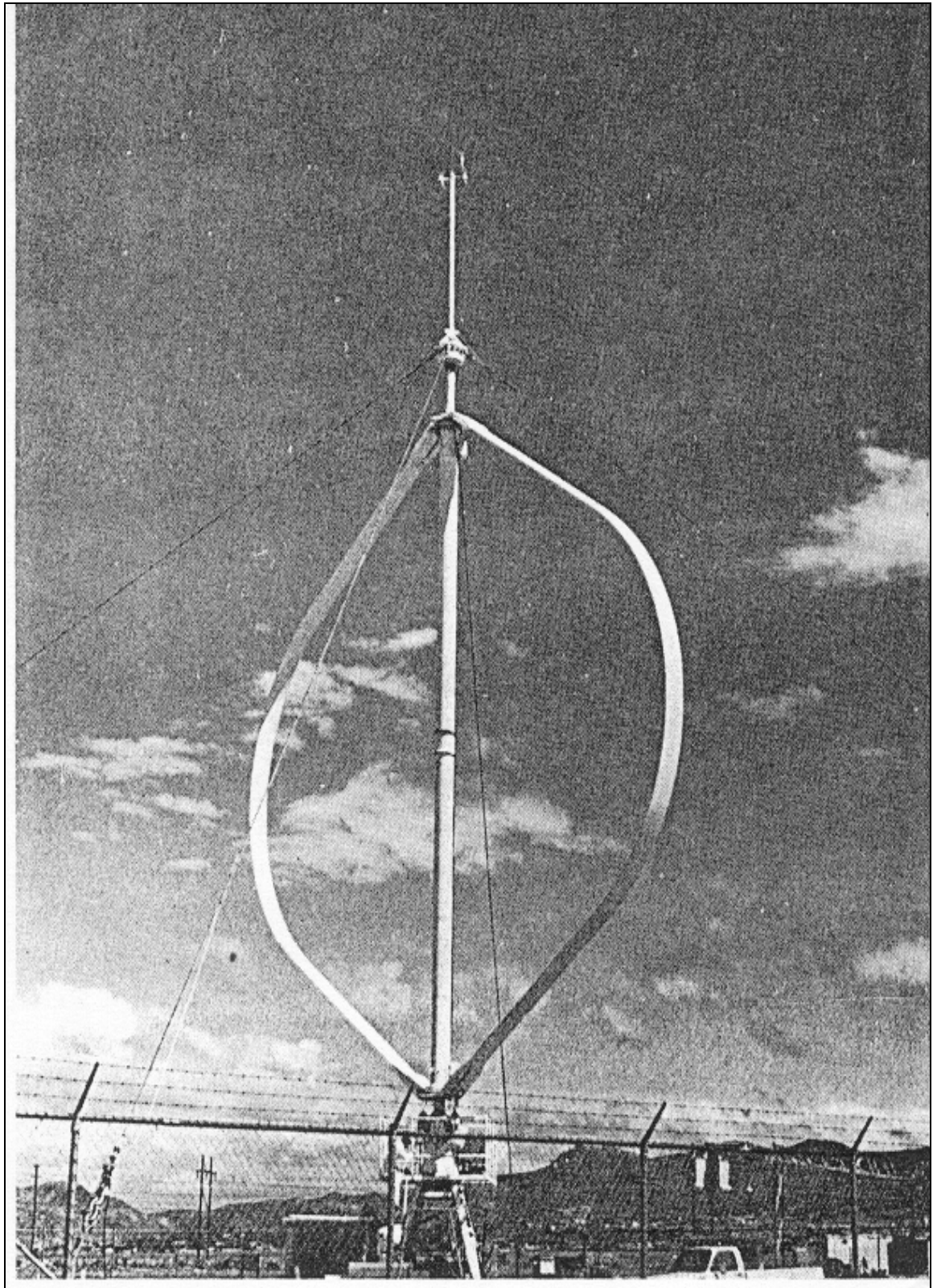
Το σχέδιο 5 παρουσιάζει ένα 17 μέτρο Darrieus που χτίζεται στη Sandia. Η διάμετρος των πτερυγίων είναι η ίδια όπως το ύψος, 17 μ. Αυτή η μηχανή εκτιμάται σε 60 kW σε αέρα ταχύτητας 12,5 m/s.

Το σχέδιο 6 παρουσιάζει ένα από τα πτερύγια κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Διάφορα πρότυπα αυτής της βασικής μηχανής ήταν χτισμένα κατά τη διάρκεια του 1980.

Το Darrieus έχει διάφορα ελκυστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Κάποιο είναι, ότι η μηχανή περιστρέφεται σε κάθετο άξονα, ως εκ τούτου δεν πρέπει να μετατραπεί σε αέρα. Άλλο είναι ότι τα πτερύγια φέρουν τη μορφή ενός σχοινιού άλματος, δοκιμάζοντας τις υψηλές φυγοκεντρικές δυνάμεις. Αυτή η μορφή καλείται ***troposkein***.

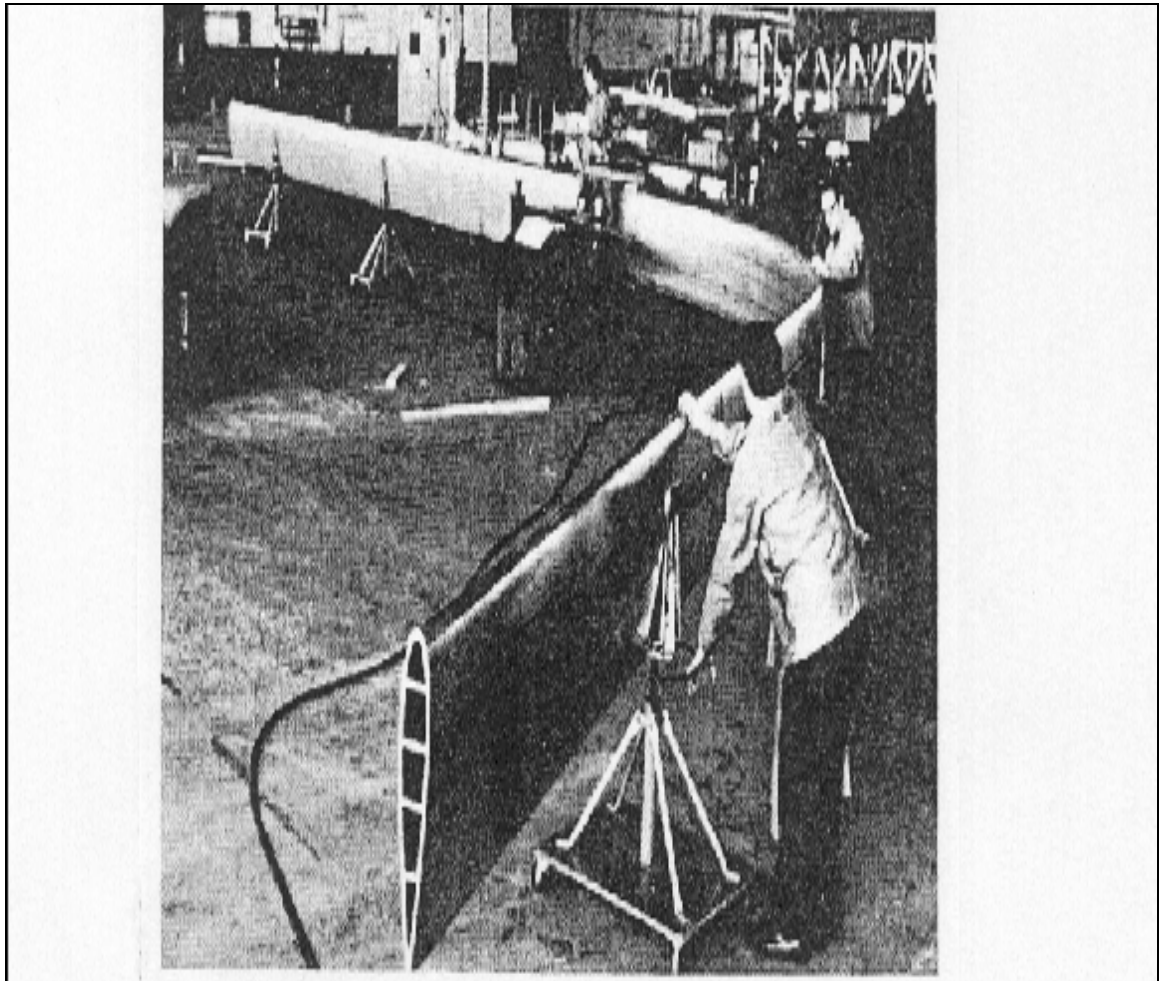
Δεδομένου ότι το πτερύγιο λειτουργεί σχεδόν στην καθαρή ένταση, ένα σχετικά ελαφρύ ανέξοδο πτερύγιο είναι ταιριαστό. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η ασκούμενη δύναμη, η γεννήτρια, και οι έλεγχοι όλοι βρίσκονται κοντά στο επίγειο επίπεδο, ως εκ τούτου είναι ευκολότερος να κατασκευαστεί και να διατηρηθεί. Το αποτέλεσμα είναι σχεδόν τόσο καλό, όσο αυτό της οριζοντίου άξονα τουρμπίνας, έτσι το Darrieus κρατά την ιδιαίτερη υπόσχεση ως αποτελεσματική τουρμπίνα.

Ένα μειονέκτημα του Darrieus είναι ότι δεν έχει αυτόματη έναρξη. Δηλαδή εάν η τουρμπίνα έχει σταματήσει κατά τη διάρκεια μιας περιόδου χαμηλών ταχυτήτων αέρα, δεν θα αρχίσει όταν αυξηθεί η ταχύτητα του αέρα. Η έναρξη ολοκληρώνεται συνήθως από μια μηχανή επαγωγής που συνδέεται με δίκτυο τοπικής χρησιμότητας. Αυτό δεν είναι απαραίτητα ένα σημαντικό μειονέκτημα, επειδή η ίδια η επαγωγή της μηχανής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γεννήτρια επαγωγής για να παρέχει τη δύναμη στο δίκτυο χρησιμότητας, όταν η τουρμπίνα είναι με τη ταχύτητα λειτουργίας. Οι μηχανές επαγωγής είναι απλές, τραχιές, ανέξοδες και δεν απαιτούν ουσιαστικά κανέναν έλεγχο, εκτός από έναν επαφέα για να συνδεθεί η μηχανή με το απαραίτητο δίκτυο. Για αυτούς τους λόγους, υπάρχει ευρεία χρήση της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 5: Εργαστήρια Sandia 17m Darrieus, που εκτιμάται σε 60 kW σε έναν αέρα 12.5-m/s. (Ευγενική χορηγία από την επιχείρηση αργιλίου της Αμερικής.)

Το πρώτο μεγάλο Darrieus που κατασκευάστηκε ήταν μια μηχανή 230kW Magdalen, στο νησί Κεμπέκ του Καναδά, τον Μάιο του 1977, από την DAF, με έδρα το Οντάριο, Καναδάς. Η μέση παραγωγή δύναμης αυτής της μηχανής ήταν 100 kW κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους λειτουργίας, το οποίο είναι αρκετά καλό. Κατόπιν ένας θόρυβος παρατηρήθηκε στο κιβώτιο ταχυτήτων και έτσι η μηχανή σταμάτησε για επιθεώρηση και επισκευή. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιθεώρησης, τα φρένα αφαιρέθηκαν, τα οποία έπρεπε να ήταν ασφαλή, επειδή η τουρμπίνα δεν ήταν προορισμένη για να είναι σε θέση αυτόματης έναρξης.



Σχήμα 6: Εξωθημένη λεπίδα αργιλίου 17m Darrieus κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. (Ευγενική χορηγία της Επιχείρησης αργιλίου της Αμερικής.)

Πρώτα σχεδίασαν μια μηχανή διαμέτρου 5,5 μ που θα παρήγε περίπου 8 kW ισχύ, αλλά έριξε εκείνο το βάρος του, υπέρ των πιο οικονομικά μεγαλύτερων μηχανών. Άλλα μεγέθη που αναπτύσσονται από Alcoa περιλαμβάνουν 12,8 μ διάμετρο (30 έως 60 kW), διάμετρο 17 μ (60 έως 100 kW), και μια με διάμετρο 25 μ (300 ή 500 kW ανάλογα με την αναλογία εργαλείων). Η προσπάθεια της Alcoa έχει επηρεαστεί από διάφορα ατυχήματα. Μια μηχανή διαμέτρου 12,8 μ κατάρρευσε στις εγκαταστάσεις της Πενσυλβανίας στις 21 Μαρτίου 1980, όταν άρχισε ο κεντρικός σωλήνας ροπής να δονείται και τελικά ενέδωσε όταν κινούταν η μηχανή πάνω από την εκτιμημένη ταχύτητα. Κατόπιν τον Απρίλιο, του 1981, μια μηχανή 25 μ συνετρίβη στο Ανατολικό Πέρασμα του SAN Gorgonio του Los Angeles.

Η ίδια η μηχανή λειτούργησε κατάλληλα, σε μια ταχύτητα αρκετά παραπάνω από την εκτιμημένη ταχύτητα, αλλά ένα λάθος λογισμικού στο μικροϋπολογιστή και ο ελεγκτής, απέτρεψαν την κατάλληλη εφαρμογή φρένων στους υψηλούς ανέμους. Όταν η περιστροφική ταχύτητα μηχανών έφθασε σε 60 rpm, αρκετά παραπάνω από την εκτιμημένη ταχύτητα 41 rpm, ένα μπουλόνι έσπασε και επέτρεψε σε ένα πτερύγιο να αναφλεχθεί εξωτερικά και να κόψει ένα από τα καλώδια τύπων. Η μηχανή έπειτα συνετρίβη στο έδαφος.

Τα ατυχήματα αυτά δεν είναι ασυνήθιστα στους τομείς νέας τεχνολογίας, αλλά αποτελούν βεβαίως αμφισβήτηση για τους ειδικούς. Φαίνεται ότι τα διάφορα προβλήματα είναι όλα διαλυτά, αλλά η σειρά των ατυχημάτων επιβράδυνε βεβαίως την επέκταση των τουρμπινών Darrieus, όπως συγκρίνονται με τις οριζοντίου άξονα γεννήτριες. Η Sandia συνέχισε την εργασία για τη θεωρία της τουρμπίνας Darrieus κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80, με αποτέλεσμα η τουρμπίνα να γίνεται κατανοητή καλά σήμερα. Φαίνεται ότι δεν υπάρχει κανένας λόγος ότι το Darrieus δεν θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην παραγωγή της δύναμης του αέρα. Αυτό ακριβώς χρειάζεται μια μεγάλη επιχείρηση αργιλίου, που είναι πρόθυμη και ικανή να κάνει τις εξωθήσεις αργιλίου και θα περάσουν ενδεχομένως αρκετά έτη πριν δούμε μια σημαντική στροφή στην επένδυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται σε γενικές γραμμές για μηχανές με περιστρεφόμενα πτερύγια οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε χρήσιμη ενέργεια.

Στον 20^ο αιώνα τα πρώτα σχέδια των ανεμογεννητριων δημιουργηθήκαν από τρεις βασικές φιλοσοφίες για το χειρισμό φορτίων:

- 1)** Ακίνητα φορτία
- 2)** Καλυπτόμενα ή φορτία προς αποφυγή
- 3)** Χειρισμός φορτίων μηχανικά, ηλεκτρικά, ή και τα δυο.

Στο μέσο αυτής της εξέλιξης πολλές ανεμογεννήτριες είδαν το φως της ημέρας, συμπεριλαμβανομένων των γεννητριών οριζοντίου και καθέτου άξονα. Οι γεννήτριες που περιστρέφονται γύρω από οριζόντιο και κάθετο άξονα, αντίστοιχα, είναι εφοδιασμένες με ένα, δυο, τρία, ή πολλαπλά πτερύγια.

Οι μοντέρνες γεννήτριες εξελιχθήκαν από τα πρώτα σχέδια και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως δυο ή τριών πτερυγίων, με οριζοντίους άξονες και ρότορες με φορά προς τον άνεμο. Σήμερα η επιλογή μεταξύ δυο ή τριών πτερυγίων ανεμογεννήτριες, είναι καθαρά θέμα εμπορικότητας ανάμεσα στην αεροδυναμική επάρκεια, την πολυπλοκότητα, το κόστος, το θόρυβο και την αντίστοιχη αισθητική.

Επιπλέον σκέψεις, για το σχεδιασμό της γεννήτριας, περιλαμβάνουν το τύπο του ανέμου, το τύπο του ρότορα, το τύπο των γεννητριών, την ελαχιστοποίηση φορτίου και θορύβου, και τον τρόπο ελέγχου. Επιπλέον, οι τρέχουσες τάσεις, οδηγούνται από το σύστημα (καθεστώς) της λειτουργίας και του περιβάλλοντος αγοράς, περιλαμβάνουν ανάπτυξη χαμηλού κόστους, υψηλής κλίμακας watt γεννήτριες και χαμηλού βάρους γεννήτριες. Ωστόσο, ενώ οι γεννήτριες, που λειτουργούν με σταθερή ταχύτητα ρότορα κυριαρχούσαν μέχρι τώρα, έχουν αρχίσει να γίνονται πιο διαδεδομένες οι γεννήτριες με ταχύτητα ρότορα που ποικίλει, σε μια προσπάθεια να πάρουμε περισσότερη ενέργεια, να μειώσουμε τα φορτία, να έχουμε καλύτερη ποιότητα ενέργειας και να ενεργοποιήσουμε πιο προχωρημένες παραμέτρους ελέγχου ενέργειας.

2.2) **ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ**

Κάποια πρώιμα σχέδια γεννητριών περιλαμβάνουν έννοιες πολλαπλών πτερυγίων. Αυτές οι γεννήτριες χαρακτηρίζονται όλες από ρότορες με υψηλή στερεότητα, δηλαδή η εκτεθειμένη περιοχή των πτερυγίων είναι σχετικά μεγάλη συγκρινόμενη με την λοξά προς τα πίσω περιοχή του ρότορα.

Ένα μειονέκτημα ενός τέτοιου ρότορα υψηλής στερεότητας είναι οι εκτεταμένες δυνάμεις τις οποίες θα εκλύσει κατά την διάρκεια ακραίων ταχυτήτων ανέμου, όπως είναι οι τυφώνες. Για να περιορίσουμε αυτό το ανεπιθύμητο αποτέλεσμα των ακραίων ανέμων και για να αυξήσουμε την επάρκεια, οι μοντέρνες ανεμογεννήτριες φτιάχνονται με λιγότερα, μακρύτερα και λεπτότερα πτερύγια, δηλαδή, με πολύ μικρότερη στερεότητα. Για να αντισταθμίσουν την λεπτότητα των πτερυγίων, οι μοντέρνες τουρμπίνες λειτουργούν σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

2.2.1) ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ (VAWTS).

Οι ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα (vawts), όπως είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 1.2 με πτερύγια σε σχήμα c, είναι ανάμεσα στους τύπους γεννήτριας που εμφανιστήκαν τον περασμένο αιώνα.



Figure 1-2. Eole C, a 4200 kW vertical axis Darrieus wind turbine with 100 m rotor diameter at Cap Chat, Québec, Canada. The machine, which is the world's largest wind turbine, is no longer operational. From www.windpower.org (2000), © Danish Wind Turbine Manufacturers Association.

Οι κλασικοί τροχοί νερού επιτρέπουν στο νερό να φτάσει εφαιπτόμενο στο νερό-τροχό στη σωστή γωνία στον άξονα περιστροφής του. Οι ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα είναι σχεδιασμένες για να ενεργούν ανάλογα με τη φορά του ανέμου. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα μιας ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα, όπως αυτής που φαίνεται στην εικόνα 1.2, είναι ότι η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τοποθετημένα στο έδαφος και επομένως εύκολα προσβάσιμα, και δεν χρειάζεται μηχανισμός αστάθειας (εκτροπής, παρέκκλισης). Ανάμεσα στα μειονεκτήματα, είναι ένα γενικά πολύ χαμηλό επίπεδο αποδοτικότητας, το γεγονός ότι η γεννήτρια χρειάζεται τέλεια αποσυναρμολόγηση μόνο για να αντικαταστήσουμε το κυρίως έδρανο (τριβέα), και ότι ο ρότορας είναι τοποθετημένος σχετικά κοντά στο έδαφος όπου δεν υπάρχει πολύς άνεμος.

2.2.2) ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ (HAWTS)

Οι γεννήτριες οριζοντίου άξονα, όπως είναι αυτές που φαίνονται στην εικόνα 1.3, αποτελούν το πιο συνηθισμένο τύπο ανεμογεννήτριας σε χρήση σήμερα. Στην πραγματικότητα όλες οι εμπορικές ανεμογεννήτριες συνδέσεις πλέγματος σχεδιάζονται σήμερα με ρότορες σε τύπο προπέλας που είναι τοποθετημένοι σε οριζόντιο άξονα στην κορυφή ενός κάθετου πύργου. Σε αντίθεση με τον τρόπο λειτουργίας των γεννητριών καθέτου άξονα, οι γεννήτριες οριζοντίου άξονα χρειάζεται να είναι ευθυγραμμισμένες με τη διεύθυνση του ανέμου, και επομένως να επιτρέπουν στον άνεμο να περνάει παράλληλα με τον άξονα περιστροφής.



Figure 1-3. Three-bladed upwind turbines being tested at Risø, August 1986.

Όσον αφορά τις γεννήτριες οριζοντίου άξονα υπάρχει μια διαφοροποίηση ανάμεσα στους ρότορες με κατεύθυνση προς τα πάνω και προς τα κάτω. Οι ρότορες με φορά προς τα πάνω αντιμετωπίζουν το άνεμο μπροστά από τον κάθετο πύργο και έχουν το πλεονέκτημα ότι κατά κάποιον τρόπο αποφεύγουν το φαινόμενο σκίασης του ανέμου εξαιτίας της παρουσίας του πύργου. Οι ρότορες με φορά προς τα πάνω χρειάζονται ένα μηχανισμό αστάθειας για να διατηρούν τον άξονα του ρότορα ευθυγραμμισμένο με την κατεύθυνση του ανέμου. Οι ρότορες με φορά προς τα κάτω τοποθετούνται στην υπήνεμη πλευρά του πύργου. Ένα μεγαλύτερο πλεονέκτημα σε αυτό το σχέδιο είναι οι αυξομειώσεις της δύναμης του ανέμου εξαιτίας του ότι ο ρότορας περνάει μέσα από την ανεμοσκίαση του πύργου το οποίο αυξάνει τα φορτία της κόπωσης.

Ωστόσο, ενώ οι ρότορες με φορά προς τα πάνω, πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτοι για να διατηρούν τα πτερύγια του ρότορα μακριά από τον πύργο, οι ρότορες με φορά προς τα κάτω μπορούν να είναι πιο εύκαμπτοι. Αυτό σημαίνει πιθανή εξοικονόμηση σε σχέση με το βάρος και μπορεί να συνεισφέρει στην μείωση των φορτίων πάνω στον πύργο. Η μεγάλη πλειοψηφία των ανεμογεννητριών σε λειτουργία σήμερα έχουν ρότορες με φορά προς τα πάνω.

2.2.3) **ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΡΟΤΟΡΑ**

Το σχέδιο των τριών-πτερυγίων είναι το πιο κοινό σχέδιο για τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες.

Σχετικά με το σχέδιο των τριών-πτερυγίων, τα σχέδια των δυο και ενός-πτερυγίων έχουν το πλεονέκτημα της αντιπροσώπευσης μιας πιθανής αποταμίευσης σε σχέση με το κόστος και το βάρος του στροφέα. Εντούτοις η χρήση λιγότερων πτερυγίων στους στροφέις υπονοεί μια υψηλότερη περιστροφική ταχύτητα ή μια μεγαλύτερη χορδή η οποία απαιτείται για να παράγει το ίδιο ποσοστό ενέργειας με την γεννήτρια τριών-πτερυγίων, παρόμοιου μεγέθους. Η χρήση ενός ή δυο πτερυγίων θα οδηγήσει επίσης σε περισσότερο κυμαινόμενα φορτία λόγω παραλλαγής της αδράνειας, ανάλογα με το αν τα πτερύγια βρίσκονται σε οριζόντια ή κάθετη θέση και στην παραλλαγή της ταχύτητας του αέρα όταν το πτερύγιο έχει φορά προς τα πάνω και προς τα κάτω. Επομένως, οι έννοιες των δυο και ενός πτερυγίων έχουν συνήθως τις αποκαλούμενες ταλαντευμένες πλήμνες, που σημαίνει ότι έχουν το στροφέα να αρθρώνεται στον κύριο άξονα. Αυτό το σχέδιο επιτρέπει στο στροφέα να ταλαντευτεί προκειμένου να αποβάλλει μερικά από τα μη ισορροπημένα φορτία.

Οι ανεμογεννήτριες ενός πτερυγίου είναι λιγότερο διαδεδομένες από τις γεννήτριες δυο πτερυγίων. Αυτό είναι εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτοί, εκτός από την υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής, τον περισσότερο θόρυβο και τα οπτικά προβλήματα διείσδυσης, χρειάζονται ένα αντίβαρο για να ισορροπήσει το πτερύγιο του στροφέα. Σχήμα 1-4.

