



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ”



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Δ. ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΚΑΣΙΜΑΤΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ
ΜΑΡΓΩΝΗ ΞΑΝΘΗ

ΧΑΝΙΑ 2003

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί την απαραίτητη εργασία που πρέπει να εκπονηθεί, καλούμενη “πτυχιακή εργασία” ώστε να καταστεί κανείς πτυχιούχος.

Η πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την εμβάθυνση 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, Κατασκευή και Δοκιμαστική λειτουργία 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 ενέργειας 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 (μέθοδοι Vacuum Casting Molding, Rapid Prototyping, Υδροκοπή) και θέματα αξιολόγησης μετρητικών δεδομένων. 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.

Κλείνοντας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε για τη βοήθεια τους στην εκπόνηση της πτυχιακής μας, τον Κύριο Κ. Κονταξάκη στο εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας του Τ.Ε.Ι. Κρήτης στο Ηράκλειο, για τη βοήθειά του στις μετρήσεις της ανεμογεννήτριας και τις πολύτιμες συμβουλές του λόγω της εμπειρίας του σε κατασκευές μοντέλων ανεμογεννητριών, τον Κύριο Μ. Μαραβελάκη στο εργαστήριο CAD του Πολυτεχνείου Κρήτης, για τη βοήθειά του στην

κατασκευή των πτερυγίων με τη μέθοδο rapid tooling, την εταιρία “ΜΑΛΙΔΑΚΗΣ Ο.Ε.”, για τη βοήθειά της στην κατασκευή πτερυγίων με υδροκοπή και τέλος την Κυρία Δ. Κολοκοτσά για τη συνεργασία και τη βοήθειά της στην εκπόνηση της εργασίας.

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.

Οι μετρήσεις της ανεμογεννήτριας έγιναν στην αεροσήραγγα του Τ.Ε.Ι. στο Ηράκλειο και με αυτές μετρήθηκε η τάση και η ένταση που έβγαζε η ανεμογεννήτρια με κάθε είδος πτερυγίων σε διαφορετικές ταχύτητες αέρα. Από τις μετρήσεις, παρουσιάζονται διαγράμματα ισχύος-τάσης, ισχύος-ταχύτητας αέρα, ισχύος-στροφών ανά λεπτό και ροπής-στροφών ανά λεπτό. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν αφορούν θέματα κατασκευής των πτερυγίων, προβλήματα που

παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής και μελλοντικές προεκτάσεις της κατασκευής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Κλιματικές αλλαγές ή καθαρές πηγές ενέργειας	6
1.2 Άνεμος	7
1.3 Τι είναι η αιολική ενέργεια	8
1.4 Πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας	9
2. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	17
2.1 Γενικά	17
2.2 Μέρη ανεμογεννήτριας	17
2.3 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών	19
2.4 Κατάταξη αιολικών μηχανών	20
2.5 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	21
2.6 Περιγραφή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα	24
2.7 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα	28
2.8 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανεμογεννητριών	30
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	34
3.1 Τμήματα ανεμογεννήτριας	34
3.2 Γεννήτρια	37
3.3 Γέφυρα ανόρθωσης	39
3.4 Φίλτρο πυκνωτή	39
3.5 Περιπτώσεις μικρών και μεγάλων φορτίων	41
3.6 Αεροδυναμική	42
3.6.1. Είδη ροών	42
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	46
3.6.6. Μορφές ροής στο οριακό στρώμα	47
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ	50
4.1 Γενικά	50
4.2 Υδροκοπή	51

4.3 Μέθοδοι Rapid Tooling	60
4.4 Μέθοδοι Rapid Tooling με θερμοπλαστικά υλικά	61
4.5 Μελέτη και ανάπτυξη προϊόντων με το σύστημα Vacuum Casting MK-Mini	62
4.5.1 Ρητίνες και Εξαρτήματα	63
4.5.2 Προετοιμασία των υλικών	63
4.5.3 Η διαδικασία έκχυσης των υλικών	64
4.5.4 Φτιάχνοντας το καλούπι σιλικόνης	64
4.5.5 Διαχωρισμός των γραμμών μετά το καλούπι	64
4.5.6 Διαχωρισμός των γραμμών με κολλητική ταινία	65
4.5.7 Ανοίγματα και Στηρίγματα	67
4.5.8 Τα όρια του καλουπιού	69
4.5.9 Με κομμάτια μελαμίνης	70
4.5.10 Τοποθέτηση του πρωτότυπου μέσα στα όρια του καλουπιού	70
4.5.11 Υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας σιλικόνης	71
4.5.12 Προετοιμάζοντας την σιλικόνη	72
4.5.13 Άνοιγμα του καλουπιού της σιλικόνης	74
4.5.14 Κατασκευή των αντικειμένων από το καλούπι	75
4.5.15 Υπολογίζοντας τις ποσότητες των ρητινών	76
4.5.16 Προετοιμασία του υλικού	76
4.5.17 Η διαδικασία έκχυσης των υλικών στο καλούπι	79
4.6 Αποτελέσματα	80
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	86
5.1. Αεροσήραγγα	86
5.2 Λειτουργία	88
5.3 Μετρήσεις	91
5.4 Συμπεράσματα	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	108
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	124

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.

