



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΜΜ. ΚΑΡΑΠΙΔΑΚΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΙΑΛΑΜΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Κλιματικές αλλαγές ή καθαρές πηγές ενέργειας	6
1.2 Άνεμος	6
1.3 Τι είναι η αιολική ενέργεια	7
1.4 Πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας	8
2. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	14
2.1 Γενικά	14
2.2 Μέρη ανεμογεννήτριας	15
2.3 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών	17
2.4 Κατάταξη αιολικών μηχανών	18
2.5 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	20
2.6 Περιγραφή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα	23
2.7 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα	27
2.8 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανεμογεννητριών	29
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	33
3.1 Τμήματα ανεμογεννήτριας	33
3.1.1 Σχεδιασμός	34
3.1.2 Επιλογή υλικών	35
3.1.3 Κατασκευή	38
3.2 Γεννήτρια	39
3.3 Γέφυρα ανόρθωσης	41
3.5 Περιπτώσεις μικρών και μεγάλων φορτίων	42

3.6 Αεροδυναμική	44
3.6.1. Είδη ροών	44
3.6.2 Αρχές αεροδυναμικής	44
3.6.3. Αριθμός Reynolds	44
3.6.4 Η έννοια του οριακού στρώματος	45
3.6.5. Πάχος δ του οριακού στρώματος	47
3.6.6. Μορφές ροής στο οριακό στρώμα	48
4.1 Συμπεράσματα	52
<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	53

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την εμπάθυνση μας σ' ένα συγκεκριμένο αντικείμενο από αυτά που εμείς έχουμε διδαχθεί κατά τη διάρκεια της φοίτησής μας στο τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Έτσι στην εργασία αυτή που έχει τίτλο “Σχεδιασμός και κατασκευή ανεμογεννήτριας (6W) οριζόντιου άξονα”, αναπτύσσονται οι υπάρχουσες θεωρίες που περιγράφουν μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.

Η ανάπτυξη της ανθρωπότητας μετά τη βιομηχανική επανάσταση στηρίχθηκε στην κατασπατάληση των ενεργειακών και φυσικών πόρων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου που οδηγεί σε κλιματικές αλλαγές και η τρύπα του όζοντος είναι δύο σημαντικές επιπτώσεις που έχουν δημιουργηθεί εξαιτίας των αερίων καύσης του πετρελαίου και των ανθρακικών πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ενέργειας.

Η επιλογή αυτού του μοντέλου ανάπτυξης στηρίχθηκε στην αφθονία των ενεργειακών και φυσικών πόρων με έλλειψη μέτρου. Τα αποτελέσματα της αλόγιστης ανάπτυξης καλούνται να τα αντιμετωπίσουν οι σημερινές και οι επόμενες γενιές.

Η στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ξεκίνησε ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '70. Πολύ πρόσφατα οι εφαρμογές της αιολικής ενέργειας απέκτησαν τεχνολογική ωριμότητα και οικονομική ανταγωνιστικότητα για να καθιερωθούν στη διεθνή ενεργειακή αγορά.

Η Ελλάδα λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού και καθώς τα αποθέματα λιγνίτη δεν ανανεώνονται, έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην παραγωγή ενέργεια από ανεμογεννήτριες και ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές που η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται στο πετρέλαιο.

Έτσι πιστεύουμε ότι πρέπει να υπάρξει ανάπτυξη των ανεμογεννητριών σε πολλές περιοχές της Ελλάδος και ειδικά στις απομακρυσμένες που αντιμετωπίζουν προβλήματα. Εξάλλου η προστασία του περιβάλλοντος είναι χρέος όλων των πολιτών με ότι μέσα διαθέτει ο καθένας. Έτσι αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με την κατασκευή ενός μοντέλου ανεμογεννήτριας όπου μέσα από τη διαδικασία κατασκευής του μελετήσαμε και ασχοληθήκαμε πρακτικά με θέματα σχεδιασμού (χρήση λογισμικών AutoCAD, Corel), θέματα κατασκευής εντός του μηχανουργίου του τμήματος. Ένα τέτοιο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του τμήματός μας, παρόλο που είναι μια σχετικά απλή κατασκευή, είναι η πρώτη που γίνεται στα πλαίσια του τμήματος και γι' αυτό ίσως θα μπορούσε να βοηθήσει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κείμενο που ακολουθεί παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής ενός μοντέλου ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα ξεκινώντας από τον πύργο και την τοποθέτηση της γεννήτριας, μέχρι την κατασκευή διαφορετικών πτερυγίων και την δοκιμαστική λειτουργία τους με την εξαγωγή συμπερασμάτων για κάθε δοκιμή .

Αρχικά αναπτύσσεται η έννοια της αιολικής ενέργειας. Με τον όρο αιολική ενέργεια περιγράφεται η ενέργεια που μεταφέρει ο άνεμος κατά την κίνησή του.

Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική. Αυτή η μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένες διαδικασίες (όπως είναι η άντληση νερού) ή να μετατραπεί μέσω γεννητριών σε ρεύμα και να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Επίσης αναπτύσσονται πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας σε σχέση με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας στον οικονομικό και περιβαλλοντικό τομέα.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις οριζόντιου άξονα, όπως είναι οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι και οι κάθετου άξονα, όπως είναι το μοντέλο Darrieus. Όλες οι ανεμογεννήτριες, χωρίς να παίζει ρόλο το μέγεθος, αποτελούνται από μερικά βασικά χαρακτηριστικά: το ρότορα, τη γεννήτρια, ένα σύστημα ελέγχου ταχύτητας και τον πύργο. Μερικές μηχανές έχουν συστήματα προστασίας, έτσι ώστε αν ένα μέρος χαλάσει το σύστημα προστασίας σταματάει τα πτερύγια ή βάζει τα φρένα. Παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα μέρη μιας ανεμογεννήτριας καθώς επίσης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, καθώς είναι πολύ σημαντικό να αναφέρονται τα όποια αρνητικά στοιχεία εμφανίζονται με τη λειτουργία τους.

Μπαίνοντας στον τομέα της κατασκευής, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκαν βασικά μέρη της ανεμογεννήτριας, όπως η βάση, ο πύργος και η πλήμνη. Ακόμα περιγράφεται η γεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε, η γέφυρα ανόρθωσης που μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή συνεχούς τάσης και αναφέρονται κάποια σημεία της αεροδυναμικής που αφορούν στην κατασκευή των πτερυγίων.

Ο τρόπος κατασκευής των πτερυγίων περιγράφεται λεπτομερώς για όλα τα είδη. Το κόψιμο με το χέρι των ξύλινων και μερικών αλουμινένιων, η περιγραφή της υδροκοπής με την οποία κατασκευάστηκαν κάποια από τα αλουμινένια και η μέθοδος rapid tooling που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των πλαστικών πτερυγίων είναι οι τρεις μέθοδοι με τις οποίες κατασκευάστηκαν τα πτερύγια που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κλιματικές αλλαγές ή καθαρές πηγές ενέργειας

Είναι σαφές πως αν πρέπει να αντιμετωπιστεί σοβαρά το μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης, θα πρέπει να απαγκιστρωθεί η κοινωνία από το υπάρχον κυρίαρχο ενεργειακό μοντέλο. Η Ελλάδα σήμερα είναι δέσμια του εισαγόμενου πετρελαίου και του εγχώριου μεν, ρυπογόνου δε, λιγνίτη. Την τελευταία δεκαετία, και προκειμένου να ανατραπεί αυτή η κατάσταση, η χώρα παρασύρεται από τη γοητεία του φυσικού αερίου, φιλοδοξώντας να αποτελέσει η στροφή αυτή μια πιο ορθολογική απάντηση στα σημερινά ενεργειακά και περιβαλλοντικά αδιέξοδα. Η στροφή όμως αυτή δημιουργεί νέες εξαρτήσεις και εγγυάται μόνο οριακές βελτιώσεις.

Μετά τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970, η Ελλάδα διαμόρφωσε ένα ενεργειακό δόγμα, το οποίο στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής είχε ως βασικό πυλώνα τον λιγνίτη. Σήμερα, την εποχή της κρίσης του κλίματος, επιβάλλεται η ανατροπή αυτού του δόγματος. Επιβάλλεται η ριζική στροφή σε ένα καινούργιο, φιλικό προς το περιβάλλον ενεργειακό δόγμα. Ένα δόγμα που θα δίνει έμφαση στην εξοικονόμηση, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ορθολογική χρήση των συμβατικών ενεργειακών πόρων.

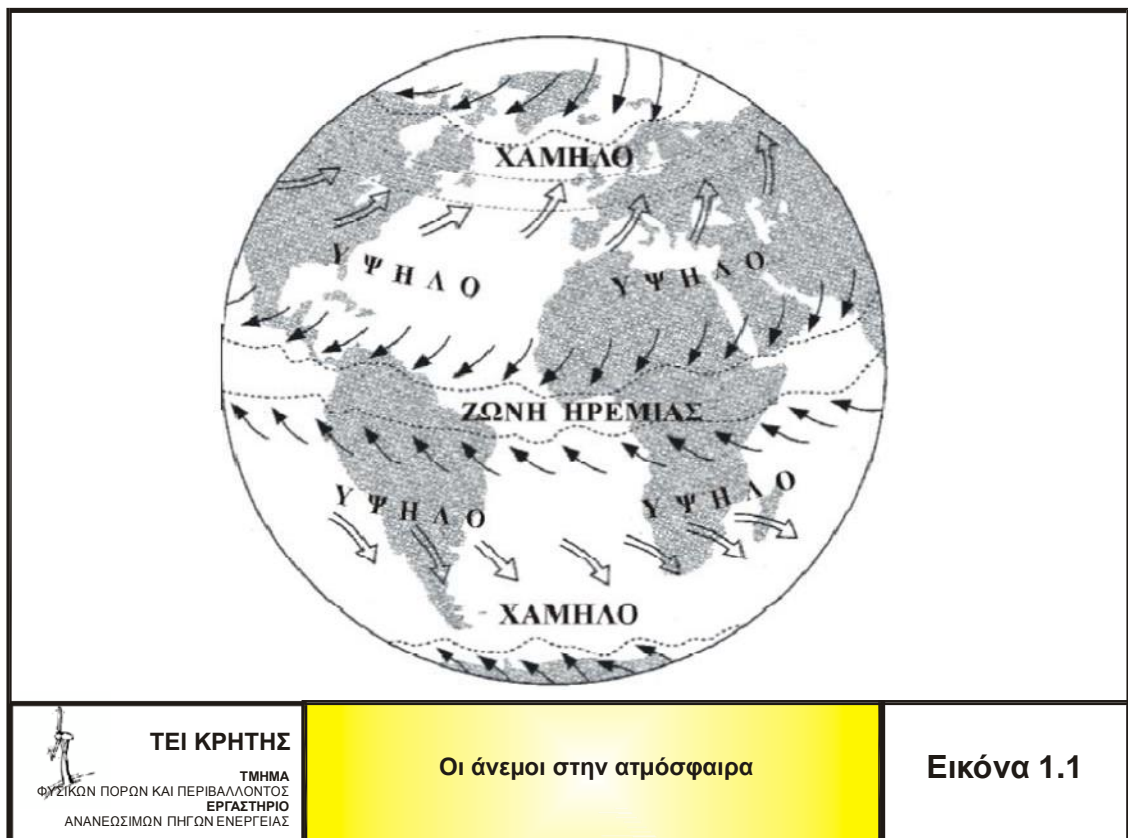
Η χώρα μας είναι ιδιαίτερα προικισμένη από ήλιο και αέρα και συνεπώς κατέχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα στην παραγωγή ενέργειας από αυτές τις πηγές. Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας παραμένει ανεκμετάλλευτο, με λίγες λαμπρές εξαιρέσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η Κρήτη όπου, το 2000, το 10% του ηλεκτρισμού παράχθηκε από αιολικά πάρκα. Το ποσοστό αυτό μάλιστα αναμένεται να αυξηθεί σύντομα, καθώς νέες επενδύσεις αιολικών πάρκων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη. Το παράδειγμα της Κρήτης αποδεικνύει ότι η στροφή προς την αιολική ενέργεια, εκτός από επιθυμητή, είναι και εφικτή. [9]

1.2 Άνεμος

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει τη γη βρίσκεται σε συνεχή κίνηση. Οι παράγοντες εκείνοι που δημιουργούν και διαμορφώνουν όλες αυτές τις κινήσεις είναι:

- η ηλιακή ενέργεια που προσλαμβάνει, τόσο η ατμόσφαιρα, όσο και η επιφάνεια του εδάφους,
- η ομοιογένεια του ανάγλυφου του εδάφους
- η περιστροφική κίνηση της γης περί τον άξονά της.

Οι κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζουν διάφορες κατευθύνσεις και διαφορετικό τρόπο δημιουργίας τους (Εικόνα 1.1). Από τις κινήσεις αυτές του ατμοσφαιρικού αέρα εκείνες που παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία είναι οι οριζόντιες μετακινήσεις του. Οι μετακινήσεις αυτές του αέρα, κατά την οριζόντια έννοια, καλούνται άνεμοι. Δηλαδή με τον όρο άνεμο νοείται κάθε ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που έχει κάποια σχετική κίνηση ως προς το έδαφος. [6] [18]



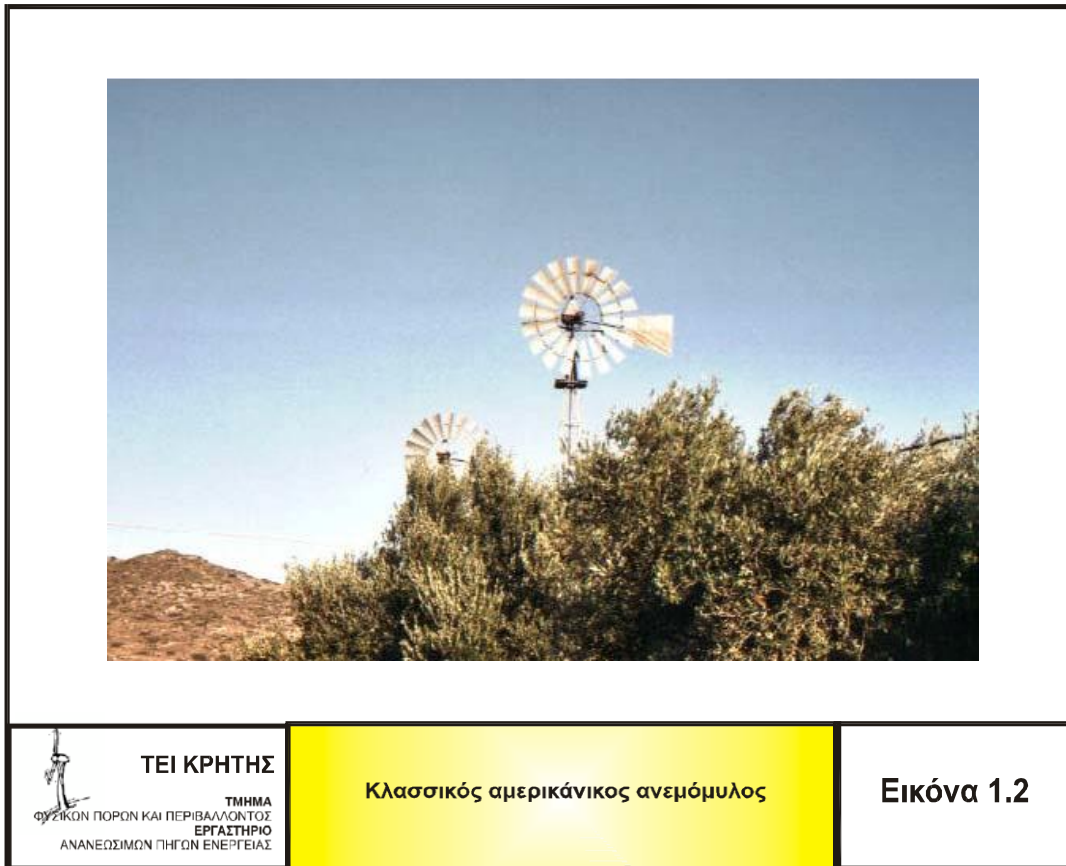
1.3 Τι είναι η αιολική ενέργεια

Με τον όρο αιολική ενέργεια περιγράφεται η ενέργεια που μεταφέρει ο άνεμος κατά την κίνησή του. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική. Αυτή η μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένες διαδικασίες (όπως είναι η άντληση νερού) ή να μετατραπεί μέσω γεννητριών σε ρεύμα και να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Από τα πρώτα ιστορικά χρόνια, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείτο για να κινήσει πλοία, ν' αντλήσει νερό ή να αλέσει δημητριακά. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείτο για να ωθήσει τα πλοία κατά μήκος του Νείλου περίπου απ' το 5000 π.Χ. Λίγους αιώνες προ Χριστού, απλοί ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν στην Κίνα για να αντλήσουν νερό.

Στις Η.Π.Α. εκατομμύρια ανεμόμυλοι ανεγέρθησαν στην αμερικανική δύση καθώς αυτή αναπτύσσονταν γύρω στο 19^ο αιώνα (Εικόνα 1.2). Οι περισσότεροι από αυτούς χρησίμευαν στην άντληση νερού για τις φάρμες. Κατά το 1900, μικρά συστήματα παραγωγής συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος αναπτύχθηκαν, αλλά οι περισσότερες από αυτές τις μονάδες τέθηκαν σε

αχρηστία καθώς αναπτυσσόταν το δίκτυο ρεύματος στις αγροτικές περιοχές κατά το 1930 από το 1910 ανεμογεννήτριες παρήγαγαν ρεύμα σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες.[17]



1.4 Πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Παρακάτω συνοψίζονται κάποια από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.

Κατ' αρχήν ο άνεμος είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν. Η αιολική ενέργεια προστατεύει τον πλανήτη, καθώς αποφεύγονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που αποσταθεροποιούν το παγκόσμιο κλίμα. Κάθε εγκατεστημένο μεγαβάτ (MW) αιολικής ενέργειας στην χώρα μας αποσοβεί την έκλυση 3-3,5 χιλιάδων τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Η λειτουργία ενός τυπικού αιολικού πάρκου, ισχύος 10 MW, προσφέρει ετήσια την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται 11.000 οικογένειες και εξοικονομεί περίπου 3.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου.


Η αιολική ενέργεια δεν επιβαρύνει το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους. Κατά την παραγωγή ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής εκλύονται τεράστιες ποσότητες ρύπων, μεταξύ των οποίων τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, το δηλητηριώδες μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φαινόμενο της όξινης βροχής.

Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που παράγεται από τον άνεμο, σημαίνει μία λιγότερη κιλοβατώρα που θα είχε παραχθεί πιθανά με κάποιον άλλο ρυπογόνο τρόπο. Κατά μέσο όρο, κάθε κιλοβατώρα που παράγεται καίγοντας άνθρακα ή πετρέλαιο, εκλύει στην ατμόσφαιρα ένα περίπου κιλό διοξειδίου του άνθρακα, 10-20 γραμμάρια διοξειδίου του θείου, 1,5-15 γραμμάρια οξειδίων του αζώτου, 1-5 γραμμάρια μικροσωματιδίων και πολλούς ακόμη επικίνδυνους αέριους ρύπους.

Ενδεικτικά, στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι ετήσιες εκπομπές ρύπων από έναν ανθρακικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 500 MW. Ένας τέτοιος σταθμός προτείνεται π.χ. για την Εύβοια, η οποία, έχει πλουσιότατο αιολικό δυναμικό και η οποία μπορεί να παράγει την ενέργεια αυτή από τον άνεμο χωρίς τους ρύπους που συνεπάγεται η κατασκευή ενός ανθρακικού σταθμού.

Για κάθε μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 15 με 22 θέσεις εργασίας, εκ των οποίων 0,5-1 είναι μόνιμες και αφορούν την λειτουργία και τη διαχείριση του αιολικού πάρκου. Για σύγκριση αναφέρεται ότι, για κάθε μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος σε ένα ανθρακικό σταθμό, δημιουργούνται 0,2 μόνιμες θέσεις εργασίας, με βάση τα στοιχεία της ΔΕΗ, δηλαδή έως και 5 φορές λιγότερες των αιολικών.