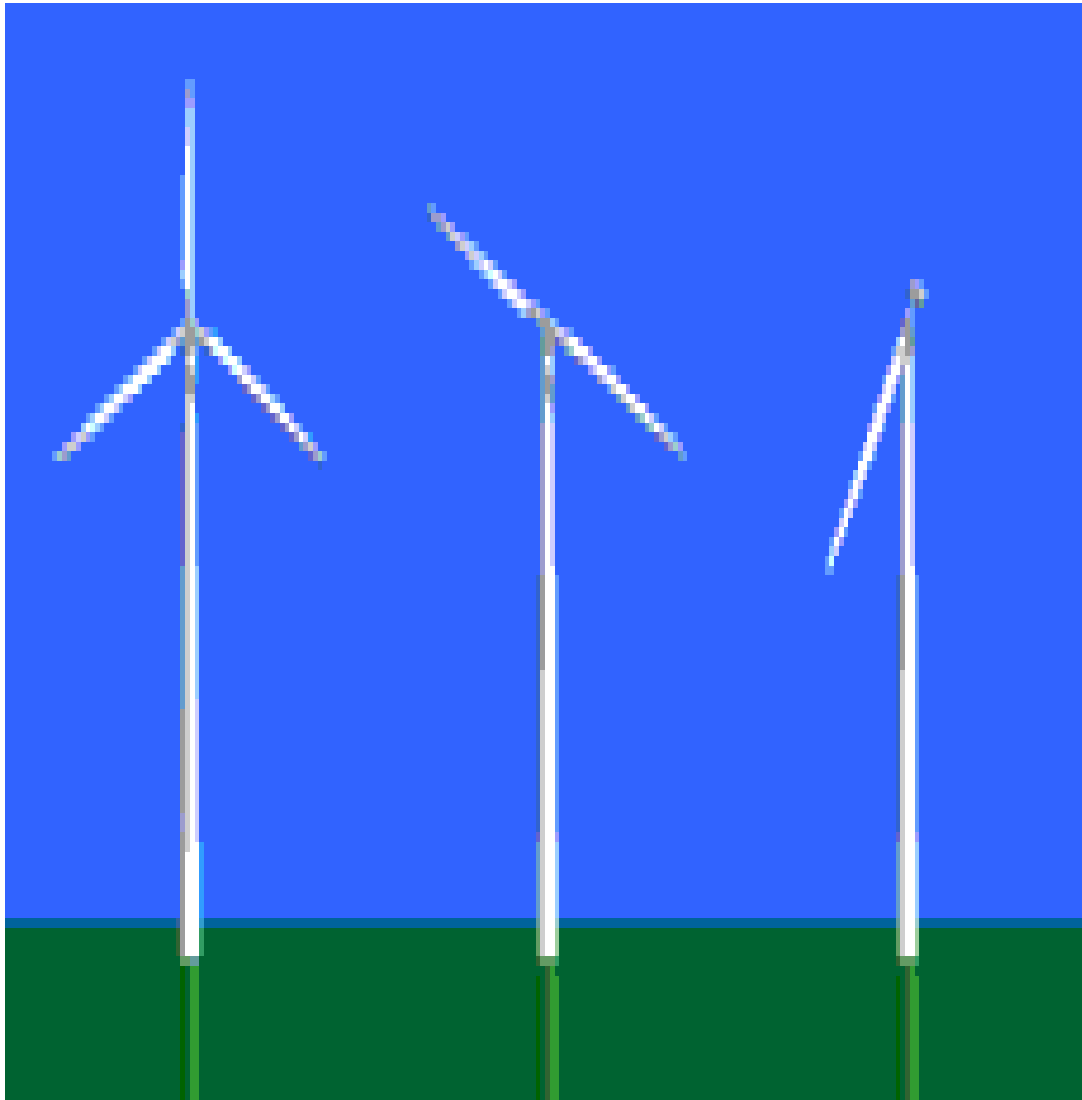


Figure 1-4. Three, two and one-bladed wind turbine Concepts. From www.windpower.org (2000), © Danish Wind Turbine Manufacturers Association.

2.2.4) ΠΤΥΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ

Οι ανεμογεννήτριες είναι σχεδιασμένες να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όσο το δυνατόν φτηνότερη. Για το σκοπό αυτό, οι ανεμογεννήτριες γενικά σχεδιάζονται για να παράγουν μια μέγιστη ισχύ με ταχύτητες ανέμου γύρω στα 15 m/s. Δεν θα πληρώσει για να σχεδιάσει γεννήτριες ώστε να μεγιστοποιήσει την παραγομένη ενέργεια σε ισχυρούς ανέμους, επειδή τέτοιοι ισχυροί άνεμοι είναι συνήθως πάρα πολύ σπάνιοι. Εντούτοις, σε περίπτωση ισχυρών ανέμων, είναι απαραίτητο να σπαταλήσει μέρος του πλεονάσματος της ενέργειας για να αποφύγει ζημιά στην ανεμογεννήτρια. Κατά συνέπεια, η ανεμογεννήτρια χρειάζεται κάποιο είδος ελέγχου της δύναμης. Ο έλεγχος δύναμης διαιρείται σε δύο κατηγορίες (καθεστώτα) με διαφορετικές έννοιες:

- 1) βελτιστοποίηση δύναμης για τις χαμηλές ταχύτητες ανέμου.
- 2) περιορισμός δύναμης για τις υψηλές ταχύτητες ανέμου.

Αυτές οι κατηγορίες (καθεστώτα) χωρίζονται από την ταχύτητα του ανέμου στην οποία η μέγιστη παραγωγή δύναμης επιτυγχάνεται, χαρακτηριστικά στα 15 m/sec. Βασικά, υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις ελέγχου της δύναμης:

- 1) έλεγχος (θαλαμίσκου)
- 2) έλεγχος του κυρίου μέρους
- 3) ενεργός έλεγχος (θαλαμίσκου)

Το φαινόμενο των θαλαμίσκων χρησιμοποιείται για να περιορίσει τη παραγωγή δύναμης όταν η ταχύτητα ανέμου γίνεται πάρα πολύ υψηλή. Αυτό επιτυγχάνεται σχεδιάζοντας τη γεωμετρία των πτερυγίων των στροφών με τέτοιο τρόπο ώστε ο διαχωρισμός της ροής να δημιουργείται στη προς τον πνέοντα άνεμο πλευρά του πτερυγίου όταν η ταχύτητα αέρα υπερβαίνει κάποια επιλεγμένη κρίσιμη τιμή. Μερικά μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι: χαμηλότερη αποδοτικότητα στις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου, μη υποστηριζόμενη έναρξη και παραλλαγή στη μέγιστη σταθερότητα της κατάστασης της ενέργειας λόγω παραλλαγής στην πυκνότητα του αέρα και στις συχνότητες του πλέγματος.

Η παραγωγή δύναμης είναι ελεγχόμενη και όποτε γίνεται πολύ υψηλή, τα πτερύγια θα “ριχτούν” πολύ λίγο έξω από τον άνεμο για να μειωθεί η

παραθείσα δύναμη. Τα πτερύγια θα “ριχτούν” πάλι πίσω όταν η ταχύτητα του ανέμου πέσει (μειωθεί). Ένα πλεονέκτημα του ελέγχου του κυρίου μέρους των γεννητριών είναι ότι έχει έναν καλό έλεγχο δύναμης, δηλ. ο μέσος όρος της αξίας της παραγομένης δύναμης κρατιέται κοντά στην εκτιμημένη δύναμη της γεννήτριας στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Τα μειονεκτήματα συμπεριλαμβάνουν επιπλέον πολυπλοκότητα λόγω του μηχανισμού του κυρίου μέρους και υψηλής δύναμης διακυμάνσεων σε υψηλές ταχύτητες ανέμου.

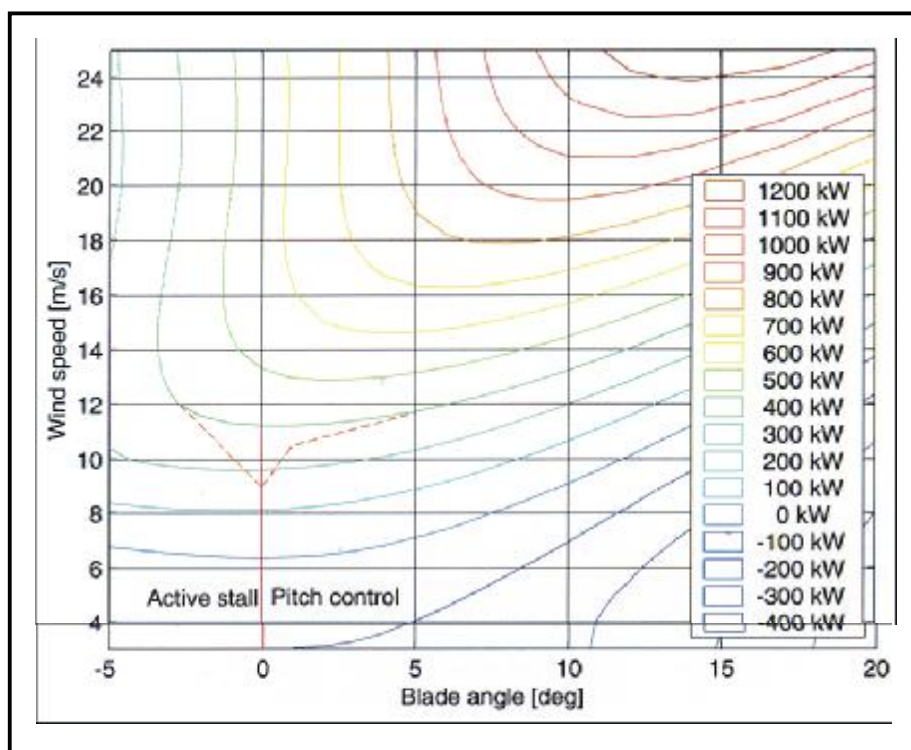
Οι ενεργοί έλεγχοι θαλαμίσκων των γεννητριών μοιάζουν με τους ελέγχους κυρίου μέρους των γεννητριών λόγω του ότι έχουν πτυσσόμενα πτερύγια. Σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, οι ενεργοί θαλαμίσκοι των γεννητριών θα λειτουργήσουν όπως οι γεννήτριες ελέγχου του κυρίου μέρους. Σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, θα ρίχνουν τα πτερύγια στην αντίθετη κατεύθυνση από ότι θα έκανε μια γεννήτρια ελέγχου του κυρίου μέρους και θα αναγκάσει τα πτερύγια μέσα στο θαλαμίσκο. Αυτό επιτρέπει έναν μάλλον ακριβή έλεγχο της παραγομένης δύναμης, και το καθιστά πιθανό να λειτουργεί τη γεννήτρια στην εκτιμημένη δύναμη σε όλες τις υψηλές ταχύτητες ανέμου. Αυτός ο τύπος ελέγχου έχει το πλεονέκτημα να έχει τη δυνατότητα να αντισταθμίζει τις παραλλαγές στη πυκνότητα του ανέμου.

Το σχήμα 1-5 παρουσιάζει ίσο-δυναμικές καμπύλες για την ανεμογεννήτρια ως λειτουργία της γωνίας των πτερυγίων και τη μέση ταχύτητα του ανέμου. Οι σειρές για τον έλεγχο κυρίου μέρους και τον ενεργό έλεγχο θαλαμίσκων είναι χωρισμένες σε γωνιά πτερυγίων των 0° με την επιπεδότητα των στροφών. Σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, η βέλτιστη λειτουργία της ανεμογεννήτριας επιτυγχάνεται με γωνιά πτερυγίων κοντά στις 0° . Σε υψηλότερες ταχύτητες ανέμου, η γεννήτρια θα υπερπαραγάγει εάν η γωνία των πτερυγίων δεν ρυθμιστεί αναλόγως.

Οι καμπύλες ISO-DYNAMIS (Σχήμα 1-5) επεξηγούν πώς η μετάβαση μεταξύ της λειτουργίας με γωνιά πτερυγίων 0° μοιρών σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου και η λειτουργία περιορισμού ισχύος κατά μήκος μιας καμπύλης ISO-DYNAMIS σε υψηλές ταχύτητες ανέμου μπορούν να επιτευχθούν για τον στρόφρα τριών- πτερυγίων, σε μια εκτιμημένη ισχύ των 400 kW. Σε αυτό το παράδειγμα, η εκτιμημένη ισχύς έχει φθάσει σε μια ταχύτητα αέρα περίπου 12 m/s.

2.3) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Το ιδανικό σχέδιο ανεμογεννητριών δεν υπαγορεύεται από την τεχνολογία μόνο, αλλά από έναν συνδυασμό τεχνολογίας και οικονομίας. Οι κατασκευαστές ανεμογεννητριών επιθυμούν να βελτιστοποιήσουν τις μηχανές τους, έτσι ώστε παραδίδουν την ηλεκτρική ενέργεια στο χαμηλότερο δυνατό κόστος ανά μονάδα ισχύος. Σε αυτό το πλαίσιο, δεν είναι απαραίτητα το καλύτερο να μεγιστοποιηθεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή, εάν αυτό θα απαιτούσε μια πολύ ακριβή ανεμογεννήτρια. Από τότε που η ενεργειακή εισαγωγή (ο αέρας) είναι ελεύθερη, το βέλτιστο σχέδιο γεννητριών είναι ένα με χαμηλές δαπάνες παραγωγής ανά παραχθείσα kWh. Η επιλογή του μεγέθους των στροφών και του μεγέθους των γεννητριών εξαρτάται πάρα πολύ από τη διανομή της ταχύτητας του αέρα και την δυνατότητα της ενέργειας του αέρα σε μια ενδεχόμενη θέση. Μερικές φορές θα είναι ευεργετικό να εγκατασταθεί μια ανεμογεννήτρια με δύο γεννήτριες με διαφορετικές εκτιμημένες δυνάμεις.



{Οι καμπύλες ISO-DYNAMIS (σχήματος 1-5). για μια ανεμογεννήτρια, σε 26,88 περιστροφές/λεπτό με τη γωνία πτερυγίων }

2.4) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ.

Μια μελέτη διαφορετικών Δανικών σχεδίων ανεμογεννητριών δείχνουν ότι η συγκεκριμένη δύναμη απόδοσης, από την άποψη της παραχθείσας ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο της περιοχής των στροφών ετησίως ($\text{kWh} / \text{m}^2 / \text{έτος}$), είναι σχεδόν ανεξάρτητη από το μέγεθος στροφών.

Ως εκ τούτου, η κύρια εκτίμηση της αξιολόγησης του κόστους της γεννήτριας είναι η συγκεκριμένη ισχύ των στροφών (kW / m^2) και το συγκεκριμένο κόστος ($\text{cost} / \text{m}^2 \text{ rotor}$) μαζί με το αναμενόμενο σέρβις ζώνης, το κόστος και τη διαθεσιμότητα.

Κατά συνέπεια ο αρχικός παράγοντας που έχει επιπτώσεις στην απόδοση της δύναμης είναι το μέγεθος στροφών.

2.4.1) ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΥΝΑΜΗΣ

Η ισχύς που παράγεται από οποιοδήποτε τύπο ανεμογεννήτριας μπορεί να εκφραστεί ως:

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

P = παραγομένη ισχύς

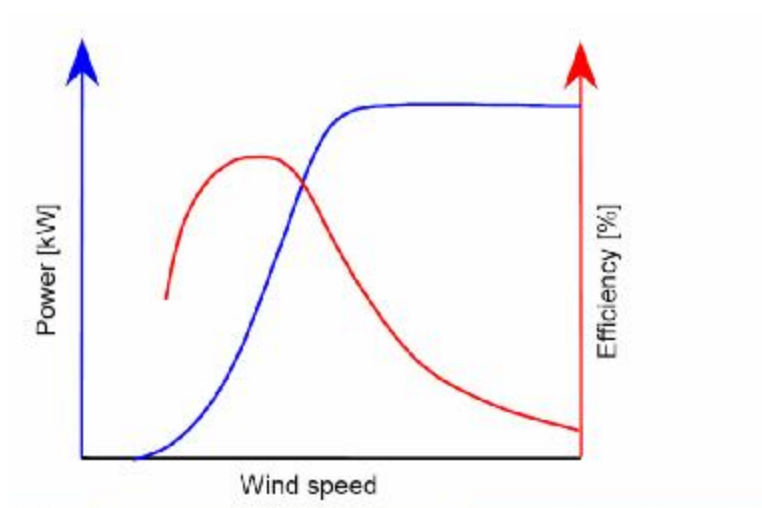
ρ = πυκνότητα αέρα

V = ελεύθερη ταχύτητα αέρα

A = εμβαδόν ρότορα

C_p = συντελεστής αποδοτικότητας

Ο συντελεστής ισχύος C_p είναι ένα προϊόν της μηχανικής αποδοτικότητας η_m , της ηλεκτρικής αποδοτικότητας η_e , και της αεροδυναμικής αποδοτικότητας. Και οι τρεις αυτοί συντελεστές είναι εξαρτώμενοι από την ταχύτητα του ανέμου και την παραγομένη ισχύ (ενέργεια), αντίστοιχα.



“Figure 1-6”: power and efficiency curve. (σελ.6)

Η παραχθείσα δύναμη ποικίλλει με την ταχύτητα του αέρα όπως μπορεί να φανεί από την μπλε γραφική παράσταση στο ΣΧΗΜΑ 1-6. Η μορφή της γραφικής παράστασης ποικίλλει ελαφρώς από τις διαφορετικές έννοιες (concepts). Υποθέτοντας σταθερή (συνεχή) αποδοτικότητα (π.χ. συνεχή αναλογία ταχύτητας άκρων), η γραφική παράσταση βασικά θα αποτελείται από ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού μέχρι την εκτιμημένη (ονομαστική) ταχύτητα αέρα στην οποία έχει επιτευχθεί η ονομαστική ισχύς. Η καμπύλη της ισχύος και η καμπύλη της αποδοτικότητας της ισχύος συχνά παρουσιάζονται στο ίδιο γράφημα, με την ισχύ και την αποδοτικότητα να αναρριχώνται σε κάθε πλευρά του γραφήματος αντίστοιχα όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.

Το Σχήμα 1.7 δείχνει (απεικονίζει) εμφανώς την καμπύλη ελεγχόμενης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας, στην περίπτωση:

1) έλεγχος (θαλαμίσκου), αμετάβλητη διαμόρφωση (σχηματισμός) ταχύτητας

2) έλεγχος του κυρίου μέρους, ευμετάβλητη διαμόρφωση (σχηματισμός) ταχύτητας

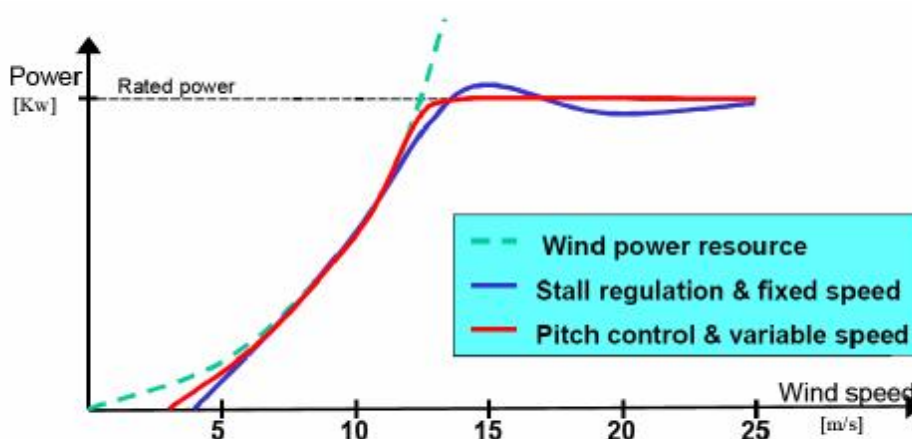
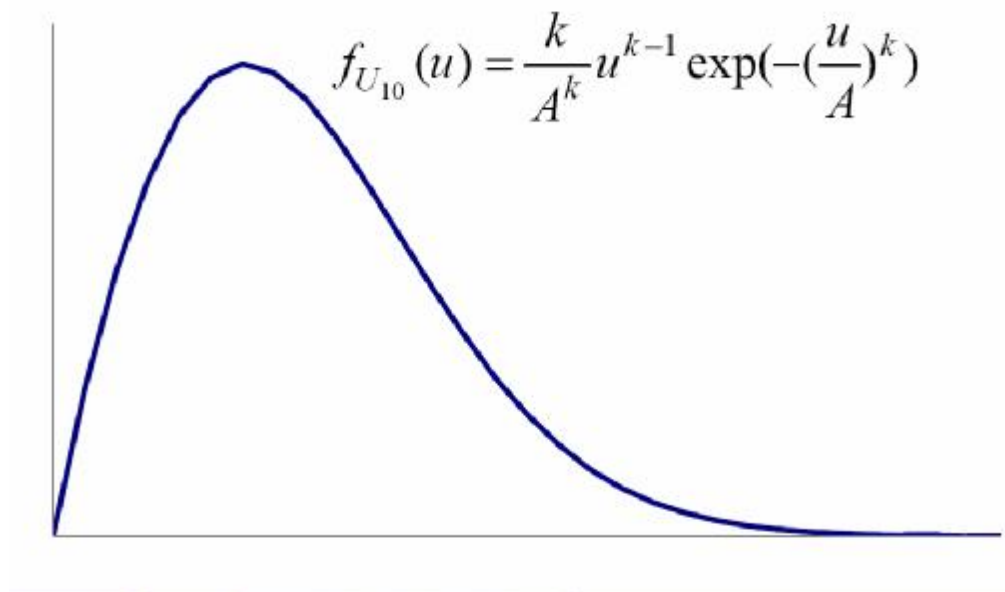


FIGURE 1.7: Examples of power curves for two types of wind turbines.

Ο παράγοντας αποδοτικότητας C_p φθάνει χαρακτηριστικά στο μέγιστο με μια ταχύτητα ανέμου 7-9 m/sec και, κανονικά, δεν υπερβαίνει το 50%. Η ηλεκτρική ισχύς φθάνει την εκτιμημένη (ονομαστική) ισχύ της γεννήτριας σε μια ταχύτητα αέρα 14- 16 μ/SEC .

2.4.2) ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ

Η διανομή της ταχύτητας του αέρα συχνά αντιπροσωπεύεται από μια διανομή Weibull. Η λειτουργία της πυκνότητας της πιθανότητας Weibull μπορεί να εκφραστεί όπως φαίνεται στο σχήμα 1-8.



ΣΧΗΜΑ 1-8 : Weibull density function.

Ως εκ τούτου, για μια συγκεκριμένη περιοχή το είδος του ανέμου μπορεί να περιγραφεί εξ ορισμού από τις παραμέτρους A και K , και από αυτές ο μέσος όρος της ταχύτητας του ανέμου V_{ane} , όπως καθορίζεται στο IEC 61400-1, και μπορεί να υπολογιστεί από:

$$V_{ane} = \begin{cases} A\Gamma(1+1/k) \\ A\sqrt{\pi/2}, \text{if } k=2 \end{cases}$$

Στον οποίο Γ είναι η λειτουργία γράμμα.

Στα δανικά πρότυπα είναι κοινό για περιγράφεται το κλίμα του ανέμου εξ ορισμού από την κατηγορία της τραχύτητας, και ένας ρητός συσχετισμός να υπάρχει μεταξύ της κατηγορίας της τραχύτητας και στη μέση ταχύτητα ανέμου. Για μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια, η παραγωγή της ισχύος καθορίζεται από την καμπύλη ισχύος όπως περιγράφεται ανωτέρω. Συνδυάζοντας τη καμπύλη της ισχύος με την κατανομή του ανέμου η πραγματική ενεργειακή παραγωγή αποδίδεται, συχνά εκφράζεται από τον ορισμό της ετησίας παραγωγής ενέργειας E_{year} .

$$E_{year} = N_o \int_{V_{start}}^{V_{stop}} P(u) f(u) du$$

$P(u)$ = λειτουργία καμπύλης της ισχύος

$F(u)$ = λειτουργία διανομής του ανέμου

V_{start} = cut-in ταχύτητα του ανέμου

V_{stop} = cut-out ταχύτητα του ανέμου

N_o = 8765 hours/year

Διαιρώντας το Eyear με το εμβαδόν του ρότορα αποδίδεται η ειδική απόδοση της ισχύος, που είναι ένας άλλος τρόπος για να εκφραστεί η αποδοτικότητα.

Η συνολική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από μια ανεμογεννήτρια κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ενός χρόνου, υποθέτοντας μια ορισμένη διανομή της ταχύτητας του ανέμου, πιθανότητα πυκνότητας και υποθέτοντας 100% διαθεσιμότητα, αναφέρεται ως η ετησία απόδοση δυναμικής ενέργειας.

2.5) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ

Οι ανεμογεννήτριες ανεγείρονται (δημιουργούνται) όπως οι αυτόνομες γεννήτριες, σε ομάδες πολλαπλών γεννητριών, ή – σε μια μεγαλύτερη κλίμακα – στις διαμορφώσεις πάρκων. Πριν από τη δεκαετία του '80, η ανάπτυξη της αολικής ενέργειας ήταν εστιασμένη σε χαρακτηριστικές (ιδιαιτέρες, ξεχωριστές) ανεμογεννήτριες. Στις αρχές της δεκαετίας του '80, το τυπικό μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας ήταν περίπου 55 KW σε σχέση με την ισχύ (ενέργεια) λειτουργίας, δεδομένου ότι τα μεγέθη των γεννητριών σήμερα έχουν υπερβεί τα 2 MW. Ο πίνακας 1-1 δίνει παραδείγματα τυπικών συνδυασμών της διαμέτρου του ρότορα και της δύναμης λειτουργίας για έναν αριθμό διαφορετικών υψών του πύργου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1 : ΤΥΠΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

ΥΨΗ ΠΥΡΓΟΥ (m)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΟΤΟΡΑ (m)	ΔΥΝΑΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (KW)
22	21	55
31	30	225
35	35	450
35-40	41-44	500
44	43	600
50	48	750
50	54	1000
60	58	1500
64-80	72-76	2000
85	115	5000



Figure 1-9. Vindeby Offshore Wind Farm. From www.windpower.org (1997) © Bonus

Εφόσον η αιολική ενέργεια είναι ήδη οικονομική σε σχέση με τις καλές από την ακτή εγκαταστάσεις, είναι επί του παρόντος κοντά στο να ανταλλάξει τα οικονομικά σύνορα βάζοντας στην άκρη για το μέλλον τις ακτογραμμές: η μεσοθαλάσσια αιολική ενέργεια έχει γίνει ανταγωνιστική με άλλες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Τα κόστη κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερα στην θάλασσα, αλλά η παραγωγή ενέργειας είναι επίσης πολύ μεγαλύτερη. Επί του παρόντος, η αιολική ενέργεια από τις γεννήτριες που ανορθώθηκαν σε σταθερά θεμέλια σε πάνω από 15m βάθος νερού θεωρήθηκε οικονομικά εφικτό. Η εικόνα 1-9 δείχνει ένα παράδειγμα από ένα πρόσφατο μεσοθαλάσσιο αιολικό πάρκο.

2.6) ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ (CONCEPTS)



Εικόνα 1-10: η αρχή μιας εύκαμπτης ανεμογεννήτριας. Κατά τη διάρκεια σταθερής- βάσης (stand-still), τα πτερύγια αποκλίνουν αιφνίδια στον άνεμο.

Μέχρι τώρα η ανάπτυξη των μεγάλων ανεμογεννητριών έχει γίνει κυρίως με την αναβάθμιση των κυρίαρχων σχεδίων που περιγράφηκαν σε αυτό το τμήμα (κομμάτι). Ακόμη ,νέες έννοιες για σχέδια και συνιστώσες των ανεμογεννητριών έχουν αναπτυχθεί σε μια προσπάθεια να επιστρεφθούν οι απαιτήσεις για την συνεχή ανάπτυξη των ανεμογεννητριών.