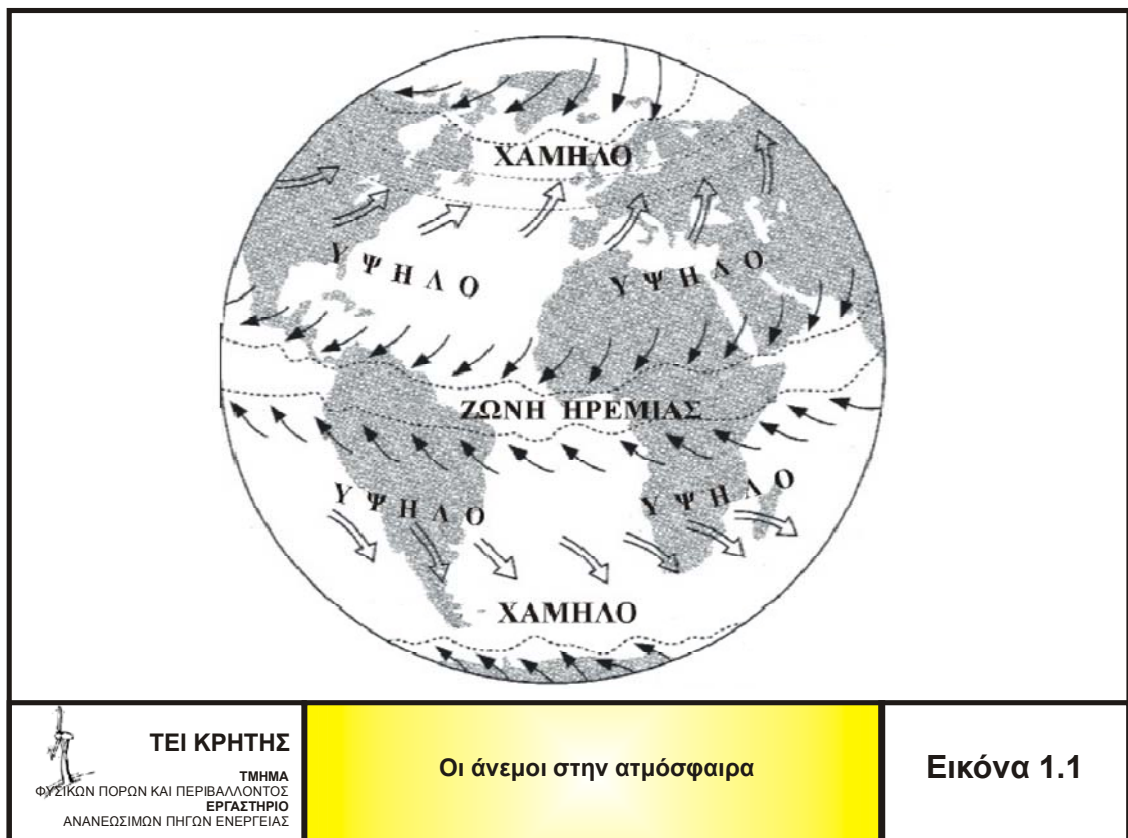
Η χώρα μας είναι ιδιαίτερα προικισμένη από ήλιο και αέρα και συνεπώς κατέχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα στην παραγωγή ενέργειας από αυτές τις πηγές. Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας παραμένει ανεκμετάλλευτο, με λίγες λαμπρές εξαιρέσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η Κρήτη όπου, το 2000, το 10% του ηλεκτρισμού 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]



 <p>ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</p>	<p>Κλασσικός αμερικάνικος ανεμόμυλος</p>	<p>Εικόνα 1.2</p>
--	--	-------------------

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 οξειδία 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.

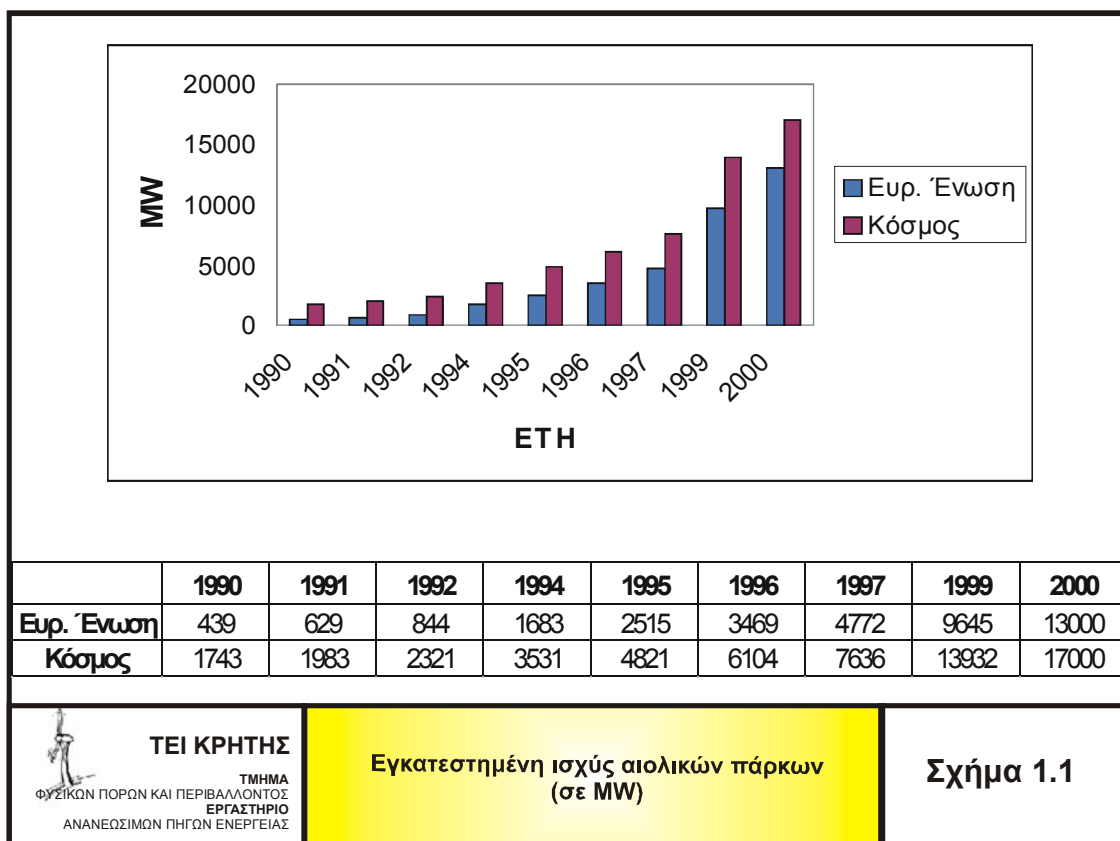
Ενδεικτικά, στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι ετήσιες εκπομπές ρύπων από έναν ανθρακικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 500 MW. Ένας τέτοιος σταθμός προτείνεται π.χ. για την Εύβοια, η οποία, έχει πλουσιότατο αιολικό δυναμικό και η οποία μπορεί να παράγει την ενέργεια αυτή από τον άνεμο χωρίς τους ρύπους 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
Μονοξείδιο του άνθρακα	625
Υδρογονάνθρακες	188
Υδροχλωρικό οξύ	1250-5000
Στερεά απόβλητα και στάχτη	210000
Ιονίζουσα ακτινοβολία (ραδιενέργεια)	25δισ.Μπεκερέλ