Ρύπος	Μέσες εκπομπές ανθρακικού σταθμού 500MW (τόνοι ανά έτος)
Διοξείδιο του άνθρακα	2800000
Αιωρούμενα σωματίδια	1750
Μονοξειδίο του άνθρακα	625
Υδρογονάνθρακες	188
Υδροχλωρικό οξύ	1250-5000
Στερεά απόβλητα και στάχτη	210000
Ιονίζουσα ακτινοβολία (ραδιενέργεια)	25δισ.Μπεκερέλ

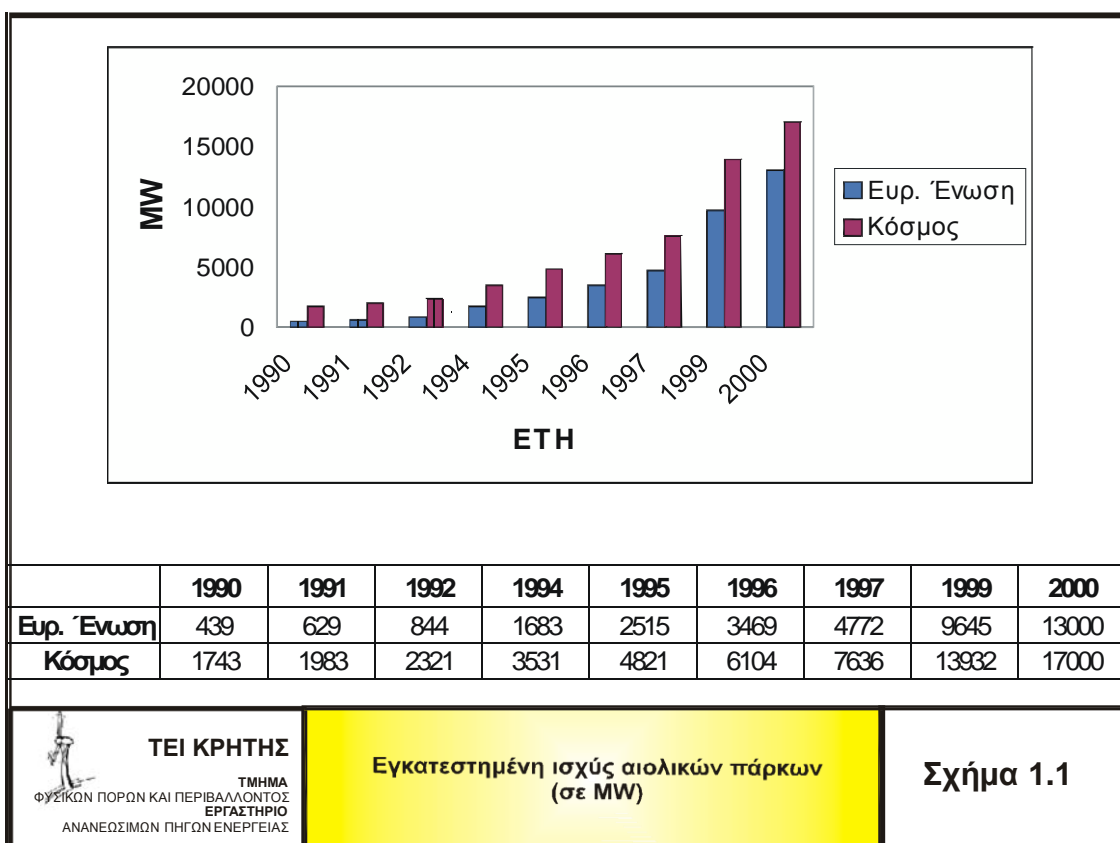


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μέσες ετήσιες εκπομπές ανθρακικού σταθμού 500 MW

Πίνακας 1.1

Η αιολική ενέργεια ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια είναι μία ώριμη τεχνολογία. Η βιομηχανία αιολικής ενέργειας είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενεργειακή τεχνολογία, με ρυθμό ανάπτυξης 40% ετησίως περίπου. Σήμερα η Δανία καλύπτει το 13% των αναγκών της σε ηλεκτρισμό με χρήση αιολικής ενέργειας. Ως το 2003 προβλεπόταν ότι θα αγγίξει το 20%, ενώ ο εθνικός στόχος της χώρας αυτής είναι να καλύπτει το 50% των αναγκών της με αιολική ενέργεια ως το 2030. Άλλες χώρες που έχουν ακολουθήσει το λαμπρό παράδειγμα της Δανίας είναι η Γερμανία και η Ισπανία. Στα τέλη του 2000, υπήρχαν εγκατεστημένα σε όλο τον κόσμο 17.000 MW αιολικών, εκ των οποίων τα 13.000 MW στην πρωτοπόρο Ευρώπη (Σχήμα 1.1).



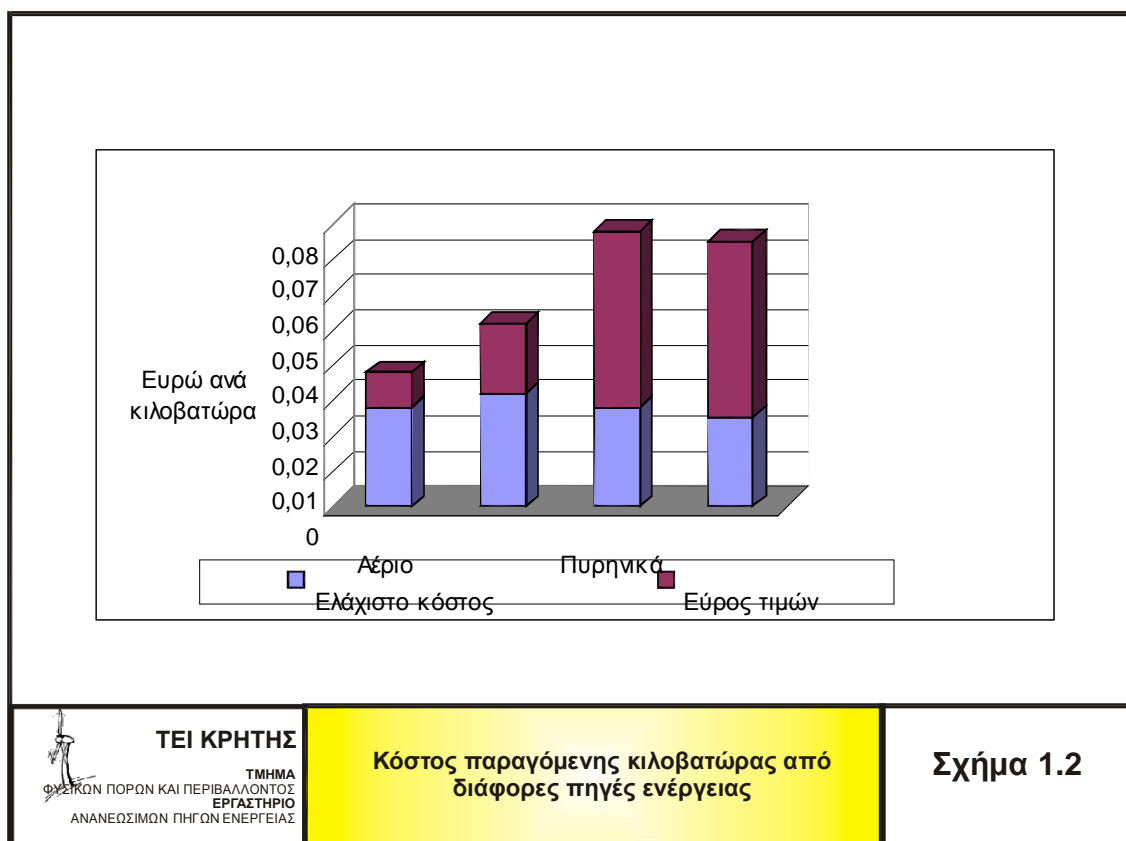
Η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (EWEA) στο τέλος του 2000 αναθεώρησε προς τα πάνω τους στόχους παραγωγής ενέργειας από τον άνεμο για την Ευρώπη που είχε θέσει το 1996, καθώς η άνθιση της αιολικής ενέργειας ξεπέρασε κάθε προσδοκία. Συγκεκριμένα, το 1996 η Ένωση είχε θέσει τον στόχο των 8.000 MW για το 2000. Αλλά, ήδη στα τέλη του 1999 η εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ευρώπη ήταν μεγαλύτερη από 9.500 MW. Στην Εικόνα 1.3 φαίνεται η διεύθυνση της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη στα τέλη του 2002.

Έτσι, οι μελλοντικοί στόχοι αυξήθηκαν κατά 50% για να αντικατοπτρίσουν τους αυξημένους ρυθμούς εγκατάστασης αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη. Στόχος πλέον είναι να υπάρχουν εγκατεστημένα 60.000 MW στην Ευρώπη ως το 2010. Για σύγκριση, η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς της ΔΕΗ (όλες οι ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες) είναι σήμερα 11.000 MW περίπου.

Η τιμή της κιλοβατώρας που παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων δεν περιλαμβάνει το πραγματικό κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή και χρήση της και παραμένει χαμηλή μόνο επειδή τα ορυκτά καύσιμα επιδοτήθηκαν, άμεσα ή έμμεσα, για δεκαετίες. Η ενσωμάτωση του περιβαλλοντικού-κοινωνικού κόστους θα καθιστούσε την αιολική ενέργεια, αλλά και όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πολύ πιο ανταγωνιστικές σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα και τελικά πιο ελκυστικές για τους καταναλωτές. Μία σχετική έρευνα στη Δανία, η οποία συνέκρινε τα αιολικά πάρκα με σταθμούς στο περιβάλλον και την υγεία, η ηλεκτρική ενέργεια από συμβατικούς σταθμούς θα έπρεπε να χρεώνεται τουλάχιστον 30-50% παραπάνω απ' ότι σήμερα.

Ακόμη όμως και χωρίς να συμπεριληφθεί το περιβαλλοντικό κόστος, η αιολική ενέργεια είναι σήμερα μια οικονομικά ανταγωνιστική εναλλακτική λύση απέναντι στα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα και την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια. Αν αφαιρέσει κανείς το κόστος της αρχικής επένδυσης, το πραγματικό κόστος εκμετάλλευσης των αιολικών πάρκων της ΔΕΗ στην Κρήτη αναμένεται να είναι κάτω από 2 ¢ ανά κιλοβατώρα. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι μόνο το κόστος καυσίμου των πετρελαϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής για κάλυψη αιχμών της ζήτησης στην Κρήτη κυμαίνεται από 40-76 ¢ ανά κιλοβατώρα και σε άλλα μικρότερα νησιά είναι μεγαλύτερο. Στα Αντικύθηρα π.χ. το 1998, το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού με καύσιμο πετρέλαιο έφτασε στην απίστευτη τιμή των 762 ¢ ανά κιλοβατώρα. Επειδή για κοινωνικούς λόγους η ΔΕΗ πουλάει την κιλοβατώρα στην ίδια τιμή με το εθνικό δίκτυο, η επιχείρηση έχει στα νησιά του Αιγαίου παθητικό γύρω στα 70 δισ. ¢ ετησίως λόγω της εξάρτησης από ρυπογόνους πετρελαϊκούς σταθμούς.

Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται το κόστος της κιλοβατώρας που παράγεται σήμερα από διάφορες πηγές ενέργειας.



Το κόστος της παραγωγής αιολικής ενέργειας δεν είναι απαγορευτικό για μικρές εφαρμογές, σε αντίθεση με τους συμβατικούς τρόπους ηλεκτροπαραγωγής. Κάθε νοικοκυριό ή βιοτεχνία θα μπορούσε να παράγει τη δική του ενέργεια από τον άνεμο. Η αιολική ενέργεια αποτελεί, εκτός των άλλων, και μία βιώσιμη λύση για περιοχές χωρίς πρόσβαση σε δίκτυο. Όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. τα φωτοβολταϊκά), μικρές ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομα ή υβριδικά συστήματα για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Το αιολικό δυναμικό της χώρας είναι γεωγραφικά διεσπαρμένο, οδηγώντας στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια δεν εμποδίζει τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Περίπου το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις. Διάφορες αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχίζονται μέχρι τις βάσεις των ανεμογεννητριών, αφού τα θεμέλια τους είναι κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι τα αιολικά πάρκα επιβαρύνουν τη γεωργία ή την κτηνοτροφία.

Ενδεικτικά και για λόγους σύγκρισης, αναφέρεται ότι για την παραγωγή ενέργειας από έναν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που καίει άνθρακα απαιτείται έως και 4,5 φορές μεγαλύτερη έκταση απ' αυτή που απαιτείται για να καλυφθούν οι ίδιες ενεργειακές ανάγκες με αιολική ενέργεια. Ο υπολογισμός αυτός έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις τεράστιες εκτάσεις γης που δεσμεύονται κατά την εξόρυξη άνθρακα και αφορά τον κύκλο ζωής μιας τυπικής μονάδας παραγωγής ενέργειας που είναι περίπου 30 χρόνια.



Όσον αφορά τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα (Εικόνα 1.4), πρέπει να τονιστεί ότι στη μεγάλη τους πλειοψηφία εγκαθίστανται σε ορεινές θέσεις με αραιή θαμνώδη βλάστηση, η οποία οφείλεται, ως ένα βαθμό, ακριβώς στις επικρατούσες ισχυρές ανεμολογικές συνθήκες. Η παρουσία υψηλής βλάστησης σε μία περιοχή δεν προσφέρεται για εκμετάλλευση αιολικού δυναμικού, δεδομένου ότι επιβραδύνει τη ροή του ανέμου στα συνήθη ύψη του ρότορα της ανεμογεννήτριας, πράγμα που καθιστά τις θέσεις αυτές μη ελκυστικές για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων.

Η συνήθης χρήση γης στις θέσεις εγκατάστασης αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων. Σπανιότερα, στις θέσεις αυτές εντοπίζονται ίχνη εγκαταλελειμμένων καλλιεργειών μικρής απόδοσης. Επειδή δεν απαιτείται η περίφραξη της έκτασης εγκατάστασης των ανεμογεννητριών, αφού το σύνολο του εξοπλισμού τους είναι απροσπέλαστο και προστατευόμενο, όλες οι υφιστάμενες χρήσεις γης μπορούν να συνεχιστούν χωρίς εμπόδια.

Η αιολική ενέργεια ενισχύει τον τουρισμό, καθώς αντικαθιστά τις ρυπογόνες μορφές ενέργειας και διαφυλάσσει το φυσικό περιβάλλον. Στη Σητεία, όπως και σ' άλλες περιοχές σε όλο τον κόσμο, ανθίζει τελευταία ο "περιβαλλοντικός τουρισμός", καθώς η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων ελκύει πολλούς επισκέπτες.

Η αιολική ενέργεια συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη. Στην Εύβοια για παράδειγμα, μέχρι τα μέσα του 2001 είχαν εγκατασταθεί 150 MW περίπου αιολικών πάρκων, συνολικού κόστους 58 δισ. δραχμών. Για την κατασκευή κάθε πάρκου της τάξης των 10 MW απασχολήθηκαν 45-65 εργαζόμενοι για 4-5 μήνες ανά έργο, οι μισοί εκ των οποίων, κατά μέσο όρο, προέρχονταν από το τοπικό ανθρώπινο δυναμικό. Το προσωπικό που συμμετείχε στην φάση κατασκευής διανυκτέρευε σε τοπικά καταλύματα. Στην φάση λειτουργίας των αιολικών πάρκων οι μισοί περίπου εργαζόμενοι προέρχονται από το τοπικό ανθρώπινο δυναμικό. Στην Εύβοια, επίσης, δαπανώνται τοπικά 1,5-2 εκατ. δραχμές τον χρόνο ανά εγκατεστημένο MW (μισθοί, εργολαβίες, κλπ.). Τέλος, έχουν ήδη υλοποιηθεί από τους επενδυτές παράπλευρα έργα κοινωνικού οφέλους (σχολεία, πολιτιστικά κέντρα, παιδικοί σταθμοί), καθώς και χορηγίες, της τάξης των 5-10 εκατ. δραχμών ανά εγκατεστημένο MW. [9] [16] [19]

2. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

2.1 Γενικά

Οι ανεμογεννήτριες, όπως και τα φτερά των αεροσκαφών, περιστρέφονται στον άνεμο και τροφοδοτούν μια ηλεκτρική γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τις οριζόντιου άξονα, όπως είναι οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι και οι κάθετου άξονα, όπως είναι το μοντέλο Darrieus. Η σύγχρονη τεχνολογία αιολικής ενέργειας έχει πλεονεκτήματα στην ανάπτυξη των υλικών, της μηχανικής, των ηλεκτρονικών και της αεροδυναμικής. Οι ανεμογεννήτριες συνήθως βρίσκονται σε αιολικά πάρκα και παράγουν συναθροισμένη ηλεκτρική ενέργεια. Ηλεκτρισμός από αυτές τις ανεμογεννήτριες μοιράζεται στο τοπικό δίκτυο και διανέμεται στους καταναλωτές όπως και στα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.

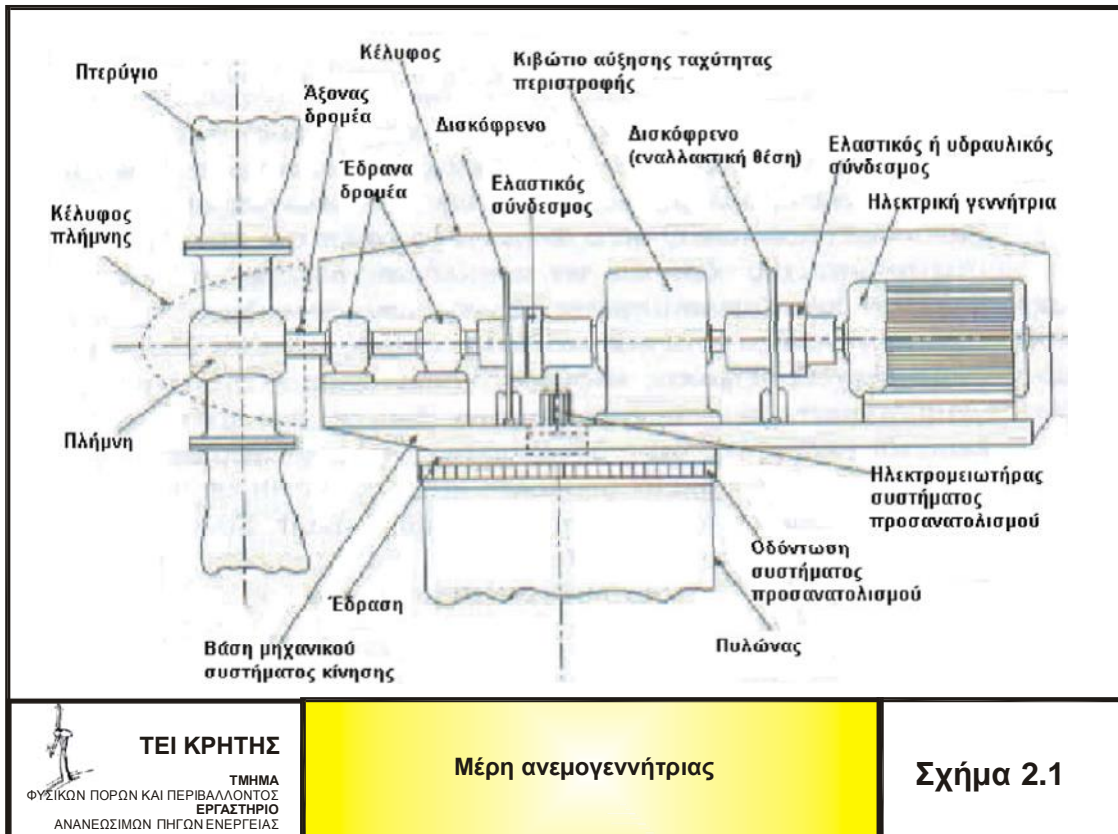
Όλες οι ανεμογεννήτριες, χωρίς να παίζει ρόλο το μέγεθος, αποτελούνται από μερικά βασικά χαρακτηριστικά: το ρότορα, τη γεννήτρια, ένα σύστημα ελέγχου ταχύτητας και τον πύργο. Μερικές μηχανές έχουν συστήματα προστασίας, έτσι ώστε αν ένα μέρος χαλάσει το σύστημα προστασίας σταματάει τα πτερύγια ή βάζει τα φρένα.[1]

2.2 Μέρη ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη (Σχήμα 2.1):

- Ανεμόμετρο (Anemometer): μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή.
- Πτερύγια (Blades): οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνοση (lift) που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται.
- Φρένο (Brake): ένα δισκόφρενο το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά για να σταματήσει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.
- Ελεγκτής (Controller): ο ελεγκτής ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 8-16 μίλια την ώρα και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 65 μίλια την ώρα. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 65 μίλια την ώρα γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν ή/και τα πτερύγια τους να σπάσουν.
- Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear box): οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) μέρος μιας ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί μελετούν γεννήτριες οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δε θα απαιτούνται κιβώτια ταχυτήτων.
- Γεννήτρια (Generator): συνήθως παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 60 κύκλων.
- Άξονας υψηλής ταχύτητας (High-speed Shaft): οδηγεί τη γεννήτρια.
- Άξονας χαμηλής ταχύτητας (Low-speed Shaft): ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.