Μια πρόταση για ένα μελλοντικό σχέδιο έχει χαρακτηριστεί από περισσότερα σχέδια εύκαμπτης ανεμογεννήτριας. Ένα στοιχείο σε αυτό είναι

μια αναμενόμενη ανάπτυξη της ευκαμψίας της μηχανής καθοδήγησης, π.χ., όσον αφορά τα σχέδια των εξαρτημάτων με μεταβλητές περιστροφικές ταχύτητες, και μια πιο εκτεταμένη χρήση των ενεργειακών ηλεκτρονικών μπορεί επίσης να είναι αναμενόμενη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

ΠΑΡΚΑ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρισμού, απαιτεί την εγκατάσταση πολλών ανεμογεννητριών. Υπάρχουν πολλά οικονομικά οφέλη, αν αυτές οι γεννήτριες εγκαθίστανται σε μονάδες, που ονομάζουμε πάρκα αιολικής ενέργειας (wind farms).

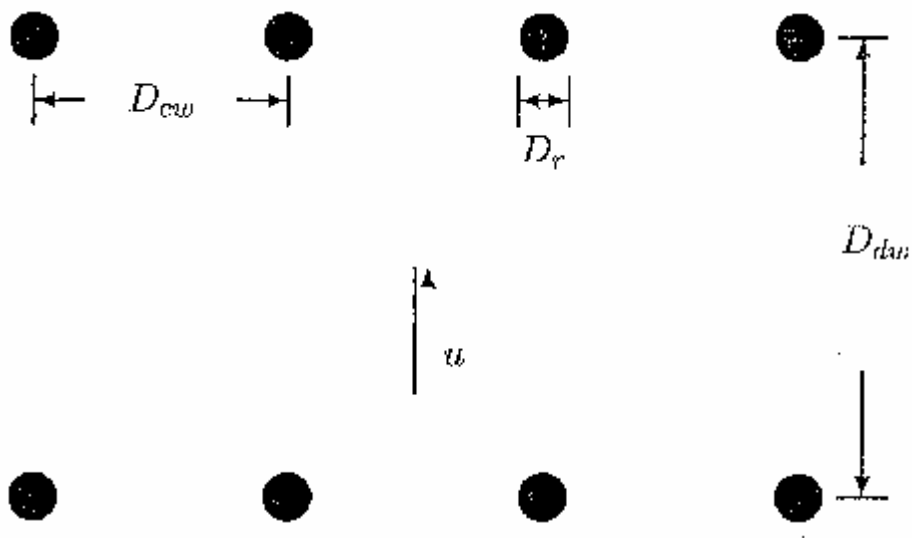
Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει μερικά από τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών. Θα εξετάσουμε την τοποθέτηση των γεννητριών (τουρμπινών) σε μια σειρά, την εγκατάσταση των τουρμπινών και το απαιτούμενο ηλεκτρικό σύστημα. Θα υπάρχει ένα άριστο σχέδιο, στο οποίο η παραγωγή ενέργειας ανά δολάριο της επένδυσης είναι η μέγιστη. Θα δούμε πως να φτιάχνουμε ένα τέτοιο σχέδιο, σε αυτό το κεφάλαιο.

3.1) **ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

Οι γεννήτριες (τουρμπίνες) τυπικά θα τοποθετηθούν σε σειρές κάθετες στην κατεύθυνση του ανέμου. Η απόσταση μεταξύ δύο γεννητριών σε μια σειρά μπορεί να είναι 2 έως και 4 φορές οι διάμετροι του ρότορα, εάν οι άνεμοι πνέουν κάθετα στην σειρά όλη την ώρα. Αν ο άνεμος χτυπήσει μια δεύτερη γεννήτρια, προτού η ταχύτητα του ανέμου να έχει αποκατασταθεί από το χτύπημα σε μια προηγούμενη γεννήτρια, η παραγωγή ενέργειας από την δεύτερη γεννήτρια, θα μειωθεί ανάλογα με την παραγωγή. Το ποσό της μείωσης είναι συνάρτηση της διάτμησης του ανέμου, της αναταραχής στον άνεμο, της αναταραχής που προστίθεται από τις γεννήτριες, και το ανάγλυφο του εδάφους. Αυτή η μείωση μπορεί εύκολα να είναι στο εύρος του 5-10% για αποστάσεις περίπου 10 διαμέτρων του ρότορα στην κατεύθυνση του ανέμου. Μεγαλώνοντας την απόσταση μεταξύ των γεννητριών θα παραχθεί περισσότερη ισχύς, αλλά αυτό θα κοστίσει σε έδαφος, δρόμους και ηλεκτρικά καλώδια.

Θα ορίσουμε δύο σταθερές αποστάσεις γεννητριών, D_{cw} , ως την κάθετη στην φορά του ανέμου απόσταση ανάμεσα σε μια σειρά γεννητριών και D_{dw} ως την ευθεία με την φορά του ανέμου απόσταση, ανάμεσα σε σειρές γεννητριών. Αυτά υπολογίζονται ως μια σταθερά, τόσες φορές όσες ο αριθμός των διαμέτρων ρότορα, D_r . Τα δεδομένα φαίνονται στο σχήμα 1.

Για τις μεσαίες πολιτείες από το Τέξας μέχρι την Βόρεια Ντακότα, φαίνεται ότι μια λογική απόσταση είναι 4 διάμετροι ρότορα ανάμεσα σε γεννήτριες σε μια σειρά και 10 διάμετροι ρότορα ανάμεσα σε σειρές γεννητριών. Οι σειρές θα ευθυγραμμισθούν κατά μήκος της φοράς του ανέμου, συνήθως σε μια ανατολικοδυτική κατεύθυνση, σε αυτό το μέρος του κόσμου, όπου οι δυνατοί άνεμοι είναι συνήθως από τα βόρεια ή τα νότια. Θα θεωρήσουμε ότι αποστάσεις λιγότερες από 3 D_r σε μια σειρά, οι 8 D_r ανάμεσα σε σειρές, θα χρειαστούν ιδιαίτερη δικαιολόγηση (ή ερμηνεία).



Σχέδιο 1: Διαστάσεις τουρμπινών σε ένα αιολικό πάρκο

3.2) ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή μιας ανεμογεννήτριας είναι να αποκτήσει την άδεια να χρησιμοποιήσει το έδαφος. Το έδαφος μπορεί είτε να αγοραστεί είτε να ενοικιασθεί, ανάλογα με τις περιστάσεις. Η εκμίσθωση του εδάφους για παραγωγή ενέργειας, όπως παραγωγή πετρελαίου ή αερίου, είναι κοινή και πιο λογική.

Διατηρεί το κεφάλαιο στο ελάχιστο (γίνεται συχνά σε αυτή την χώρα). Ίσως είναι η μόνη πρακτική μέθοδος για να αποκτήσει κανείς μεγάλα τμήματα εδάφους, από πολλούς ιδιοκτήτες, αν σχεδιάζει κανείς να δημιουργήσει ένα μεγάλο χώρο με ανεμογεννήτριες. Ανάλογα με τον τύπο των γεννητριών και τις αποστάσεις, το μεγαλύτερο τμήμα του εδάφους, μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς σκοπούς. Για παράδειγμα μία αυτοσυντηρούμενη γεννήτρια πολλών MWatt, όπως η MOD-2, απαιτεί μόνο ένα εκτάριο ή περίπου τόσο (2 με 4 acres) γύρω από την βάση της για συντήρηση (διατήρηση). Η πιθανότερη πυκνότητα αυτής της γεννήτριας, ίσως να είναι 4 με 6 ανά τετραγωνικό μίλι στο Great Plains, το οποίο θα απαιτούσε

λιγότερο από 5% της γης εκτός παραγωγής (λειτουργίας). Την εκμίσθωση γης σίγουρα θα τη προτιμούσαν για μια τέτοια εγκατάσταση.

Από την άλλη οι γεννήτριες πολλών MWatt δεν είναι επικερδής, οπότε στις ανεμογεννήτριες τοποθετούνται μικρότερες τουρμπίνες, κυρίως στο εύρος των 50 με 500 KW. Οι μικρότερες τουρμπίνες θα έχουν μία αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητα στο έδαφος και επομένως θα αναλαμβάνουν περισσότερες γεωργικές διαδικασίες. Για παράδειγμα η Carter 300, μια περιορισμένης τάσης τουρμπίνα που κυμαίνεται στα 300 KW, με απόσταση στη φορά του ανέμου 4 διαμέτρων και απόσταση κάθετα στον άνεμο 10 διαμέτρων ρότορα, θα έχει 8 σειρές από 20 τουρμπίνες σε ένα τετραγωνικό μίλι εδάφους στην κάθε μία. Οι δρόμοι πρόσβασης και τα καλώδια περιορισμένης τάσης θα έκαναν πολύ δύσκολο το να καλλιεργηθούν σειρές σοδειών. Ίσως να είναι καλύτερα να αγοράσει κανείς τη γη, να φυτεύσει γρασίδι για να ελαχιστοποιήσει τη διάβρωση και πιθανόν να το “μαζέψει” ως τροφή για τα βοοειδή. Στα παραδείγματα που θα δοθούν πιο μετά στο κεφάλαιο θα θεωρείται ότι η γη έχει αγοραστεί.

Στο Great Plains, η γη θεωρητικά πωλείται με το τετραγωνικό μίλι, που ονομάζεται «τομέας» (section) (640 acres) ή ως ακέραια συνάρτηση του τομέα. Ο μισός τομέας περιέχει 320 acres, 1/4 του τομέα περιέχει 160 acres κ.τ.λ. Το ¼ του τομέα μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα των 80 acres, όπου η διαχωριστική γραμμή θα είναι είτε ανατολικοδυτικά ή βόρεια-νότια. Αυτό φέρει κάποιους περιορισμούς στο πόση γη (έδαφος) πρέπει να αγοραστεί. Αν 80 acres δεν είναι αρκετά, τότε το επόμενο επιτρεπτό μέγεθος είναι ίσως τα 160 acres.

Το μισό ενός τομέα πιθανόν να είναι το επόμενο βήμα μετά το τέταρτο του τομέα και θα πρέπει να προσανατολιστεί ανατολικοδυτικά, παρά βόρεια-νότια, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρον τους ανέμους. Η γη θα πρέπει να υπολογίζεται σε επιπρόσθετα των 80 acres ποσά.

Δρόμοι πρόσβασης απαιτούνται για κάθε γεννήτρια, τόσο για την κατασκευή όσο και για συντήρηση αργότερα. Ίσως να υπάρχουν μερικοί χώροι που δεν απαιτούν δρόμους πρόσβασης, εξαιτίας του πετρώδους ή αμμώδους εδάφους, αλλά οι περισσότεροι χώροι απαιτούν διαβαθμισμένους δρόμους με επιφάνεια από θρυμματισμένους βράχους ή μικρές πέτρες, έτσι ώστε τα μηχανήματα να μπορούν να φτάσουν στο χώρο των γεννητριών με

ότι καιρό κι αν έχει. Το ελάχιστο μήκος των δρόμων πρόσβασης θα ήταν το συνολικό μήκος όλων των σειρών των γεννητριών, συν την απόσταση κατά μήκος της ανεμογεννήτριας, που είναι κάθετη στις σειρές, συν την απόσταση από τον κοντινότερο δρόμο στην ανεμογεννήτρια. Μερικοί τύποι γεννητριών, όπως η Carter 300, ίσως απαιτούν δύο δρόμους πρόσβασης ανά σειρά γεννητριών. Ο ένας δρόμος θα είναι για την πρόσβαση στη βάση της γεννήτριας και ο άλλος δρόμος θα είναι για να φτάσουμε στο σημείο “guy”, στο οποίο η γεννήτρια καταβυθίζεται για την συντήρησή της. Ενώ το μήκος των δρόμων πρόσβασης και το μήκος των ηλεκτρικών καλωδίων που απαιτείται για να συνδέσει τις γεννήτριες μεταξύ τους είναι εύκολο να υπολογιστεί για έναν δεδομένο χώρο με μια δεδομένη διάταξη γεννητριών, εμπειριστατωμένες οικονομικές μελέτες που περιλαμβάνουν διαφορετικών μεγεθών ανεμογεννήτριες, πιθανόν με διαφορετικές τουρμπίνες, είναι πιο εύκολα πραγματοποιήσιμες με απλές μεθόδους που προσδιορίζουν αυτά τα μήκη για δεδομένες υποθέσεις. Επομένως θα αναπτύξουμε έναν κώδικα, ο οποίος θα επιτρέπει την πραγματοποίηση τέτοιων μελετών σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Ορίζουμε το ποσό ισχύος μίας γεννήτριας ως P_{tur} και τον αριθμό των γεννητριών σε μία ομάδα ανεμογεννητριών ως N_{tfarm} . Το συνολικό ποσό ισχύος μιας ανεμογεννήτριας, P_{wf} , θα είναι:

$$P_{wf} = N_{tfarm} * P_{tur} \quad (1)$$

Η κάθε σειρά θα έχει ένα μήκος, D_{row} , όπως αυτό καθορίζεται από περιορισμούς του εδάφους και του ηλεκτρισμού. Στο Great Plains, οι δρόμοι της επαρχίας και των πόλεων συνήθως έχουν μια απόσταση ανάμεσα στους κεντρικούς δρόμους της τάξεως του 1 μιλίου (5280 ft), οπότε μια σειρά μήκους 5000 ft, θα επέτρεπε στις τελευταίες γεννήτριες να βρίσκονται σε απόσταση 140 ft από τον δρόμο. Αυτό θα ήταν συνήθως το πρακτικό μέγιστο μήκος μιας σειράς σε αυτό το μέρος του κόσμου. Ο κατά προσέγγιση αριθμός γεννητριών σε μια σειρά, N'_{trow} , για μια κατά προσέγγιση απόσταση σειρών, D'_{cw} , θα δίνεται από τον εξής τύπο:

$$N_{trow} = \frac{D_{row}}{D_{cw}} + 1 \quad (2)$$

Αυτός ο υπολογισμός θα δίνει ακέραιο αποτέλεσμα. Δηλαδή ένα αποτέλεσμα, π.χ. 9,62 θα ερμηνευθεί είτε ως 9 ή ως 10 γεννήτριες ανά σειρά. Άλλοι περιορισμοί ίσως απαιτούν μια μικρότερη ή μεγαλύτερη τιμή. Αν τέσσερις γεννήτριες πρέπει να λειτουργήσουν από έναν μόνο μετασχηματιστή, για παράδειγμα, τότε ίσως είναι οικονομικά επιθυμητό να έχουμε τον αριθμό των γεννητριών σε μια σειρά και να είναι κάποιο πολλαπλάσιο του 4, όπως 8 ή 12 για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό μας των 9,62 γεννητριών ανά σειρά.

Μία επιλογή σχεδίου που πρέπει να γίνει είναι το αν θα πρέπει να κρατηθεί η απόσταση των γεννητριών ακριβώς στις τέσσερις (4) διαμέτρους του ρότορα, για παράδειγμα, και να αφήσουμε το μήκος της σειράς να είναι λιγότερο από την μέγιστη πιθανή τιμή ή να γεμίσουμε όλο τον διαθέσιμο χώρο και να αφήσουμε την απόσταση των γεννητριών να διαφέρει από τις ακριβώς τέσσερις (4) διαμέτρους ρότορα.

Κάποιος γενικά θέλει να χρησιμοποιήσει όλη την διαθέσιμη γη, αλλά υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου μια μικρή μονάδα ανεμογεννητριών πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα μεγάλο μέρος του εδάφους, όπου κάποιος απλά θα χρησιμοποιούσε την καθιερωμένη απόσταση τουρμπινών.

Μόλις ο ακριβής αριθμός των γεννητριών ανά σειρά, N_{trow} , έχει επιλεγεί μαζί με το ακριβές μήκος των σειρών, D_{row} , η ακριβής απόσταση των γεννητριών σε μια σειρά, D_{cw} , θα δίνεται από τον τύπο:

$$D_{cw} = \frac{D_{row}}{N_{trow} - 1} \quad (3)$$

Ο αριθμός των σειρών και το αντίστοιχο μήκος της κολώνας μιας γεννήτριας, D_{col} , θα καθορίζεται με παρόμοιο τρόπο. Το μέγεθος του τμήματος της γης και οι διαζωνικές απαιτήσεις, θα καθορίσουν το μέγιστο μήκος της κολώνας. Ο μέγιστος αριθμός των σειρών θα χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο συνολικός αριθμός τουρμπινών στην μονάδα ανεμογεννητριών και το συνολικό ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να

υπάρξουν οικονομικοί ή τεχνικοί περιορισμοί στον αριθμό των τουρμπινών ή στη συνολική ενέργεια, οπότε ίσως να χρειάζονται λιγότερες σειρές. Επίσης μπορεί να υπάρχει η ανάγκη για έναν μονό ή ζυγό αριθμό σειρών για την οικονομική πρόοδο της διάταξης της μονάδας ανεμογεννητριών. Ένα ορθογώνιο τμήμα εδάφους, αναμένεται να έχει τον ίδιο αριθμό γεννητριών σε κάθε σειρά παρόλο που κάποια τοπικά, εδαφικά χαρακτηριστικά, ίσως απαιτούν κάποιες γεννήτριες να μην συμπεριληφθούν στο σημείο που θα κατείχαν διαφορετικά. Ίσως να χρειαστεί να υπάρξει μια επανάληψη στον υπολογισμό του αριθμού των γεννητριών ανά σειρά και στον αριθμό των σειρών.

Μόλις το μήκος της κολώνας, D_{col} , και ο αριθμός των σειρών, N_{rows} , έχουν επιλεγθεί, η ακριβής απόσταση με την φορά του ανέμου, D_{dw} , μπορεί να υπολογιστεί:

$$D_{dw} = \frac{D_{col}}{N_{rows} - 1} \quad (4)$$

Το μήκος ενός ορθογωνίου φράχτη, περιμετρικά της μονάδας ανεμογεννητριών θα είναι:

$$D_{fence} = 2 * (D_{row} + 2ht + D_r) + 2 * (D_{col} + 2ht + D_r) \quad (5)$$

Όπου το ht είναι το κεντρικό ύψος μιας γεννήτριας και D_r είναι η διάμετρος του ρότορα. Αυξάνοντας το μήκος του φράχτη κατά το κεντρικό ύψος συν την μισή διάμετρο του ρότορα σε κάθε πλευρά, θα επιτρέπει σε κάθε γεννήτρια να τοποθετείται σε κάθε κατεύθυνση, χωρίς ο ρότορας να χτυπάει τον φράχτη. Αν οι γεννήτριες δεν γέμιζαν ολόκληρη την αγορασμένη περιοχή, τότε ο φράχτης θα ήταν μεγαλύτερος, αφού κανονικά θα τοποθετούνταν στα σύνορα. Εάν ένας τομέας του εδάφους έχει αγοραστεί, το μήκος του φράχτη θα ήταν κατά προσέγγιση 4 μίλια.

3.3) ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Τώρα στρέφουμε την προσοχή μας στο ηλεκτρικό δίκτυο, που χρειάζεται για να συνδεθούν οι γεννήτριες με την βοηθητική γραμμή. Οι περισσότερες γεννήτριες, παράγουν δύναμη 480 Volt τριφασική, μια διαφορά δυναμικού πολύ χαμηλή για να εκπέμπει σε μεγάλες αποστάσεις. Ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές θα απαιτούνται λοιπόν, για να φτάσει η διαφορά δυναμικού στο κατάλληλο επίπεδο.

Η εγκατάσταση θα πρέπει να είναι ασφαλής για τους ανθρώπους στην λειτουργία και τη συντήρηση. Η μονάδα ανεμογεννητριών δεν πρέπει να είναι επιζήμια για την βοηθητική γραμμή και παρομοίως η βοηθητική γραμμή δεν θα πρέπει να βλάψει τις γεννήτριες με τις κανονικές μεταγωγικές διαδικασίες. Ο Εθνικός Ηλεκτρικός Κώδικας (NEC) καλύπτει πολλές περιπτώσεις και μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ελάχιστη σταθερά (παρά ένα σχεδιασμένο εγχειρίδιο). Δηλαδή κάποιος μπορεί πάντα να προσθέσει, περισσότερο εξοπλισμό ασφάλειας, πέρα από τις βασικές απαιτήσεις του NEC. Η βοηθητική γραμμή πιθανόν απαιτεί διάφορους προστατευτικούς ενισχυτές και άλλες συσκευές επιπρόσθετα στις απαιτήσεις του NEC για να εξασφαλίσει συμβατότητα με το σύστημά τους.

Το κόστος είναι ένας επίσης σημαντικός παράγοντας, οπότε ο πειρασμός του να προσθέσει μη απαραίτητο εξοπλισμό ασφάλειας, θα πρέπει να υπερνικηθεί. Ο εξοπλισμός ασφάλειας μπορεί να αποτύχει, όπως κάθε άλλος εξοπλισμός, οπότε ένα περίπλοκο σύστημα θα απαιτεί περισσότερη συντήρηση από ένα απλό σύστημα. Ένα περίπλοκο σύστημα είναι πιο δύσκολο για έναν τεχνικό να καταλάβει και να ασχοληθεί με αυτό, αυξάνοντας την πιθανότητα του ανθρώπινου λάθους και τυχόν τραυματισμούς. Ίσως να ισχύει ότι στον ελεγχόμενο χώρο μιας ανεμογεννήτριας (μονάδας) 18 ίντσών ή και ακόμα 12 ίντσες, θα είχαν αποδεκτή ασφάλεια. Αν η ανεμογεννήτρια (μονάδα) βρισκόταν σε μια περιοχή με λεπτό έδαφος (χώμα) πάνω από χοντρές βραχώδεις εσοχές, η διαφορά ταφής του καλωδίου θα μπορούσε να έχει μια υποτυπώδη διαφορά κόστους, χωρίς κάποια σημαντική διαφορά στην ασφάλεια.

Θα προχωρήσουμε τώρα στην συζήτηση για το σχέδιο ενός απλού ηλεκτρικού συστήματος μιας μονάδα ανεμογεννητριών. Ένα πραγματικό σχέδιο θα είναι κάπως πιο περίπλοκο εξαιτίας των τοπικών απαιτήσεων της βοηθητικής γραμμής ή χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης γεννήτριας που χρησιμοποιείται.

Ένα διάγραμμα μίας γραμμής, ενός πιθανού ηλεκτρικού συστήματος, φαίνεται στο Σχέδιο 2. Υπάρχουν στην πραγματικότητα 3 γραμμές, εκεί που φαίνεται η μία, εξαιτίας της τριφασικής φύσης του συστήματος ενέργειας, αλλά η μία γραμμή είναι πιο εύκολο να σχεδιαστεί. Οι ανεμογεννήτριες απεικονίζονται ως μικροί κύκλοι. Αυτές θα είχαν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ίση με P_{tur} , πιθανότατα σε τάξη μεγέθους μεταξύ 30 και 50 KW.

Σε αυτή την τάξη μεγέθους η πιο πιθανή τάση είναι τα 480 Volt από γραμμή σε γραμμή. Ο πιο κοινός τύπος γεννήτριας θα ήταν η επαγωγική γεννήτρια, αλλά η σύγχρονη γεννήτρια θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί ιδίως στα μεγαλύτερα μεγέθη, όπου ο εξοπλισμός για τον έλεγχο του εδάφους δεν είναι τόσο μεγάλη συνάρτηση του κόστους.

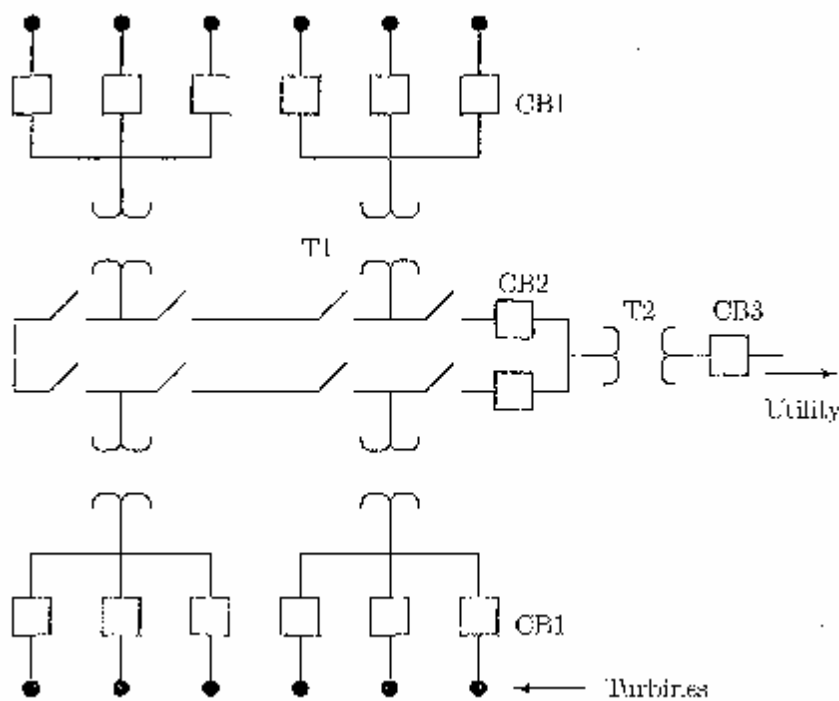


Figure 2: One Line Diagram of Windfarm Electrical Network

Οι θαμμένοι αγωγοί συνδέουν κάθε γεννήτρια με ένα χαμηλής τάσης διακόπτη ασφαλείας, το οποίο είναι μέρος του αποκαλούμενου αυτόνομου (σαν μονάδα) υποσταθμού. Ο διακόπτης ασφαλείας πρέπει να λειτουργεί ηλεκτρικά, ώστε η γεννήτρια να συνδέεται με το δίκτυο, όταν ο άνεμος είναι επαρκής και να αποσυνδέεται αυτόματα σε συνθήκες χαμηλού ανέμου.

Δίπλα στην σειρά των ασφαλειοδιακοπών θα είναι ένας μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης, που θα αυξάνει την τάση σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο εκπομπής, γύρω από την (μονάδα) ανεμογεννητριών.