 <p>ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ <small>ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</small></p>	<p>Μέσες ετήσιες εκπομπές ανθρακικού σταθμού 500 MW</p>	<p>Πίνακας 1.1</p>
---	--	---------------------------

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).

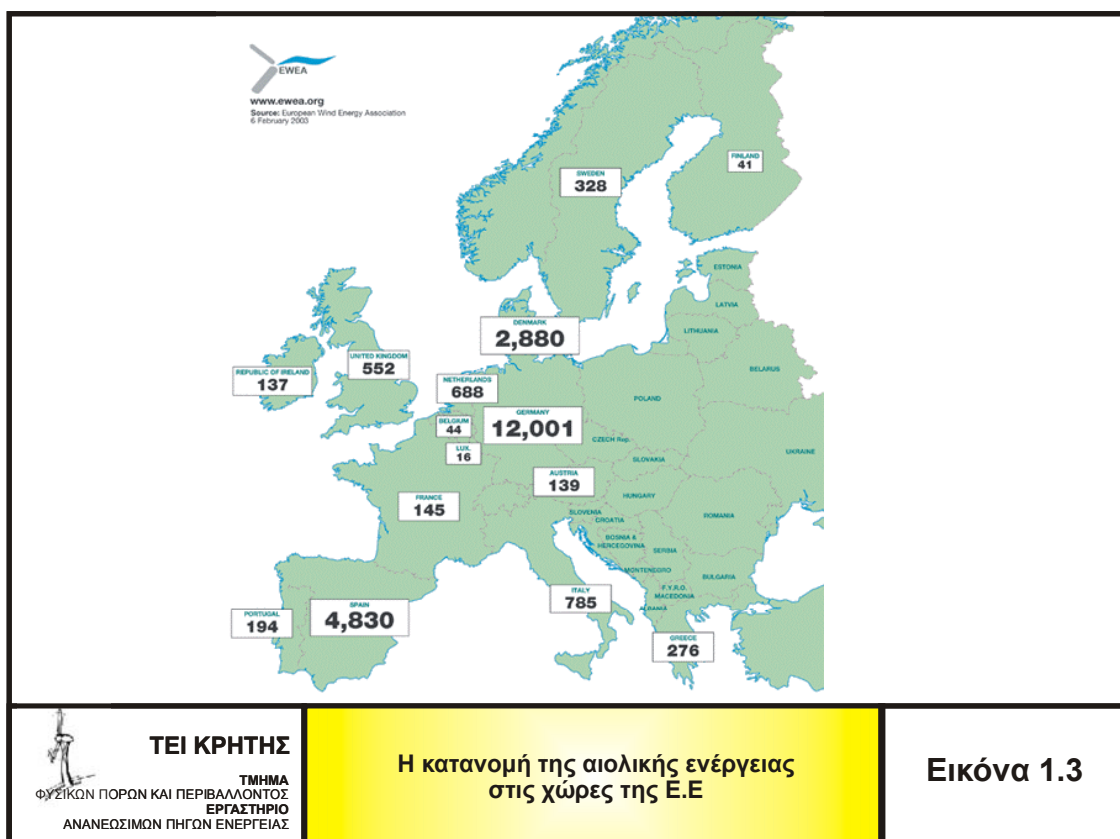


Η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (EWEA) στο τέλος του 2000 αναθεώρησε προς τα πάνω τους στόχους παραγωγής ενέργειας από τον άνεμο για την Ευρώπη που είχε θέσει το 1996, καθώς η άνθιση της αιολικής ενέργειας ξεπέρασε κάθε προσδοκία. Συγκεκριμένα, το 1996 η Ένωση είχε θέσει τον στόχο των 8.000 MW για 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 διείσδυση 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

ηλεκτροπαραγωγής που καίνε άνθρακα ή φυσικό αέριο, προσπάθησε να αποτιμήσει σε χρήμα τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.