- **Κέλυφος (Nacelle):** ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ' τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεται όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.

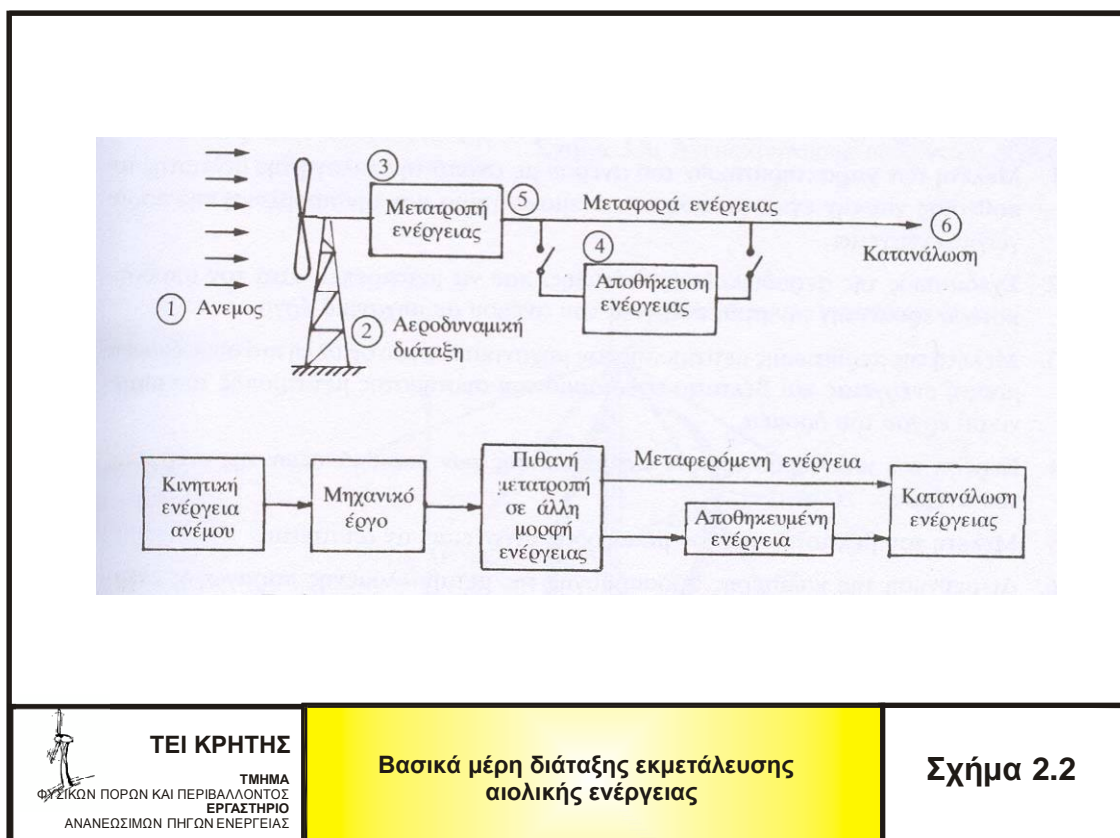


- **Κλίση (Pitch):** τα πτερύγια έχουν τη δυνατότητα να γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία (lift) πάνω στην πτερυγώση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.
- **Ρότορας (Rotor):** τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται ρότορας.
- **Πύργος (Tower):** οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινο κέλυφος ή χωροδικτύωμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλοί πύργοι περιέχουν γεννήτριες που συλλέγουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.
- **Ανεμοδείκτης (Wind vane):** υπολογίζει την διεύθυνση και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολίζεται στον άνεμο.
- **Οδηγός εκτροπής (Yaw drive):** φέρνει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο. Χρησιμοποιείται για να αφήνει το ρότορα να βρίσκεται προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν υπήνεμα δεν απαιτούν οδηγό εκτροπής. Ο άνεμος μόνος φέρνει υπήνεμα το ρότορα.
- **Κινητήρας εκτροπής (Yaw motor):** δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής.[15] [16]

2.3 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες από την εποχή της εμφάνισής τους μέχρι σήμερα έχουν περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο τους (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά τους (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.λπ.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από την ανεμογεννήτρια σε άλλη “αναβαθμισμένη” μορφή ενέργειας.

Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2.



Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού). Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος της κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια, δηλαδή απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας. Σ' αυτήν την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στον τόπο κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό μάλιστα οι περισσότερες έρευνες στρέφονται προς την κατεύθυνση της μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα της ανεμογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της, ή της παραγωγής επί τόπου υδρογόνου (με ηλεκτρόλυση) που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί ίσως και την βέλτιστη από πολλές απόψεις πρόταση αξιοποίησης γενικότερα των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικολογικά αποδεκτή διότι με την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό.

Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με τον χρόνο. Είναι επίσης γεγονός ότι πολλές φορές δεν πνέει καθόλου άνεμος για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά έχουν ως συνέπεια χρονική ασυμφωνία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται βασικά στην αποθήκευση της ενέργειας. Η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει το ενεργειακό έλλειμμα που παρουσιάζεται, όταν η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενεργειακής ζήτησης και τα χαρακτηριστικά των άλλων πηγών ενέργειας που υπάρχουν για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής π.χ. “στιβαρότητα του ηλεκτρικού δικτύου”, είδος σταθμών παραγωγής κ.λ.π.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός πλήρους συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει:

- Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του ανεμοκινητήρα και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας.
- Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
- Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.
- Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
- Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς ενέργειας, αν απαιτείται.
- Διερεύνηση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς την κατανάλωση.

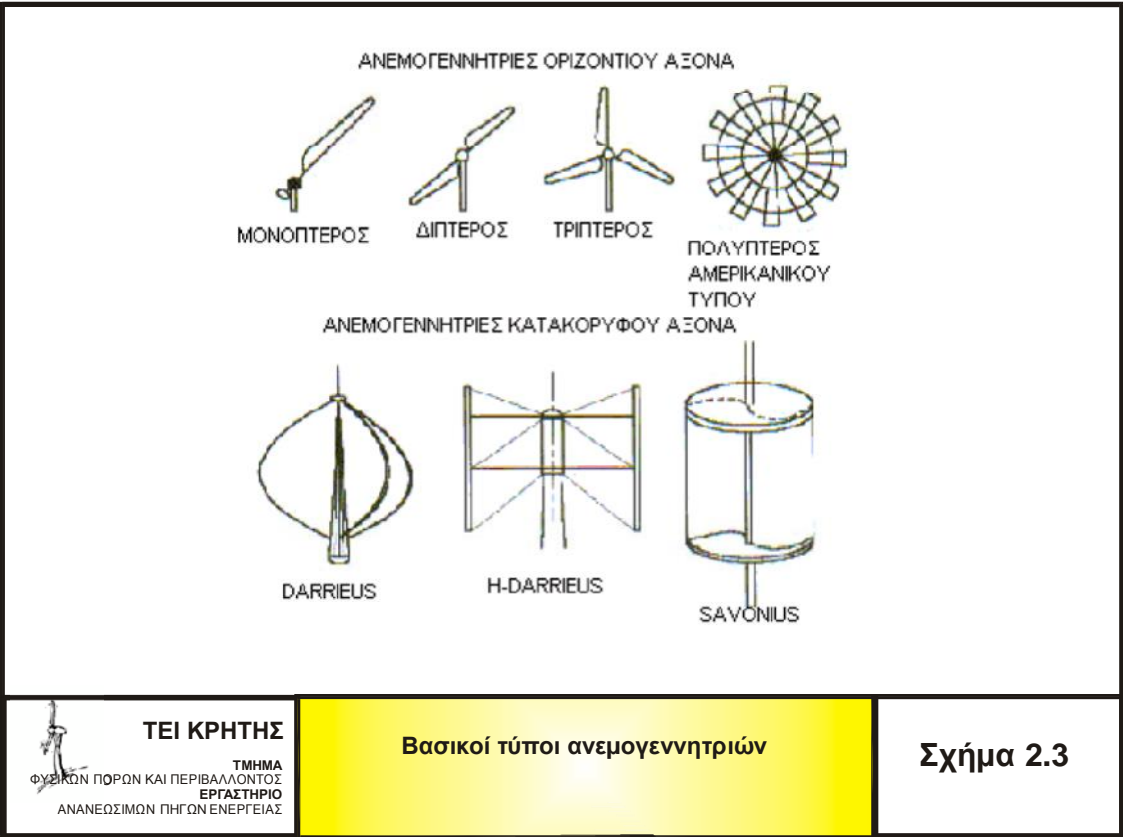
Οι λέξεις “καλύτερος”, “βέλτιστος”, υποδηλώνουν βελτιστοποίηση τόσο από τεχνικής όσο και κυρίως οικονομικής σκοπιάς. Μια οποιαδήποτε επιστημονική έρευνα ή και βέλτιστη διάταξη αιολικής εγκατάστασης θα έχανε το μεγαλύτερο μέρος της αξίας της, αν στους στόχους της δεν είχε να καταστήσει την αιολική ενέργεια οικονομικά ανταγωνιστική με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας.[1]

2.4 Κατάταξη αιολικών μηχανών

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

Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Ως εκ τούτου οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες “οριζόντιου” και οι ανεμογεννήτριες “κατακόρυφου” άξονα (Σχήμα 2.3).

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

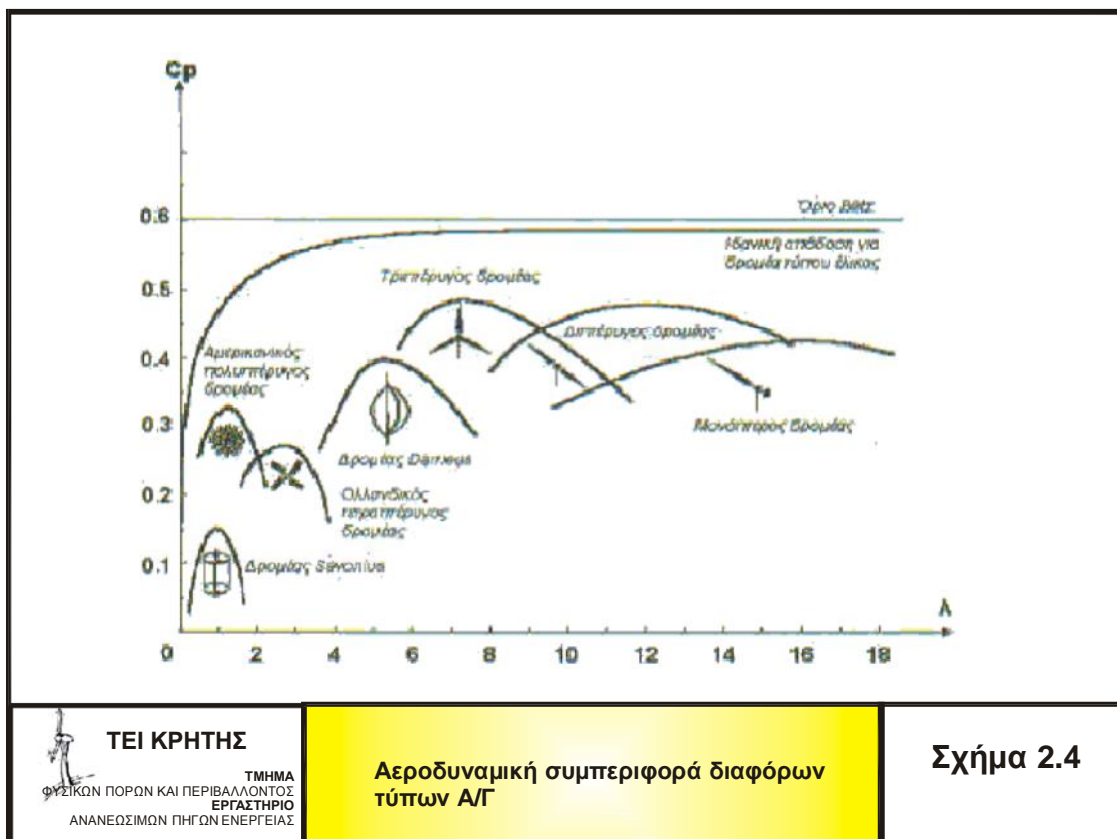


Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής “λ”. Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λ.π. Επιπλέον καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50 Hz για τη χώρα μας και τις χώρες της Ε.Ε., και 60 Hz για τις Η.Π.Α.[3]

2.5 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου (head on), αν και κάποτε η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς τη διεύθυνση του ανέμου (cross-wind). Επιπλέον οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (up wind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη (down wind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου.

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων “αμερικανικού τύπου”, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αεροδυναμική συμπεριφορά διαφόρων
τύπων Α/Γ

Σχήμα 2.4

Από την άλλη πλευρά στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζοντίου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών), και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας”. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ’ αυτή της έλικας των ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής “λ”, με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο (Σχήμα 2.4).

Οι πρώτοι θρομείς που κατασκευάστηκαν είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με αρκετά λεπτά πτερύγια.

Στις ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας” γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων (π.χ. “flaps”) στην άκρη των πτερυγίων είτε με τη στροφή της πτερωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την πτερωτή μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερυγώσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και σήμερα, ενώ έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW.

Τέλος έχουν επινοηθεί και προταθεί κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου “cross-wind”, οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν προβλήματα όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας καθώς και τη ρύθμιση της διεύθυνσης της πτερωτή σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου.

Όσον αφορά τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, και κυρίως ο μηχανές τύπου έλικα είναι:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος σχεδιασμός των παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα της ανεμογεννήτριας, δηλαδή του αριθμού πτερυγίων, της διανομής του πλάτους του πτερυγίου, της κατάλληλης αεροτομής που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση του πτερυγίου, της συστροφής του πτερυγίου, της διανομής βήματος κ.λ.π. Η υπάρχουσα εμπειρία στον τομέα των αιολικών μηχανών ενισχύεται με τα αποτελέσματα της σύγχρονης έρευνας, αν και το θέμα βέλτιστου σχεδιασμού του δρομέα μιας μηχανής παραμένει και θα παραμείνει ανοικτό για πολλά ακόμα χρόνια.
- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα. Ένα κρίσιμο θέμα της κατηγορίας αυτής αποτελεί η ροπή εκκίνησης του δρομέα, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει και η συμπεριφορά της πτερωτής σε χρονικά μεταβαλλόμενο πεδίο ροής παρουσία τύρβης, αλλά και βάση της διανομής της ταχύτητας τύπου οριακού στρώματος του ανέμου λόγω της επίδρασης του εδάφους.
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα. Η ρύθμιση του βήματος γίνεται είτε σε ολόκληρο το πτερύγιο είτε σε μέρος του, με σκοπό αφενός τον περιορισμό της ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, αφετέρου τη διατήρηση σταθερών στροφών της μηχανής. Επίσης, μεταβολή του βήματος γίνεται με σκοπό την επίτευξη του μέγιστου βαθμού απόδοσης της πτερωτής για διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και για τη μεγιστοποίηση της ροπής για διευκόλυνση της εκκίνησης της μηχανής. Επιπλέον, τα συστήματα αυτοματισμών πρέπει να επιτρέπουν την εκκίνηση της πτερωτής για ταχύτητα ανέμου ίση με την ταχύτητα ενάρξεως λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, και να διακόπτουν την λειτουργία της πτερωτής για πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου ή σε περιπτώσεις που η παραγόμενη αιολική ισχύς δεν γίνεται αποδεκτή από το δίκτυο.
- Προσανατολισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.
- Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν ίσως τα βασικότερα προβλήματα κατασκευής ανεμοκινητήρων υψηλής αξιοπιστίας, δεδομένου ότι ο άνεμος εξασκεί πάνω στα πτερύγια και στις αντίστοιχες εδράσεις τους σημαντικές δυνάμεις, ιδιαίτερα για μεγάλων διαστάσεων μηχανές. Ένας επιπλέον κίνδυνος προέρχεται από το γεγονός ότι οι εξασκούμενες τάσεις είναι εναλλασσόμενες, ενώ υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ιδιοσυντονισμού της πτερωτής, λόγω των εμφανιζόμενων ταλαντώσεων. Επίσης, δεν πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι ο δρομέας μιας ανεμογεννήτριας βρίσκεται εκτεθειμένος σε αρκετά δύσκολες καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα να έχουμε επιταχυνόμενη φθορά των υλικών, που συνδυάζουν χαμηλό κόστος και επιθυμητή αντοχή, είναι καθοριστικό στην επιτυχία κάθε ανεμοκινητήρα στην ενεργειακή αγορά.
- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος. Ο ακριβής καθορισμός του ύψους του δρομέα από το έδαφος πρέπει να συνεκτιμά τη μορφή του πεδίου ροής, που προσβάλλει την πτερωτή (τραχύτητα εδάφους, εμπόδια κ.λ.π.) και εξετάζεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Εν γένει έχουμε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, με παράλληλη όμως αύξηση και της δαπάνης κατασκευής της εγκατάστασης. Απαιτείται συνεπώς μια πλήρης οικονομοτεχνική μελέτη για τον καθορισμό του βέλτιστου ύψους μιας ανεμογεννήτριας, αν και οι κατασκευάστριες εταιρίες σήμερα διαθέτουν τις μηχανές τους σε ένα ή δύο προκαθορισμένα ύψη, που ξεκινούν κατά κανόνα από την τιμή της διαμέτρου του δρομέα της μηχανής.

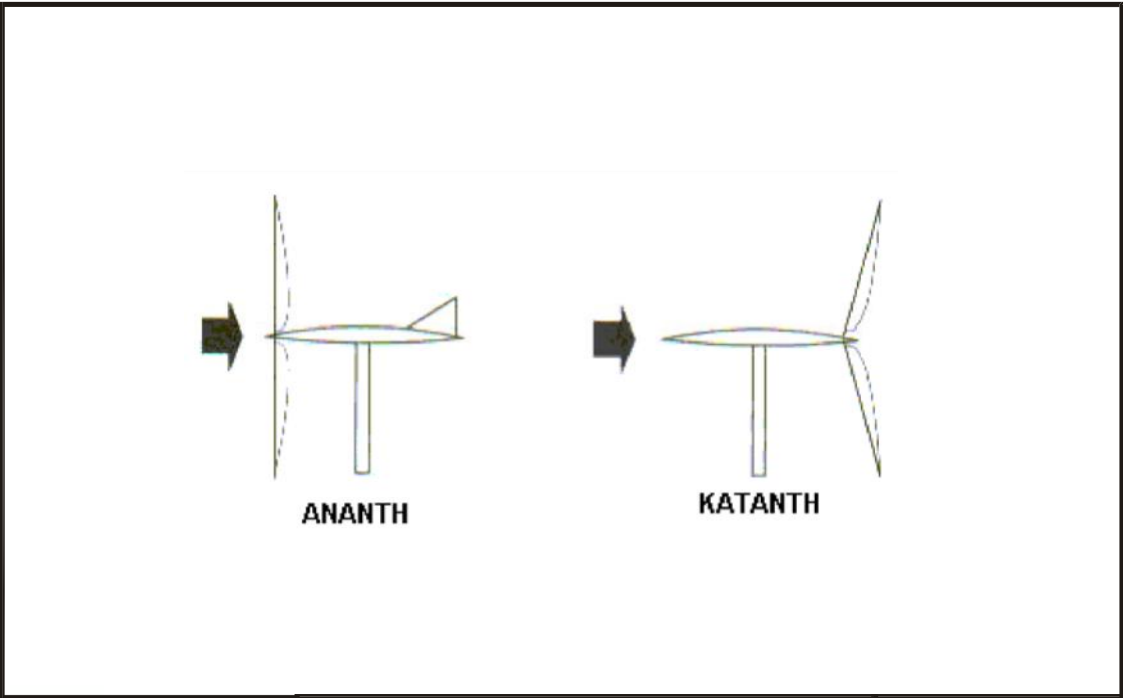
- Κατασκευή του πύργου στηρίξεως και θεμελίωσή του. Ο πύργος στηρίξεως πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις. Επιπλέον πρέπει να μελετηθούν φαινόμενα αλληλεπίδρασης περιστρεφόμενων πτερυγίων και πύργου στηρίξεως καθώς και η θεμελίωση ανεμοκινητήρων σε εδάφη περιορισμένης στερεότητας, όπως ο βυθός της θάλασσας. Τα προβλήματα αλληλεπίδρασης είναι πλέον σημαντικά για μηχανές με την πτερωτή τους σε υπήνεμη διάταξη.
- Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή και η επίδραση του όμορου στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες ανεμογεννήτριες. Στόχος της εν λόγω ανάλυσης είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης ανεμοκινητήρων σε διάφορες διατάξεις καθώς και ο καθορισμός της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης μεταξύ των μηχανών, με τον περιορισμό της χρήσης του ελάχιστου δυνατού εμβαδού, ώστε να μεγιστοποιείται η αξιοποίηση της γης.[3]


2.6 Περιγραφή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα είναι ο πύργος στηρίξεως, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, η ηλεκτρική γεννήτρια καθώς και το σύστημα προσανατολισμού της μηχανής.