Το Σχέδιο 2 δείχνει 3 τουρμπίνες συνδεδεμένες σε κάθε μετασχηματιστή. Αυτός ο αριθμός μπορεί να είναι είτε μικρότερος είτε μεγαλύτερος, ανάλογα με τις λεπτομερείς οικονομικές μελέτες. Οι μετασχηματιστές είναι ένα σχετικά ακριβό μέρος του δικτύου διανομής και είναι αναλογικά λιγότερο ακριβοί σε μεγαλύτερα μεγέθη, οπότε θα είναι ίσως επιθυμητό στα 1000 KVA περίπου ή ακόμα μεγαλύτερα αν διατίθενται. Αυτό σημαίνει ότι 20 στις 30 τουρμπίνες των 50 KVA μπορούν να συνδεθούν σε έναν μετασχηματιστή. Ο περιορισμός εδώ θα ήταν το κόστος, οι απώλειες και η πτώση τάσης σε πολύ μεγάλα τμήματα καλωδίων των 480 V. Ένα καλό σχέδιο μιας μονάδας ανεμογεννητριών θα περιλάμβανε τουλάχιστον 2 μεγέθη μετασχηματιστών και το συνολικό κόστος των μετασχηματιστών συν την υπόγεια καλωδίωση για κάθε μέγεθος.

3.4) ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.

Αφού επιλεγθεί το δίκτυο της μονάδας ανεμογεννητριών, τότε τα μεγέθη των μετασχηματιστών, οι ασφαλειοδιακόπτες και οι αγωγοί, μπορούν επίσης να επιλεγθούν. Αυτά τα μεγέθη μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με την βαθμονόμηση της ανεμογεννήτριας και το συνολικό αριθμό τουρμπίνων της μονάδας. Οποιαδήποτε ανακατανομή του δικτύου του Σχ.2 θα προκαλέσει επίσης αλλαγές στα μεγέθη. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά της επιλογής των μεγεθών των εξαρτημάτων, αλλά δεν θα

πρέπει να θεωρηθούν απόλυτα ή επαρκή, στην πραγματική δημιουργία των σχεδίων κατασκευής μιας μονάδας ανεμογεννήτριας.

“ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΕΣ”

Ο ασφαλειοδιακόπτης του Σχ.2 μπορεί να σχεδιαστεί και να πουληθεί ως μέρος της τουρμπίνας, στην οποία περίπτωση δεν χρειάζεται να του δώσουμε σημασία εδώ. Μερικοί κατασκευαστές δεν το περιλαμβάνουν ως εξάρτημα της τουρμπίνας, οπότε θα το αναφέρουμε σύντομα. Υπάρχουν δύο ξεχωριστές συναρτήσεις που απαιτούνται εδώ. Η μία είναι η διακοπή της υψηλής ροής ρεύματος κατά την διάρκεια μιας πτώσης και η άλλη είναι η πιο συχνή σύνδεση και αποσύνδεση της γεννήτριας από το δίκτυο του συστήματος στην καθημερινή λειτουργία.

Ο πίνακας 9,1 δείχνει μερικές επιλεγμένες τιμές από έναν κατάλογο Westinghouse, για τον πλήρους τάσης εκκινητή Class A206, που πωλείται ως συμπεριλαμβανόμενος συνδυασμός με έναν ασφαλειοδιακόπτη. Οι τιμές ισχύουν για το έτος 1989. Οι πραγματικές τιμές μπορεί να διαφέρουν αρκετά από αυτές τις λίστες, αλλά οι σχετικές τιμές θα πρέπει να είναι έγκυρες (να ισχύουν).

Πίνακας 9.1: Λίστα τιμών για εκκινητές μηχανών.

NEMA SIZE	Rated Current	List Price
0	18	906
1	27	936
2	45	1326
3	90	1896
4	135	4314
5	270	9627
6	540	19659
7	810	26403
8	1215	38745
9	1800	51273

Η αριστερή στήλη δείχνει τα μεγέθη της NEMA. Τα μεγαλύτερα μεγέθη υποδεικνύουν μεγαλύτερα κλεισίματα με μεγαλύτερες βαθμονομημένες ροές ρεύματος που φαίνονται στην διπλανή στήλη.

Ο ασφαλειοδιακόπτης CB1, θα τοποθετηθεί στην βάση της τουρμπίνας, αν θα το προμηθεύει ο κατασκευαστής της τουρμπίνας, ή στο T1 αν το προμηθεύει ο ιδιοκτήτης της μονάδας των ανεμογεννητριών.

“ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ”

Όταν επιλεγθεί ο ασφαλειοδιακόπτης, πρέπει να διαλέξουμε υπόγειους αγωγούς με επαρκή αντοχή σε ampere, να περάσει ανάμεσα στην τουρμπίνα και στον μετασχηματιστή T1. Η αντοχή σε ampere είναι η ικανότητα ενός αγωγού να μεταφέρει με ασφάλεια μια δεδομένη ροή ρεύματος. Δηλαδή τα καλώδια πρέπει να μπορούν να απομακρύνουν την ζέστη που παράγεται στον αγωγό, χωρίς η μόνωση του αγωγού να υπερθερμαίνεται.

Η αντοχή σε ampere ποικίλει επίσης ανάλογα με το καλώδιο και την ικανότητα να διώξει μακριά την θερμότητα. Η αντοχή σε ampere ενός αγωγού που θάβεται σε υγρό έδαφος (βάλτοι, έλη και παραθαλάσσιες - παράκτιες περιοχές) είναι περίπου διπλή από την αντοχή σε ampere ίδιου μεγέθους αγωγού, που θάβεται σε πολύ στεγνό-ξερό έδαφος. Το σχέδιο της ροής του φορτίου κάνει μία σημαντική διαφορά. Ξεκινώντας με θερμοκρασίες περιβάλλοντος, απαιτούνται μία ή δύο μέρες πλήρους ροής σταθερού ρεύματος για να αυξηθεί η θερμοκρασία του αγωγού στο τελικό της επίπεδο. Αυτή η χρονική περίοδος, ονομάζεται θερμική σταθερά του χρόνου.

Οι περισσότεροι φοιτητές σε αυτό το μάθημα, δεν έχουν τέτοιο υπόβαθρο, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε ένα πίνακα του NEC (B-310-10 στο NEC του 1990) που έχει δημιουργηθεί για μεσαίες συνθήκες.

Αυτός ο πίνακας δείχνει τις αντοχές σε ampere για καλώδια τόσο χαλκού, όσο και αργιλίου. Ο χαλκός έχει μεγαλύτερη αντοχή σε ampere για ένα δεδομένο μέγεθος καλωδίου, αλλά τα καλώδια αργιλίου της ίδιας αντοχής σε ampere είναι ίσως 30% φθηνότερα από τα καλώδια χαλκού. Τα καλώδια

αργιλίου απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην εγκατάσταση, εξαιτίας της τάσης του αργιλίου να ρευστοποιείται υπό πίεση.

Τα καλώδια μετρούνται σύμφωνα με το AWG ή σε kcmil. Ένα κυκλικό μίλι είναι μονάδα μέτρησης, όπως τα m² ή τα acres. Προσδιορίζεται το τετράγωνο της διαμέτρου ενός κυκλικού αγωγού, όταν εκφράζεται σε χιλιοστά της ίντσας. Δηλαδή ένας κυλινδρικός αγωγός διαμέτρου 0,5 ιντσών (ή 500mils) θα καταλάμβανε μια παροχή των 250,000 κυκλικών mils= 250kcmil.

Table 9.2. Ampacities of three single insulated conductors, 600V class.

AWG kcmil	ΧΑΛΚΟΣ		ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	
	one circuit	two circuits	one circuit	two circuits
8	98	92	77	72
6	126	118	98	92
4	163	152	127	118
2	209	194	163	151
1	236	219	184	171
1/0	270	249	210	194
2/0	306	283	239	220
3/0	348	321	272	250
4/0	394	362	307	283
250	429	394	335	308
350	516	474	403	370
500	626	572	490	448
750	767	700	605	552
1000	887	808	706	642
1250	979	891	787	716
1500	1063	965	862	783
1750	1133	1027	930	843
2000	1195	1082	990	897

“ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ”

Το επόμενο βήμα που πρέπει να μετρηθεί είναι ο μετασχηματιστής T1. Οι μετασχηματιστές βαθμονομούνται σε KVA (MVA), οπότε πρέπει να μετατρέψουμε από την βαθμονόμηση της γεννήτριας σε KW, χρησιμοποιώντας τον παράγοντα της ενέργειας.

Αυτοί οι συγκεκριμένοι μετασχηματιστές είναι επίτοιχοι, δηλαδή τοποθετούνται (σαν στήριγμα) σε ένα μικρό τσιμεντένιο τοίχο στο επίπεδο του εδάφους. Χτίζονται ως τριφασικοί μετασχηματιστές, παρά ως ξεχωριστοί μονοφασικοί μετασχηματιστές συνδεδεμένοι τριφασικά.

Υπάρχουν 2 επιλογές ως προς τον τύπο της σύνδεσης, είτε ακτινικής τροφοδοσίας ή κυκλικής τροφοδοσίας. Η ακτινική τροφοδοσία αναφέρεται σε ένα μονόδρομο ανάμεσα στην ενέργεια και το φορτίο. Αν ένας μετασχηματιστής ή μια γραμμή διανομής κατά μήκος αυτού του δρόμου, δεν είναι λειτουργικά, τότε δεν θα λειτουργεί καμία ηλεκτρική συσκευή από εκείνο το σημείο. Αυτή η σύνδεση είναι φθηνή και απλή και τα περισσότερα φορτία εξυπηρετούνται από μια ακτινική τροφοδοσία για αυτό το λόγο.

Πίνακας 9.3 :Δαπάνες μετασχηματιστών 480Y / 12470Δ

kVA	NLL	LL	COST
112.5	334	834	\$4500
150	353	1170	5000
225	481	1476	6000
300	554	1872	6500
500	817	2982	8000
750	1112	5184	10000
1000	1364	5910	12500

Μια κυκλική τροφοδοσία από την άλλη, επιτρέπει στην ηλεκτρική ενέργεια να φτάσει έναν μετασχηματιστή σε έναν από τους 2 δρόμους, όπως φαινόταν στο Σχ.2.

Επίσης σημαντικά είναι τα αλεξικέραυνα, που είναι συσκευές συνδεδεμένες ανάμεσα σε ένα φασικό αγωγό και το έδαφος, που αρχίζει την

αγωγή όταν το φορτίο υπερβεί μια καθορισμένη τιμή, όπως θα συμβεί όταν μια αστραπή χτυπήσει τον αγωγό. Σε μια μονάδα ανεμογεννητριών η αστραπή πιθανότατα θα χτυπήσει μία από τις τουρμπίνες, παρά έναν επίτοιχο μετασχηματιστή ή ένα θαμμένο καλώδιο διανομής, οπότε τα αλεξικέραυνα δεν είναι απόλυτα απαραίτητα σε αυτό το σημείο.

3.5) ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.

Το επόμενο βήμα είναι να επιλέξουμε το μέγεθος του καλωδίου στην υψηλής τάσης πλευρά του T1. Το επιθυμητό φορτίο καθορίζεται από:

$$I = \frac{S_{wf}}{\sqrt{3} V}$$

Όπου το S_{wf} είναι το σύνολο των τριφασικών VA των τουρμπίνων που συνδέονται σε κάθε βρόγχο και V είναι η γραμμή της υψηλής μεριάς στην γραμμή τάσης.

Στον πίνακα 9,4 συνοψίζονται οι τιμές της *αντοχής σε ampere* για αγωγούς των 15 KV.

Table 9.4. Αντοχή σε ampere θαμμένων αγωγών, τάξεως 15 kV

AWG	ΧΑΛΚΟΣ		ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	
kcml	one circuit	two circuits	one circuit	two circuits
6	130	120	100	95
4	170	160	130	125
2	210	195	165	155
1	240	225	185	175
1/0	275	255	215	200
2/0	310	290	245	225
3/0	355	330	275	255
4/0	405	375	315	290
250	440	410	345	320
350	535	495	415	385
500	650	600	510	470
750	805	740	635	580
1000	930	855	740	680

Το απαιτούμενο μέγεθος καλωδίου για μια συλλογή τουρμπίνων των 10,000 KVA, θα ήταν ένα απλό κύκλωμα αργιλίου των 500 kcml ή ένα διπλό κύκλωμα αργιλίου 3/0. Η περίπτωση του διπλού κυκλώματος θα έχει περίπου το μισό αργίλιο, από ότι η περίπτωση του μονού (μονοφασικού) κυκλώματος λόγω καλύτερων χαρακτηριστικών μεταφοράς θερμότητας.

Ο πίνακας 9,4 δείχνει ότι το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο είναι 680 A ανά κύκλωμα για την περίπτωση του διπλού κυκλώματος ή συνολικά 1360 A. Αυτό αντιστοιχεί σε 29,400 KVA. Μια μονάδα ανεμογεννητριών με υψηλότερες τιμές θα χρειαζόταν δυο βρόγχους, που το καθένα θα έχει δυο ασφαλειοδιακόπτες CB2, που συνδέονται στη χαμηλής τάσης πλευρά στον μετασχηματιστή T2. Στον πίνακα 9,5 φαίνονται τα κόστη για υπόγειους αγωγούς σε \$ ανά 1000 ft.

Επιπρόσθετα στο κόστος των αγωγών, έχουμε και το κόστος της τάφρου. Αυτή θα κοστίζει περίπου 1 \$ ανά ft για την περίπτωση του μονού κυκλώματος, σε ευνοϊκές συνθήκες, για την δημιουργία της και περισσότερο όπου υπάρχουν βράχοι-πέτρες ή άλλα προβλήματα. Το κόστος για την δημιουργία μιας τάφρου θα είναι κατά προσέγγιση διπλό για την περίπτωση του διπλού κυκλώματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.5. Υπόγειος αλουμινένιος αγωγός κοστίζει σε δολάρια ανά 1000 ft αγωγού.

ΜΕΓΕΘΟΣ	600 V	15 KV
6	\$ 107	
4	135	
2	178	\$ 690
1	253	780
1/0	287	860
2/0	303	1070
3/0	363	1280
4/0	425	1500
250	585	2060
350	799	2800
500	1100	3850
750	1600	5300
1000	2063	7220

Το συνολικό μήκος της τάφρου που απαιτείται, τόσο για τα χαμηλής τάσης κυκλώματα, όσο και για τα κυκλώματα τάσης διανομής μπορούν να υπολογιστούν καλύτερα από ένα σχέδιο της διάταξης της περιοχής. Για περιπτώσεις όπου αρκετές τουρμπίνες πρέπει να συνδεθούν σε ένα μετασχηματιστή μονάδας, θα ήταν σοφό να ελεγχθεί το συνολικό μήκος της τάφρου για περισσότερους από έναν πιθανούς συνδυασμούς.

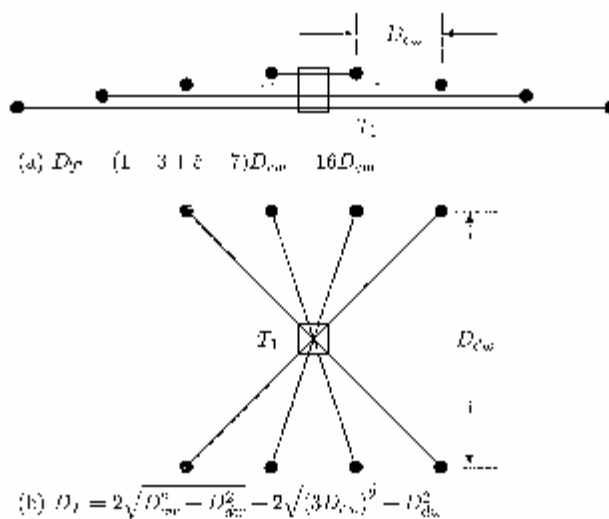


Figure 3: Trench lengths for low voltage wiring for 8 turbines in 1X8 and 2X4 configurations.

Όταν οι τουρμπίνες συνδέονται σε συνδυασμό 2*4, οι κοντινότερες τουρμπίνες απαιτούν μεγαλύτερο μήκος τάφρου, ενώ οι πιο μακρινές τουρμπίνες απαιτούν μικρότερες τάφρους από ότι οι 2 μακρινές τουρμπίνες σε συνδυασμό 1*8.

Ο συνδυασμός 2*4 έχει επίσης το πλεονέκτημα μείωσης της πτώσης τάσης από τις πιο μακρινές τουρμπίνες και επίσης ότι εξισώνει την πτώση χαμηλής τάσης ανάμεσα σε όλες τις τουρμπίνες.

Η επιλογή του συνδυασμού χαμηλής τάσης, έχει επίσης αντίκτυπο στο κύκλωμα διανομής τάσης. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 4, για την περίπτωση 32 τουρμπίνων σε 4 σειρές, 8 τουρμπίνων η καθεμία. Τέσσερις μετασχηματιστές T1 απαιτούνται σε κάθε περίπτωση. Η κεντρική γραμμή δείχνει το ελάχιστο μήκος τάφρου, για τον συνδυασμό 1*8. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την διάταξη της τάφρου για τον συνδυασμό 2*4, όπου τα βέλη υποδεικνύουν μία πιθανή τοποθεσία για τον μετασχηματιστή T2. Το μήκος της τάφρου για τον συνδυασμό 1*8 είναι $6 D_{dw}$, και για τον 2*4 είναι $5 D_{dw} + D_{cw}$. Έστω ότι $D_{dw} = 2.5 D_{cw}$, ο 2*4 απαιτεί $20,5 D_{cw}$ ενώ ο 1*8 απαιτεί $15 D_{cw}$ της τάφρου. Επομένως ο 1*8 είναι καλύτερος στην τάφρο διανομής τάσης και χειρότερος όσον αφορά στις απαιτήσεις της τάφρου χαμηλής τάσης.

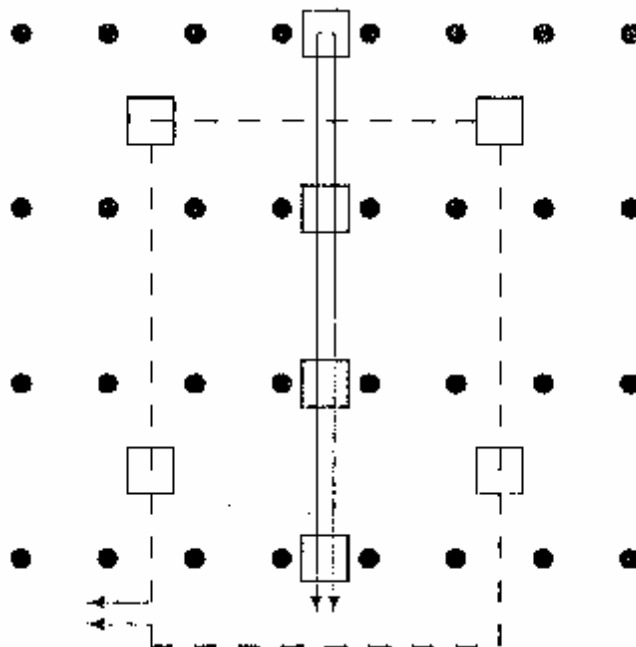


Figure 4: Trench lengths for distribution voltage wiring for 32 turbines in 4 rows, for both 1 X 8 and 2 X 4 low voltage configurations.

Αφού καθοριστούν τα μήκη της τάφρου πρέπει να επιλεγεί ο ασφαλειοδιακόπτης CB2. Ένα καλό σχέδιο 500 A ή λιγότερο (φορτίο-ρεύμα), αλλά στους καταλόγους το ελάχιστο είναι 1200 A, με άλλες 2 επιλογές των 2000 A και 3000 A. Και αυτό για να αντέχει το σύστημα στις μεγάλες πτώσεις.

Οι σύνδεσμοι που είναι αρκετά μεγάλοι, ώστε να αντέξουν τέτοια ρεύματα, είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να αντέξουν τουλάχιστον 1200 A σε συνεχή βάση. Ο ασφαλειοδιακόπτης μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε τιμή ρεύματος μικρότερη από αυτή φυσικά. Οι τιμές φαίνονται στον πίνακα 9,6.

Η τιμή για έναν τριφασικό μετασχηματιστή Westinghouse των 2500 KVA ή περισσότερο, δίνεται από:

$$C = C_1 * M_2 * M_3 * M_4 * (1+PA/100) + C_6 + C_7$$

Όπου C_1 = είναι η βασική τιμή

M_2 = είναι ένας πολλαπλασιαστής ικανότητας

M_3 = είναι ένας πολλαπλασιαστής της λειτουργικής τάσης

M_4 = είναι ένας πολλαπλασιαστής συχνότητας

PA = είναι πρόσθετα ποσοστού (%)

C_6 = είναι το κόστος του εξοπλισμού για την αλλαγή του φορτίου

C_7 = είναι το κόστος των διάφορων πρόσθετων σε \$

Πίνακας 9.6. Δαπάνες (κόστος) των τριφασικών ασφαλειοδιακοπών.

VOLTAGE, KV	ΡΕΥΜΑ	ΔΑΠΑΝΕΣ (ΚΟΣΤΗ)
12.47	1200	\$12,000
34.5	1200	27,450
34.5	2000	29,640
69	1200	29,540
115	1200	62,310
115	2000	67,880
161	1200	85,465
161	2000	99,950
230	2000	119,815
345	2000	237,750

Στον πίνακα 9,7 φαίνεται τα Βασικά Επίπεδα Ώθησης (BIL) για την τάση ενός πρότυπου συστήματος.

Πίνακας 9.7. Βασικά Επίπεδα Ώθησης.

Ονομαστική Διαφορά Δυναμικού, KV	Βασικά Επίπεδα Ώθησης, KV
15	110
34.5	200
69	350
115	450
138	550
161	650
230	750
345	850

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.8. Λίστα δαπανών (κόστος) των δυναμικών μετασχηματιστών, μετασχηματιστές ρεύματος και διατάξεων προστασίας κεραυνών (before cost multiplier).

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΣΗ, KV	ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ	ΡΕΥΜΑΤΟΣ	ΠΡΟΣΤΑΤΕΣ (ARRESTERS)
12,47	1660	1030	1430
34,5	5630	5690	2280
69	10,420	7750	4090
115	14,550	13,670	7450
161	24,100	21,680	11,590
230	26,970	33,700	17,590
345	43,820	46,840	31,860

Ο μετασχηματιστής T2 θα πρέπει μετά να συνδεθεί με το σύστημα αγωγών της μονάδας με μια υπέργεια γραμμή εκπομπής υψηλής τάσης. Αυτή η γραμμή ίσως να χρειάζεται να είναι αρκετά μεγάλη για να φτάσει μία ήδη υπάρχουσα γραμμή. Το κόστος αυτής της γραμμής εξαρτάται επίσης και από τον τύπο του εδάφους, την απαραίτητη χωρητικότητα του ρεύματος και το κόστος του εργατικού δυναμικού της περιοχής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.8. Δαπάνες (κόστος) υπερκείμενης γραμμής μεταφοράς.

34.5 kV	\$27,000/mile
69 kV	46,000/mile
115 kV	76,000/mile
230 kV	153,000/mile
345 kV	250,000/mile

3.6) ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ.

Η πτώση τάσης σε έναν αγωγό είναι απλά IZ , όπου I είναι το φασικό ρεύμα και το Z είναι το σύστημα της συνθέτης αντίστασης. Το ρεύμα είναι γνωστό από τις απαιτήσεις του φορτίου και η αντίσταση είναι εύκολα υπολογίσιμη ή αναζητείται σε πίνακα, όπως το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C. Η διάρκεια (χρονική περίοδος) της επαγωγικής αντίστασης, από την άλλη μεριά, δεν είναι εύκολο να αποκτηθεί. Η επαγωγή ενός καλωδίου αυξάνεται όσο η απόσταση σε ένα παρακείμενο καλώδιο (κλειστή διαδρομή, μονοπάτι μετ'επιστροφής) αυξάνεται. Για υψηλές υπερκείμενες γραμμές μεταφοράς και για ένα καλώδιο πολυαγωγού (δύο ή περισσότεροι αγωγοί μέσα σε ένα πλαστικό περίβλημα) οι αποστάσεις στους παρακείμενους αγωγούς είναι σταθερές, έτσι οι πίνακες μπορούν να είναι προετοιμασμένοι για τέτοιες περιπτώσεις. Τα αιολικά πάρκα, ωστόσο, θα έχουν ξεχωριστούς αγωγούς, τοποθετημένους τυχαία στον βάση των τάφρων, έτσι η ακριβής αξία της επαγωγικής αντίστασης μπορεί να ληφθεί μονό από την μέτρηση, αφού η τάφρος έχει ξανασυμπληρωθεί. Αυτό προφανώς δεν είναι μια αποδεκτή λύση για ένα σχεδιαστικό πρόβλημα.

Αντί να προσπαθήσουμε να κάνουμε μια ακριβή ανάλυση, θα υπολογίσουμε την πτώση τάσης για την κατάσταση του αιολικού πάρκου από την πτώση τάσης του πίνακα για αγωγούς σε κανάλι μεταφοράς, όπως δημοσιεύτηκε στο Αμερικανικό Εθνικό Πρότυπο (American National Standard) ANSI/IEEE Std, ευρέως γνωστό ως το IEEE Κόκκινο Βιβλίο. Ένα τμήμα του πίνακα για αγωγούς 600 V φαίνεται στον πίνακα 9.10. Ο πίνακας περιλαμβάνει δεδομένα και για χάλκινους και για αλουμινένιους αγωγούς, σε κανάλια μεταφοράς (η χειρότερη περίπτωση). Δεν θα υπάρχουν καθόλου μαγνητικά υλικά μέσα στην τάφρο, αλλά η διανομή των αγωγών θα προκαλέσει πτώση τάσης η οποία θα είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες αξίες για το μη-μαγνητικό κανάλι μεταφοράς.

Χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 9.10, η διαδικασία είναι να βρεθεί η πτώση τάσης για 10,000 A-ft και να πολλαπλασιαστεί αυτή η αξία με τον λόγο της πραγματικής τιμής των ampere-feet με το 10,000. Η απόσταση που χρησιμοποιείται είναι η μιας διαδρομής απόσταση από την πηγή στο φορτίο.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.10: ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ ΑΝΑ 10,000 Α·ft ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΑΝΑΛΙ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ, 0,9 pf “ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ”**

AWG Kcmil	ΧΑΛΚΟΣ	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ
12	30	48
10	19	30
8	12	19
6	80	12
4	52	7,9
2	34	5,1
1	28	4,1
1/0	23	3,4
2/0	19	2,7
3/0	16	2,3
4/0	13	1,9
250	12	1,6
350	0,95	1,3
500	0,78	0,99
750	0,64	0,79
1000	0,57	0,69

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Υπολογίστε την πτώση τάσης σε ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος που έχουμε δυο 250 kcmil αλουμινένιους αγωγούς που μεταφέρουν 300 A σε ένα φορτίο 200 ft μακριά. Η τάση εισόδου είναι 480V. Ποια είναι η πτώση τάσης και η απώλεια ισχύος (ενέργειας);

Από Πίνακα 2 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C, η αντίσταση των 1000 ft του 250 kcmil αλουμινένιου αγωγού είναι 0.068 Ω. Έχουμε ροή ρεύματος δια μέσου ενός συνολικού μήκους 400 ft (200 ft κάτω και 200 ft πίσω) με αντίσταση:

$$R = 400/1000 (0,068) = 0, 0272 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$V \text{ drop} = I \cdot R = 300 (0, 0272) = 8, 16 \text{ V}$$

Η απώλεια ισχύος (ενέργειας) στη γραμμή είναι :

$$P \text{ loss} = I^2 \cdot R = (300)^2 (0, 0272) = 2448 \text{ W}$$

Η πτώση τάσης είναι λιγότερη εξαιτίας της έλλειψης επαγωγικής αντίστασης, αλλά όχι σημαντικά μικρότερη. Η πτώση λόγω του ότι η επαγωγική αντίσταση μόνη της δεν θα ήταν μια κακή αρχική εκτίμηση εάν ο Πίνακας 9.10 δεν ήταν διαθέσιμος.

3.7) ΑΠΩΛΕΙΕΣ.

Η πτώση τάσης (IZ) και οι ωμικές απώλειες (I^2R) είναι στενά συνδεδεμένες έννοιες, αλλά παρουσιάζουν δυο διαφορετικούς τύπους περιορισμών. Η πτώση τάσης είναι τεχνικό εμπόδιο. Θέλουμε την τάση στη συσκευή αποθήκευσης να είναι μεταξύ 114 και 122 V, για παράδειγμα, έτσι οι ηλεκτρικές λυχνίες έχουν την απαραίτητη ένταση και οι ηλεκτρικοί προσαρμογείς δουλεύουν σωστά. Στο περιβάλλον του αιολικού πάρκου δεν θα είναι δύσκολο να σχεδιαστεί μια πτώση τάσης πάνω από 10%, έτσι αυτό δεν είναι ένα σημαντικό εμπόδιο. Από την άλλη πλευρά, οι ωμικές απώλειες είναι ένα σημαντικό εμπόδιο, τουλάχιστον για μεγέθη καλωδίων επαρκή ώστε να μεταφέρουν το επιθυμητό φορτίο. Ο οικονομικός στόχος για μια μελέτη ενός αιολικού πάρκου είναι να ελαχιστοποιήσει τον λόγο του νομικού κόστους προς την καθαρή παραγόμενη ενέργεια όπως μετρήθηκε στα όρια του αιολικού πάρκου. Η ολική παραγόμενη ενέργεια (η συνολική ενέργεια που παράγεται από τις τουρμπίνες πριν ληφθούν υπόψη οι απώλειες) είναι μια συνάρτηση των επιδεξιότητων του σχεδιαστή τουρμπινών και την πηγή ανέμου στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Όταν η τουρμπίνα και η τοποθεσία έχουν επιλεγεί, ο σχεδιαστής του αιολικού πάρκου έχει ακόμα να επιλέξει μεγέθη καλωδίων και άλλους παράγοντες ώστε να ελαχιστοποιήσει το κόστος ανά kWh που παραδίδεται για γενική χρήση.

Οι απώλειες του καλωδίου χαμηλής τάσης μπορούν να καθοριστούν από το σχήμα 5, το οποίο δείχνει μια μονή τουρμπίνα συνδεδεμένη με ένα μετασχηματιστή T1 με υπογείους αγωγούς σε μια τάφρο μήκους Dt . Όλα τα καλώδια χαμηλής τάσης σε ένα αιολικό πάρκο μεταφέρουν περίπου το ίδιο φορτίο, έτσι οι συνολικές απώλειες μπορούν να βρεθούν χρησιμοποιώντας το συνολικό μήκος της τάφρου χαμηλής τάσης. Υπάρχουν δυο δυνατότητες, είτε μονό κύκλωμα είτε διπλό κύκλωμα, όπως φαίνεται στα σχήματα 5b και 5c. Ο καθένας από τους τρεις αγωγούς στην περίπτωση του μονού κυκλώματος θα μεταφέρει το πλήρες φορτίο της τουρμπίνας. Η επιπλέον αντοχή σε ampere της περίπτωσης του διπλού κυκλώματος είναι εξασφαλισμένη με απλό παραλληλισμό δυο αγωγών για κάθε φάση. Υπάρχουν τώρα έξι αγωγοί στην τάφρο, όπου ο καθένας μεταφέρει φορτίο $I/2$.

Οι απώλειες ισχύος στην περίπτωση του μονού κυκλώματος είναι:

$$P_s = 3 I^2 R_s \quad (10)$$

Ενόσω οι απώλειες ισχύος στην περίπτωση του διπλού κυκλώματος είναι :

$$P_d = 6 (I/2)^2 R_d = 1,5 I^2 R_d \quad (11)$$

οπού R_s και R_d είναι οι αντιστάσεις ενός αγωγού μήκους DT . Είναι δελεαστικό να υποθέσουμε ότι το P_d είναι μικρότερο από το P_s επειδή ο πολλαπλασιαζόμενος παράγοντας είναι μισός από το μεγαλύτερο (1,5 καλύτερα από 3). Αλλά θα πρέπει να ξαναθυμηθούμε ότι το R_d είναι μεγαλύτερο γιατί το μικρότερο καλώδιο χρησιμοποιείται στο διπλό ηλεκτρικό κύκλωμα. Στην πραγματικότητα, οι απώλειες θα είναι ακριβώς ίδιες εάν το μέγεθος του αγωγού στο διπλό ηλεκτρικό κύκλωμα είναι το μισό του μονού ηλεκτρικού κυκλώματος. Δεν έχουμε καμία διαφορά στις απώλειες εάν το συνολικό εμβαδόν του αγωγού των 500 kcmil, για παράδειγμα, εξασφαλίζεται από ένα μονό αγωγό 500 kcmil ή από δυο αγωγούς, 250 kcmil εμβαδόν ο καθένας.

«ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μια ανεμογεννήτρια ρυθμισμένη στα 220 A είναι τοποθετημένη στα 300ft από τον ασφαλειοδιακόπτη της CB1 και τον μετασχηματιστή T1. Υποθέτοντας ότι η τάφος για ένα μονό ηλεκτρικό κύκλωμα στοιχίζει 1\$/ft και 2\$/ft για το διπλό ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι τιμές των καλωδίων για αγωγούς 600V δίνονται στον Πίνακα 9.5. Ποια είναι η τιμή/ft για τις περιπτώσεις του μονού και του διπλού ηλεκτρικού κυκλώματος και ποια είναι η απώλεια ισχύος σε ισχύ λειτουργίας για κάθε περίπτωση;

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, το καλώδιο πρέπει να έχει χαρακτηριστικό ρεύμα $1.15(200) = 253$ A. Βλέπουμε στον Πίνακα 9.2 ότι το 3/0 αλουμίνιο έχει χαρακτηριστικό ρεύμα στα 272 A στην περίπτωση του μονού ηλεκτρικού κυκλώματος. Κάθε ένας από τους χαρακτηριστικούς (ξεχωριστούς) αγωγούς στην περίπτωση του διπλού ηλεκτρικού κυκλώματος πρέπει να έχει χαρακτηριστικό ρεύμα $253/2 = 126.5$ A. Αυτό ικανοποιείται με 2 AWG, με χαρακτηριστικό ρεύμα στα 151 A.

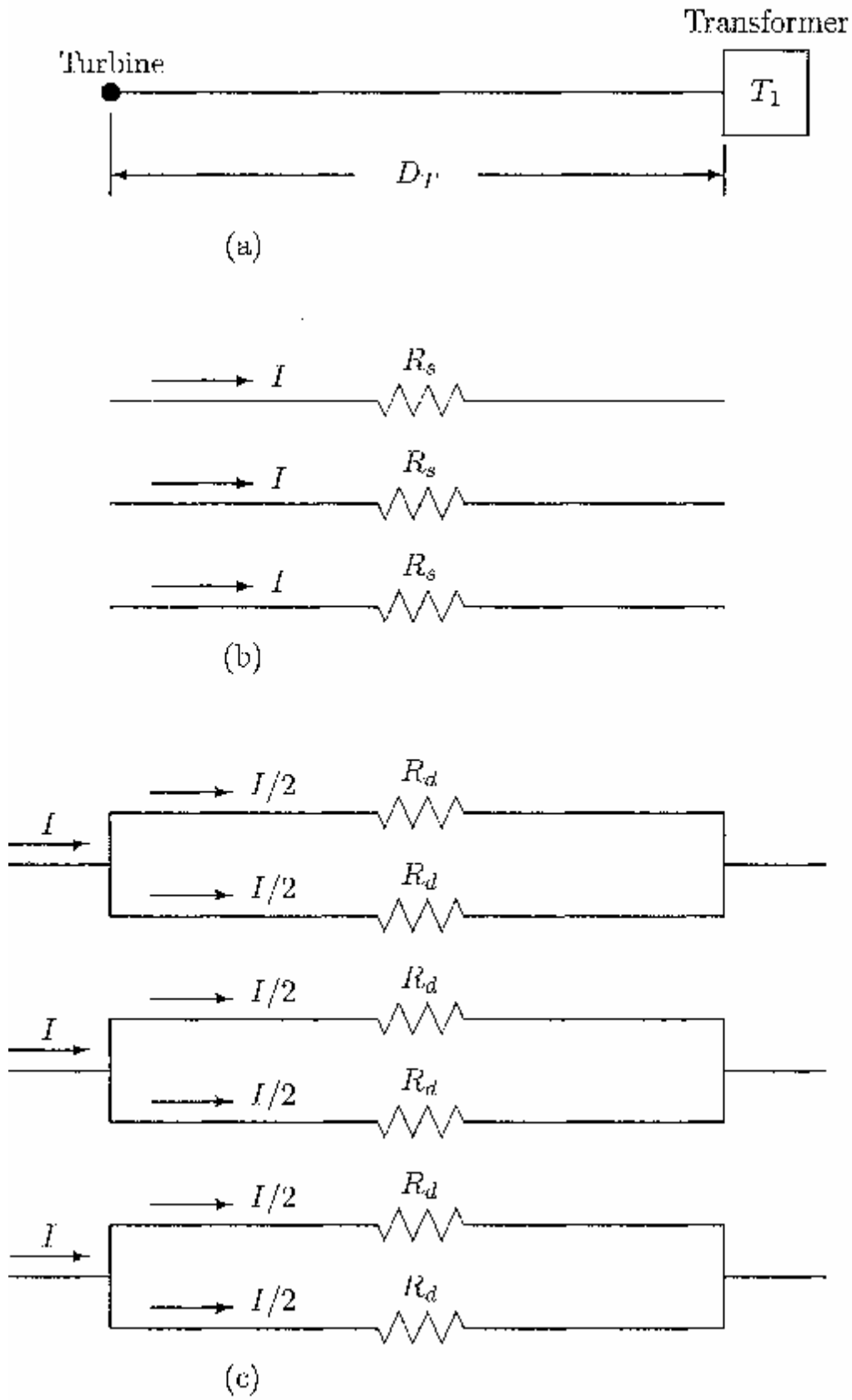


Figure 5: Loss Calculation in Low Voltage Cable

Το κόστος αν ft για την περίπτωση του μονού ηλεκτρικού κυκλώματος είναι:

$$C_s = 4 (\$0.363) + \$1 = \$2.452/\text{ft}$$

ενόσω για την περίπτωση του διπλού ηλεκτρικού κυκλώματος είναι:

$$C_d = 8 (\$0.178) + \$2 = \$3.42/\text{ft}$$

Διαπιστώνουμε ότι και οι δυο περιπτώσεις περιλαμβάνουν έναν ουδέτερο της ίδιας αντοχής σε ampere όπως οι τριφασικοί αγωγοί.

Θα προχωρήσουμε στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος C για να βρούμε την αντίσταση των αγωγών. Βρήκαμε ότι τα 2 AWG έχουν αντίσταση 0.2561Ω ανά 1000 ft ενώ ο 3/0 έχει αντίσταση 0.1013Ω ανά 1000 ft. Οι αντιστάσεις R_s και R_d του Σχήματος 5 είναι συνεπώς:

$$R_s = (300/1000) (0.1013) = 0.03039\Omega$$

$$R_d = (300/1000) (0.2561) = 0.07683\Omega$$

Οι απώλειες ισχύος σε χαρακτηριστικό ρεύμα είναι:

$$P_s = 3(220)^2(0.03039) = 4413\text{W}$$

$$P_d = 1.5(220)^2(0.07683) = 5578\text{W}$$

Σε αυτήν την συγκεκριμένη περίπτωση, το διπλό ηλεκτρικό κύκλωμα είναι και πιο ακριβό και προκαλεί μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας από ότι το μονό ηλεκτρικό κύκλωμα. Εάν απαιτείται μια αρκετά μεγάλη αντοχή σε ampere, τότε το διπλό ηλεκτρικό κύκλωμα θα είναι λιγότερο ακριβό. Οι απώλειες για ένα διπλό ηλεκτρικό κύκλωμα θα είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες ενός μονού ηλεκτρικού κυκλώματος της ίδιας αντοχής σε ampere.

Χρειαζόμαστε, τώρα, την ετησία απώλεια ενέργειας στους αγωγούς χαμηλής τάσης πριν να μπορέσουμε να ολοκληρώσουμε την οικονομική μας ανάλυση. Δεν μπορούμε απλά να πολλαπλασιάσουμε την απώλεια του χαρακτηριστικού ρεύματος με το 8760 ώρες ανά έτος γιατί οι τουρμπίνες είναι ρυθμισμένες σε ρεύμα λειτουργίας (χαρακτηριστικό) μόνο για ένα μικρό κλάσμα του χρόνου. Από τις καμπύλες διάρκειας της ταχύτητας του ανέμου και την καμπύλη ισχύος (δύναμη) της τουρμπίνας με την ταχύτητα του ανέμου μπορούμε να υπολογίσουμε το κλάσμα του χρόνου που έχει η τουρμπίνα σε κάθε επίπεδο ισχύος. Εν τούτοις, αυτό δεν δίνει την πλήρη εικόνα μιας και ο παράγοντας της ισχύος της γεννήτριας ελαττώνεται όσο ελαττώνεται η παραγωγή ισχύος.

3.8) ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΡΕΛΕ.

Οι ασφαλειοδιακόπτες, λειτουργούν από μια ποικιλία προστατευτικών ρελε, οι οποίοι αισθάνονται διαφορές λειτουργικές συνθήκες που μπορούν να βλάψουν την χρησιμότητα, το συγκρότημα ανεμοκίνητων γεννητριών ή το λειτουργικό προσωπικό. Κάποιες λειτουργίες, όπως η υπέρταση (over current), θα είναι κοινές σε όλους τους διακόπτες ασφαλείας. Άλλες, όπως ένα σύγχρονο ρελε ελέγχου, μπορεί να εντοπιστεί μόνο σε μια θέση διακόπτη ασφαλείας. Τα ρελε πρέπει να συντονιστούν προσεκτικά, έτσι ώστε η μονάδα ανεμογεννητριών να είναι ασφαλής και οικονομική. Αρκετά από τα πιθανά ρελε θα εξεταστούν συνοπτικά εδώ.

Τα υπερτασικά ρελε, είναι πολύ σημαντικά στο να προλαμβάνουν ζημιές στον εξοπλισμό, που οφείλονται σε κατασκευαστική αποτυχία ή λάθη. Υπάρχουν δυο τύποι υπερτασικής λειτουργίας. Ο ένας είναι για τις μέτριες συνθήκες υπέρτασης.

Αυτό θα μπορούσε να δοκιμαστεί κατά την διάρκεια κανονικής λειτουργίας, όπως κατά την εισαγωγή του καυσίμου μίγματος στην μηχανή, και δεν πρέπει να κάνει τον διακόπτη ασφαλείας να ανοίξει. Έστω ότι αυτή η ένταση αντέξει για κάποια δευτερόλεπτα, παρόλα αυτά η ασφάλεια θα πρέπει να ανοιχτεί.

Ένα ρελε ασφαλείας ενέχει το προϊόν της ώρας και την τάση που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε μια μεγαλύτερη υπέρταση να προκαλέσει τη λειτουργία του ρελε σε συντομότερο χρονικό διάστημα.

Ο άλλος λειτουργικός τρόπος είναι ο επονομαζόμενος και ως τρόπος στιγμιαίας αποσύνδεσης. Κάτω από λάθος συνθήκες, όταν οι κατασκευαστές το συντομεύουν μαζί, η τάση μπορεί να είναι 20 φορές μεγαλύτερη της τρέχουσας τάσης ή περισσότερο.

Αυτή, η τόσο μεγάλη τάση, δεν αποτελεί ποτέ μέρος μιας κανονικής λειτουργίας, έτσι το ρελε έχει χτιστεί για να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο γρήγορα υπό τέτοιες συνθήκες.

Υψηλής και χαμηλής συχνότητας ρελε, θα λειτουργούν όταν το συγκρότημα ανεμοκίνητων γεννητριών αποσυνδεθεί από το δίκτυο χρησιμότητας. Το δίκτυο χρησιμότητας λειτουργεί σε μια μεγάλη ακρίβεια 60 Hz στις Η.Π.Α., έτσι οποιαδήποτε σημαντική απόκλιση από αυτή την συχνότητα, σημαίνει ότι η μονάδα ανεμογεννητριών δεν είναι συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο συχνοτήτων. Είναι πιθανό ότι οι χρήσιμες γραμμές θα ανοιχτούν σε κάποια απόσταση από τη μονάδα ανεμογεννητριών, αφήνοντας κάποιο χρήσιμο φορτίο συνδεδεμένο με τη μονάδα.

Βασιζόμενοι στο φορτίο, την ταχύτητα του ανέμου και την παρουσία δυνατών συντελεστών διορθωτών πυκνωτών, ανεμοκίνητες επαγωγικές γεννήτριες θα μπορούν να παρέχουν αυτό το φορτίο για κάποιο διάστημα, αλλά σε συχνότητες πιθανόν λίγο διαφορετικές των 60 Hz. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον χρήσιμο πελατικό εξοπλισμό και επίσης φυσική ζημιά στο χρήσιμο σύστημα μετάδοσης. Συνεπώς ο κύριος διακόπτης ασφαλείας της μονάδας ανεμογεννητριών πρέπει να ανοιχτεί όταν η συχνότητα κυμαίνεται από 59 έως 62 Hz και να μην ξανακλείσει εωσότου οι χρήσιμες γραμμές να έχουν πάλι 60 Hz πάνω τους. Δεν είναι φανερό ότι όλοι οι ασφαλειοδιακόπτες χρειάζονται, ποιοτικά, υψηλής και χαμηλής συχνότητας ρελε συνδεδεμένα με αυτά. Ένα σύνολο του κυρίου μετασχηματιστή μπορεί να είναι επαρκές, με ίσως λιγότερο ακριβά σύνολα ρελε για ευρύτερη διακύμανση συχνότητας για τις ατομικές γεννήτριες και μια υποστήριξη για το κύριο ασφαλειοδιακόπτη.

Υπερτασικά και υποτασικά ρελε θα πρέπει πιθανόν να αναπτυχθούν. Εάν η μονάδα ανεμογεννητριών έχει αποσυνδεθεί από τη χρησιμότητα, αμφότερης της τάσης και της συχνότητας, θα μετατοπιστούν μακριά από τις κατάλληλες αξίες. Είναι κατανοητό ότι η συχνότητα θα παραμείνει στη κατάλληλη διακύμανση, ενώ η τάση είτε θα πάει ψηλότερα είτε χαμηλότερα από το αποδεκτό.

Είναι επίσης πιθανόν ότι ένα σύστημα ρύθμισης τάσης θα αποτύχει από τη μεριά της χρησιμότητας, έτσι ώστε η συχνότητα να ελέγχεται ακόμα από τη χρησιμότητα, αλλά η τάση να είναι λάθος.

Επίσης, ένα περίτεχνο σύνολο ρελε στον κύριο διακόπτη ασφαλείας και ένα ακατέργαστο σύνολο στις γεννήτριες μπορεί να είναι όλα όσα απαιτούνται. Δυνατά κατευθυντικά ρελε υποδηλώνουν κατά ποσό η ισχύς ρέει από την χρησιμότητα στη μονάδα, ή από τη μονάδα στη χρησιμότητα.

Οι επαγωγικές γεννήτριες θα λειτουργήσουν αυτόματα σαν μηχανές σε χαμηλές συνθήκες ανέμου, οδηγώντας τις γεννήτριες σαν ανεμιστήρες, μια κατάσταση η οποία προφανώς πρέπει να προληφθεί για μεγάλο διάστημα λειτουργίας. Παρόλα αυτά, η αντιστροφή δύναμη μπορεί να είναι αποδεκτή ή ακόμα απαραίτητη κατά τη διάρκεια κάποιων συνθηκών λειτουργίας, έτσι το σημαντικό επίπλαστο στυλ μπορεί να αποκτηθεί. Εάν οι τουρμπίνες χρειαστεί να ξεκινήσουν από τη χρήσιμη δύναμη, όπως στην περίπτωση τουρμπινών Darrieus, τότε η αντίστροφη δύναμη θα ρέει κατά τη διάρκεια του αρχικού κύκλου. Επίσης, βασιζόμενοι στην διάρκεια και στις απαιτήσεις ενέργειας που χρειάζεται η τουρμπίνα για να ανοίξει ή να κλείσει τη λειτουργία της, μπορεί να δικαιολογηθεί το να επιτρέπει την αντίστροφη δύναμη να ρέει κατά τη

διάρκεια του κατευνάσματος του ανέμου, εάν η μέση τιμή της δύναμης που ρέει είναι πάνω από 10 ή 30 λεπτά διάρκεια, που πλησιάζει την χρησιμότητα. Ένα άλλο ρελέ που μπορεί να απαιτηθεί από τον κύριο ασφαλειοδιακόπτη, τουλάχιστον, θα είναι ένας που να εντοπίζει την αντίστροφη φάση ή την απώλεια μιας φάσης από το τριφασικό σύστημα. Η αληθινή αντίστροφη φάση ακολουθίας, θα είναι σπάνια μετά το ηλεκτρικό σύστημα του συγκροτήματος ανεμογεννητριών, μια φορά σωστά κλειδωμένο, αλλά η απώλεια της μιας φάσης δεν είναι ασυνήθιστο, προκαλούμενη είτε από μια σπασμένη γραμμή είτε από την αποτυχία ενός ασφαλειοδιακόπτη να ξανακλείσει σωστά.

Οι επαγωγικές γεννήτριες θα προσπαθήσουν να υποστηρίξουν την τάση της χαμένης φάσης με πιθανά βαριά σύγχρονα λάθη. Ένα συγχρονιστικό ρελέ ελέγχου αποτρέπει τον διακόπτη ασφαλείας από το να κλείσει εάν οι γεννήτριες του συγκροτήματος είναι εκτός φάσης χρησιμότητας. Δεν απαιτείται κατά την διάρκεια κανονικών συνθηκών ξεκινήματος με επαγωγικές γεννήτριες, από τότε που αυτές δεν θα είχαν εμφάνιση τάσης, τη στιγμή μιας σύνδεσης με την σκοπιμότητα.

Παρόλα αυτά, εάν πρέπει να έχει έναν διακόπτη ασφαλείας ανοιχτό κάπου αλλού στο σύστημα, πιθανόν οφειλόμενο σε αστραπή, ο οποίος ξανακλείνει έπειτα από κάποια δέκατα του δευτερολέπτου, οι τάσεις της επαγωγικής γεννήτριας δεν θα είχαν χρόνο να πέσουν στο μηδέν και το πιο πιθανόν να βγει εκτός φάσης.

Τα πρόσφατα υψηλά αποτελέσματα και η κινητήριος ροπή θα μπορούν να προκαλέσουν ζημιά και στις γεννήτριες και στις τουρμπίνες. Η ασφαλέστερη προσέγγιση θα ήταν να γίνει μια ολική αναστολή λειτουργίας του συγκροτήματος ανεμογεννητριών, όταν η χρήσιμη ισχύς χαθεί για οποιοδήποτε λόγο, και τότε να αρχίσει πάλι να λειτουργεί.

Αλλά ρελέ μπορεί να είναι ακλόνητα για την προστασία συγκεκριμένων μηχανημάτων. Ένα διαφορικό ρελέ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον κύριο μετασχηματιστή για να ανακαλύπτει τις διαφορές μεταξύ της εισόδου και της εξόδου, που μπορεί να υποδεικνύει ένα εσωτερικό λάθος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στις γεννήτριες αλλά μπορεί να είναι δύσκολο να δικαιολογηθεί οικονομικά στην τοποθεσία του συγκροτήματος. Ένα επίπεδο υπερσύγχρονο ρελέ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανακαλύψει μεγάλες τρέχουσες ροές στην επίπεδη σύνδεση ενός μετασχηματιστή, που μπορεί να γνωστοποιήσει διάφορους τύπους αποτυχίας του συστήματος. Και αλλά ρελέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν το ίδιο καλά.

3.9) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.

Έχουμε εξετάσει τα κόστη του ηλεκτρικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητα για να συνδεθούν οι ανεμογεννήτριες με το ωφέλιμο πλέγμα, ελπίζοντας σε αρκετές λεπτομέρειες για να απεικονιστεί η διαδικασία. Οι τιμές του ηλεκτρικού εξοπλισμού μπορούν να αλλάξουν ουσιαστικά, πέρα από μικρές περιόδους του χρόνου και τα κόστη εργασίας που ποικίλλουν ανάλογα με το μέρος της χώρας, το ποσό απομακρυσμένη είναι η τοποθεσία, το έδαφος της τοποθεσίας (χαρακτηριστικά περιοχής), έτσι οι πραγματικές εικόνες που χρησιμοποιούνται για παραδείγματα δεν είναι ακριβείς στις περισσότερες καταστάσεις.