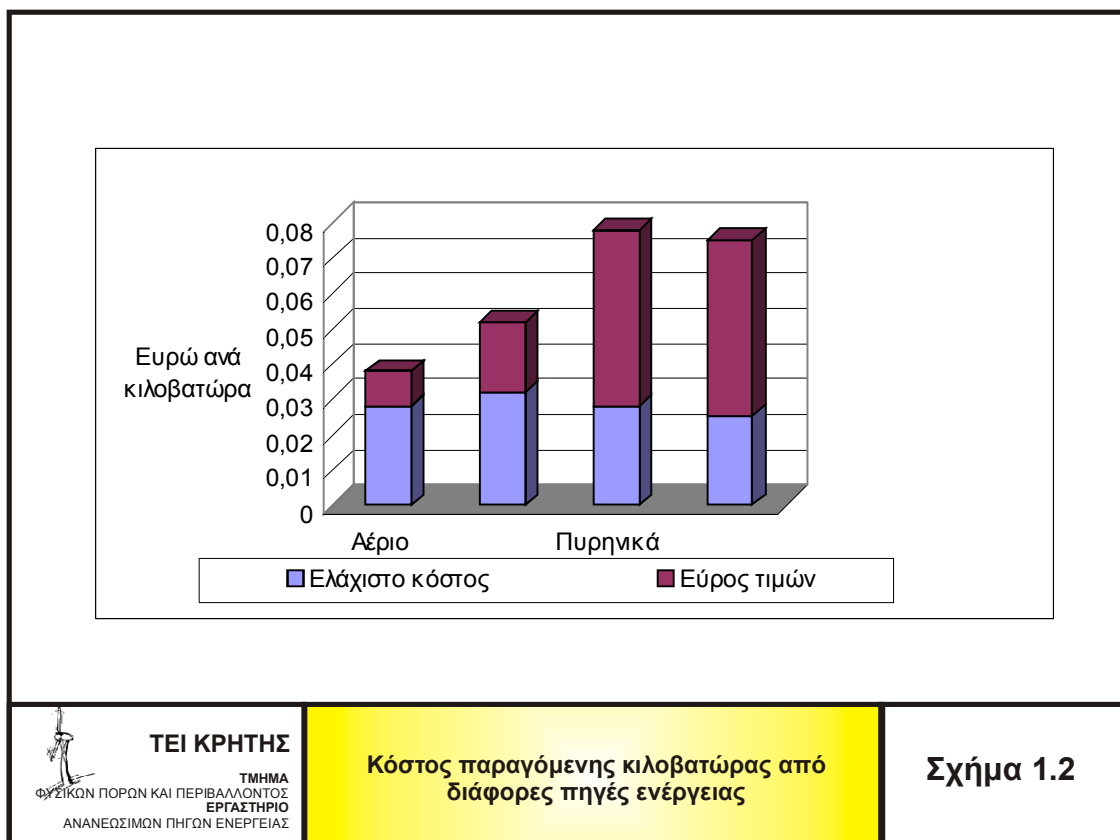


Με κριτήρια τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου, αλλά λαμβάνοντας επίσης υπ' όψιν της την πιθανή απαξίωση της περιουσίας κοντά σε αιολικά πάρκα ή συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, η έρευνα αυτή κατέληξε ότι τα περιβαλλοντικά-κοινωνικά οφέλη από την επιλογή της αιολικής ενέργειας ανέρχονται σε 0,2-0,28 ΔKK (9,14-12,8 δρχ.) ανά παραγόμενη κιλοβατώρα όταν η σύγκριση γίνεται με ανθρακικούς σταθμούς ή 0,1-0,15 ΔKK (4,57-6,9 δρχ.) ανά παραγόμενη κιλοβατώρα όταν η σύγκριση αφορά σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που καίνε φυσικό αέριο. Τα κόστη αυτά είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτά που έδειξαν πολυάριθμες μελέτες, οι οποίες προσπάθησαν τα τελευταία χρόνια να “εσωτερικεύσουν” το λεγόμενο “εξωτερικό” περιβαλλοντικό-κοινωνικό κόστος. Δηλαδή, αν συνυπολογιζόταν η ζημιά που κάνουν τα ορυκτά καύσιμα

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 δρχ. ανά κιλοβατώρα. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι μόνο το κόστος καυσίμου των πετρελαϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής για κάλυψη αιχμών της ζήτησης στην Κρήτη κυμαίνεται από 40-76 δρχ. 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 δρχ. 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. δρχ. 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. ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

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.