Στην περίπτωση του σχήματος 2.1 η πτερωτή της ανεμογεννήτριας αποτελείται από πτερύγια, των οποίων το σχήμα έχει προέλθει από αντίστοιχα πτερύγια αεροπορικών κινητήρων (π.χ. αεροτομές τύπου NACA) και είναι κατασκευασμένα συνήθως από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα, αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ειδικές ρητίνες.

Η πτερωτή τοποθετείται είτε στα ανάντη είτε στα κατόντη του πύργου στηρίξεως και τα πτερύγια καλύπτουν ένα μικρό ποσοστό (2% έως 10%) του εμβαδού της περιφέρειας που διαγράφουν. Όταν ο δρομέας λειτουργεί στα κατόντη του πύργου στηρίξεως έχουμε μεν αυξημένο επίπεδο αεροδυναμικού θορύβου, αλλά και αυτόματο προσανατολισμό της πτερωτής στη διεύθυνση του ανέμου. Στην ανάντη λειτουργία της πτερωτής εκλείπουν τα παραπάνω φαινόμενα, με αποτέλεσμα η διάταξη αυτή να προτιμάται σήμερα, σχήμα 2.5.

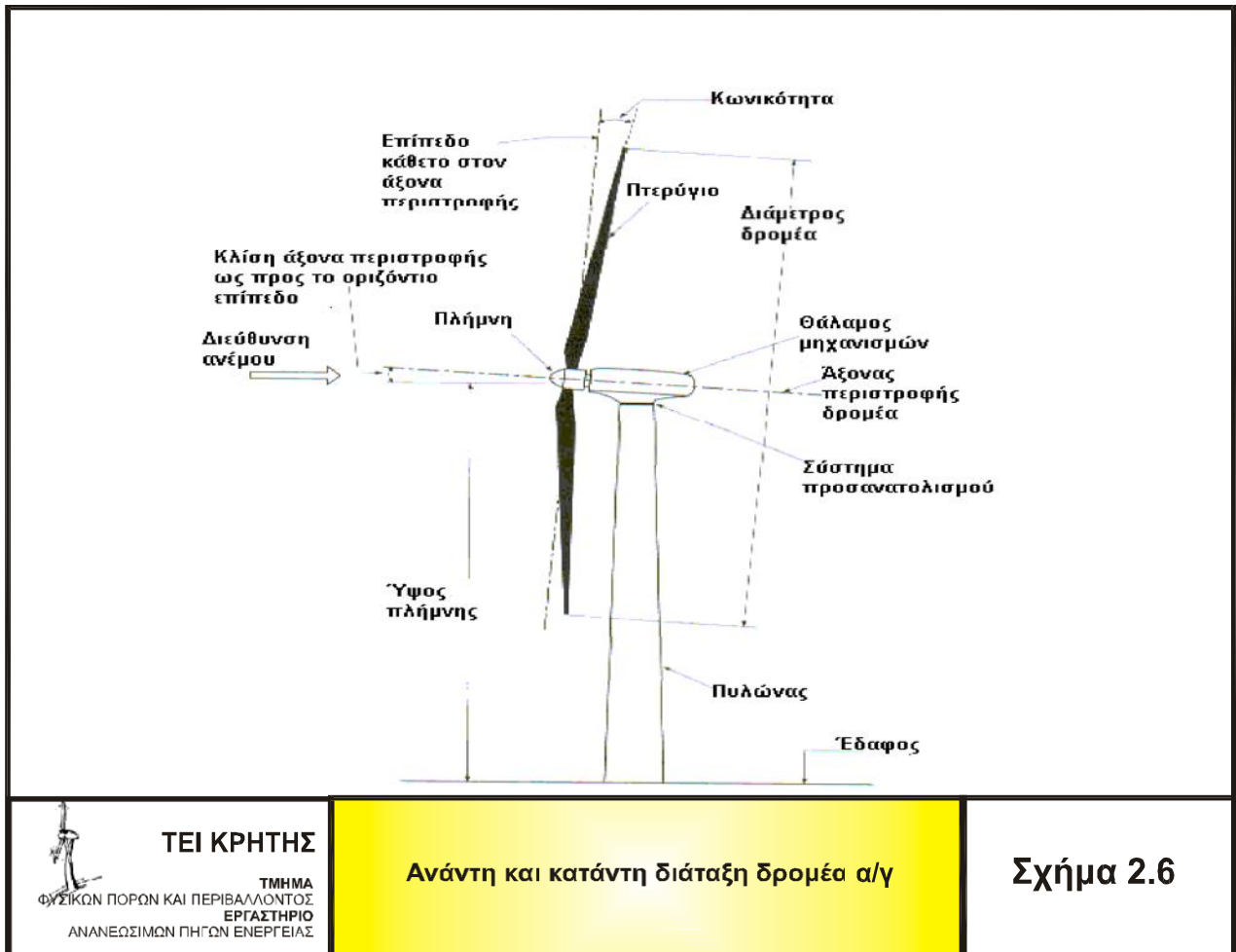


**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ**
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανάτη και κατάντη διάταξη δρομέα α/γ

Σχήμα 2.5

Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, με το βαθμό απόδοσής τους, με το κόστος κατασκευής της ανεμογεννήτριας καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων (προβλήματα ιδιοσυχνοτήτων). Επιπλέον, θέματα που συνεκτιμώνται είναι η κυκλική μεταβολή της ροπής της μηχανής λόγω της καθ' ύψος μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και τα θέματα ζυγοστάθμισης των πτερυγίων. Για τον περιορισμό της κυκλικής μεταβολής του φορτίου των πτερυγίων δίνεται μια μικρή κλίση (έως και 10°) του άξονα περιστροφής ως προς το οριζόντιο. Τέλος, για λόγους περιορισμού των καμπτικών τάσεων πάνω στα πτερύγια, επιβάλλεται συνήθως μια μικρή κωνικότητα αυτών που δεν ξεπερνά τις 10° σχήμα 2.6.



Για λόγους ασφάλειας της ανεμογεννήτριας, τα πτερύγια είναι συνήθως εφοδιασμένα με συστήματα αεροδυναμικής πέδησης (αερόφρενα), τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία της μηχανής σε έκτακτες περιπτώσεις. Σε ειδικές κατασκευές εκτός από την παρουσία των αερόφρενων (π.χ. επίπεδες πλάκες κάθετες στην επιφάνεια του πτερυγίου) χρησιμοποιούνται και μικρά αλεξίπτωτα, που απελευθερώνονται φυγοκεντρικά μετά από κάποιο όριο στροφών και επιβραδύνουν την ανεμογεννήτρια.

Για τη βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς μιας πτερωτής ανεμογεννήτριας, χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού βήματος σε αντιδιαστολή με τις απλούστερες περιπτώσεις πτερωτών σταθερού βήματος. Η μεταβολή του βήματος μιας πτερωτής συνίσταται στην περιστροφή του πτερυγίου γύρω από το διαμήκη άξονά του, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας προσβολής του από τον άνεμο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας, η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος, ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια κ.α

Η πλήμνη αποτελεί το δεύτερο συστατικό της πτερωτής (δρομέα) και περιλαμβάνει εκείνο το μέρος της ανεμογεννήτριας πάνω στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια. Η τελική της μορφή εξαρτάται τόσο από το είδος της πτερωτής όσο και από τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας στη θέση σύνδεσης πτερυγίων και άξονα.

Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ώστε να δύναται να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες στρεπτικές και καμπτικές ροπές, ενώ η έδρασή του γίνεται συνήθως σε δύο ένσφαιρα έδρανα ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα εξασκούμενα φορτία.

Η δυνατότητα περιστροφής του άξονα σε διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ανέμου εξασφαλίζεται με τη χρήση καθοδηγητικών πτερυγίων και ειδικών αυτοματισμών. Η πλέον σύγχρονη μέθοδος προσανατολισμού στηρίζεται στη χρήση ειδικού αισθητηρίου και σερβομηχανισμού, που περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής (υπερκατασκευή) με τη βοήθεια οδοντωτής περιστροφής.

Ένα από τα σπουδαιότερα μέρη της ανεμογεννήτριας είναι το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής (συνήθως 20 έως 110 rpm) σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής (άνω των 1000 rpm), στις οποίες λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός διβάθμιου συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 96%, ενώ για λόγους ασφαλείας η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας.

Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει επίσης, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης στρεπτικών ταλαντώσεων. Το μηχανικό φρένο της ανεμογεννήτριας τοποθετείται είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής, οπότε απαιτείται μικρή σχετικά δύναμη πέδησης, αλλά δεν προστατεύεται η πτερωτή από απώλεια φορτίου ή θραύση του συστήματος μετάδοσης κίνησης, είτε στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Στην τελευταία περίπτωση λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο αυξημένων διαστάσεων, βάρους και κόστους. Στην περίπτωση όμως αυτή προστατεύεται καλύτερα η πτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης, γι' αυτό και αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικά λύση. Τέλος, για λόγους πρόσθετης ασφάλειας, απαιτείται η αυτόματη ενεργοποίηση του φρένου με τη βοήθεια ελατηρίου, στην περίπτωση πτώσης της υδραυλικής πίεσης ή της ηλεκτρικής τάσης για την περίπτωση ηλεκτρομαγνητικού συστήματος πέδησης.

Για την προστασία των τμημάτων της ανεμογεννήτριας από τις καιρικές συνθήκες χρησιμοποιείται ειδικό κέλυφος από σύνθετο υλικό, π.χ. ειδικά κράματα χάλυβα ή αλουμινίου, που στην περιοχή της πλήμνης πρέπει να έχει και αεροδυναμική μορφή. Επιπλέον, το κέλυφος της ανεμογεννήτριας πρέπει να έχει αντιδιαβρωτική προστασία.

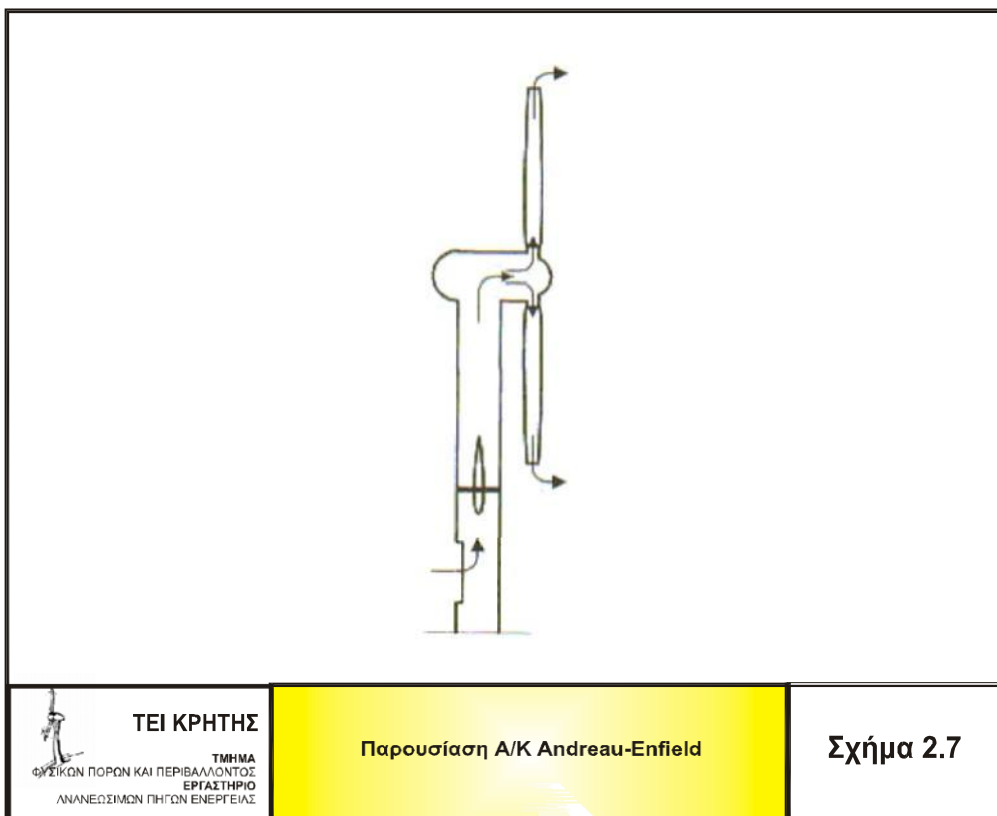
Ο πύργος στηρίξεως της ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε από μια στήλη μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει ειδική μέριμνα για εσωτερική σκάλα, ενώ για ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων υπάρχει πρόσθετη μέριμνα για εγκατάσταση ανελκυστήρα. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στηρίξεως είναι συνήθως ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής, ενώ κατά την εκλογή του πρέπει να ληφθούν υπόψιν τόσο το αυξημένο κόστος κατασκευής και θεμελίωσης για μεγάλα ύψη όσο και η δυνατότητα αξιοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων του ανέμου, με την αύξηση του ύψους τοποθέτησης της πτερωτής.

Ολοκληρώνοντας τη σύντομη περιγραφή των βασικών τμημάτων μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να αναφέρουμε και την ύπαρξη των ηλεκτρικών γεννητριών, που χρησιμοποιούνται για μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς και των συστημάτων αυτοματισμού. Εν συντομία αναφέρουμε ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται

κυρίως σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και σπανιότερα ηλεκτρικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.[3]

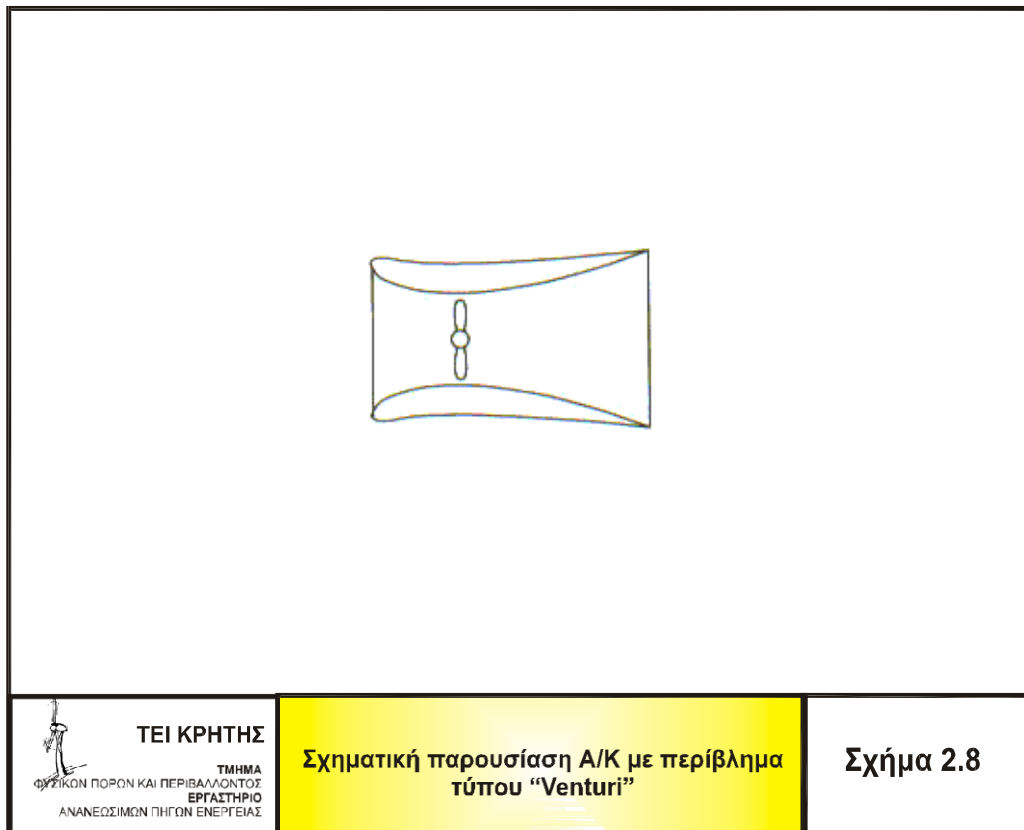
2.7 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα

Εκτός από τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα τύπου έλικας με ένα, δύο ή τρία πτερύγια, σχήμα 2.3, με τοποθέτηση της πτερωτής ανάντη ή κατάντη του πύργου στηρίξεως και τους πολυπτερυγους αργόστροφους “αμερικάνικους” ανεμόμυλους, αναφέρονται και άλλες αιολικές μηχανές όπως η ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα τύπου “Andreau-Enfield”.

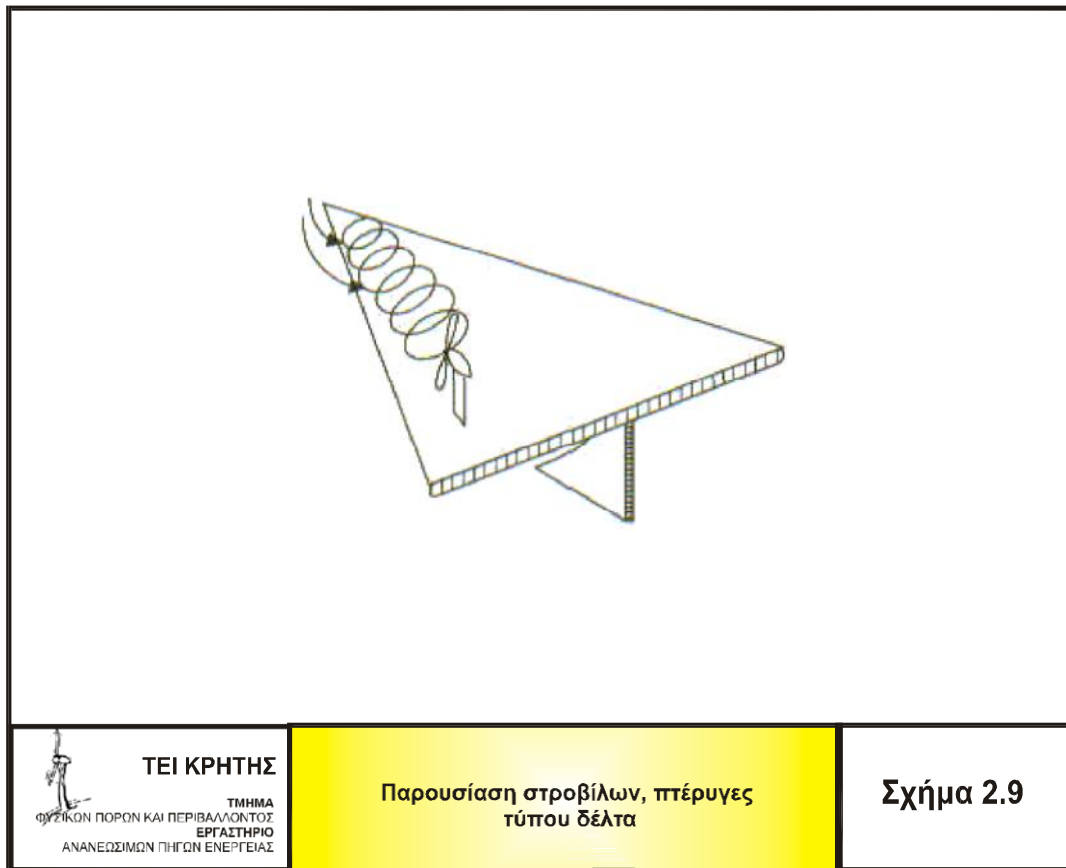


Ο εν λόγω ανεμόμυλος τύπου “Andreau-Enfield” αποτελείται από μία έλικα αεροπλάνου, σχήμα 2.7, με κοίλα πτερύγια, που κάτω από την επίδραση του ανέμου περιστρέφεται και ενεργεί σαν φυγοκεντρική αντλία αέρα. Το ρεύμα αέρα που εισροφάται από τη βάση του πύργου αποβάλλεται από τα ακροπτερύγια, κινώντας ενδιάμεσως ένα δρομέα στο εσωτερικό του πύργου. Μια μεγάλη αντίστοιχη εγκατάσταση ισχύος 100 kW κατασκευάσθηκε και λειτούργησε στην Αλγερία την περίοδο 1950-60. Όμως η λειτουργία της διεκόπη σύντομα λόγω κάποιων προβλημάτων. Οι μηχανές του τύπου αυτού δεν χρησιμοποιούνται σήμερα αν και είναι σχετικά ελαφρές, επειδή παρουσιάζουν πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης.