Υπάρχουν αλλά κόστη τα οποία είναι συνεταιρισμένα με την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου. Σε κάποιο βαθμό αυθαιρέτως, τα κατατάξαμε αυτά μέσα στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Ηλεκτρικός
- 2) Τουρμπίνα
- 3) Αμετάβλητος
- 4) Βοηθητικός

Έχουμε μόλις μελετήσει τα ηλεκτρικά κόστη με λεπτομέρειες. Αυτό περιλαμβάνει το καλώδιο χαμηλής διαφοράς δυναμικού, το καλώδιο διανομής διαφοράς δυναμικού, τάφρους, μετασχηματιστές T1 και T2, και τους ασφαλειοδιακόπτες CB2 και CB3.

Τα έξοδα των στροβίλων περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- 1) Τιμή αγοράς της τουρμπίνας
- 2) Τα ναυτιλιακά
- 3) Έξοδα τελωνείου (για εισαγόμενες τουρμπίνες)
- 4) Αμοιβή του μεσίτη για την εισαγωγή
- 5) Έξοδα τσιμέντων και άλλων εξόδων για τη θεμελίωση
- 6) Εργατικό δυναμικό
- 7) Ασφαλειοδιακόπτης CB1

Σταθερά κόστη είναι τα κόστη εκείνα τα οποία δεν είναι ακλόνητα ευπαθή στο μέγεθος του αιολικού πάρκου, όπως είναι τα κτίρια και τα νομικά έγγραφα. Περιλαμβάνουμε τα παρακάτω σε αυτές τις κατηγορίες :

- ✓ **ΕΓΓΡΑΦΗ ΑΔΕΙΑ**: αυτές απαιτούνται και μεταβιβάζονται από τις τοπικές κυβερνητικές αρχές.
- ✓ **ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΖΩΝΕΣ**: η γεωργική γη πιθανότατα χρειάζεται να επαναχωριστεί σε ζώνες για βιομηχανική χρήση (ή για άλλη κατηγορία) πριν μπορέσει να μεταβιβαστεί μια άδεια.
- ✓ **ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ** : οι ταχύτητες του ανέμου πρέπει να έχουν μετρηθεί στην προτεινομένη θέση για ένα κατάλληλο διάστημα χρόνου (μέχρι ένα χρόνο) πριν παρθεί οποιαδήποτε απόφαση για την ανέγερση ενός αιολικού πάρκου.
- ✓ **ΣΥΜΦΩΝΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ** : αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τα μηχανικά και τη νόμιμη αμοιβή που υφίσταται στο να γραφεί μια συμφωνία με σκοπιμότητα να αγοραστεί το ρεύμα (ηλεκτρισμός) που θα παραχθεί από το αιολικό πάρκο.
- ✓ **ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ** : ένας επαγγελματίας μηχανολόγος πρέπει να εκτελεί ένα λεπτομερέστατο σχέδιο για το αιολικό πάρκο και να προετοιμάζει ένα σύνολο σχεδίων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή.
- ✓ **ΚΤΙΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ**: κάθε αιολικό πάρκο πρέπει να έχει ένα κτίριο ή ένα τμήμα κτιρίου για να στεγαστούν οι υπολογιστές, μετρητές, ελεγκτές, και προσωπικό συντήρησης. Οι υπολογιστές (εάν όχι το προσωπικό συντήρησης) απαιτούν αυτό το χώρο για να είναι καθαρά και κλιματολογικά ελεγχόμενα.
- ✓ **ΚΤΙΡΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**: αυτό μπορεί να είναι ένα κτίριο ή ένα τμήμα κτιρίου όπου μπορούν να διεξάγονται η συντήρηση και οι λειτουργίες επιδιόρθωσης. Πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να στεγάζονται τα μεγάλα αντικείμενα τα οποία μπορεί να επισκευάζονται. Μπορεί να χρειαστεί ένας μεγάλος γερανός να ανυψώνει και να μετακινεί

εξαρτήματα. Αυτό μπορεί να είναι μια τελική συναρμολόγηση του κτιρίου κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπου τα κομμάτια του πύργου είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, τα πτερύγια είναι συνδεδεμένα με τον άξονα, κ.λ.π.

- ✓ **ΧΩΡΟΣ ΕΠΙΣΚΕΠΤΩΝ:** αυτό μπορεί να είναι ένα τμήμα από το κέντρο ελέγχου ή μπορεί να είναι ένα εντελώς ξεχωριστό κτίριο υπηρεσιών. Εξαιρετική προσοχή πρέπει να δίνεται σε αυτή την απαίτηση για τα πρώτα λίγα αιολικά πάρκα σε ένα δοσμένο κομμάτι της εξοχής έτσι ώστε οι επισκέπτες να μπορούν να εξυπηρετούνται κατάλληλα.
- ✓ **ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ:** αυτός μπορεί να είναι εγκατεστημένος κοντά στο κτίριο ελέγχου με ανεμόμετρα σε διαφορετικά ύψη. Τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρακολούθηση της απόδοσης των ανεμογεννητριών, και τέτοιες αποστολές όπως η εκκίνηση των ανεμογεννητριών μετά από χαμηλές καταστάσεις ανέμου, και να σταματάει αυτές σε υψηλές καταστάσεις ανέμου.

Τα βοηθητικά κόστη είναι αυτά που σχετίζονται με την κατασκευή, η οποία ποικίλλει συμφωνά με το μέγεθος της έκτασης του αιολικού πάρκου ή τον τύπο των τουρμπίνων. Αυτά συμπεριλαμβάνουν:

- ✓ **ΕΔΑΦΟΣ:** δεν μπορεί πιθανόν να είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί η γη σε ένα αιολικό πάρκο για κανένα σκοπό εκτός από βοσκή, και αυτό πιθανό να μην αξίζει την φασαρία να κρατούνται οι πύλες κλειστές, έτσι είναι πιθανό να είναι αναγκαίο να αγοραστεί η γη για το αιολικό πάρκο.
- ✓ **ΔΡΟΜΟΙ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ:** οι χαλικόδρομοι χρειάζονται μέσα σε μια περιοχή έτσι ώστε οι γεννήτριες να μπορούν να επιδιορθώνονται σε βροχερό καιρό. Ένας δρόμος επίσης χρειάζεται από την περιοχή στον πλησιέστερα πάντως καιρού δρόμο. Αυτό μπορεί να είναι μια γερή δαπάνη στις απομακρυσμένες ή ορεινές περιοχές. Μπορεί να είναι σημαντικό, ακόμα και για περιοχές όπως το Κάνσας, εάν οι κοινοτικοί ή εθνικοί δρόμοι δεν είναι επαρκής σε γέφυρες να χρειάζεται να χτιστούν μερικές.

- ✓ **ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ:** εκεί μπορεί να υπάρχει απαραίτητα ανάχωμα εκτός από το χτίσιμο πολλών δρόμων πάρκινγκ. Απότομες κορυφές ή ρεματιές μπορεί να επηρεάσουν την ροή του ανέμου αρκετά ώστε να δικαιολογείται μερική κατολίσθηση.
- ✓ **ΟΧΗΜΑΤΑ:** ένα αιολικό πάρκο μπορεί πιθανόν να απαιτεί ένα ή δυο ημιφορτηγά και ένα μεγαλύτερο φορτηγό για τη μετακίνηση μεγάλων εξαρτημάτων γύρω στην περιοχή.
- ✓ **ΓΕΡΑΝΟΙ:** τα αιολικά πάρκα με ανεμογεννήτριες που ταλαντεύονται γύρω από μια περιστρεφόμενη βάση δεν απαιτούν γερανό, αλλά ο γερανός μπορεί να είναι πολύ επιθυμητός για ανεμογεννήτριες που δεν ταλαντεύονται. Ο γερανός μπορεί να είναι μισθωμένος, αλλά η εκτεταμένη χρήση μιας τέτοιας μηχανής σε ένα αιολικό πάρκο μπορεί εύκολα να δικαιολογήσει την αγορά της.
- ✓ **ΦΡΑΧΤΗΣ:** σε ένα αιολικό πάρκο σε μια περιοχή για βοσκή απαιτεί ένα φράχτη από αιχμηρό σύρμα για να κρατούνται έξω τα κοπάδια. Βασιζόμενοι στις πυκνότητες του πληθυσμού και στις απαιτήσεις της ασφαλείας, μπορεί να είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ένας φράχτης για να κρατούνται έξω οι άνθρωποι από τον χώρο του αιολικού πάρκου. Ένας τέτοιος φράχτης θα χρειαστεί να είναι το λιγότερο έξι πόδια ψηλός, τύπου συρματοπλέγματος.
- ✓ **ΣΥΝΟΡΑ:** το αιολικό πάρκο θα χρειαστεί να συνδεθεί με την πλησιέστερα γραμμή μετάδοσης με μια συνοριακή γραμμή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.11: Nordtank εκτιμήσεις δαπανών για ένα αιολικό πάρκο 10MW.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ	ΔΑΠΑΝΕΣ (ΤΙΜΕΣ) ΣΕ \$
Άδειες	30,000
Χωρισμός σε ζώνες	15,000
Μελέτη ανέμου	17,000
Μηχανολογικά	42,000
Συμφωνία αγοράς ενέργειας	30,000
Κτίριο ελέγχου	80,000

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12: Δείχνει εκτιμήσεις για άλλες δαπάνες.

ΕΔΑΦΟΣ(ΓΗ)	Περίπου \$400 ανά acre για βοσκοτόπια και \$800 ανά acre για αγροτική γη. Αυτό περιλαμβάνει μια ανταμοιβή μέσω παρόντων δαπανών η οποία μπορεί να χρειάζεται για να πάρουν τα καλύτερα οικόπεδα.
ΘΕΜΕΛΙΑ(δωρεές)	Ειδικές δαπάνες μεταξύ \$40 και \$50 ανά τετραγωνική γιάρδα παραδοθήκαν στην τοποθεσία. Εγκατεστημένες δαπάνες, συμπεριλαμβανόμενα τα ατσάλια (χάλυβας), μπορεί να είναι κοντά στα \$100 ανά τετραγωνική γιάρδα.
ΔΡΟΜΟΙ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	Περίπου \$6 ανά γραμμικό πόδι για μέρη όπου ο εκτεταμένος διαχωρισμός δεν απαιτείται.
ΚΕΝΤΡΟ ΕΠΙΣΚΕΠΤΩΝ	\$100,000 πρέπει να είναι αρκετά.
ΚΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	\$150,000.
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ	\$6,000 ή περισσότερα.
ΦΡΑΧΤΗΣ	\$2/πόδι για το αιχμηρό σύρμα, \$6/πόδι για 6 πόδια ψηλό 9 σύνδεσμος αλυσίδας συν \$1/πόδι για 3 αιχμηρά σύρματα στην κορυφή.
ΓΕΡΑΝΟΣ	Βαρούλκο και καλώδιο 50 τόνους \$500,000 ή υδραυλικός \$600,000. Δαπάνη ενοικίασης \$150/ώρα ή \$4,000/εβδομάδα.
ΜΠΟΥΛΝΤΟΖΑ	Clearing brush \$1,500/acre, ή \$110/ώρα για D-8.
ΕΡΓΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	Υπολογισμός το λιγότερο \$15/ώρα για το ειδικευμένο προσωπικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εάν κάποιος από εσάς σχεδιάζει να χτίσει ένα πύργο, κάθεται κάτω πρώτα και κοιτάζει τι θα του κοστίσει, για να δει εάν έχει αρκετά χρήματα για να τελειώσει τη δουλειά.

Σε προηγούμενα κεφάλαια, καθορίσαμε την παραγωγή δύναμης και ενέργειας διαφορών τύπων ανεμογεννητριών σε ποικίλα καθεστώτα ανέμου. Ο οικονομικός στόχος της μεγιστοποίησης της παραγόμενης ποσότητας ενέργειας ανά δολάριο της επένδυσης, αναφέρθηκε πολλές φορές. Τώρα στρεφόμαστε στο ζήτημα του καθορισμού του συνολικού κεφαλαίου επένδυσης και του λειτουργικού κόστους για τις ηλεκτρικές ανεμογεννήτριες, έτσι ώστε να μπορούμε να καθορίσουμε το μοναδιαίο κόστος του ηλεκτρισμού. Τα καύσιμα (άνεμος) μπορεί να είναι δωρεάν, αλλά ο απαραίτητος εξοπλισμός για να χρησιμοποιήσουμε τα καύσιμα τείνει να είναι ακριβός, έτσι μαθήματα οικονομίας είναι αρκετά σημαντικά.

Το μοναδιαίο κόστος ηλεκτρισμού μπορεί να καθοριστεί σε ένα απλό τρόπο από ένα γνώστη του κεφαλαίου επένδυσης και του λειτουργικού κόστους. Η αξία του ηλεκτρισμού είναι λίγο πιο δύσκολο να καθοριστεί, αλλά πρέπει να υπολογιστεί πριν παρθούν έξυπνες επενδυτικές αποφάσεις. Η αξία πρέπει να ξεπεράσει το κόστος πριν η αγορά κάποιας ανεμομηχανής, μπορεί να δικαιολογηθεί. Η αναλογία της αξίας με το κόστος πρέπει να είναι τόσο καλή όσο αυτή για εναλλακτικές πηγές ηλεκτρισμού, πριν ο άνεμος μπορεί να δικαιωθεί πάνω από αυτές τις εναλλακτικές.

Η αξία της ηλεκτρικά παραγομένης ενέργειας σε μια ηλεκτρική χρησιμότητα έχει καθοριστεί από τα κέρδη των καυσίμων και από την αποδοχή της χωρητικότητας του. Όταν έχουμε άνεμο, χρειάζεται να καεί λιγότερο λάδι και

άνθρακας, το οποίο καταθέτει πάλι την οικονομία της χρησιμότητας. Η αποτελεσματική χωρητικότητα των ανεμογεννητριών και η συσχέτιση της αποδοχής της χωρητικότητας αντιμετωπίστηκε σε κάποια αναφορά στο κεφαλαίο 5.

Το κόστος και η αξία του παραγόμενου από τον άνεμο ηλεκτρισμό θα καθοριστεί από σίγουρα οικονομικά μοντέλα, συμπεριλαμβανόμενες δουλειές ως συνήθως. Αυτό σημαίνει ότι παίρνουμε αρκετές προμήθειες φυσικού αερίου, λαδιού, άνθρακα και πυρηνικών καυσίμων, έτοιμη αποδοχή για να χτίσουμε νέες παραγόμενες εγκαταστάσεις, και όχι πολιτικές αλλαγές. Κρυφά κόστη όπως μόλυνση του αέρα και διάθεση πυρηνικών απωλειών αγνοούνται τουλάχιστον ως το τέλος του κεφαλαίου. Τότε παρατηρούμε ότι πολλές από τις εύλογες αλλαγές στις, «δουλειές ως συνήθως», λειτουργίες τείνουν να προτιμήσουν τις ανεμογεννήτριες παραπάνω από τις συμβατικές γεννήτριες. Κάποιες από αυτές τις αλλαγές θα συζητηθούν, αλλά ιστορικές μέθοδοι εκτίμησης εναλλακτικών πηγών ενέργειας γενικά και ανεμογεννήτριες ειδικά, θα παρουσιαστούν πρώτα.

4.1) ΚΟΣΤΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.

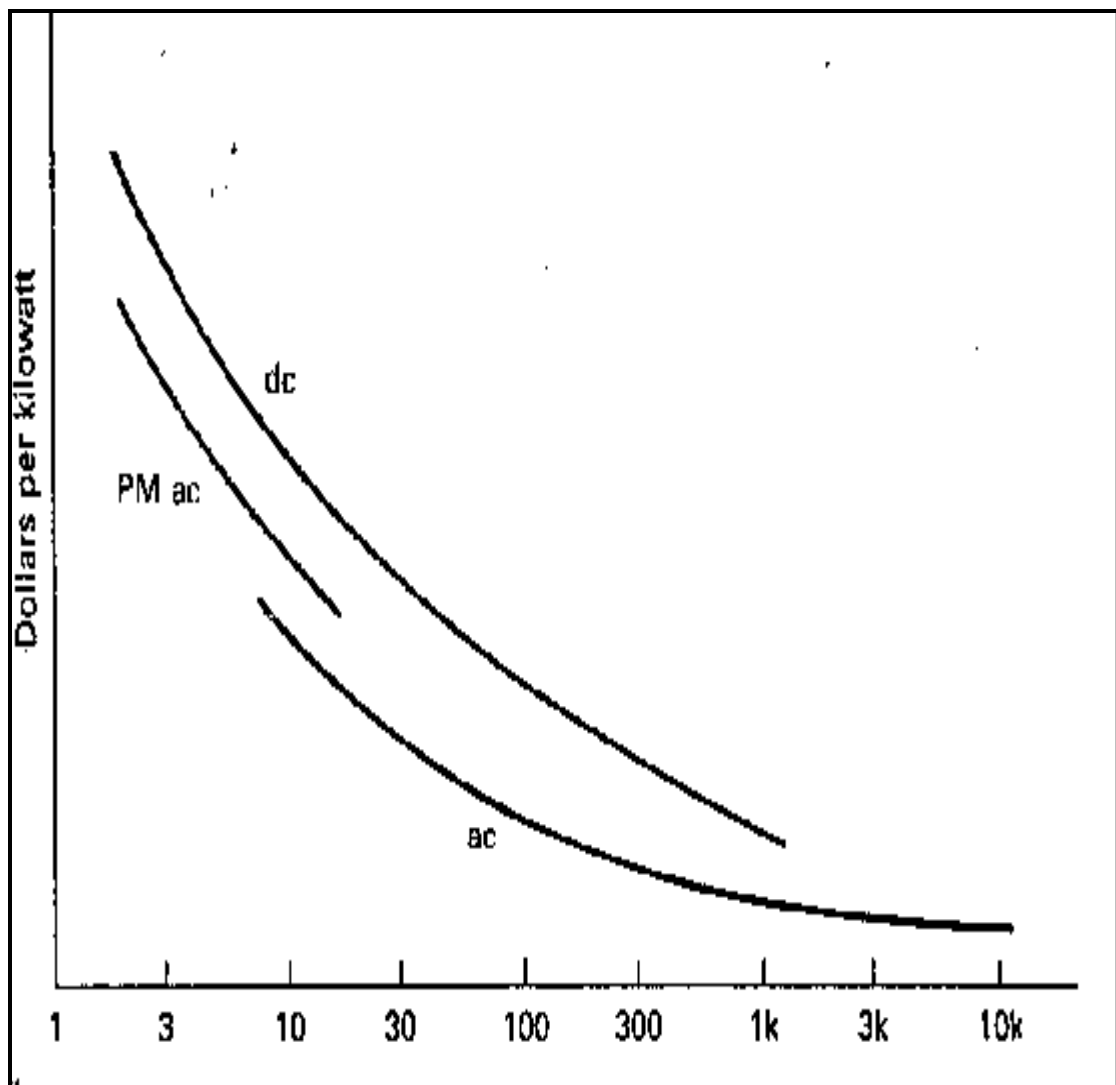
Μια ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού, εμπεριέχει πολλά μέρη. Στην κορυφή του πύργου μιας οριζόντιου άξονα τουρμπίνας είναι ο στροφέας, κιβώτιο ταχυτήτων, γεννήτρια, πλατφόρμα, φράχτης και διάφοροι αισθητήρες, συστήματα ελέγχου, συζευκτήρες, ένα φρένο και ένα αλεξικέραυνο. Στο κάτω μέρος του πύργου είναι οι μετασχηματιστές, ο μηχανισμός τροφοδοσίας και διακοπής ηλεκτρικών κυκλωμάτων, οι προστατευτικοί τηλεδιακόπτες, τα απαραίτητα όργανα και τα συστήματα ελέγχου.

Μια διαχωριστική γραμμή συνδέει την ανεμογεννήτρια με το χρήσιμο δίκτυο. Έδαφος, μια συνδετική οδός, και κατασκευή, απαιτούνται επίσης για να έχουμε ένα σύστημα εργασίας. Τα κόστη κεφαλαίου όλων αυτών των αντικειμένων, πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά σε μια μηχανολογική μελέτη.

Ορισμένα κόστη κεφαλαίου, όπως οι διαχωριστικές γραμμές, η γη και η συνδετική οδός, μπορούν να διαφέρουν ευρέως με την τοποθεσία. Αυτά τα κόστη θα μειωθούν τοποθετώντας τις ανεμογεννήτριες κατά μήκος του υπαρκτού δρόμου. Αυτή θα ήταν η κανονική πρακτική στο Great Plains όπου δεν υπάρχουν μεγάλες μεταλλαγές στην τοπογραφία. Σε άλλα μέρη των Ηνωμένων Πολιτειών και του κόσμου, οι ανεμογεννήτριες θα τοποθετηθούν στην καλύτερη πλευρά του ανέμου, αρκετά χιλιόμετρα από τους δρόμους και τις γραμμές ενέργειας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αυτά τα κόστη μπορεί να είναι ένα αξιόλογο κομμάτι από το συνολικό.

Το κόστος ανά kW της μέγιστης παραγομένης ισχύος διαφέρει με το μέγεθος της ανεμογεννήτριας. Κόστη των συστατικών ανά μονάδα μεγέθους τείνουν να μειωθούν όσο το μέγεθος αυξάνεται. Για παράδειγμα, εικόνα 1, δείχνει την μεταβολή του κόστους των ηλεκτρικών γεννητριών με το μέγεθος. Παρόμοιες καμπύλες θα δώσουν βάση για τους μετασχηματιστές, τη διαχωριστική γραμμή, και άλλον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Σ'αυτή την εικόνα τα dc και ac παραπέμπουν σε συμβατικές dc και ac μηχανές, εκ των οποίων και οι δυο απαιτούν ένα πεδίο σύγχρονο προμηθευόμενο από μια άλλη πηγή λειτουργίας. Αυτό μειώνει το κόστος πιο πάνω από αυτό της μηχανής και επίσης συνεισφέρει στις απώλειες. Η καμπύλη PM ac παραπέμπει σε μια ac γεννήτρια με το πεδίο της παρερχόμενο από μόνιμους μαγνήτες. Αυτή είναι μια

πιο απλή μηχανή και ενδεχομένως πιο αποτελεσματική, το οποίο την κάνει επιθυμητή για μικρότερες ανεμογεννήτριες. Οι dc μηχανές κοστίζουν περίπου τα διπλά από ότι οι ac μηχανές όμοιας κατάταξης, λόγω μεγαλύτερου φυσικού μεγέθους και περιπλοκής. Οι dc μηχανές τείνουν να γίνουν λιγότερο αξιόπιστες λόγω του μετατροπέα και ο συνδυασμός μικρότερης αξιοπιστίας και μεγαλύτερου κόστους πιθανόν θα περιορίσουν τη χρήση τους στις ανεμογεννήτριες.



Σχέδιο 1: Συγγενή κόστη ηλεκτρικών μηχανών.

Το κόστος της κατασκευής ανά μονάδα χωρητικότητας επίσης τείνει να μειωθεί καθώς η χωρητικότητα αυξάνει. Αυτό είναι, ένας πύργος διπλής κατάταξης που δεν απαιτεί συνήθως την διπλή δουλειά για να τοποθετηθεί, τουλάχιστον μέχρι κάποιο κρίσιμο μέγεθος, όπου τοπικά διαθέσιμος εξοπλισμός και προσωπικό δεν είναι πλέον αρκετό. Από την άλλη, η μάζα της χρησιμοποιούμενης ύλης αυξάνει τη διάμετρο του στροφέα στον κύβο, ενώ η διαβάθμιση αυξάνει με το τετράγωνο της διαμέτρου. Η μάζα είναι ανάλογη του όγκου ενώ η διαβάθμιση είναι ανάλογη μονό της έκτασης. Από τότε που το κόστος είναι σχετικό της μάζας, θα υπάρξει ένα σημείο όπου η κλίμακα των οικονομικών θα ξεπεραστεί από αυτόν τον βασικό νομό και η γεννήτρια, μεγαλύτερη από κάποιο κρίσιμο μέγεθος, θα κοστίζει περισσότερο ανά kW της μέγιστης δύναμης, από ότι μια γεννήτρια πιο κοντά στο κρίσιμο μέγεθος. Το κρίσιμο μέγεθος θα διαφέρει με τις υποθέσεις που έγιναν για τις μεταβολές του κόστους, αλλά αρκετά λεπτομερείς μελέτες είχαν υποδείξει ότι από 1500 έως 2500 kW μπορεί να είναι κοντά στο κρίσιμο μέγεθος. Βεβαίως το MOD-5 A και το MOD-5 B έχουν σχετική ταχύτητα περισσότερη από 6000 kW, που υποδεικνύει μια σχετικά ευρεία σειρά πιθανών κρίσιμων μεγεθών.

Μια φορά ένα μέγεθος διαλέγονταν, και ακόμα πιο λεπτομερείς μελέτες κόστους μπορούσαν να γίνουν. Τα αποτελέσματα ανεξαρτήτων μελετών διαφέρουν ευρέως, έτσι πρέπει να υπάρχει προσοχή. Η Golding αναφέρει τα αποτελέσματα τριών μελετών που εκτελούνται σύντομα μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο τα οποία αναπαρίστανται στις 3 πρώτες στήλες του Πίνακα 8.1. Αυτές οι μελέτες ήταν όλες για συμβατικές οριζοντίου άξονα γεννήτριες και έγιναν από ανθρώπους έμπειρους στην κατασκευή και λειτουργία μεγάλων ανεμομηχανών. Οι διαφορές μεταξύ μελετών είναι αξιόλογες και ίσως επεξηγούν τη δυσκολία των επεξεργαστών.

Η τέταρτη στήλη στον Πίνακα 8.1 είναι το αποτέλεσμα μιας μελέτης σε μια εννοιολογική 200kW οριζοντίου άξονα ανεμογεννήτρια, η επονομαζόμενη MOD-X σε αυτή την μελέτη. Η μελέτη έγινε από το Κέντρο Ερευνάς Lewis μετά από τις εμπειρίες του με το MOD-0 και το MOD 0-A. Το εννοιολογικό σχέδιο για το MOD-X περιλάμβανε δυο εγκατεστημένα στροφικά πτερύγια συναρμολογούμενα στον άξονα μικρής ταχύτητας ενός τριών επιπέδων παράλληλο αξονικό κιβώτιο ταχυτήτων. Διάλεξαν μια σύγχρονη περιστροφική γεννήτρια της τάξης των 200kW και 1800 rpm. Ο πύργος ήταν να γίνει μια

περιστρεφόμενη κυλινδρική πρόβολος εγκατεστημένη σε ένα γεμάτο ακαθαρσίες εργοστάσιο προκατασκευασμένο από σκυρόδεμα το θεμέλιο. Η γεννήτρια ήταν να έχει ένα ταλαντωμένο άξονα και ένα αδρανές στρεφόμενο σύστημα οδήγησης. Ο ρυθμός ταχύτητας του ανέμου ήταν 9.4 m/s (21 mi/h) σε άξονα ύψους 30 m.