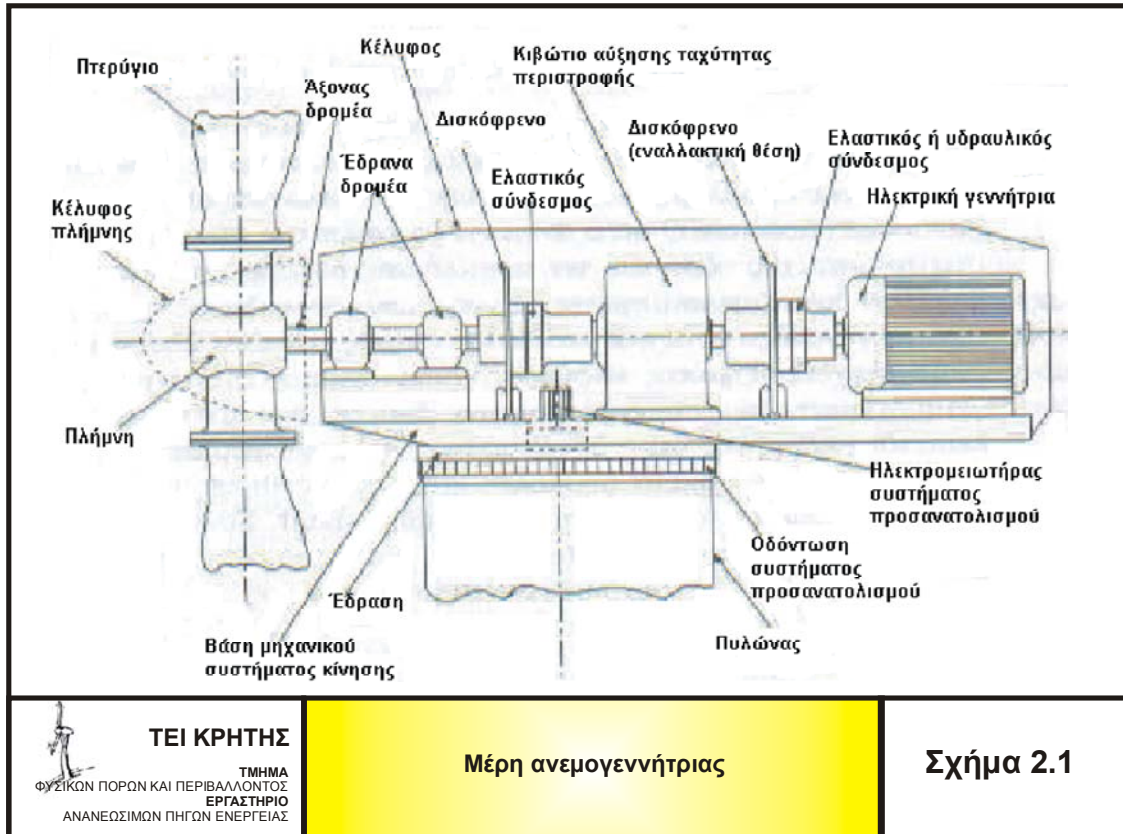
Όλες οι ανεμογεννήτριες, χωρίς να παίζει ρόλο το μέγεθος, αποτελούνται από μερικά βασικά χαρακτηριστικά: το ρότορα, τη γεννήτρια, ένα σύστημα ελέγχου ταχύτητας και τον πύργο. Μερικές μηχανές έχουν συστήματα προστασίας, έτσι ώστε αν ένα μέρος χαλάσει το σύστημα προστασίας σταματάει τα πτερύγια ή βάζει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

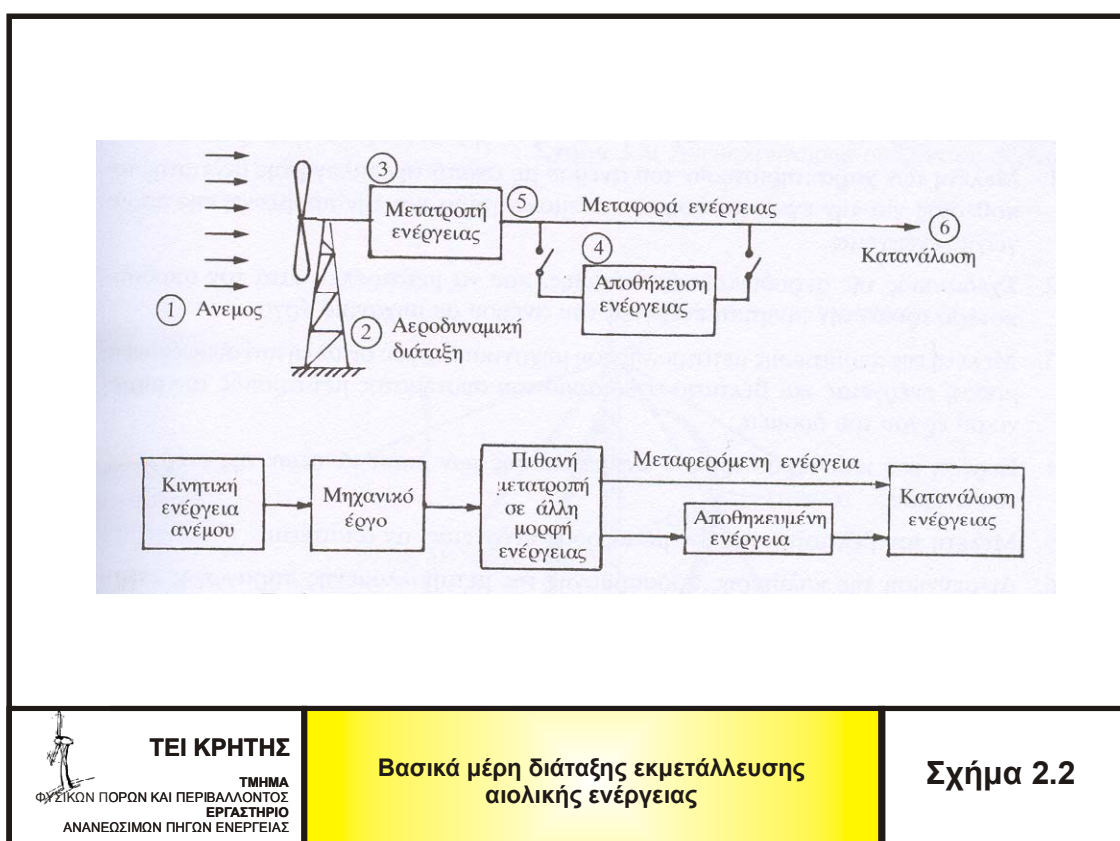


- **Κλίση (Pitch):** τα πτερύγια έχουν τη δυνατότητα να γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία (lift) πάνω στην πτερύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.
-
- **Ρότορας (Rotor):** τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται 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.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Βασικά μέρη διάταξης εκμετάλλευσης
αιολικής ενέργειας

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.