Ένας άλλος τύπος αιολικής μηχανής οριζόντιου άξονα είναι η χρήση αεροπορικής έλικας μέσα σε περίβλημα τύπου “Venturi”. Η παρουσία του περιβλήματος και η χρησιμοποιούμενη διάταξη οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας του αέρα, ιδιαίτερα στην περιοχή του λαιμού του ακροφυσίου όπου τοποθετείται συνήθως και η πτερωτή. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της προτεινόμενης διάταξης, σχήμα 2.8, είναι και η μείωση των αεροδυναμικών απωλειών. Όμως η διάταξη εμφανίζει αυξημένο βάρος και κόστος κατασκευής και το κυριότερο, προβλήματα διαρκούς προσανατολισμού στη διεύθυνση του ανέμου. Αν και η διερευνούμενη διάταξη δεν χρησιμοποιείται ευρέως, εξακολουθεί να προκαλεί το ενδιαφέρον των ερευνητών με στόχο τη βελτιστοποίησή της.



Μια άλλου τύπου ανεμογεννήτρια βασίζεται στην τεχνητή δημιουργία αεροδυναμικής δίνη. Πράγματι σε πολύ κεκλιμένες τριγωνικές πτέρυγες (τύπου Δέλτα) δημιουργείται τοπική αύξηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, λόγω της δημιουργίας στροβίλων κυκλοφορίας γύρω από την πτέρυγα, σχήμα 2.9. Βέβαια και στην περίπτωση αυτή έχουμε αυξημένη δυσχέρεια περιστροφής του συστήματος. [3]



2.8 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανεμογεννητριών


Σαν κατασκευές φτιαγμένες από τον άνθρωπο, οι ανεμογεννήτριες επηρεάζουν σε ένα βαθμό το περιβάλλον που τοποθετούνται, είτε μεμονωμένα είτε πολλές μαζί για τη δημιουργία αιολικού πάρκου.

Η μη ορθή μελέτη και εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, μπορεί όντως να δημιουργήσει κάποια αισθητικά προβλήματα. Είναι αυτονόητο λοιπόν ότι κάθε εγκατάσταση αιολικού πάρκου πρέπει να συνοδεύεται από μελέτη που θα εξασφαλίζει την βέλτιστη ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο τοπίο. Υπάρχει ήδη συσσωρευμένη εμπειρία και πολύ θετικά παραδείγματα σε όλο τον κόσμο. Η άποψη περί της αισθητικής των ανεμογεννητριών είναι άλλωστε υποκειμενική. Αν όμως γίνει η σύγκριση ανάμεσα σε έναν πετρελαϊκό ή λιγνιτικό σταθμό και ένα αιολικό πάρκο, είναι εμφανές ότι το τελευταίο υπερτερεί και αισθητικά. Κάποια από τα αισθητικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν στις πρώτες ανεμογεννήτριες που εγκαταστάθηκαν στην Ελλάδα, οφείλονται εν πολλοίς στην γραφειοκρατική ακαμψία κάποιων αρχών, οι οποίες π.χ. επέβαλαν στους επενδυτές να βάψουν τις ανεμογεννήτριες με άσπρες και κόκκινες ρίγες. Προφανώς, τέτοιες άστοχες επιλογές θα πρέπει να αποφεύγονται. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η ενσωμάτωση της υποδομής που συνοδεύει τις ανεμογεννήτριες (μικρές κτιριακές εγκαταστάσεις, κολώνες, κ.λ.π.) στον περιβάλλοντα χώρο.

Συνήθως είναι αυτή ακριβώς η συνοδεύουσα υποδομή που δημιουργεί αισθητικά προβλήματα και όχι οι ίδιες οι ανεμογεννήτριες. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι πολύ ήσυχες και γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Το επίπεδο του ήχου σε απόσταση 40 μέτρων από μία ανεμογεννήτρια είναι 50-60 dB, που είναι αντίστοιχο με την ένταση μιας συζήτησης. Σε απόσταση 200 μέτρων, η στάθμη του θορύβου πέφτει στα 44 dB, στα υπήνεμα της ανεμογεννήτριας, για ταχύτητα ανέμου 8 m/s.

Σημειώνεται ότι για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 8 m/s, ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες καλύπτεται από το φυσικό θόρυβο. Το συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου που αναφέρθηκε (44 dB) αντιστοιχεί σε αυτό μιας ήσυχης μικρής πόλης, και δεν αποτελεί βέβαια πηγή όχλησης. Δεδομένης δε της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης των ανεμογεννητριών από γειτονικούς οικισμούς (500m), το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, της τάξης των 30-35 dB, που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου ενός ήσυχου καθιστικού, και που καλύπτεται πλήρως από φυσικές και τεχνικές πηγές θορύβου εγγύτερες προς τους οικισμούς (Πίνακας 2.1).

ΜΕΣΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΕ dB	
Αεροσκάφος	140
Κομπρεσέρ	120
Βιομηχανικός θόρυβος	100
Στερεοφωνικό	90
Εσωτερικό αυτοκινήτου	80
Γραφείο	60
Ανεμογεννήτρια	45-60
Σπίτι	50
Υπνοδωμάτιο	30
Ψίθυρος	20
Πτώση φύλλων	10



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μέσες στάθμες θορύβου σε ντεσιμπέλ

Πίνακας 2.1

Σε έρευνα που έγινε σε 342 νοικοκυριά κοντά σε 102 αιολικά πάρκα στη Δανία, το 86% των ατόμων που ρωτήθηκαν δήλωσαν ότι δεν ενοχλούνται από τον ήχο των ανεμογεννητριών. Εδώ και δέκα χρόνια έχουν καταβληθεί ιδιαίτερες προσπάθειες για να κατασκευαστεί η σύγχρονη γενιά των αθόρυβων ανεμογεννητριών, με λεπτομερή σχεδιασμό του έλικα αλλά και των μηχανικών μερών. Συνεπώς, σε σωστά σχεδιασμένες ανεμογεννήτριες δεν δημιουργείται ουσιαστικό πρόβλημα θορύβου. Άλλωστε όπως αναφέραμε και παραπάνω, η τυχόν δυσφορία είναι τις περισσότερες φορές καθαρά υποκειμενικό θέμα, αφού τα δύο φύλα και οι διάφορες ηλικίες αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο σ' αυτό το ζήτημα. Πάντως, ο πιο απλός τρόπος για να πειστεί κάποιος είναι να επισκεφτεί ένα αιολικό πάρκο.

Αυτοί που σχεδιάζουν τα αιολικά πάρκα πρέπει να συμβουλευονται τους αρμόδιους φορείς για να αποφύγουν πιθανά προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής. Για ακόμη μια φορά, ο σωστός σχεδιασμός εξαλείφει τα τυχόν προβλήματα. Σύμφωνα πάντως με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, σπάνιως εμφανίζονται προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, αφού η νομοθεσία προβλέπει ότι τα αιολικά πάρκα πρέπει να κατασκευάζονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από οικισμούς.

Το θέμα της προστασίας των πουλιών πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό αιολικών πάρκων. Έτσι, πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε περιοχές προστασίας πουλιών, περιοχές RAMSAR ή περιοχές ευαίσθητες οικολογικά.

Κύρια αιτία ανησυχίας είναι οι πιθανές θανατώσεις πουλιών από πρόσκρουση στις ανεμογεννήτριες αλλά και σε εναέρια καλώδια και άλλες εγκαταστάσεις που πλαισιώνουν τα αιολικά πάρκα. Ως δευτερεύοντα προβλήματα αναφέρονται η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων και η ενόχληση των πουλιών από την κατασκευή και λειτουργία των αιολικών πάρκων.

Οι προσκρούσεις ποικίλουν με τον τύπο, το μέγεθος, την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων και πολλούς άλλους παράγοντες που συνδέονται με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών. Ο ρόλος του σχεδιασμού της εγκατάστασης είναι πολύ σημαντικός. Στα πλαίσια του σχεδιασμού είναι δυνατόν να ελεγχθούν επιπτώσεις από παράγοντες όπως η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών, οι επιπτώσεις του δρόμου πρόσβασης στα ενδιαιτήματα των πουλιών, οι επιπτώσεις των εναέριων καλωδίων, κ.α.

Ωστόσο, στην πλειονότητα των αιολικών πάρκων οι αρνητικές επιπτώσεις στους πληθυσμούς των πουλιών είναι από πολύ μικρές έως αμελητέες.

Μελέτες που έγιναν στη Δανία δείχνουν ότι τα πουλιά τείνουν να αλλάζουν την τροχιά πτήσης τους 100-200 μέτρα πριν από τις ανεμογεννήτριες και να πετάνε σε ασφαλή απόσταση από αυτές. Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Βρετανία εκτιμήθηκε ότι οι σπάνιες συγκρούσεις πουλιών με ανεμογεννήτριες είχαν άμεση σχέση με συνθήκες κακοκαιρίας και κακής ορατότητας.

Είδη που επιδημούν (παραμένουν σε μια περιοχή όλο το έτος του χρόνου) στην περιοχή του αιολικού πάρκου συχνά συνηθίζουν την ύπαρξη του και πλησιάζουν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες. Ορισμένα είδη πουλιών εξοικειώνονται τόσο με το αιολικό πάρκο που πετούν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες ιδιαίτερα κατά την τροφοληψία. Ορισμένα αρπακτικά ελκύνονται από το αιολικό πάρκο όταν η περιοχή όπου βρίσκεται έχει άφθονη λεία.

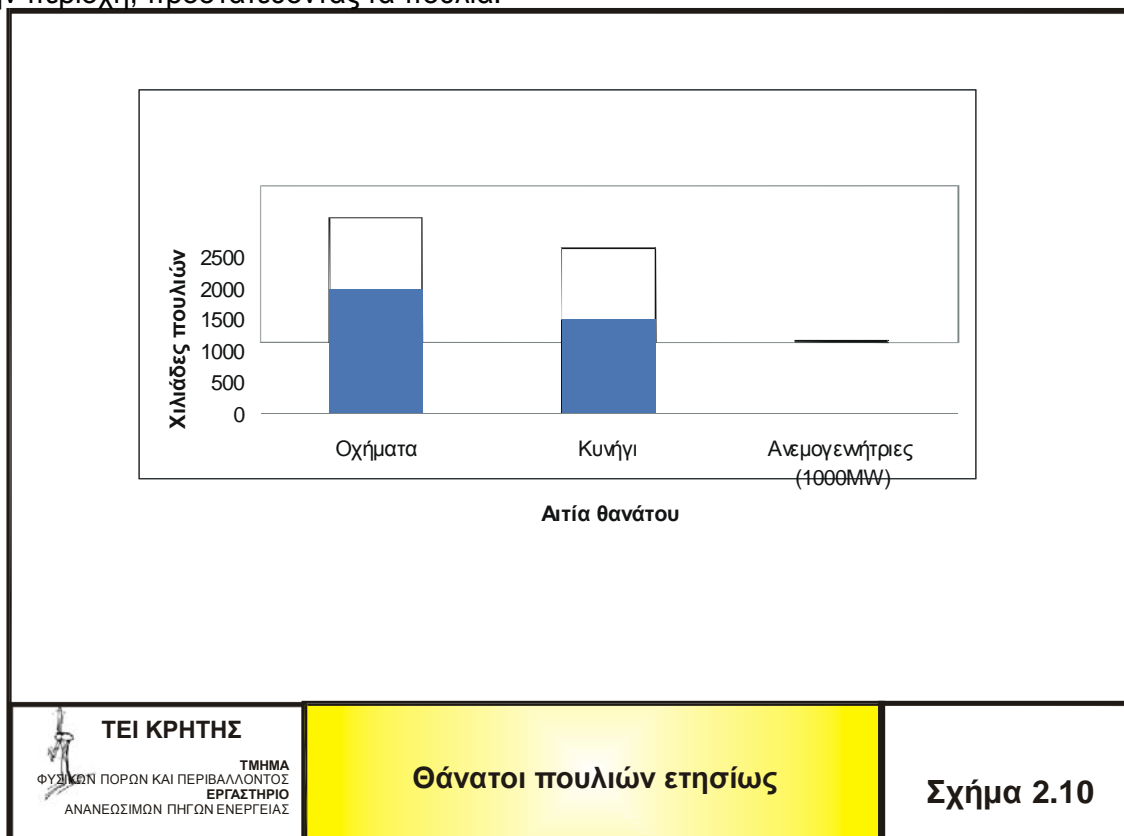
Είναι σαφές επίσης ότι η όποια ενόχληση στην орνιθοπανίδα είναι μεγαλύτερη κατά τη φάση κατασκευής-εγκατάστασης του αιολικού πάρκου απ' ό τι κατά την φάση λειτουργίας του έργου. Η προσεκτική εγκατάσταση αιολικών πάρκων καθώς και ο σχεδιασμός των σύγχρονων ανεμογεννητριών συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην αποφυγή ενόχλησης των πουλιών. Από τη μέχρι σήμερα γνωστή έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις από την εγκατάσταση και λειτουργία αιολικών πάρκων στα πουλιά, έχουν προταθεί και εφαρμοστεί αντισταθμιστικά μέτρα που μειώνουν αισθητά τόσο τον κίνδυνο των προσκρούσεων πουλιών στις ανεμογεννήτριες όσο και τις άλλες επιπτώσεις στην орνιθοπανίδα. Για παράδειγμα:

- Υπάρχει πλέον ομοφωνία μεταξύ ερευνητών ότι οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν πύργους σωληνωτού τύπου επιφέρουν μικρότερες επιπτώσεις από προσκρούσεις στην орνιθοπανίδα συγκριτικά με τις ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν πύργους δικτυωτού τύπου. Γι' αυτό το λόγο, όλες οι νέες ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται πλέον με πύργους σωληνωτού τύπου.
- Οι περισσότερες προσκρούσεις έχουν σημειωθεί σε αιολικά πάρκα παλαιού τύπου (πολλές μικρές ανεμογεννήτριες με πύργους δικτυωτού τύπου, με μεγάλη ταχύτητα

περιστροφής και πυκνή διάταξη των μονάδων). Στα σύγχρονα αιολικά πάρκα οι

πολλές μικρές μονάδες ανεμογεννητριών αντικαθίστανται από λιγότερες και μεγαλύτερες μονάδες, με μεγαλύτερους έλικες και μικρότερη ταχύτητα περιστροφής, τοποθετημένες σε μεγαλύτερες αποστάσεις η μία από την άλλη.

Να σημειωθεί επίσης ότι στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει και αντίλογος που προβάλλει τις ευεργετικές επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα από τη δημιουργία αιολικών πάρκων. Δεδομένου ότι το 99% της έκτασης του αιολικού πάρκου παραμένει ανέπαφο, η παρουσία της εγκατάστασης αποτρέπει άλλες, πιο καταστροφικές για το περιβάλλον, χρήσεις στην ίδια περιοχή. Επίσης, η παρουσία φύλακα στο πάρκο μπορεί να αποτρέψει π.χ. τη λαθροθηρία στην περιοχή, προστατεύοντας τα πουλιά.



Υπολογίζεται πάντως ότι 100 φορές περισσότερα πουλιά πεθαίνουν από σύγκρουση με οχήματα παρά με ανεμογεννήτριες. Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για τα αίτια θανάτου πουλιών από οχήματα, κυνήγι και ανεμογεννήτριες στην Ολλανδία.

Εκτιμάται επίσης ότι μόνο η πετρελαϊκή ρύπανση ευθύνεται για 150.000-450.000 νεκρά θαλασσοπούλια το χρόνο στην Βόρεια θάλασσα και στον Β. Ατλαντικό. Το ατύχημα του πετρελαιοφόρου Ecxhon Valdez το 1989 προκάλεσε τον θάνατο 300.000-675.000 θαλασσοπουλιών.

Αξίζει να αναφερθεί τέλος κανείς στις αναμενόμενες επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στην ορνιθοπανίδα. Πρόσφατες επιστημονικές μελέτες συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή της νότιας Ευρώπης και της ΝΑ Μεσογείου, οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών αναμένονται ιδιαίτερα δυσμενείς τις ερχόμενες δεκαετίες. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι το 85% των υγροτόπων της νότιας Ευρώπης κινδυνεύει με εξαφάνιση σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας κατά 3-4 βαθμούς. Μια τέτοια εξέλιξη θα σημάνει δραματικές αλλαγές στους πληθυσμούς της ορνιθοπανίδας, στα είδη που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή μας, στη φύση των ενδιαιτημάτων, στην ποσότητα και ποιότητα της τροφής των πουλιών, στις συνθήκες και περιόδους αναπαραγωγής τους, στις μεταναστευτικές τους συνήθειες, κ.λ.π.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

3.1 Τμήματα ανεμογεννήτριας

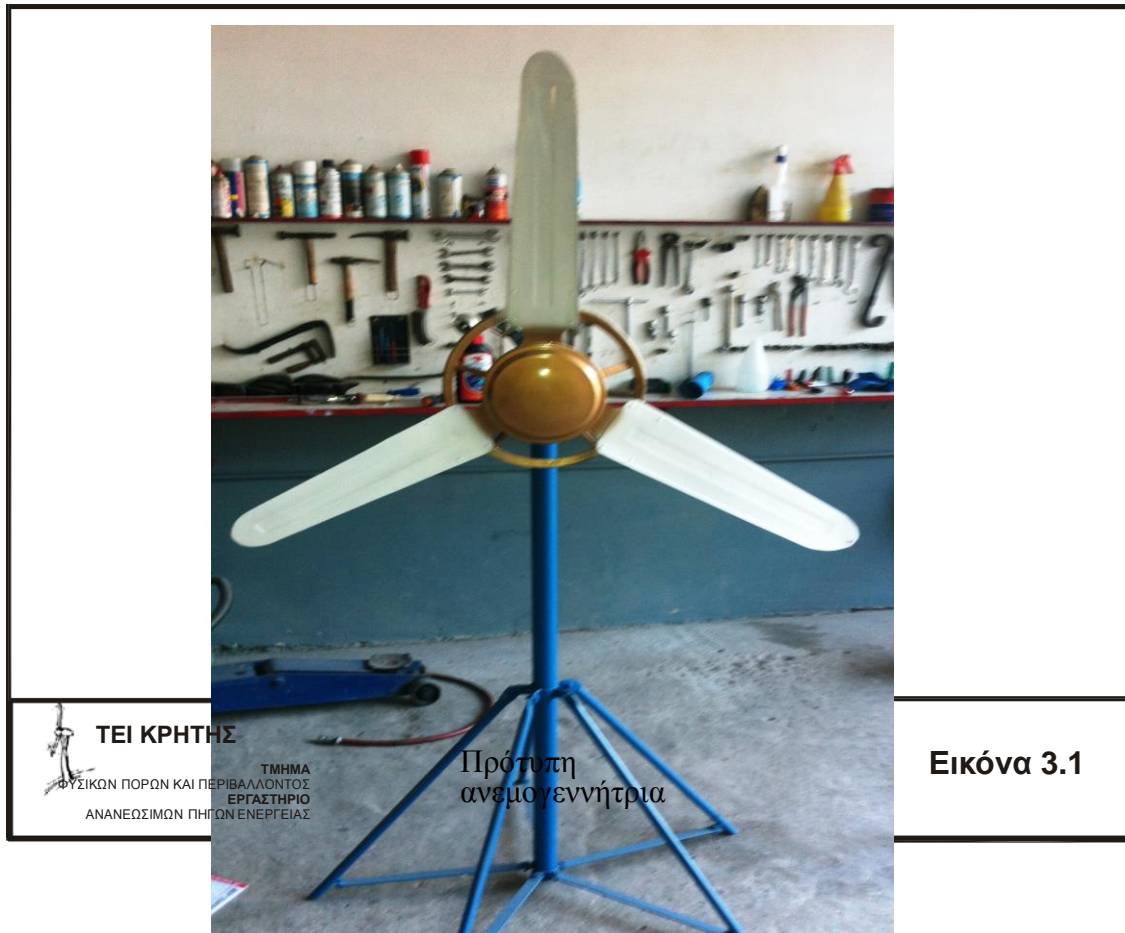
Για την κατασκευή της πειραματικής ανεμογεννήτριας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εξαρτήματα-υλικά-ανταλλακτικά:

- ένας σωλήνας σιδήρου διαμέτρου $d=8\text{cm}$ και μήκος $l=120\text{cm}$ όπου χρησιμοποιήθηκε ως βάση στήριξης της ανεμογεννήτριας.
- μία λάμα μήκους $l=300\text{cm}$ για τη στήριξη της βάσης.
- μια ράβδος σιδήρου διαμέτρου $d=4\text{cm}$ και μήκος $l=90\text{cm}$ που χρησιμοποιήθηκε ως οριζόντιος άξονας.
- *ανεμιστήρας οροφής με τρία πτερύγια διαμέτρου $d=12\text{cm}$ και μήκος $l=50\text{cm}$.
- μία στεφάνη ειδικά κατασκευασμένη με διάμετρο $d=33\text{cm}$ που χρησιμοποιήσαμε για τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω του δυναμού .
- χρησιμοποιήσαμε ένα φύλλο λαμαρίνας με διαστάσεις $l=50\text{cm}$ και $h=20\text{cm}$ για τη δημιουργία της ουράς.
- Μία ταινία led μήκους $l=50\text{cm}$ με ισχύς 2.4 w συνολικά η οποία χρησιμοποιήθηκε για την απευθείας κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- δύο ρουλεμάν τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την περιστροφή κίνησης μεταξύ των δύο αξόνων ,κάθετου και οριζόντιου.
- για την συναρμολόγηση μεταξύ των εξαρτημάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι κοχλίες, έγιναν συγκολλήσεις, επιχρωμάτωση .

ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

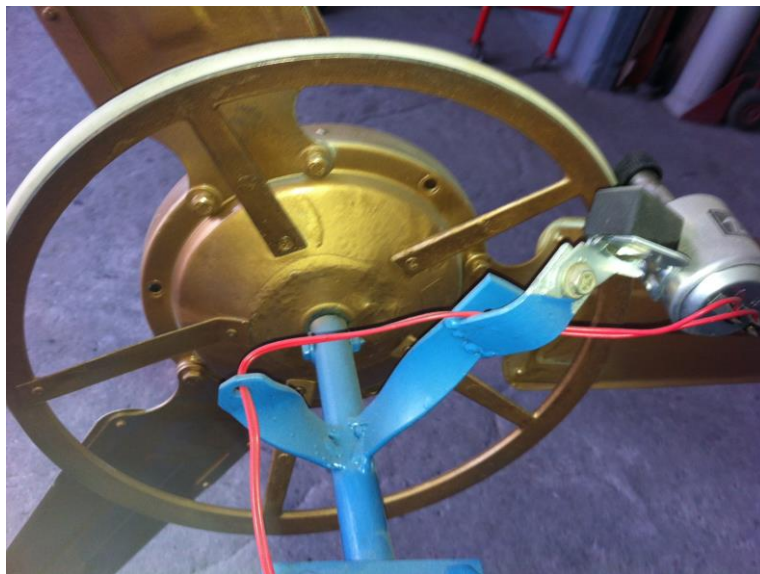
3.1.1 Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός της ανεμογεννητριας βασίστηκε σε προδιαγραφές πρότυπης ανεμογεννητριας του εμπορίου ανάλογου μεγέθους



3.1 .2 Επιλογή υλικών

Βασικός στόχος στην επιλογή των υλικών ήταν το χαμηλό κόστος που διεθεσα για την κατασκευή της καθώς όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν τα συναντάμε εύκολα στο εμπόριο και είναι αρκετά οικονομικά ,η επιλογή των φτερών έγινε από ένα ήδη υπάρχον ανεμιστήρα οροφής (εικόνα 3.2) ο οποίος ανακατασκευάστηκε και διαμορφώθηκε πάνω στις απαιτούμενες προδιαγραφές της κατασκευής μας.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Ανακατασκευή ανεμιστήρα
οροφής**

Εικόνα 3.2

Χρησιμοποιηκαν ραβδοι σιδήρου για την κατασκευή και στήριξη της βάσης ενώ για την περιστροφή επέλεξα δύο πλήμνες για την ενωση του οριζόντιου άξονα με τον κάθετο (εικόνα 3.3) .

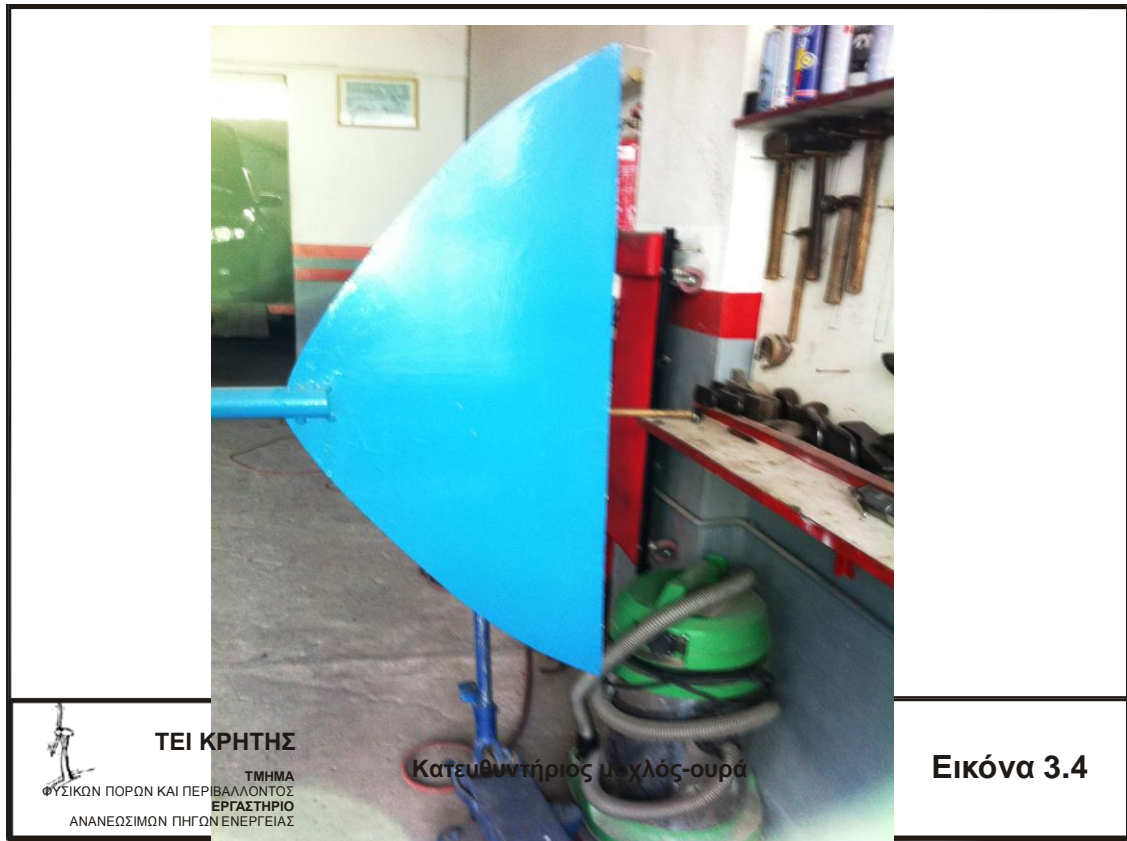


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πλήμνες άνω και κάτω

Εικόνα 3.3

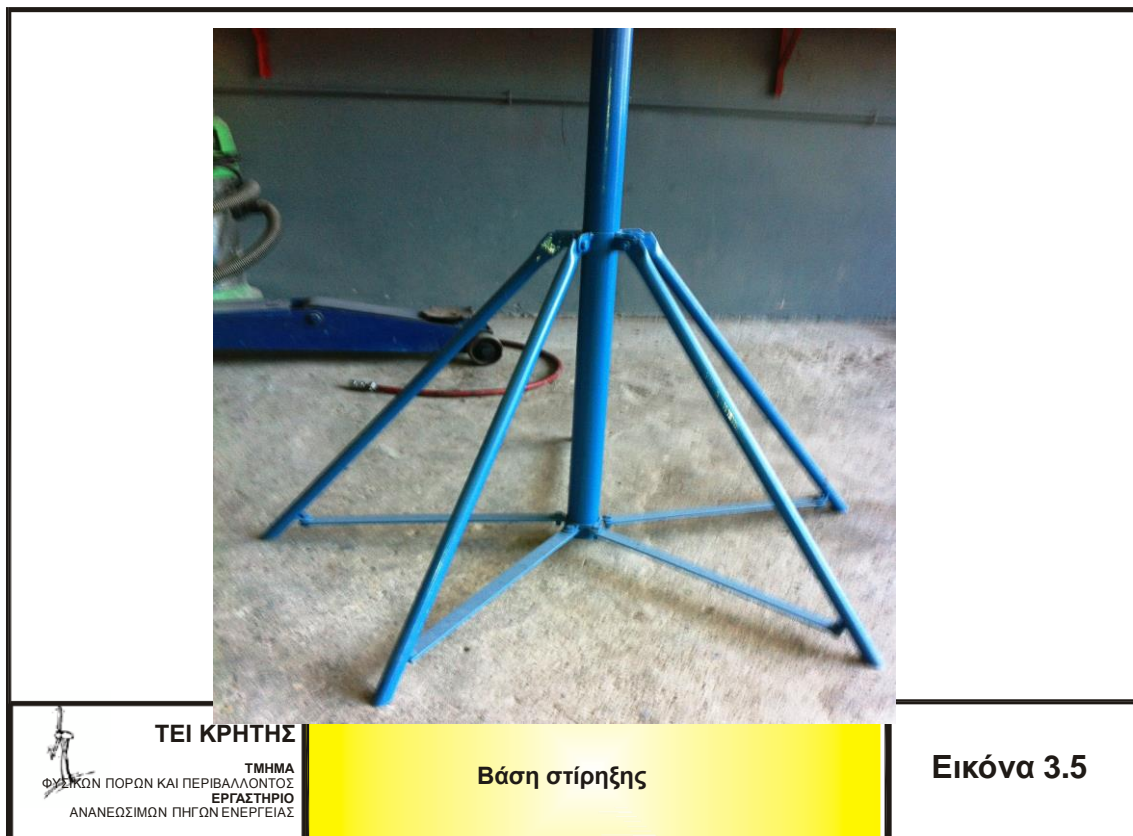
Για τον κατευθυντήριο μοχλό που είναι η ουρά επέλεξα φύλλο λαμαρίνας 1χιλ (εικόνα 3.4), επίσης χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι κοχλίες ,εγιναν συγκολλήσεις ενώ για την εσθητική της έγινε επιχρωμάτωση με κατάλληλο σιδηρόχρωμα.



3.1.3 Κατασκευή

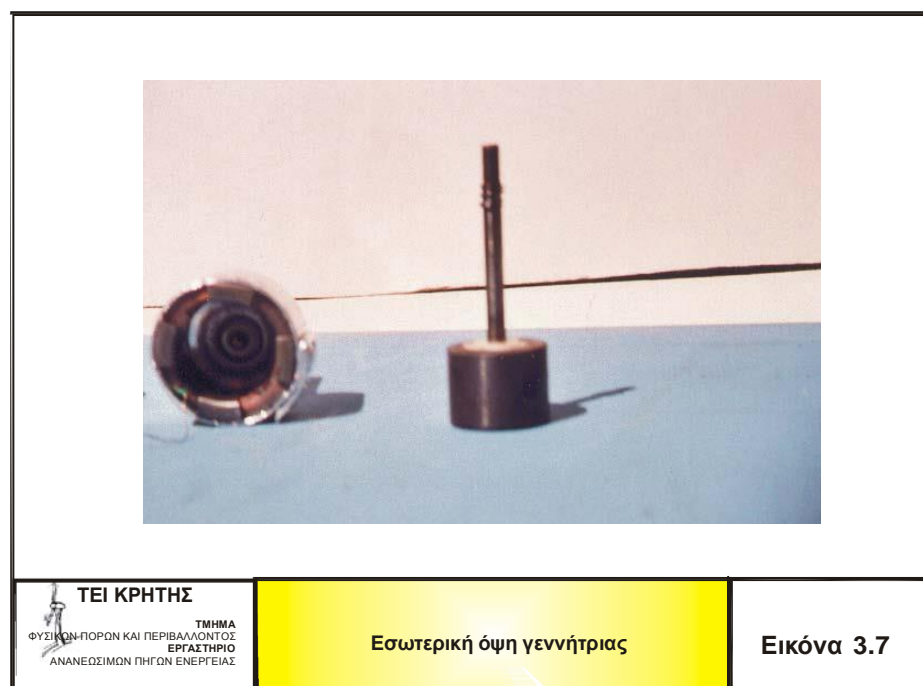
Η διαδικασία κατασκευής έχει ως εξής:

- Διμιουργία βάσης στήριξης γυρω από το κεντρικό κάθετο άξονα (Εικόνα 3.5).
- Τοποθέτηση οριζόντιου άξονα με πλήμνες πανω στον καθετο και στήριξη μεταξύ τους με κοχλίες (Εικόνα 3.3)
- Κατασκευή κατευθυντήριου μοχλου-ουρας και συγκόληση αυτου στο πίσω μέρος του οριζόντιου άξονα (Εικόνα 3.4)
- Τοποθέτηση ανεμιστήρα στο μπροστινό μέρος του οριζόντιου άξονα και κατασκευή στεφάνης πίσω από αυτόν η οποία λειτουργεί σαν τροχός κίνησης του δυναμού (Εικόνα 3.2)



3.2 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

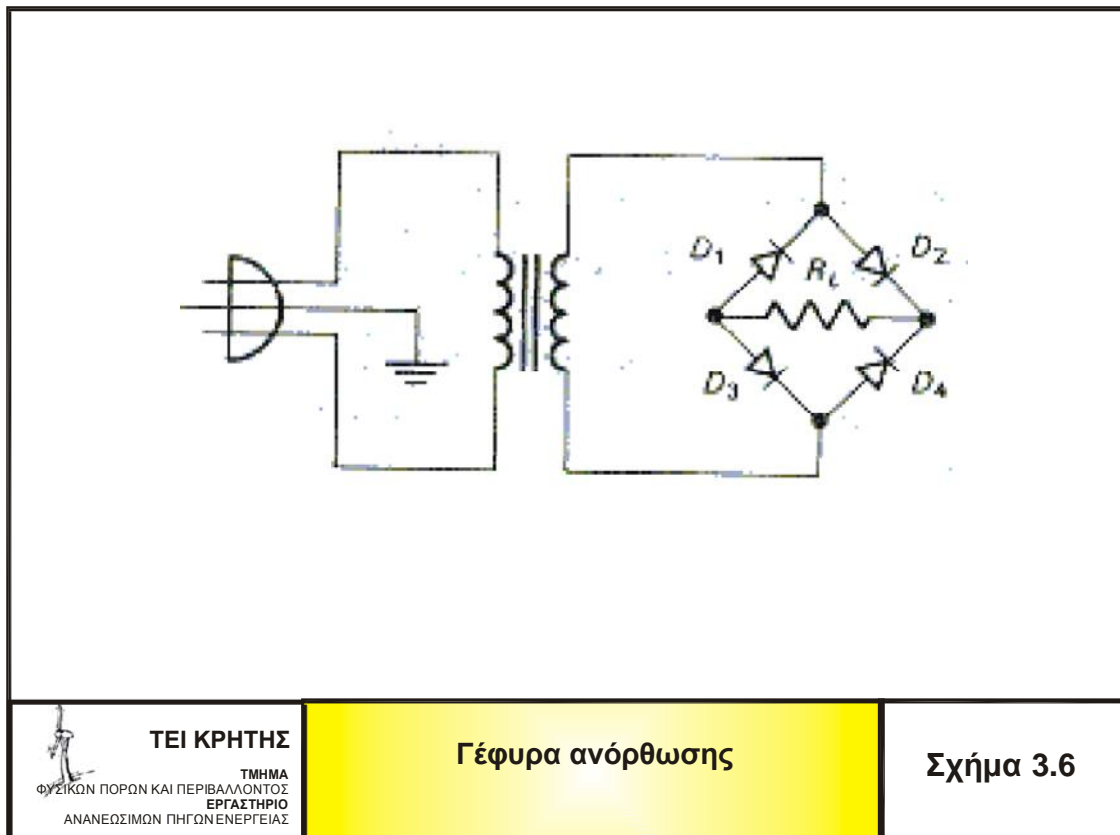
Για την παραγωγή ρεύματος από την ανεμογεννήτρια, χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό δυναμό ποδηλάτου 12 V και 6 W μάρκας Tung Lin (Εικόνα 3.6, Εικόνα 3.7). Το δυναμό είναι μια κοινή ηλεκτρική μηχανή η οποία παράγει μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα. Για τις ταχύτητες που εξετάστηκε δεν ήταν δυνατό να φτάσει μέγιστες τιμές καθώς όλη η κατασκευή της ανεμογεννήτριας είναι αρκετά μικρή.



Σε μια πειραματική μέτρηση χρησιμοποιήθηκε ως γεννήτρια ένα μοτέρ συνεχούς ρεύματος με τάση 6 V-8,4 V και είναι της Ιαπωνικής εταιρείας TAMIYA. Το μοτέρ δε χρησιμοποιήθηκε στην τελική δοκιμή.

3.3 Γέφυρα ανόρθωσης

Η γέφυρα ανόρθωσης χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο κύκλωμα ανόρθωσης. Η γέφυρα φαίνεται στο σχήμα 3.6.

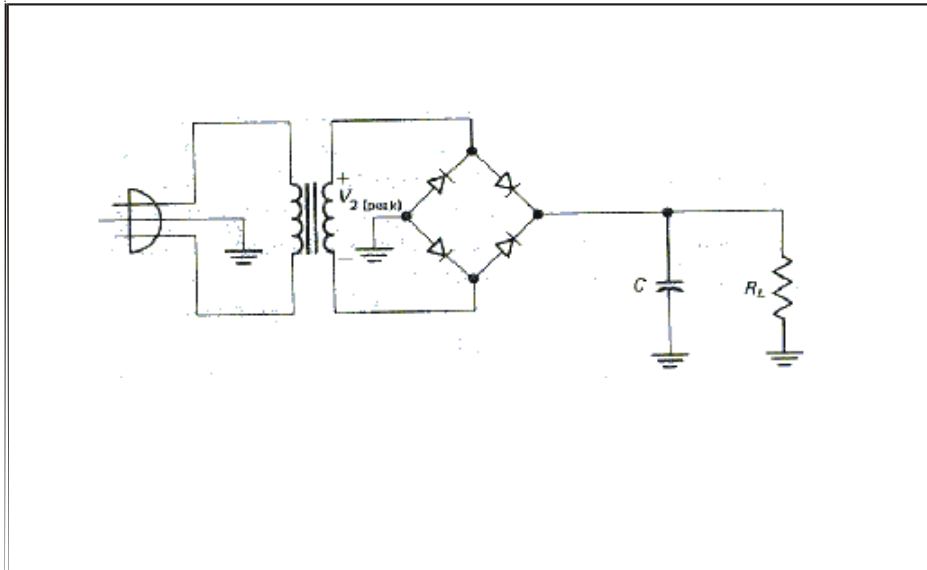


Κατά τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου της τάσης του δευτερεύοντος, οι δίοδοι D_2 και D_3 είναι πολωμένες ορθά, ενώ οι δίοδοι D_1 και D_4 είναι πολωμένες ανάστροφα. Έτσι το ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή D_2, R_L, D_3 . κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου, άγουν οι δίοδοι D_1 και D_4 , ενώ οι δίοδοι D_2 και D_3 είναι αποκομμένες. Το ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή D_4, R_L, D_1 . Κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, το ρεύμα εισέρχεται από το δεξιό άκρο της αντίστασης φορτίου. Έτσι, η πολικότητα της τάσης εξόδου παραμένει η ίδια. Αυτός είναι ο λόγος που η τάση εξόδου είναι το πλήρως ανορθωμένο σήμα του σχήματος 3.8.[2]

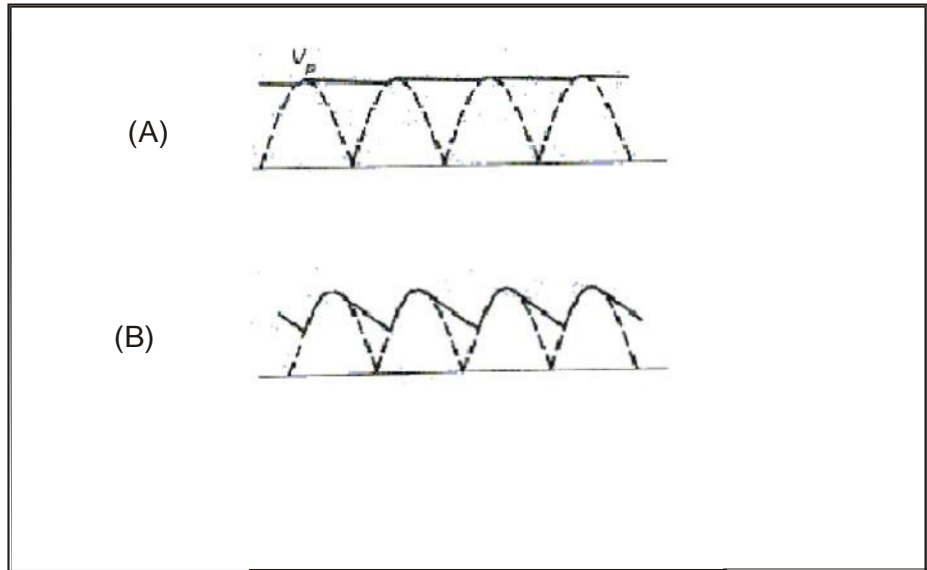
3.5 Περιπτώσεις μικρών και μεγάλων φορτίων


Στο σχήμα 3.10 (A) η κυμάτωση από κορυφή σε κορυφή (peak to peak) είναι μικρή, επειδή η εκφόρτιση του πυκνωτή είναι περιορισμένη. Αυτό πετυχαίνεται με την ύπαρξη μεγάλης σταθεράς χρόνου εκφόρτισης. Αυτό συμβαίνει είτε με ένα μεγάλο πυκνωτή είτε μια μεγάλη αντίσταση φορτίου είτε και τα δύο, έτσι ώστε το γινόμενο $R_L C$ να είναι πολύ μεγαλύτερο από την περίοδο του σήματος εισόδου. Αναφερόμαστε σ' αυτή την περίπτωση χρησιμοποιώντας τον όρο μικρή φόρτιση. Θεωρούμε ότι η φόρτιση είναι μικρή, όταν η κυμάτωση από κορυφή σε κορυφή είναι ίση ή μικρότερη από το 10% του πλάτους της τάσης εισόδου.