Αυτό το σχέδιο καταλήγει σε σημαντικές μειώσεις του κόστους για τα θεμέλια, την παρέκκλιση ελέγχου και εγκατάστασης, το οποίο κάνει τα πτερύγια, τον πύργο και το κιβώτιο ταχυτήτων να εμφανίζονται σχετικά ακριβά καθώς συγκρίνονται με τα προηγούμενα σχέδια. Το προβλεπόμενο κόστος για την 100^η μονάδα παραγωγής ήταν 153,360\$ το 1978 χωρίς να περιλαμβάνονται διοικητικά και μηχανικά κόστη και γενικά έξοδα, και 202,810\$ συμπεριλαμβανομένων όλων των εξόδων. Αυτό καταλήγει σε ένα κόστος ηλεκτρισμού της τάξης των 4,34 σεντς/ kW σε μια τοποθεσία με μέσο όρο ταχύτητας ανέμου 6.3 m/s με ύψος 10 m για τις υποθεθείς οικονομικές συνθήκες.

Table 8.1 Αναλυτικό κόστος κατασκευής για μεγάλες ανεμογεννήτριες

	ΑΓΓΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ	SMITH- PUTNAM	P.T.THOMAS	MOD-X (200 kW)
Πτερύγια (%)	7.4	11.2	3.9	19.6
Άξονας, Στηρίγματα Πτερυγίων, Κρίκοι Πτερυγίων, Βάσεις, Κύριος Άξονας, Άτρακτος (%)	19.5	41.5	5.9	15.2
Πύργος (%)	8.1	7.7	11.2	20.6
Κιβώτιο ταχυτήτων (%)	16.7	9.5	2.3	16.5
Ηλεκτρική γεννήτρια και Εγκατάσταση (%)	12.5	3.4	33.6	7.6
Εξοπλισμός ελέγχου για ταχύτητα, παρέκκλιση και φορτίο (%)	4.4	6.5	8.3	4.4
Θεμέλια και εργασία περιοχής (%)	31.4	16.6	20.3	16.1
Μηχανολογία (%)	-	3.6	14.5	-
	100.00	100.00	100.00	100.00
Διάμετρος ρότορα (m)	68.6	53.3	61.0	38.1
Ποσοστό δύναμης (kW)	3670	1500	7500	200
Ποσοστό δύναμης ανέμου (m/s)	15.6	13.4	15.2	9.4
Ποσότητα παραγωγής	40	20	10	100

Μια άλλη διαφορά μεταξύ των τριών προηγούμενων μελετών και της μελέτης του 1979 είναι η προηγμένη τεχνολογία. Έγιναν βελτιώσεις στην τεχνολογία για κάθε ένα από τα συστατικά της τουρμπίνας από το 1950, και επιτεύγματα σε τουλάχιστον δυο εγκαταστάσεις. Αυτές οι εκτάσεις, είναι οι μικροϋπολογιστές ελέγχου και η μεγάλη ανάλυση ελέγχου υπολογιστή των τουρμπινών. Η Smith-Putnam μηχανή απαιτεί έναν χειριστή να παρίσταται 24 ώρες κάθε μέρα για να ελέγχει τις μετρήσεις, να βγάζει τη μηχανή εκτός δικτύου όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μικρή και να συγχρονίζει την γεννήτρια με το δίκτυο όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει. Όλες αυτές οι λειτουργίες τώρα χειρίζονται αυτόματα από μικροϋπολογιστές. Αυτό ελαττώνει τα λειτουργικά έξοδα ουσιαστικά και βελτιώνει την εκτέλεση της μηχανής και μειώνει την πιθανότητα η μηχανή να πάθει ζημιά από λάθος του χειριστή.

Ωστόσο, το σχέδιο Smith-Putnam μηχανής ολοκληρώθηκε από την χρήση ολισθηρών κανόνων και μαθηματικών πινάκων. Αυτό το σχέδιο πέρασε από έξι περίπου επαναλήψεις αλλά πραγματικά χρειαζόταν ακόμα περισσότερες οι οποίες δεν επιτρεπόντουσαν λόγω χρονικών περιορισμών. Πύργοι και πτερύγια τώρα σχεδιάζονται με μεγάλους υπολογιστές, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να σχεδιάζουν ικανοποιητικές κατασκευές που δεν είναι ιδιαίτερα βαριές ή ακριβές. Τα έξοδα είναι πάντα σχετικά με την ποσότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται, έτσι ελαφρότερα σχέδια θα βελτιώσουν την οικονομική δυνατότητα των ανεμογεννητριών. Το Boeing MOD-2, για παράδειγμα, σχεδιάστηκε με έναν ευλύγιστο πύργο, ο οποίος, είχε 27% λιγότερη ποσότητα ανά kW από ότι ο αλύγιστος MOD-1 πύργος. Αυτό βοήθησε το MOD-2 να είναι οικονομικότερα ανταγωνιστικός από τον MOD-1.

Τα παραπάνω αποτελέσματα έγιναν για μεγάλες ανεμογεννήτριες. Είναι ενδιαφέρον να συγκριθούν αυτά τα αποτελέσματα με παρόμοια αποτελέσματα για μικρές μηχανές, για να δουν αν υπάρχουν καθόλου επιρροές από το μέγεθος. Αποτελέσματα μιας μελέτης σε μικρές μηχανές δίνονται στον πίνακα 8.2. Η πρώτη στήλη δίνει τα ποσοστά των εξόδων για τις πρόσφατα διαθέσιμες μηχανές το 1980 και η δεύτερη στήλη δίνει τα ποσοστά εξόδων προβλεπόμενα για δεύτερη και τρίτη γενιά μηχανών το 1990.

Έξοδα μηχανών για μικρές ανεμογεννήτριες (%)

	1980	1990
Στροφέας και άξονας	12.0	20.5
Έλεγχοι	6.0	6.6
Μεταβίβαση	11.0	14.5
Γεννήτρια/Μετατροπή δύναμης	7.0	11.6
Πλαίσιο	8.0	2.4
Πύργος	18.0	7.5
Εγκατάσταση	20.0	25.6
Διανομή	16.0	9.5
Φόρτωση	2.0	1.8
	100.0	100.0

Βλέπουμε σε αυτόν τον πίνακα ότι το πλαίσιο και ο πύργος είναι δυο συστατικά τα οποία έχουν ένα καλό δυναμικό για μείωση εξόδων, από 26% έως 10% του συνολικού κόστους. Το κόστος της διανομής (εμπορεύματα πλοίων, ομάδα εξυπηρέτησης κ.λπ.) θα εμφανιστούν να έχουν κάποιο δυναμικό για την μείωση εξόδων. Καθώς το ποσοστό αυτών των εξόδων μειώνεται, τότε άλλα συστατικά γίνονται σχετικά πιο ακριβά. Βλέπουμε την εγκατάσταση να αυξάνεται από 20% έως 25% του συνολικού κόστους υποδηλώνοντας μια ανάγκη για σκεπτόμενη ανανέωση σε αυτή την περιοχή.

Δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ ερευνών ποσοστιαίων εξόδων για μεγάλες και μικρές γεννήτριες. Μεγάλες συνιστώσες εξόδων είναι τα πτερύγια, η μεταβίβαση, ο πύργος, και η εγκατάσταση όλων των γεννητριών, υποδηλώνοντας ότι αυτά τα συστατικά πρέπει να μελετηθούν προσεκτικά για πιθανές μειώσεις εξόδων.

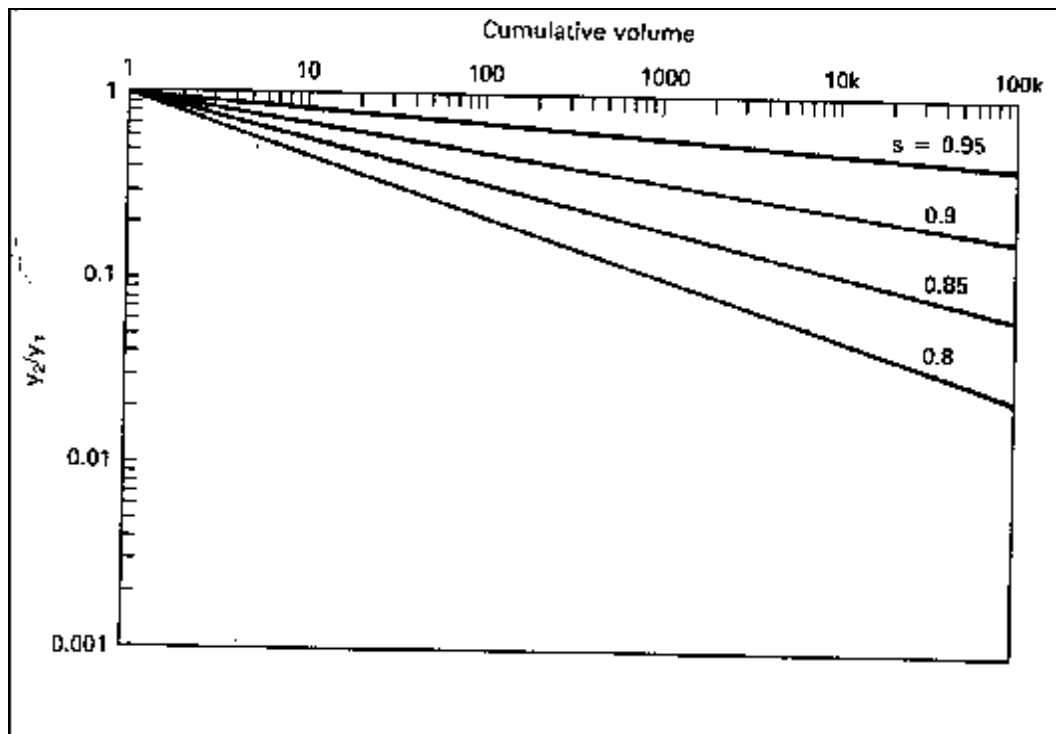
Μια από τις προκλήσεις των οικονομικών μελετών είναι να υπολογίσουν το κόστος των εγκατεστημένων γεννητριών όταν παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Το κόστος των αρχικών μηχανών είναι αρκετά υψηλό λόγω των πολλών ειδικά φτιαγμένων κομματιών και μεγάλων ποσών χειρωνακτικών έργων, ενώ οι μεταγενέστερες μηχανές είναι ικανές να έχουν το πλεονέκτημα υψηλοτέρου ποσού παραγωγής. Μείωση κόστους ανά

μονάδα προϊόντος με αύξηση του ποσού ανακαλύφθηκε, για να λάβει χώρα σε μια ευρεία ποικιλία περιοχών, συμπεριλαμβανομένου και του Model-T Fords, αεροσκάφη, παραγωγή ατσαλιού, διυλιστήρια πετρελαίου και παραγωγή ηλεκτρικής δύναμης. Το κλασικό παράδειγμα πρόσφατα ήταν ο υπολογιστής χειρός, κατά μήκος με αλλά ολοκληρωμένα ηλεκτρικά συστήματα.

Αυτή η μείωση του κόστους διαμορφώθηκε από γνώση καμπύλων. Αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές διαφορετικές βιομηχανίες.

Το διάγραμμα του κόστους y_2 με το n είναι μια ευθεία γραμμή σε λογομετρικό χαρτί. Η εικόνα 2 δείχνει διαγράμματα συμμετρικής καμπύλης y_2 (για $y_1 = 1$) για τις παραγωγούς 0.95, 0.9, 0.85 και 0.8. δίνοντας το κόστος της πρώτης μονάδας και της παραγωγού της καμπύλης, ένας μπορεί να υπολογίσει κατά προσέγγιση το κόστος της δέκατης ή της εκατοστής μονάδας της παραγωγής, τόσο καλά όσο των μέσων τιμών.

Η επιλογή της παραγωγού S είναι κρίσιμη στις οικονομικές μελέτες. Αυτό προϋποθέτει πληροφόρηση για γνώση γραφικής παράστασης από το παρελθόν τόσο καλά, όσο προσεκτικά υπολογισμού, για το πώς τα βιομηχανικά έξοδα θα πρέπει να είναι στο μέλλον. Ιστορικές ανασκαφές έδειξαν τη γραφική παράσταση του 0.86 για Model-T Fords, 0.8 για συνάθροιση αεροσκαφών, 0.95 για παραγωγή ηλεκτρικής δύναμης, 0.79 για παραγωγή ατσαλιού και 0.74 για υπολογιστές χειρός. Κύρια κομμάτια της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να αναμένονται να δείξουν διαφορετικές καμπύλες. Συστατικά όπως πτερύγια, άξονες και κιβώτια ταχυτήτων, που είναι μοναδικά σε ανεμογεννήτριες, θα έχουν μικρότερες τιμές του S . Οι ηλεκτρικές γεννήτριες, από την άλλη



παρουσιάζουν μια πολύ προηγμένη τεχνολογία, με ένα μεγάλο συσσωρευμένο σύνολο, τόσο μικρής παραγωγής εξόδων, που θα αναμένονται για αυτά τα συστατικά. Αλλά συστατικά θα έχουν την μέση τιμή του S.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Η πρώτη μονάδα μιας νέας συσκευής κοστίζει 1000.00 δολ. Η συσκευή εκτιμάται να ακολουθήσει μια καμπύλη $S=0.83$. Ποιο θα είναι το κόστος της εκατοστής μονάδας;

Η τιμή του θα είναι:

$$n = \frac{\ln(100 / 1)}{\ln 2} = 6.64$$

το κόστος y_2 είναι τότε :

$$y_2 = 1000 (0.83)^{6.64} = 290 \text{ δολ.}$$

Βλέπουμε ότι η καμπύλη είναι χρήσιμη τεχνική στο να προβλέπει έξοδα σε κατάσταση παραγωγής σωρού. Ένας κατασκευαστής σκεπτόμενος έναν νέο παραγωγικό εξοπλισμό θα θέλει σίγουρα να χρησιμοποιήσει την καμπύλη

μελέτης στη μείωση εξόδων έτσι ώστε το σύνολο να μπορεί να αυξηθεί, ώστε αργότερα να τείνει να μειώσει το κόστος ακόμη περισσότερο. Τα έξοδα δεν θα μειωθούν όπως ομοιόμορφα στην εικόνα 2, προτείνει, αλλά με μικρά βήματα καθώς ο νέος βιομηχανικός εξοπλισμός θα έρθει εκτός υπηρεσίας, με το συνολικό αποτέλεσμα προσεγγίζοντας μια ευθεία γραμμή.

. Το κόστος μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να περιγραφεί σε τουλάχιστον τέσσερις τρόπους: του συνολικού κόστους, του κόστους ανά μονάδα περιοχής, το κόστος ανά kW ταχύτητας και το μοναδιαίο κόστος ηλεκτρισμού.

Το συνολικό κόστος θα δοθεί από το C_t . Το C_t για μικρές μηχανές μπορεί απλά να παραπέμψει σε μεταφορά βαρύ οπλισμού από το εργοστάσιο, αλλά το C_t για τις μεγάλες μηχανές. Θα περιλαμβάνει σχεδόν πάντα γη, συνδετικές οδούς, κατανεμημένες γραμμές και κατασκευή. Το τελευταίο θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται κάθε φορά που είναι πιθανό να δώσει μια πιο ακριβή οικονομική εικόνα. Το C_t δεν περιλαμβάνει λειτουργικά ή έξοδα συντήρησης, τα οποία αντιμετωπίζονται ξεχωριστά.

Το κόστος ανά μονάδα εμβαδού πρέπει να είναι :

$$C_a = C_t / A \quad \$/m^2$$

οπού A είναι η προβαλλομένη περιοχή της γεννήτριας σε m^2 . Το C_a μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει διαφορετικούς τύπους γεννητριών, διαφορετικά μεγέθη και διαφορετικών ρυθμών ταχύτητας ανέμου. Εγκατάσταση και χωρητικότητα εργοστασίου, καθώς περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4, χρειάζονται επίσης να σαφηνιστούν πριν παρθούν έξυπνες αγοραστικές αποφάσεις.

Η καταμέτρηση κόστους που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το κόστος ανά kW των χαρακτηριστικών ορίων της μηχανής:

$$C_{kw} = C_t / P_{eR} \quad \$/kW$$

οπού P_{eR} είναι η μέγιστη χαρακτηριστική ηλεκτρική ενέργεια που αποδίδει η ανεμογεννήτρια. Αυτή είναι η καταμέτρηση που συνήθως χρησιμοποιείται από τη λειτουργία της βιομηχανίας, για άλλους τύπους παραγωγής ως εκ τούτου ταιριάζει φυσικά με το σκεπτικό πολλών ανθρώπων.

4.2) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ (ΑΡΧΕΣ).

Για να συζητήσουμε τα έξοδα εγκαταστάσεων παραγωγής ανέμου και συμβατικής παραγωγής περαιτέρω, πρέπει να αναπτύξουμε κάποιες οικονομικές έννοιες. Αυτές οι έννοιες αναπτύχθηκαν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε κείμενα πάνω σε μηχανικά οικονομικά.

Μια πολύ σημαντική έννοια είναι αυτή της διαθέσιμης τιμής ή της διαθέσιμης αξίας. Η παρούσα τιμή P_u μιας ομοιόμορφης ακολουθίας του τέλους της περιόδου πληρωμών A_n σε ενδιαφέρουσα αναλογία i που διαρκεί για n περιόδους είναι:

$$P_u = A_n \frac{(1+i)^n - 1}{i (1+i)^n}$$

Η παρούσα τιμή P_u και οι αναλογίες των μισθοδοσιών A_n , ειπώθηκαν να είναι ισότιμα σε μια οικονομική σημασία. Τα χρήματα είναι ισότιμα είτε είναι δανεισμένα είτε είναι δανεικά και εάν οι μισθοδοσίες φτιάχνονται ή συγκεντρώνονται. Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται στην εικόνα 3. Η παρούσα τιμή είναι τιμή σε χρόνο 0 ή ετος 0, με ίσες μισθοδοσίες που γίνονται στο τέλος κάθε περιόδου. Εάν η περίοδος είναι ένας χρόνος, τότε η πρώτη πληρωμή λαμβάνει χώρα στο τέλος του χρόνου 1 και παρόμοια για το υπόλοιπο n χρόνων.

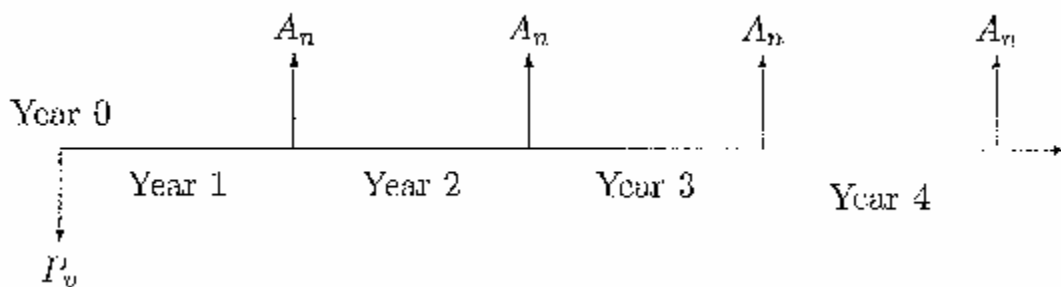


Figure 3: Παρούσες αξίες των ομοιομόρφων σειρών μιας τελικής περιόδου πληρωμών

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ποια είναι η παρούσα αξία μιας ετησίας μισθοδοσίας των \$100 για 20 χρόνια εάν το ποσοστό αναλογίας είναι 12%;

$$P_u = 100 \frac{[(1+0.12)^{20} - 1]}{0.12 (1+0.12)^{20}} = \$746.94$$

Η συνολική πληρωμή είναι \$100 (20) = \$2000, αλλά αυτή δεν είναι η παρούσα τιμή διότι δεν έχουμε να ξοδέψουμε το ακέραιο άθροισμα τώρα. Μπορούμε να σκεφτούμε την διαδικασία βάζοντας ένα μικρότερο άθροισμα χρημάτων στην τράπεζα σε κάποια έντοκη αναλογία και τότε το αποσυρόμενο μέρος του κανονικού αθροίσματος συν το επιτόκιο να κάνουν την απαιτούμενη πληρωμή.

Πράγματι, εάν \$746,94 τοποθετηθούν στην τράπεζα με 12% επιτόκιο επαυξανόμενο χρονικά, και αν \$100 αποσύρονται στο τέλος κάθε χρόνου, ο λογαριασμός θα πλησιάσει το 0 στο τέλος 20 ετών. Η αναλογία χρονικών πληρωμών των \$100 θεωρούνται ισότιμα των \$746,94 στο χέρι τώρα για οικονομικές αναλυτικές προθέσεις.

4.3) ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΕΣΟΔΑ.

Η βιομηχανία ηλεκτρικής χρησιμότητας, έχει πέντε μοναδικά χαρακτηριστικά τα οποία την διαχωρίζουν από τις άλλες βιομηχανίες.

1. Η βιομηχανία είναι μεγάλη δαπάνη κεφαλαίου. Για μια δοσμένη χρησιμότητα, παραπάνω από το μισό των εσόδων από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος, μπορεί να διατεθεί για να στηρίξουν την επένδυση κεφαλαίου. Ένας ακόμα μεγαλύτερος διαχωρισμός απαιτείται για την παραγωγή χωρίς έξοδα καυσίμων, όπως ο άνεμος.
2. Τα αντικείμενα της βιομηχανικής επένδυσης είναι μακρόβια, συχνά φτάνουν τα 30 με 40 χρόνια.
3. Η βιομηχανία έχει μια αναφορικά συνεχή ροή εσόδων δολαρίων, σε ετήσια βάση συγκρινόμενη με άλλες βιομηχανίες.
4. Οι απαιτήσεις και η χρήση του βιομηχανικού προϊόντος έχει αποφασιστεί από τον πελάτη.
5. Η βιομηχανία έχει εντολή να τροφοδοτεί αξιόπιστο, χαμηλού κόστους, περιβαλλοντικά αποδεκτό ηλεκτρισμό και στο μεγαλύτερο μέρος ρυθμίζεται από κυβερνητικές υπηρεσίες.

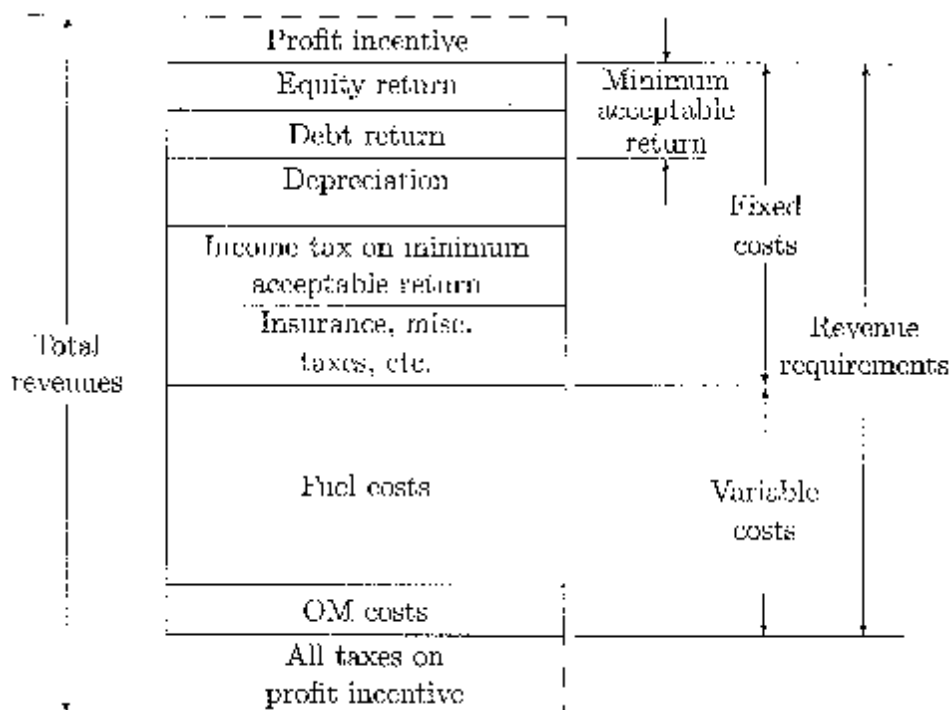


Figure 6: Revenue requirements on investment.

4.4) Η ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ .

Έχουμε δείξει ότι ο ηλεκτρισμός που παράγεται από τον άνεμο αξίζει και από την μεριά της ικανότητας αντικατάστασης της καθιερωμένης παραγωγής και από τη μείωση καυσίμων. Μια ικανότητα αξιόπιστη μπορεί να δοθεί μονό εάν η κατασκευή της ανεμοτουρμπίνας προληφθεί πριν η καθιερωμένη παραγωγή χτιστεί.

Επιχειρήσεις ωφέλειας έρχονται κατά πρόσωπο με πολλές επιλογές όταν σχεδιάζουν τη νέα παραγωγή. Δυο από τις πιο συνηθισμένες επιλογές είναι να χρησιμοποιείται η παραγωγή ανέμου για να αντικατασταθεί η νέα παραγωγή άνθρακα ή να εξοικονομούνται καύσιμα. Εάν ο άνεμος αντικαταστήσει τον άνθρακα, τότε θα μπορούμε να εξοικονομούμε καύσιμα την ίδια στιγμή. Και οι δυο οπτικές όμως πρέπει να εξεταστούν ως προς την χρησιμότητα.

Τώρα πρέπει να απεικονίσουμε την χρήση των διαφόρων οικονομικών εργαλείων που αξιοποιηθήκαν από τα εκτενή παραδείγματα.

4.5) **ΑΦΑΝΗ ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΜΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΡΑΤΗ.**

Αναπτύξαμε, μια μεθοδολογία για να κάνουμε απλούστερες τις οικονομικές εκτιμήσεις των ανεμογεννητριών και της συμβατικής παραγωγής. Περισσότερο λεπτομερή μοντέλα, χρησιμοποιούνται από επιχειρήσεις, αλλά αυτή η μεθοδολογία δείχνει τουλάχιστον τις κυρίες συνέπειες της αρχικής επένδυσης, τα έξοδα καυσίμων, τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, και την τιμή διακύμανσης και στα έξοδα και στην αξία του παραγομένου από τον άνεμο ηλεκτρισμό.