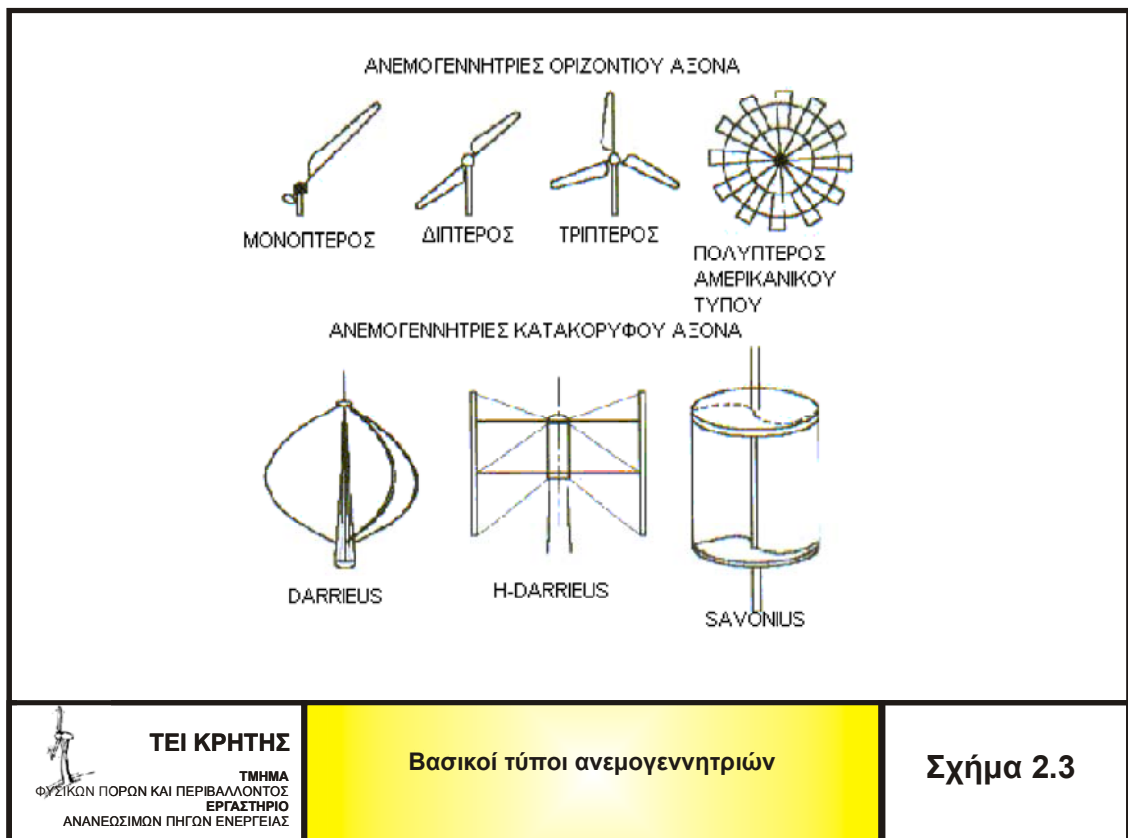
Οι λέξεις "καλύτερος", "βέλτιστος", υποδηλώνουν βελτιστοποίηση τόσο από τεχνικής όσο και κυρίως οικονομικής σκοπιάς. Μια οποιαδήποτε επιστημονική έρευνα ή και βέλτιστη διάταξη αιολικής εγκατάστασης θα έχανε το μεγαλύτερο μέρος της αξίας της, αν στους στόχους της δεν είχε να καταστήσει την αιολική ενέργεια 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 απολήψιμη 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).