Από την άλλη μεριά, αν η αντίσταση φορτίου ή ο πυκνωτής έχουν πολύ μικρές τιμές, η σταθερά χρόνου εκφόρτισης θα είναι μικρή και η κυμάτωση θα γίνει πολύ μεγάλη, της φαίνεται και στο σχήμα 3.10 (B). Η περίπτωση αυτή είναι γνωστή με τον όρο μεγάλο φορτίο και αντιστοιχεί σε peak to peak κυμάτωση μεγαλύτερη από το 10% του πλάτους της τάσης εισόδου.[2]



 <p>ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</p>	<p>Γέφυρα ανόρθωσης με φίλτρο πυκνωτή</p>	<p>Σχήμα 3.9</p>
---	--	-------------------------



 <p>ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</p>	<p>A: Μικρή κυμάτωση B: Μεγάλη κυμάτωση</p>	<p>Σχήμα 3.10</p>
---	--	--------------------------

3.6 Αεροδυναμική

3.6.1. Είδη ροών

Η ροή του αέρα είναι ασυμπίεστη ή συμπιεστή ανάλογα με την τιμή του αριθμού Mach M (όπου $M=1000 \text{ km/h}$), (Σχήμα 3.11).

Ασυμπίεστη λέγεται η ροή, όταν $\rho=\text{σταθερό}$. Ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ασυμπίεστος για περιθώριο ταχυτήτων μέχρι $0,4 M$. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για Ασυμπίεστη Αεροδυναμική ή Αεροδυναμική μικρών υποηχητικών ταχυτήτων.

Συμπιεστή λέγεται η ροή, όταν $\rho \neq \text{σταθερό}$. Ο αέρας λαμβάνεται υποχρεωτικά συμπιεστός για ταχύτητες μεγαλύτερες από $0,4 M$. Τη περιοχή αυτή ταχυτήτων μελετάει η Συμπιεστή

Αεροδυναμική, η οποία χωρίζεται στην Αεροδυναμική μεγάλων υποηχητικών ταχυτήτων (από $0,4-0,9M$) στη Διηχητική Αεροδυναμική ($M=1$), στην Υπερηχητική Αεροδυναμική ($1 < M < 6$) και στην Υπερυπερηχητική Αεροδυναμική ($M > 6$).

Μια ροή ανεξάρτητα αν είναι Ασυμπίεστη ή Συμπιεστή, μπορεί να είναι Ιδανική ή Πραγματική ροή, ροή με περιστροφή ή χωρίς περιστροφή, μόνιμη ή μη μόνιμη ροή, στρωτή ή τυρβώδης ροή.

Ιδανική λέγεται η ροή που μεταξύ των μορίων της και των τοιχωμάτων των στερεών ορίων που περιορίζουν αυτή, δεν ασκούνται τριβές. Τα ρευστά που την πραγματοποιούν λέγονται Ιδανικά Ρευστά, δεν έχουν ιξώδες (ανιζωδικά), και είναι υποθετικά ρευστά.

Πραγματική λέγεται η ροή που μεταξύ των μορίων της και των τοιχωμάτων που περιορίζουν αυτή, ασκούνται τριβές και διατμητικές τάσεις. Τα ρευστά που την πραγματοποιούν λέγονται Πραγματικά Ρευστά, είναι αυτά που βρίσκονται στη φύση και έχουν ιξώδες (ιξώδη ρευστά).

Ροή με περιστροφή (Στροβιλώδης ροή) λέγεται η ροή των ρευστών κατά την οποία τα μόρια τους μεταβάλλουν θέσεις στο χώρο και ταυτόχρονα περιστρέφονται περί τον εαυτό τους.

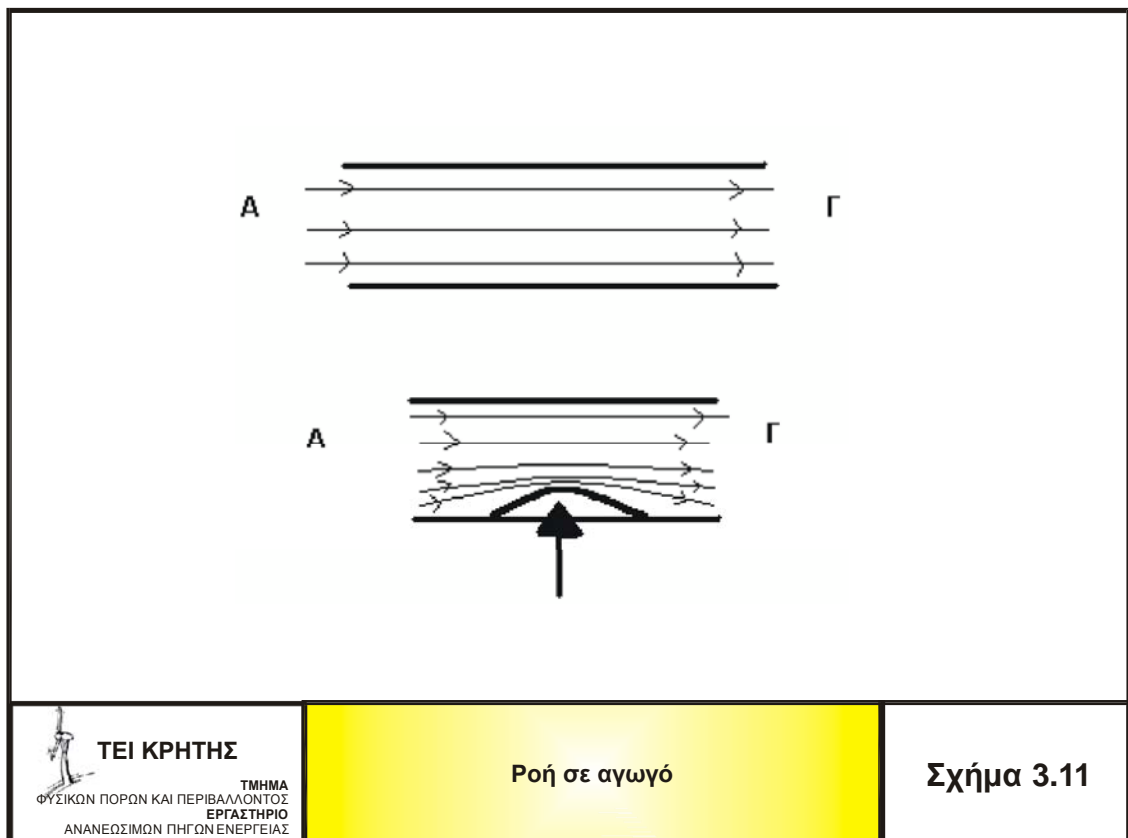
Ροή χωρίς περιστροφή (Αστροβιλη ροή) χαρακτηρίζεται η ροή όταν τα μόρια της κατά την κίνηση τους, μεταβάλλουν θέσεις στο χώρο αλλά δεν στρέφονται περί τον εαυτό τους.

Μόνιμη λέγεται η ροή όταν τα μεγέθη που την χαρακτηρίζουν, ταχύτητα, πίεση, πυκνότητα κλπ., δεν είναι συναρτήσεις του χρόνου, αλλά μόνο του χώρου.

Μη μόνιμη λέγεται η ροή όταν τα μεγέθη που την χαρακτηρίζουν εξαρτώνται και από τον χρόνο.

Με τον όρο στρωτή εννοούμε τη ροή η οποία γίνεται κατά στοιβάδες, οι οποίες ολισθαίνουν η μια πάνω στην άλλη.

Τυρβώδης λέγεται η ροή η οποία περιέχει και περιοχές με δίνες και στροβίλους και η οποία επομένως δεν γίνεται κατά στοιβάδες.



3.6.2 Αρχές αεροδυναμικής

Η μελέτη των κινηματικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της ροής του αέρα βασίζεται σε ορισμένες αρχές ή παγκόσμιους φυσικούς νόμους, οι οποίοι έχουν διατυπωθεί σαν συμπέρασμα φυσικών παρατηρήσεων και εμπειρίας. Οι νόμοι αυτοί, έχουν αξιωματική διατύπωση και αποτελούν τις αρχές πάνω στις οποίες θεμελιώνεται η Αεροδυναμική και αποδεικνύονται έμμεσα με σύγκριση των αποτελεσμάτων της μαθηματικής ανάλυσης και των πειραματικών δεδομένων.

Οι αρχές αυτές είναι:

- α) Αρχή Διατήρησης της Μάζας (εξίσωση Συνέχειας)
- β) Αρχή Διατήρησης της Ορμής (εξίσωση Κίνησης)
- γ) Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας (εξίσωση Ενέργειας)

Οι τρεις αυτές αρχές αποτελούν τις βάσεις πάνω στις οποίες θεμελιώνεται η ροή του αέρα και παρέχουν τους νόμους που διέπουν αυτή.

3.6.3. Αριθμός Reynolds

Μια άλλη παράμετρος, η οποία χαρακτηρίζει τη ροή του αέρα, είναι ο Αριθμός Reynolds, ο οποίος ορίζεται από τη σχέση 3.1.

$$Re = \rho v l / \mu = VL / \nu = \sigma \alpha \theta. \quad (3.1)$$

όπου L είναι ένα χαρακτηριστικό μήκος του σώματος συνήθως το μήκος της χορδής της αεροτομής c , V η ταχύτητα της ροής, μ το ιξώδες και ν το κινηματικό ιξώδες.

Όπως φαίνεται από φυσικής πλευράς, εκφράζει ένα μέτρο μεταξύ των αδρανειακών δυνάμεων και των δυνάμεων συνεκτικότητας. Έτσι μικροί αριθμοί Reynolds, σημαίνουν ροή στην οποία υπερέχουν οι δυνάμεις συνεκτικότητας, ενώ μεγάλοι αριθμοί Reynolds, ροή στην οποία υπερέχουν οι αδρανειακές δυνάμεις.

Η πρώτη περίπτωση (Re πολύ μικρό) συμβαίνει όταν μελετάμε σώματα πολύ μικρών διαστάσεων ή μικρών ταχυτήτων και που το ρευστό έχει μεγάλο κινηματικό ιξώδες, όπως π.χ. στην περίπτωση νέφους σωματιδίων ή φιλμ ελαίου μεταξύ του στροφέα και του εδράνου ενός περιστρεφόμενου άξονα (έρπουσα ροή).

Ιδιαίτερη σπουδαιότητα όμως έχει η δεύτερη περίπτωση των μεγάλων αριθμών Reynolds, η οποία έχει πολλές τεχνικές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε προβλήματα τεχνικής της πτήσης ενός αεροπλάνου, και τούτο διότι αυτή συμβαίνει σε ρευστά με πολύ μικρό κινηματικό ιξώδες ν (νερό και αέρα) και σε σώματα που οι διαστάσεις τους και οι ταχύτητες τους είναι μεγάλες.

Έτσι για την περίπτωση ενός αεροπλάνου με ταχύτητα πτήσης 140m/sec και μήκους χορδής της πτέρυγας $c=2\text{m}$, σε μικρά ύψη ο Αριθμός Reynolds είναι ίσος με $2 \cdot 10^7$ όπως αποδεικνύεται στη σχέση 3.2.

$$\text{Re} = \frac{Vc}{\nu} = \frac{140.2}{15 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^7 \quad (3.2)$$

Ολοκληρώνοντας θεωρούμε σκόπιμο να αναφέρουμε ότι η επίδραση του αριθμού Reynolds στη ροή γύρω από σώματα είναι καθοριστική για τη μορφή της ροής γύρω από αυτό. Από διάφορα πειράματα που είχαν γίνει, διαπιστώσαμε ότι όταν αυξάνεται ο αριθμός Reynolds έχουμε μετάπτωση της ροής από στρωτή σε τυρβώδη. Η τιμή του αριθμού Reynolds, στην οποία συμβαίνει, αυτή η μετάπτωση χαρακτηρίζει το κρίσιμο αριθμό Reynolds Re_{cr} και που για τη περίπτωση ροής μέσα σε σωλήνες έχει τη τιμή $\text{Re}_{cr}=2.300$.

3.6.4 Η έννοια του οριακού στρώματος

Όταν ένα σώμα βρίσκεται σε σχετική κίνηση με τον αέρα, τότε παρουσιάζεται μια περιοχή της ροής πολύ μικρού πάχους, γύρω από το σώμα, στην οποία η ταχύτητα ροής είναι διαφορετική από την ταχύτητα ροής μακριά. Την περιοχή αυτή την ονομάζουμε Οριακό Στρώμα ή Στρώμα Τριβής, την θεωρία του οποίου διατύπωσε ο Prandtl, το 1904. Αυτό το οριακό στρώμα είναι τόσο πιο λεπτό, όσο πιο μικρή είναι η συνεκτικότητα.

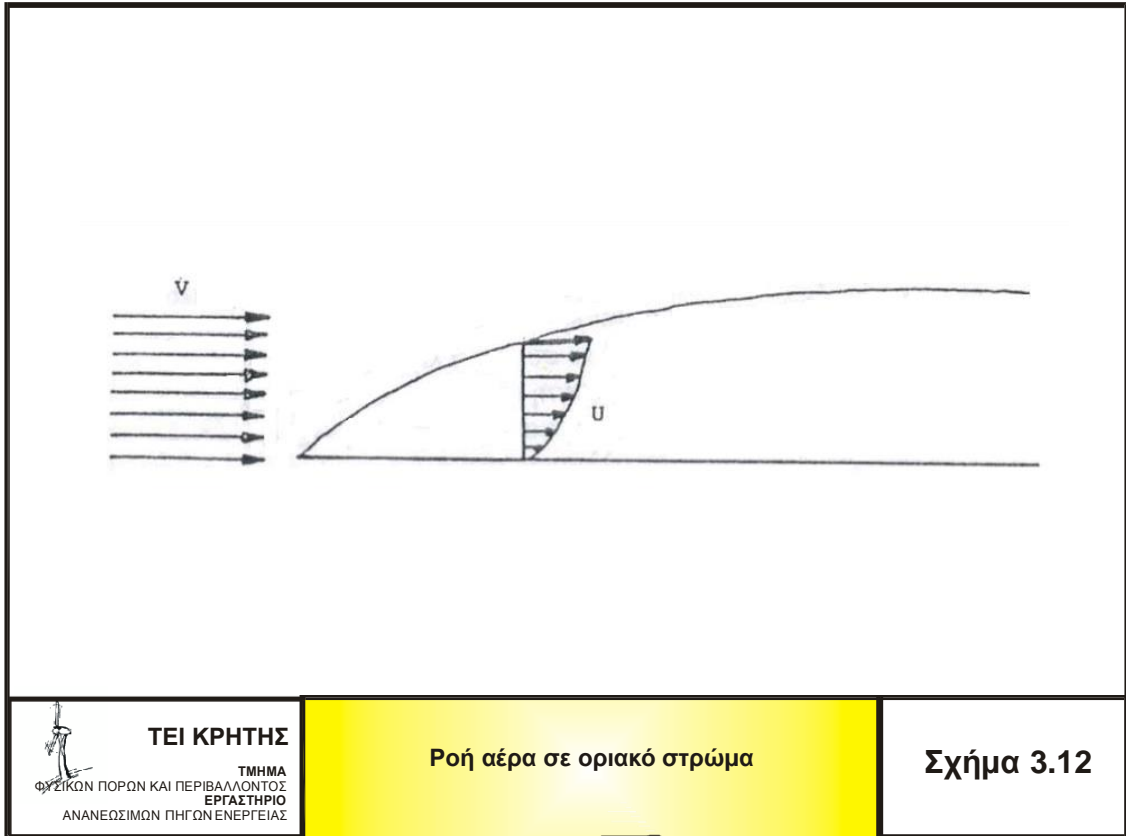
Κατά τον Prandtl, όταν ο αέρας κινείται γύρω από ένα στερεό, τότε θεωρητικής απόψεως, το όλο πεδίο ροής χωρίζεται σε δύο περιοχές:

i) Στην περιοχή του λεπτού στρώματος τριβής στην άμεση γειτονιά του σώματος, στην οποία η βαθμίδα της ταχύτητας, η κάθετη προς το τοίχωμα δηλαδή η θ_u/θ_y , είναι πολύ μεγάλη.

Σ' αυτή την περιοχή, το ιξώδες μ , ασκεί μια ουσιώδη επίδραση και επομένως η διατμητική τάση, η οποία δίνεται από τη σχέση 3.3 μπορεί να παίρνει μεγάλες τιμές. Η ροή μέσα σ' αυτή την περιοχή ελέγχεται τόσο από δυνάμεις αδράνειας και πίεσης, όσο και από δυνάμεις τριβής.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3.3)$$

ii) Στην υπόλοιπη περιοχή που βρίσκεται έξω από το Οριακό Στρώμα, όπου οι δυνάμεις τριβής είναι πολύ μικρές, μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Στην περιοχή αυτή, η συμπεριφορά του αέρα είναι παρόμοια με τη συμπεριφορά ιδανικού αερίου.



Για να γίνει κατανοητή η έννοια του Οριακού Στρώματος θεωρείται η ροή αέρα γύρω από μια επίπεδη άπειρη πλάκα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.12. Επίσης θεωρείται ότι μπροστά από την πλάκα, η ταχύτητα του αέρα είναι ομοιόμορφα κατανοημένη.

Όταν ο αέρας συναντήσει την πλάκα, εξαιτίας του ιξώδους, έχουμε τη δημιουργία του οριακού στρώματος, μέσα στο οποίο η ταχύτητα του αέρα είναι διάφορη από την αρχική.

Η κατανομή τώρα της ταχύτητας, μέσα στο οριακό στρώμα αρχίζει από τη μηδενική τιμή για τα μόρια του αέρα που βρίσκονται σε επαφή με την επιφάνεια (συνθήκη μη ολισθήσεως) και αρχίζει να αυξάνει μέσα στο οριακό στρώμα μέχρις ότου τελικά φθάσει περίπου την τιμή της αρχικής ταχύτητας $V(x)$ στο επάνω μέρος του οριακού στρώματος.