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, εκτός από αυτούς που κανονικά βρίσκονται στις οικονομικές μελέτες, οι οποίοι θα επηρεάσουν την ανάπτυξη των ανεμοτουρμπινών και δείχνει σωστό να αναφέρουμε κάποιους από αυτούς εδώ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο παραγόμενος από τον άνεμο ηλεκτρισμός δεν έχει έξοδα στην κοινωνία. Εργοστάσια άνθρακα απαιτούν την εξώρυξη μεταλλευμάτων και την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα, με τα προβλήματα της αναμόρφωσης των μεταλλείων και του μολυσμένου νερού, υποκαθίσταται σε παραγωγικά κράτη.

Ο καυστικός άνθρακας προσθέτει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα, με πιθανόν σοβαρές συνέπειες στο κλίμα της γης και στην ικανότητα παραγωγής τροφής. Η πυρηνική ενέργεια απολαμβάνει το πλεονέκτημα της ογκώδους επιχορηγούμενης κυβερνητικής έρευνας και των αναπτυξιακών έργων, τα έξοδα των οποίων δεν αντανakλώνται στις οικονομικές μελέτες. Τα έξοδα της πυρηνικής απώλειας διάταξης και τα έξοδα καθαρισμού ενός πυρηνικού ατυχήματος δεν έχουν ιστορικά συμπεριληφθεί πλήρως στις οικονομικές εκτιμήσεις. Αυτά τα αφανή έξοδα είναι δύσκολο, εάν όχι απίθανο, να καθορίσουν την ποιότητα, αλλά σίγουρα θα παίξουν ρολό στην ανάπτυξη των ανεμοτουρμπινών, επειδή τείνουν να υποστηρίξουν την παραγωγή ενέργειας στην πολιτική αρένα.

Όταν τα φυσιολογικά αιτιολογούμενα έξοδα είναι περίπου τα ίδια, αυτοί που αποφασίζουν πιθανόν θα κοιτάζουν να ελαχιστοποιήσουν τα αφανή έξοδα.

Η πολιτική δράση μπορεί επίσης να επηρεάσει τα αποτελέσματα των οικονομικών μελετών. Επίπλαστος χαμηλού ενδιαφέροντος ρυθμός, μακροπρόθεσμα δάνεια μπορούν να κάνουν την οικονομικά οριακή παραγωγή ανέμου, ανώτερη οικονομικά.

Αυτό κάνει την οικονομική πρόβλεψη μια ριψοκίνδυνη δουλειά. Για παράδειγμα, το μικρό φυλλάδιο "Electric Energy from Winds" που γράφτηκε το 1939 αλλά δεν εκδόθηκε μέχρι το 1946, περιέχει την δήλωση : "Υπάρχουν αρκετές αγροτικές περιοχές, όπου οι φάρμες είναι τόσο μακριά, που πιθανόν δεν θα είναι ποτέ οικονομικά δικαιολογημένες να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις γραμμές μεταφοράς". Το αγροτικό ηλεκτροδοτικό διάταγμα του 1936 έκανε πιθανό για περίπου κάθε φάρμα στη δύση, να δεθεί σε μια γραμμή μετάδοσης το 1955. Η πολιτική δράση απέδωσε την εσφαλμένη προφητεία πριν δοθεί για εκτύπωση.

Δυο άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν τα οικονομικά της αιολικής ενέργειας, είναι τα δυνατά αναπτυξιακά έργα που έγιναν για αποθήκευση ενέργειας και για το βάρος της διαχείρισης. Οι επιχειρήσεις δουλεύουν για να αντικαταστήσουν στο maximum της παραγωγής της πετρελαιομηχανής με βάση τον άνθρακα, ή την πυρηνική παραγωγή.

Οι αποθηκευτές ενέργειας, όπως οι υδροηλεκτρικές αντλίες, μπαταρίες, θα παρέχουν το μέγιστο φορτίο. Εάν ο χώρος αποθήκευσης και το βάρος του διαχειριστικού εξοπλισμού αναπτυχθεί για να απεικονίσει ένα ουσιαστικό κλάσμα της συνολικά εγκατεστημένης παραγωγικής χωρητικότητας, τότε ο εξοπλισμός της πετρελαιομηχανής θα χρησιμοποιείται μονό για ανάγκη.

Το πετρέλαιο θα καίγεται μονό όταν η συμβατική παραγωγή θα είναι σε υποχρεωτική πτώση ισχύος. Σε ένα τέτοιο σύστημα η συμβατική παραγωγή τείνει να προμηθεύσει το μέσο όρο του φορτίου αντί το μέγιστο φορτίο. Τα μέγιστα φορτία μετακινούνται σε μια ύστερη, όχι μέγιστη τιμή από φορτίου διαχείρισης.

Η αιολική ενέργεια θα αυξήσει ένα τέτοιο σύστημα πολύ καλά. Θα συμπεριφερόταν σαν ένας προμηθευτής ενέργειας μαζί με την καθιερωμένη παραγωγή. Εάν ο άνεμος δεν φυσούσε κατά την διάρκεια του φορτίου αιχμής,

περισσότερη ενέργεια θα τραβιόταν από την αποθήκη και περισσότερα φορτία θα καθυστερούσαν.

Εάν η καθιερωμένη παραγωγή, ο χώρος αποθήκευσης και το φορτίο διαχείρισης ήταν ανίκανα να έρθουν σε επαφή με το φορτίο, τότε θα χρησιμοποιούνταν κάποια πετρελαιομηχανή.

Ένας άλλος παράγοντας πρέπει να σημειωθεί. Αυτή η πιθανότητα, ότι τα καύσιμα προμηθεύουν την υπάρχουσα καθιερωμένη παραγωγή μπορεί να μην επαρκούν, συμφωνά με τις απαιτήσεις. Οι ανεμογεννήτριες θα ήταν ικανές στο κάτω να μειώσουν τον αριθμό και τα κρίσιμα black out. Τα σχολεία και η βιομηχανία μπορεί να είναι ικανά να συνεχίσουν την λειτουργία όταν ο άνεμος φυσάει και έτσι να μειώσουν την επιρροή της έλλειψης καυσίμων. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται κατά τη διάρκεια τέτοιων περιόδων, θα έχει ουσιαστικά μεγαλύτερη αξία στην κοινωνία, από ότι ο ηλεκτρισμός που θα παραγόταν κάποια άλλη στιγμή. Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να είναι σταθερά μια πολιτική ασφαλείας εναντίον σοβαρών προβλημάτων προμήθειας καυσίμων.

Αυτοί οι παράγοντες τείνουν να διευκολύνουν την παραγωγή ανέμου αντί της καθιερωμένης παραγωγής. Εάν τα συστήματα ανέμου είναι ισάξια με την καθιερωμένη παραγωγή, σε μια φτωχή οικονομική βάση, τότε φαίνεται ότι οι μη οικονομικοί παράγοντες θα ρίξουν την κλίμακα για χάρη της παραγωγής ανέμου.

4.6) **ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΕ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΚΡΑΤΗ.**

Υπάρχουν περίπου ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι, που ζουν σε διασκορπισμένες αγροτικές περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών, στις ηπείρους, Ασίας, Αφρικής και Ν. Αμερικής, που ζουν σε συνθήκες φτώχειας. Αυτές οι συνθήκες, ενθαρρύνουν μια ισχυρή έξοδο σε αστικές συνοικίες, το οποίο κάνει την όλη κατάσταση ακόμα χειρότερη σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

Οι περισσότερες από τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι φτωχές σε πηγές καυσίμων και έχουν ανάγκη να τις εισάγουν με το φθηνότερο ξένο συνάλλαγμα. Υπάρχουν όμως μόνο δύο τεχνικές, εφικτές λύσεις στο ενεργειακό τους πρόβλημα. Η μία λύση είναι η παράδοση μιας μεγάλης εγκατάστασης με πυρηνική ενέργεια, η μεταβίβαση της ενέργειας και η διανομή της στο δίκτυο. Η άλλη λύση είναι η αποκέντρωση του ηλιακού συστήματος και η εγκατάσταση του εξοπλισμού του αέρα στο επίπεδο του χωριού. Υπάρχουν πολλοί άνθρωποι που πιστεύουν, ότι η τελευταία λύση είναι η καλύτερη και ότι είναι η μόνη πολιτικά εφικτή.

Οι ενεργειακές ανάγκες, σε μια επαρχιακή πόλη, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

1. Στην ενέργεια που βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης.
2. Στην ενέργεια που βελτιώνει την αγροτική παραγωγικότητα.
3. Στην ενέργεια, σε μικρή κλίμακα, των βιομηχανιών.

Είναι δύσκολο να θέσεις προτεραιότητες ανάμεσα σε αυτές τις ανάγκες, αλλά θα πρέπει να βελτιωθούν, αν οι άνθρωποι θέλουν να έχουν κάποιες ελπίδες για το μέλλον. Συγκριτικά, ένα μικρό σύνολο ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μερικές ανάγκες των ανθρώπων, όπως για το μαγείρεμα, για άντληση και καθαρισμό του νερού και για φως (ηλεκτρικό) στις κατοικίες. Κάποτε αυτές οι ανάγκες εκπληρώνονταν, ενώ τώρα η εργασία μπορεί να ξεκινήσει από την ανάπτυξη της αγροτικής και βιομηχανικής παραγωγής.

Μια πρόχειρη εκτίμηση για τις ενεργειακές ανάγκες, ενός τυπικού χωριού 200 οικογενειών είναι:

- Ø 88,00 KWh το χρόνο για μαγείρεμα.
- Ø 1,00 KWh το χρόνο για άντληση νερού.
- Ø 26,000 KWh το χρόνο για φως.

Ο μέσος όρος τους είναι 315 KWh την ημέρα, όπου το μεγαλύτερο μέρος θα πρέπει να παρέχεται κατά την διάρκεια 3 ωρών στην περίοδο της νύχτας. Η ενέργεια που χρειάζεται το μαγείρεμα είναι τα $\frac{3}{4}$ της συνολικής ενέργειας. Έτσι θα πρέπει το σύστημα να ικανοποιεί το φορτίο, εφόσον όλοι οι κάτοικοι διαλέξουν να μαγειρέψουν την ίδια ώρα. Η πιο προφανή λύση είναι μία diesel μηχανή και μια γεννήτρια 100 KW ή 150 KW, όμως το κόστος των καυσίμων δεν την κάνει αποδεκτή. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται σαν πρότυπο και επιπλέον έχει δύσκολους περιορισμούς σε κάθε ηλιακό σύστημα, αλλά και στον αέρα, που μπορεί να χρησιμοποιούνται. Η παραγόμενη ισχύς του ηλιακού συλλέκτη, θα είναι περίπου στο μηδέν, την στιγμή που θα έχουμε μέγιστο φορτίο και ο αέρας θα είναι ήρεμος ταυτόχρονα.

Μια άλλη δυνατότητα του ενεργειακού συστήματος είναι το biogas. Τα φυτά, τα ζώα και τα απορρίμματα των ανθρώπων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευασθεί το μεθάνιο, όπου μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί απευθείας για το μαγείρεμα. Είναι μη αποδεκτό να χρησιμοποιούμε το μεθάνιο απευθείας για το φως, έτσι το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης, όπου οδηγεί μία ηλεκτρική γεννήτρια να παράγει ηλεκτρισμό. Τα παραπάνω αποτελούν την μικρότερη επένδυση, αλλά απαιτεί εντατική εργασία για να κρατήσει την ευκολία του biogas και την εσωτερική καύση της μηχανής σε λειτουργία.

Μελέτες δείχνουν ότι το κόστος του ηλεκτρισμού σε μακρινές τοποθεσίες, είναι πιθανόν να είναι ένας παράγοντας, 4 φορές, το κόστος των ανθρώπων σε αναπτυγμένες χώρες, με μεγάλο άνθρακα-κάρβουνο και

ηλεκτροπυρηνικές εγκαταστάσεις. Τα ηλιακά συστήματα και τα συστήματα του αέρα είναι ανταγωνιστικά με τα άλλα αποδεκτά συστήματα, αλλά όλα είναι πολύ ακριβά γενικά. Το πραγματικό σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται ανά άτομο δεν είναι πολύ μεγάλο, έτσι το κόστος ανά KWh είναι σχετικά υψηλό και αποδεκτό. Ένα πρόβλημα είναι ότι οι άνθρωποι κοιτάνε το κόστος του εξοπλισμού, την έλλειψη μεταφοράς, την έλλειψη εκπαίδευσης των ανθρώπων και τις παραδόσεις και συνήθειες, όπου καταλήγουν, να μην είναι οικονομικά να παρέχουν ηλεκτρισμό σε αυτά τα χωριά. Τα χωριά αφέθηκαν στην φτώχεια και στην απόγνωση. Οι περιοχές εξαθλίωσης, θα πρέπει να γίνουν καλύτεροι τόποι διαβίωσης, για να υποδεχτούν ανθρώπους μαζικής μετανάστευσης. Οι χώρες γίνονται ασταθής και ανέτοιμες για επανάσταση, όσο η διαδικασία συνεχίζει. Υποστηρίζεται ότι τα πραγματικά κόστη για την ανάπτυξη μιας χώρας, ακόμα και για την κοινωνία των εθνών, είναι μεγαλύτερα. Το αναπτυσσόμενο επίπεδο διαβίωσης σε υπαίθριες περιοχές, απελευθερώνει ένα μεγάλο μέρος ανθρώπινης μιζέριας και επίσης αναπτύσσει πολιτική σταθερότητα στον κόσμο. Ο Dr I.H. Usmani, Senior Energy Advisor, U.N.E.P., είπε:

«Αυτοί οι αγρότες θα πρέπει να έχουν ενέργεια, όχι σαν τιμή, αλλά με κάθε τίμημα.»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ

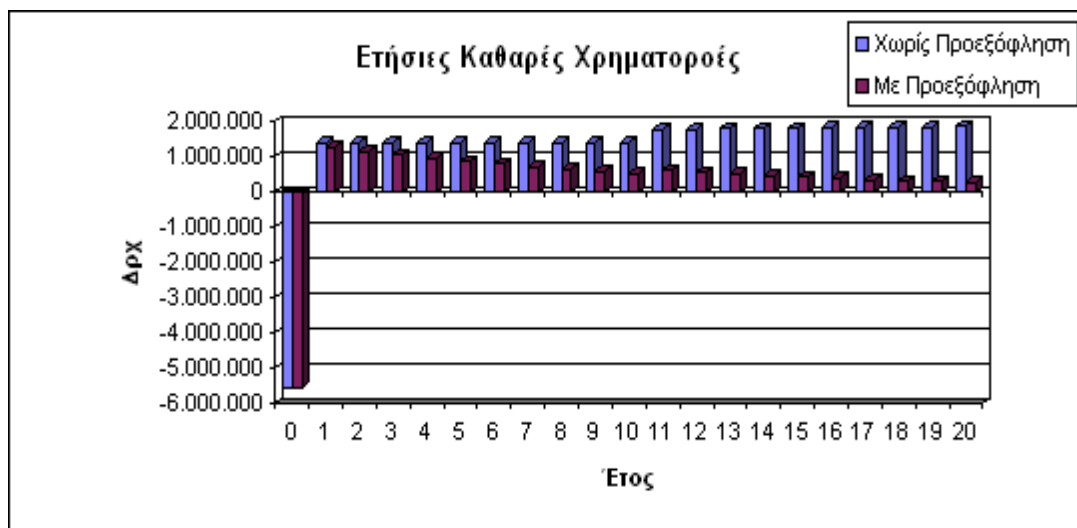
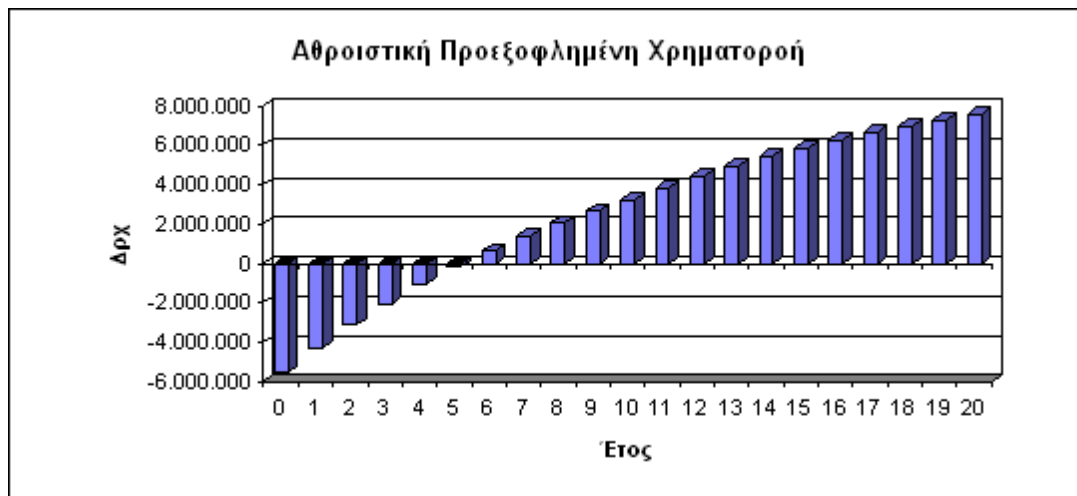
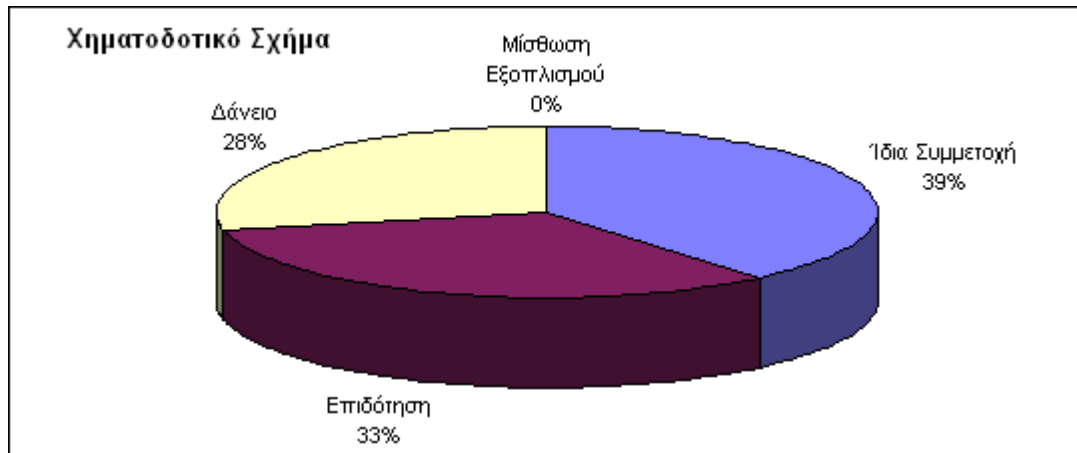
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ

ΠΑΡΚΟΥ.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικού Πάρκου	13,60	MW
Καθαρός Συντελεστής Παραγωγής	34%	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης	14,25	εκατ. €
Αναλυτικό Κοστολόγιο Επένδυσης	Ναι	

EBA Επένδυσης (20 έτη)	26,1%		EBA = IRR (Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης)
ΚΠΑ Επένδυσης (20 έτη)	7,57	εκατ. €	
EBA Επένδυσης (10 έτη)	22,3%		ΚΠΑ = NPV (Καθαρά Παρούσα Αξία)
Περίοδος Επανάκτησης Κεφαλαίου	5,5	έτη	



ΕΡΓΟ: ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΚΙΣΣΑΜΟΥ

ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Αναλυτικό Κοστολόγιο (ΑΚ) (Ναι=1, Όχι=0)	1
Κόστος ανά εγκατεστημένο kW (εάν ΑΚ=0) σε Ευρώ	1.048 €

Προϋπολογισμός Επένδυσης

Επιλέξιμες Δαπάνες (Αναπτυξιακός Νόμος) - Προϋπολογιστικά Κόστη	Ευρώ		
Μηχανήματα	<i>Αποσβενόμενα</i>		
Α/Γ	16	463.683	7.418.928
Πύργοι Α/Γ	16	102.715	1.643.440
Μεταφορά & Ασφάλιση	16	42.553	680.848
Μέγεθος (kW)	850		
Σύνολο Μηχανημάτων			9.743.216
Ηλεκτρολογικά	<i>Αποσβενόμενα</i>		
Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις	6,0	64.563	387.378
Μετασχηματιστές	16	26.412	422.592
Εξοπλισμός Κέντρου Ελέγχου	1	73.367	73.367
Διασύνδεση με Δίκτυο σε κίη	12	38.152	457.824
SCADA + Επικοινωνία με ΚΕΕ	1	88.041	88.041
Σύνολο Ηλεκτρολογικών			1.429.202
Έργα Πολιτικού Μηχ/κού	<i>Αποσβενόμενα</i>		
Οδοποιία	14.000	70	986.062
Θεμέλια - Πλατείες (Εκσκ./Επιχ.)	16	11.739	187.824
Βάσεις Μετασχηματιστών	16	1.467	23.472
Κατασκευή Θεμελίων	16	20.543	328.688
Κτίριο Ελέγχου	1	73.368	73.368
Σύνολο Έργων Πολιτικού Μηχ/κού			1.599.414
Λοιπές Δαπάνες	<i>Αποσβενόμενα</i>		
Ανέγερση	16	27.880	446.074
Μετρήσεις & Ιστοί Αιολικού Δυναμ.	2	14.674	29.347
μετρητικές διατάξεις + ΣΥΝΔΕΣΗ	1	155.540	155.540
Σύνολο Λοιπών Δαπανών			630.961
Μη Αποσβενόμενες Δαπάνες	<i>Μη Αποσβενόμενα</i>		
Σύνολο Μη Αποσβενόμενων Δαπανών			0
Σύνολο Επιλέξιμων Δαπανών			13.402.793

Μη Επιλέξιμες Δαπάνες	Ευρώ		
Αποσβενόμενες Δαπάνες	<i>Αποσβενόμενα</i>		
Σύνολο Αποσβενόμενων Δαπανών			0
Μη Αποσβενόμενες Δαπάνες	<i>Μη Αποσβενόμενα</i>		
Ανάπτυξη Έργου			440.205
Αγορά Γης			58.694
Άλλες Μελέτες/Σύμβουλοι			234.776
Διεύθυνση/Επίβλεψη Έργου			117.388
Σύνολο Μη Αποσβενόμενων Δαπανών			851.064
Σύνολο Μη Επιλέξιμων Δαπανών			851.064

ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	14.253.856
-------------------------	-------------------

Άλλες Παράμετροι

Ετήσια Αύξηση Τιμής kWh	1,0%	
Ετήσιος Πληθωρισμός	2,0%	
Κλίμακα Φορολογίας	35%	N.2873/2000
Προεξοφλητικό Επιτόκιο	10,0%	
Πώληση Γής μετά το πέρας του έργου	0	
Ξένο Νόμισμα (Ξ.Ν.)	\$	
Ισομία Ξ.Ν. - Δρχ	1,00	
Διολίσθηση Ξ.Ν.- Δρχ μέχρι 2001	0,0%	μετά το 2001->0% Νομισματική Ένωση

Χρηματοδοτικό Σχήμα

				Ευρώ
Σύνολο Επένδυσης				14.253.856
Ίδια Συμμετοχή				5.542.041
Επιδότηση	35%	<i>Κόστους (Επένδυσης-Μίσθωσης)</i>		4.690.977
Δάνειο	30%	<i>Κόστους Επένδυσης</i>		4.020.838
Επιτόκιο Δανεισμού	8,0%			
Διάρκεια Δανείου	10			
Επιδότηση Επιτοκίου Δανείου	0%			
Διάρκεια Επιδότησης Επιτοκίου	0			
Μίσθωση Εξοπλισμού	0	<i>(Κόστους Μίσθωσης Α.Γ.)</i>		0
Επιτόκιο Μίσθωσης	15%			
Διάρκεια Μίσθωσης	6			
Επιδότηση Μίσθωσης	40,0%			
				14.253.856
EBA Επένδυσης (20ετία)		26,1%	(10ετία)	22,3%

EBA = IRR

Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα

			Ευρώ
Ασφάλιστρα	0,50%	επένδυσης	71.269
Λειτουργία & Συντήρηση	2,00%	επένδυσης	285.077
Ενοίκιο Γης	2,00%	ετησίων εσόδων	62.399
Λοιπά	0,50%	επένδυσης	71.269
Διοίκηση	4%	ετησίων εσόδων	126.981
Ετήσιο Κόστος Λει.&Συντ.			616.995

0,02

Ετήσια Έσοδα

				Ευρώ
Εγκατεστημένη Ισχύς Έργου				13,60 MW
Ενεργειακά Έσοδα				
Τιμή ανά kWh	0,078	€/kWh (N.2773/99, N2244/94)		
Τιμή ανά MWh	77,79	€./MWh		
Συντελεστής Παραγωγής Έργου	33,7%			
Ετήσια Ενεργειακή Παραγωγή	40.107,13	MWh		
Ετήσια Ενεργειακά Έσοδα	3.119.930	€		3.119.930
Ετήσια Ενεργειακά Έσοδα			3.119.930 \$	
Έσοδα Ισχύος				
Τιμή ανά kW	0	€/kW/έτος (N.2773/99, N2244/94)		
Τιμή ανά MW	0	€./MW/έτος		
Ετήσια Έσοδα Ισχύος	0	€ (2.32% Ισχύς Απωλειών)		0
Ετήσια Έσοδα Ισχύος			0 \$	
Συνολικά Ετήσια Έσοδα			3.119.930 \$	3.119.930

Συντελεστές Αποσβέσεων (Π.Δ. 100/98)

Τύπος Παγείου	Αποσβ. Τιμή	Συντελεστής Απόσβεσ.	Ετήσια Απόσβ.
Ανεμογεννήτριες, Μηχ/κά	6.333.090	10,0%	633.309
Γραμμές Μεταφοράς	297.586	6,0%	17.855
Ηλεκτρικά & Ηλεκτρονικά	735.551	6,0%	44.133
Έργα Πολιτικού Μηχ/κού	1.039.619	5,0%	51.981
Λοιπά Επιλέξιμα	410.124	10,0%	41.012
Λοιπά Μη Επιλέξιμα	0	10,0%	0

*Στις αποσβενόμενες αξίες δεν συμπεριλαμβάνεται η επιδότηση

Εάν AK=0, Αποσβέσεις (έτη)	10
-----------------------------------	-----------

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

VESTAS TURBINE V52.

A) Guidelines to design of wind turbine.

i) High Resolution

ii) Low Resolution

B) Wind Energy Handbook.