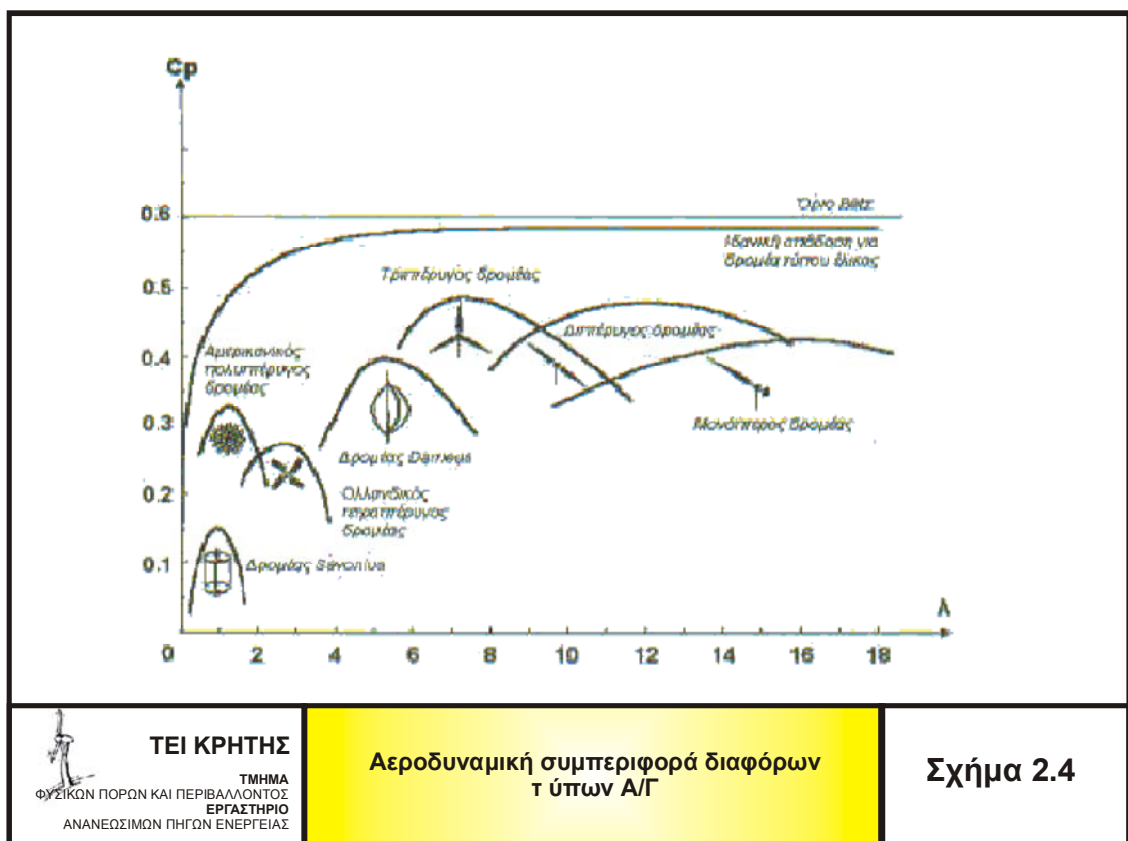


Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής “λ”. Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος 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 δρομείς 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 πτερύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου 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 έναρξης 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.

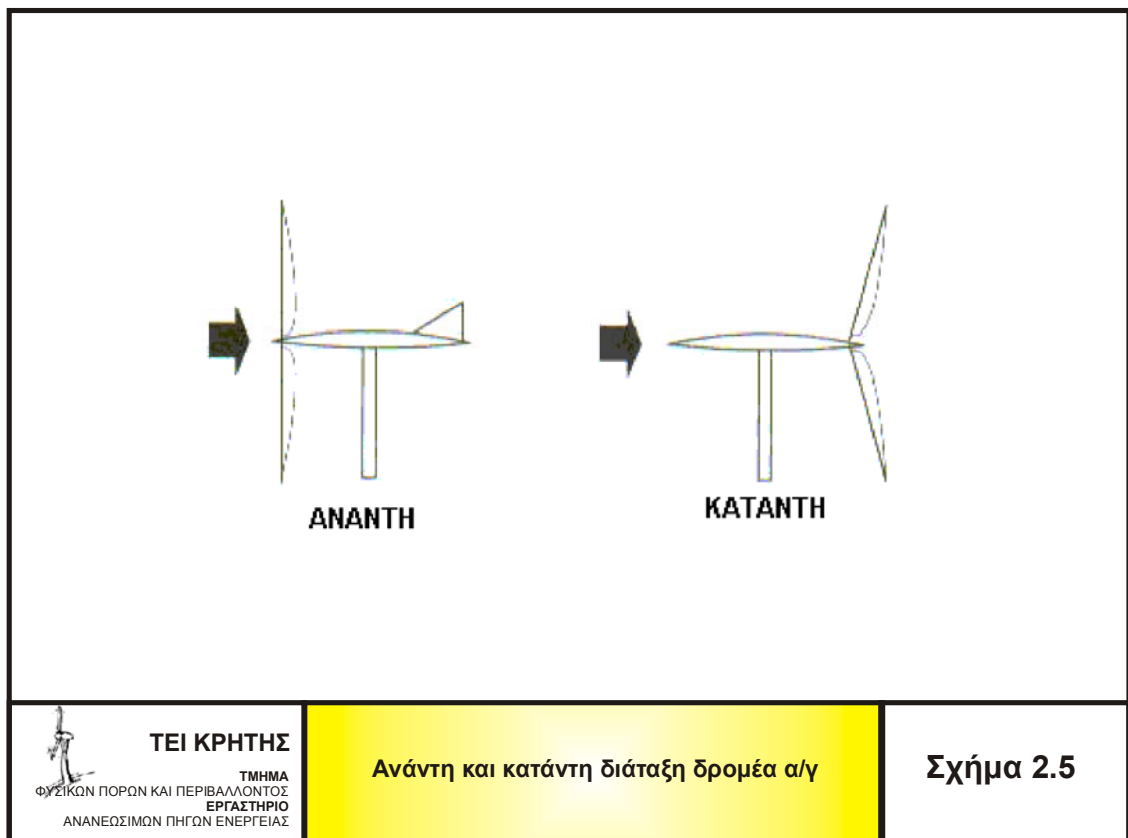
- Κατασκευή του πύργου στηρίξεως και θεμελίωσή του. Ο πύργος στηρίξεως πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις. Επιπλέον πρέπει να μελετηθούν φαινόμενα αλληλεπίδρασης περιστρεφόμενων πτερυγίων και πύργου στηρίξεως καθώς 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.