Εκτός από τη μεταβολή της ταχύτητας μέσα στο οριακό στρώμα, αξίζει να σημειωθούν και τα παρακάτω φυσικά χαρακτηριστικά αυτού:

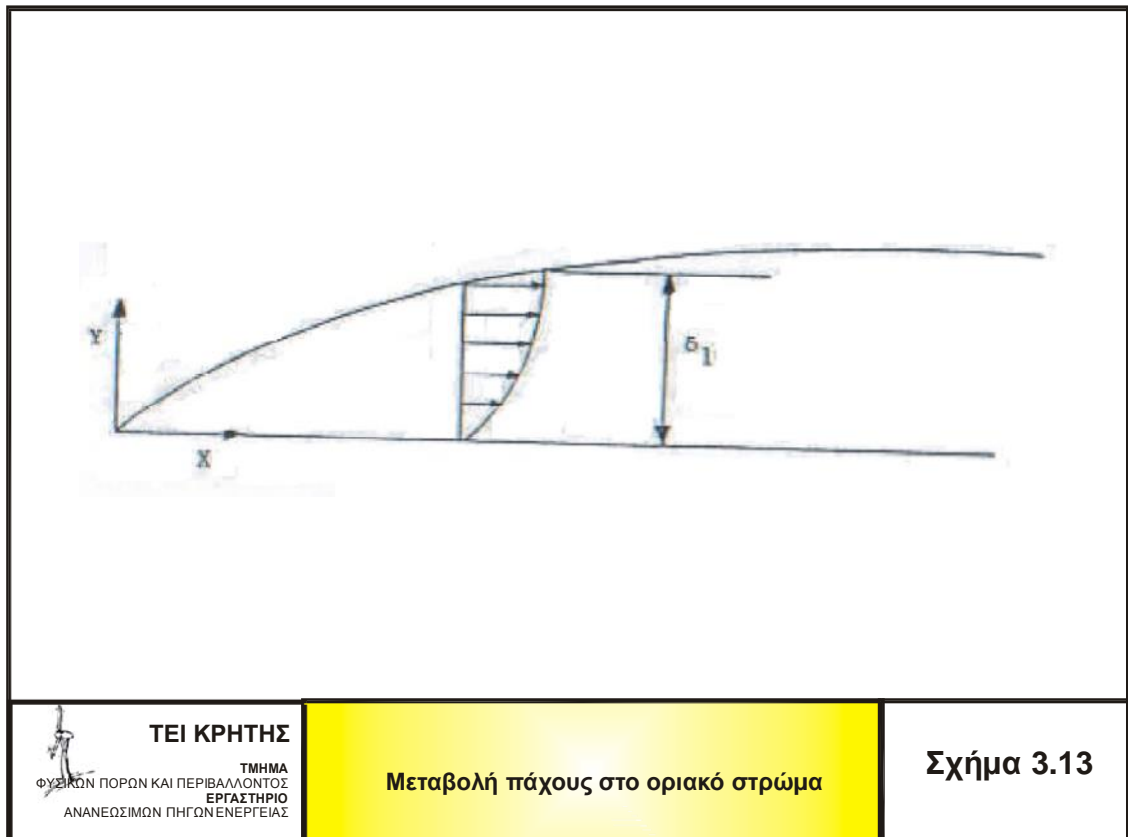
α) Το πάχος δ αυτού είναι πάρα πολύ μικρό

β) Η ροή του αέρα μέσα στο οριακό στρώμα είναι πάρα πολύ πιο αργή εξαιτίας του ιξώδους.

3.6.5. Πάχος δ του οριακού στρώματος

Ορίζεται ως πάχος του οριακού στρώματος η κάθετη απόσταση μεταξύ στέρεου ορίου και σημείου, στο οποίο η ταχύτητα διαφέρει της εξωτερικής ταχύτητας κατά 1%. (Σχήμα 3.13), δηλαδή η απόσταση y όπου η ταχύτητα είναι $u=0.99 V$.

Επίσης όπως φαίνεται και από το Σχήμα (3.13) το πάχος του οριακού στρώματος δεν είναι σταθερό από την αρχή μέχρι το τέλος αυτού. Διαπιστώνεται ότι στο σημείο προσβολής το πάχος είναι μικρό, ενώ αυξάνει αυξανόμενης της x -διεύθυνσης έτσι ώστε να ικανοποιείται η αρχή της διατήρησης της μάζας.



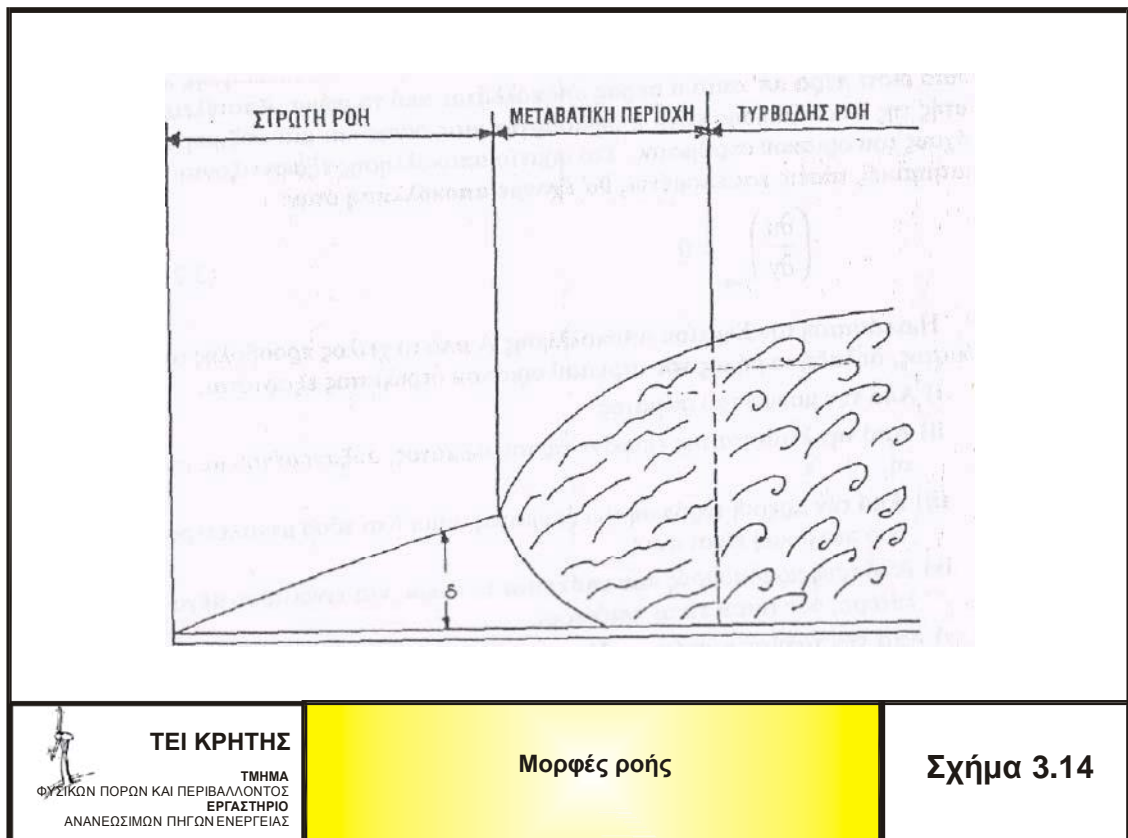
Ακόμα το πάχος του οριακού στρώματος μεταβάλλεται με τις διάφορες παραμέτρους της πτήσης και συγκεκριμένα, αυξάνει όταν ελαττώνεται η ταχύτητα πτήσης V , και όταν ελαττώνεται η πυκνότητα ρ του αέρα, δηλαδή αυξανόμενου του ύψους πτήσης.

3.6.6. Μορφές ροής στο οριακό στρώμα

Οι μορφές ροής που μπορούν να υπάρξουν μέσα στο οριακό στρώμα διακρίνονται σε τρεις τύπους και είναι οι παρακάτω όπως φαίνονται στο σχήμα (3.14).

α) Η Στρωτή Ροή:

Με τον όρο Στρωτή εννοούμε τη ροή η οποία γίνεται κατά στοιβάδες οι οποίες ολισθαίνουν η μια πάνω στην άλλη.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μορφές ροής

Σχήμα 3.14

Είναι η πιο απλή μορφή ροής, κατά την οποία τα σωματίδια του αέρα ακολουθούν συγκεκριμένη πορεία, και το κάθε ένα λαμβάνει τη θέση του προηγούμενου του. Στην περίπτωση αυτή της ροής οι ροϊκές γραμμές ταυτίζονται με το δρόμο (διαδρομή) των σωματιύων. Τέλος θα πρέπει να πούμε ότι είναι πολύ ευπαθής και ασταθής ροή στην οποία οι δυνάμεις συνεκτικότητας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις αδράνειας.

β) Μεταβατική Περιοχή:

Η περιοχή αυτή αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση ροής του οριακού στρώματος, όπου τα σωματίδια του αέρα παύουν σταδιακά να ακολουθούν τη συγκεκριμένη στρωτή ροή και αρχίζουν να αναπτύσσουν άτακτες τροχιές στο χώρο.

γ) Η Τυρβώδης Ροή:

Η ροή αυτή παρουσιάζει μια χαοτική μορφή που ακολουθούν τα σωματίδια του αέρα απ' τη μεταβατική περιοχή, και μέσα στην οποία αναπτύσσονται στρόβιλοι διαφόρων μεγεθών και εντάσεων.

Το σημείο A, στο σχήμα (3.12) ονομάζεται Σημείο Αποκόλλησης και τούτο διότι πέρα απ' αυτό ο αέρας αποκολλάται από το σώμα. Αποτέλεσμα αυτής της αποκόλλησης είναι η δημιουργία μιας δίνης και μια αύξηση του πάχους του οριακού στρώματος. Στο σημείο αποκόλλησης εξαφανίζονται οι διατμητικές τάσεις και επομένως θα έχουμε αποκόλληση όταν:

$$(\theta u/\theta y)_{y=0} = 0 \quad (3.4)$$

Η απόσταση του Σημείου Αποκόλλησης A από το χείλος προσβολής του σώματος, δηλαδή το μήκος του στρωτού οριακού στρώματος εξαρτάται:

- i) Από την μορφή του σώματος.
- ii) Από την λειότητα της επιφάνειας του σώματος, αυξανόμενου με αυτή.
- iii) Από την αρχική τύρβωση του ρεύματος, και είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο πιο μικρή είναι αυτή.
- iv) Από τους κραδασμούς που υπόκειται το σώμα, και είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο αυτοί είναι ηπιότεροι.
- v) Από την ταχύτητα πτήσεως V και την πυκνότητα ρ του αέρα με τα οποία μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα.
- vi) Από τον συντελεστή ιξώδους μ , με τον οποίο μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα

Το φαινόμενο της αποκόλλησης το περιμέναμε από το γεγονός ότι, η απώλεια ενέργειας και η απώλεια ορμής του αέρα που βρίσκεται σε επαφή με το σώμα, σε συνδυασμό με την εξάσκηση σ' αυτό μιας διατμητικής τάσης, δικαιολογεί μια προοδευτική επιβράδυνση του αέρα. Από αυτή την συνεχή επιβράδυνση του αέρα, τελικά φέρεται αυτός σε ηρεμία, ενώ το Οριακό Στρώμα κάνει τον διαχωρισμό του από την επιφάνεια του σώματος και μεταφέρει στροβιλισμό στο εσωτερικό του αέρα.

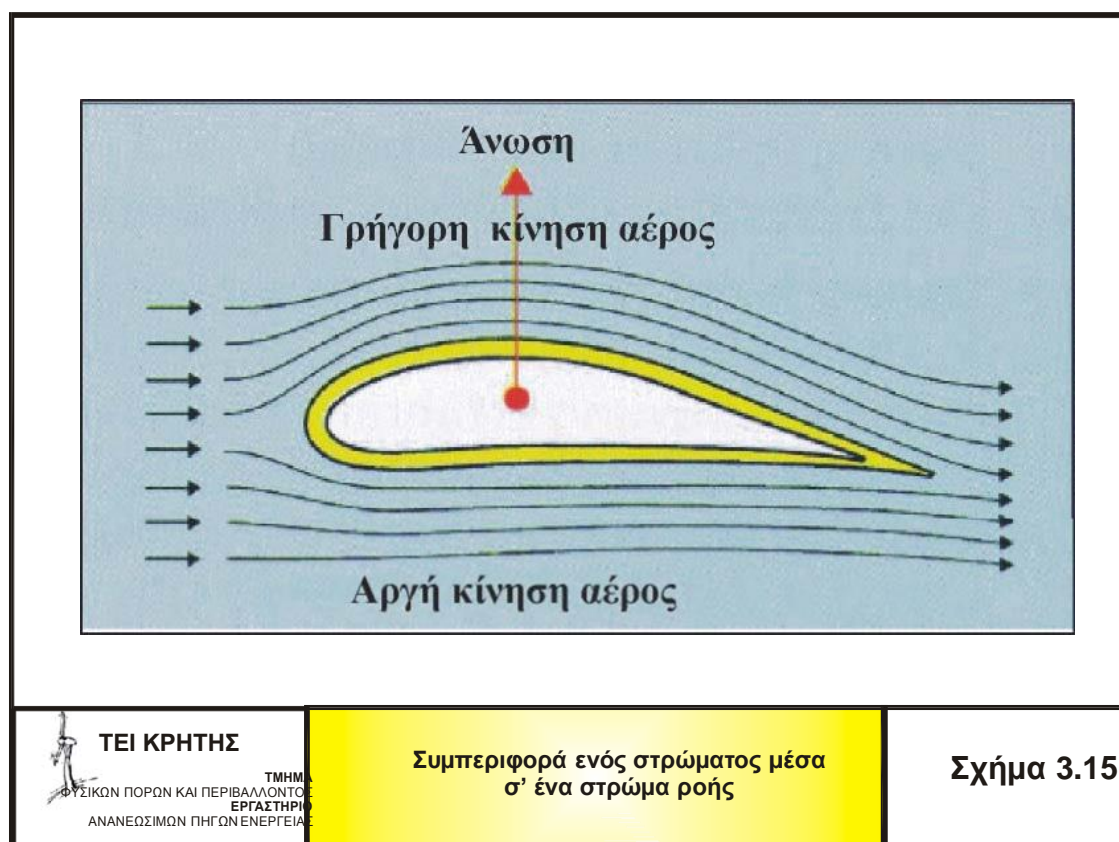
Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η δημιουργία τύρβης προέρχεται από μια αστάθεια της ροής. Στην περίπτωση του οριακού στρώματος παρουσιάζεται μια αστάθεια από το γεγονός ότι η εξωτερική ρευματική ταχύτητα του αέρα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του αέρα μέσα στο οριακό στρώμα. Η αύξηση αυτή της εξωτερικής ταχύτητας έχει σαν συνέπεια την μεγαλύτερη αύξηση των δυνάμεων αδράνειας από τις δυνάμεις τριβής και επομένως ο τελευταίος δεν είναι σε θέση να κατασιγάσουν τις διαταραχές, οι οποίες αυξάνονται και οδηγούν τέλος στην τυρβώδη ροή. Έτσι από τη μετάβαση της ροής από στρωτή σε τυρβώδη παίζει σπουδαίο ρόλο ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις τριβής. Τα μεγέθη αυτά συνδυάζονται κατ' αυτό τον τρόπο στον χαρακτηριστικό αριθμό του Reynolds.

$$\text{Re} = \frac{VI}{\nu} \quad (3.5)$$

Επομένως όπως έχουμε ήδη αναφέρει ένα σπουδαίο κριτήριο ροής αποτελεί ο αριθμός Reynolds. Έτσι η στρωτή ροή χαρακτηρίζεται με μικρούς αριθμούς Reynolds, ενώ η τυρβώδης ροή με μεγάλους.

Η αποκόλληση της ροής παίζει επίσης σπουδαίο ρόλο στην δημιουργία άντωσης μιας πτέρυγας. Σε μικρές γωνίες προσβολής (μέχρι περίπου 10°) η πορεία της ροής στην επάνω και την κάτω πλευρά δεν παρουσιάζει αποκόλληση και με καλή προσέγγιση πλησιάζει την ροή χωρίς τριβές (Σχήμα 3.13). Σε μεγαλύτερες γωνίες προσβολής, υπάρχει κίνδυνος αποκόλλησης στη πλευρά υποπίεσης της αεροτομής, όπου η αύξηση της πίεσης είναι πολύ απότομη. Σε μια ορισμένη γωνία προσβολής, που είναι περίπου 15° , παρουσιάζεται εξαιτίας αυτού αποκόλληση της ροής. Η θέση της αποκόλλησης βρίσκεται λίγο πίσω από το εμπρός άκρο της πτέρυγας.

Αποτέλεσμα της αποκόλλησης της ροής είναι η απώλεια στήριξης του αεροπλάνου, η οποία αν συμβεί κατά την διάρκεια της πτήσης, το αεροπλάνο θα χάσει ύψος, εκτός αν κάποια ενέργεια εκτελεστεί για να προληφθεί αυτό.



6.4 Συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας

Κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής οι στόχοι που ολοκληρώθηκαν είναι οι παρακάτω:

Κατασκευάστηκε και συναρμολογήθηκε ανεμογεννήτρια πειραματικής φύσεως για τις ανάγκες της πτυχιακής μου εργασίας του εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να δείξουμε ένα από τα σημαντικότερα οφέλη που αποκομίζουμε από τον αέρα (εντελώς δωρεάν) που βρίσκεται αφθονος στη χώρα μας, στο πείραμα που περιέγραψα και που υλοποίησα παρουσιάζεται μέρος της διαδικασίας παραγωγής της αιολικής ενέργειας.

Ως ενδεικτικά παραδείγματα για τα οφέλη, αναφέρεται ότι:

1. Από την παραγωγή μιας κιλοβατώρας με ανεμογεννήτριες αποφεύγεται η καύση 0,2 λίτρων πετρελαίου. Αυτό σημαίνει ότι, η ενέργεια που τροφοδοτεί ανά έτος ένα αιολικό πάρκο ισχύος 10 MW ισοδυναμεί κατά μέσο όρο με 10.000 τόνους πετρελαίου. Δηλαδή, αν θεωρήσουμε ότι, στο δίκτυο της ΑΗΚ στην Κύπρο μπορεί να διεισδύσει ισχύς της τάξης των περίπου 300 MW, αυτό απλά σημαίνει ότι μπορούν να εξοικονομηθούν μέχρι και 300.000 τόνοι πετρελαίου!
2. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο, αποτρέπει κατά μέσο όρο την έκλυση ενός κιλού διοξειδίου του άνθρακα, του βασικότερου αερίου του θερμοκηπίου. Αποφεύγεται επίσης, η έκλυση αριθμού άλλων επικινδύνων ρύπων.
3. Σε σχέση με τις συμβατικές εγκαταστάσεις (π.χ. πετρελαϊκοί σταθμοί), οι ανεμογεννήτριες καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο. Επίσης, η γη του αιολικού πάρκου μπορεί να εξακολουθήσει να έχει την ίδια χρήση.
4. Η εγκατάσταση ενός MW ανεμογεννητριών δημιουργεί κατά μέσο όρο 18 εργατοέτη, που αφορούν τη μελέτη, την κατασκευή, την συντήρηση και εποπτεία του αιολικού πάρκου. Σε αντίθεση, οι συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μαζούτ) αντιστοιχούν μόνο σε 8 εργατοέτη ανά MW. Επιπλέον, οι επενδύσεις σε αιολική ενέργεια αποτελούν εφικτή και βιώσιμη κίνηση για ένα μικρομεσαίο επενδυτή και μπορούν να τονώσουν την τοπική βιομηχανία καθώς και τον κατασκευαστικό κλάδο.
5. Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν διεσπαρμένη πηγή ενέργειας και μπορούν να ενισχύσουν τοπικά το ηλεκτρικό δίκτυο. Παράλληλα αυτό σημαίνει ότι, με τις ανεμογεννήτριες υπάρχουν τοπικά μειωμένες απώλειες μεταφοράς διότι η ενέργεια παράγεται κοντά στην κατανάλωση.

Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή απ' όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη.

Συνοπτικά λοιπόν η παρούσα πτυχιακή έχει χαρακτήρα ερευνητικό μιας και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα και αξιόλογη προσπάθεια σχεδιασμού γεννητριών. Παράλληλα μπορεί να χρησιμεύσει ως εκπαιδευτικό εργαλείο καθώς και ως τεχνικό εγχειρίδιο, ενώ σημαντική θα είναι και η συνεισφορά της στην εξέλιξη της διαδικασίας μέτρησης και σχεδιασμού γεννητριών μικρής ισχύος στο εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΑΤΕΙ Κρήτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ” Γ. ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ
- [2] “ΒΑΣΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ”, MALVINO, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ Ε. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
- [3] “ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”, Ι. ΚΛ. ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ
- [4] “ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ“, Ι. ΚΛ. ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ, Κ. Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ
- [5] “ΘΕΩΡΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ”, Σημειώσεις προαιρετικού μαθήματος τμήματος Φυσικών Πόρων, χειμερινού εξαμήνου 2002-2003

**[7] “PRINCIPLES OF ABRASIVE WATER JET MACHINING”,
A.W. MOMBER & R. KOVACEVIC**

**[8] “WINDPOWER WORKSHOP”, H. PIGGOT, foreword by
Tim Kirby (British Wind Energy Association)**

INTERNET SITES

- [9] <http://www.greenpeace.gr/aiolikikaiklima.pdf>
- [10] <http://www.cadlab.tuc.gr/courses/prodev/RT%20slides.pdf>
- [11] <http://www.energotech.gr/ell/wind1.htm>
- [12] <http://www.energotech.gr/ell/wind3.htm>
- [13] http://www.middelgrunden.dk/MG_UK/construction_photos/latest_photos.htm
- [14] <http://www.eere.energy.gov/wind/animation.html>
- [15] <http://www.eere.energy.gov/wind/feature.html#a>
- [16] <http://www.eere.energy.gov/wind/wtrr.html>