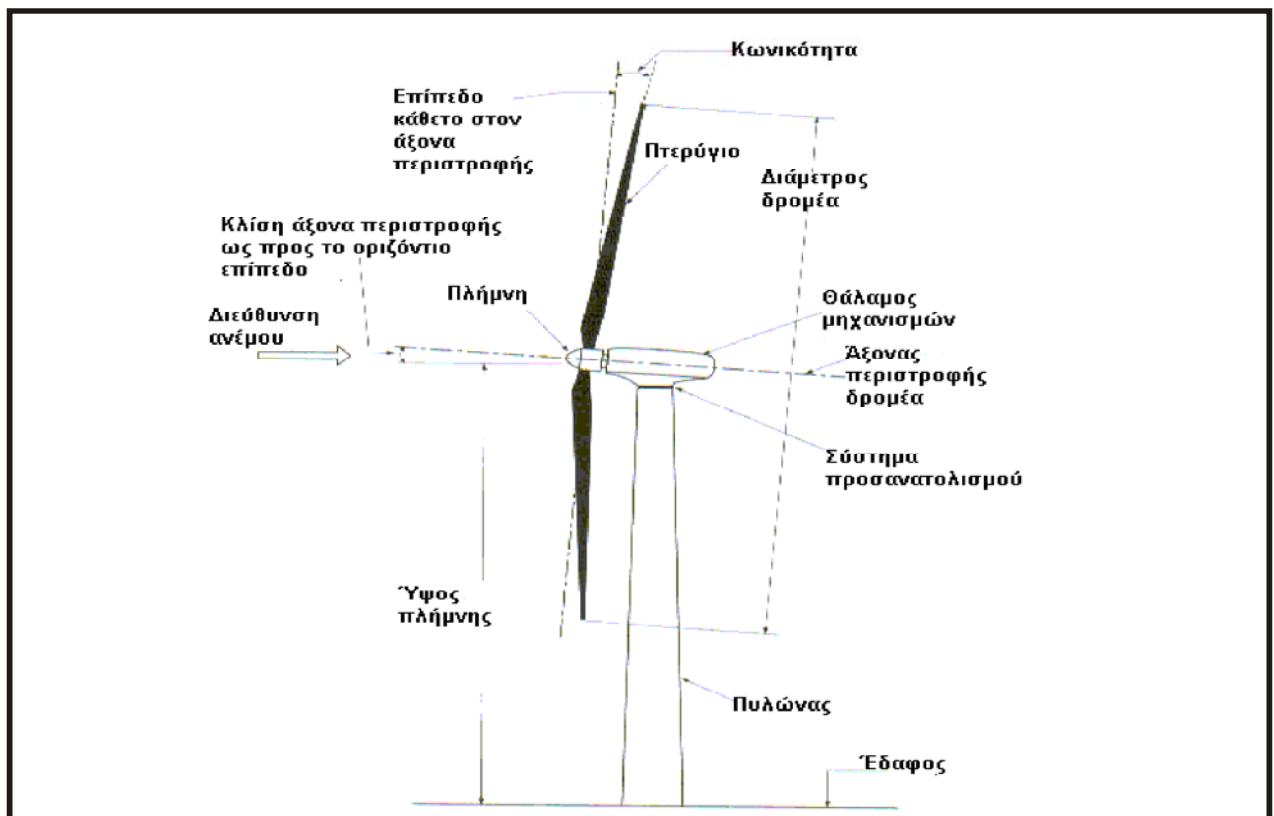
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανάντη 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.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανάντη και κατάντη διάταξη δρομέα α/γ

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.

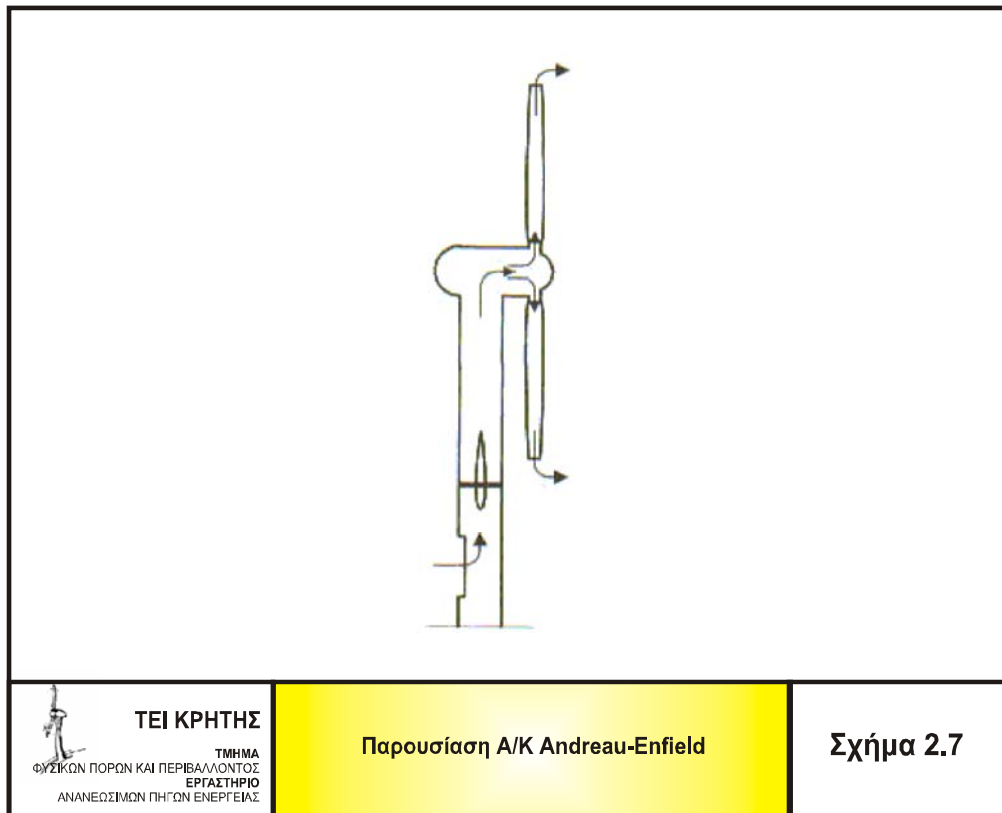
Ο πύργος στηρίξεως της ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε από μια στήλη μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει ειδική μέριμνα για εσωτερική σκάλα, ενώ για ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων υπάρχει πρόσθετη μέριμνα 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]

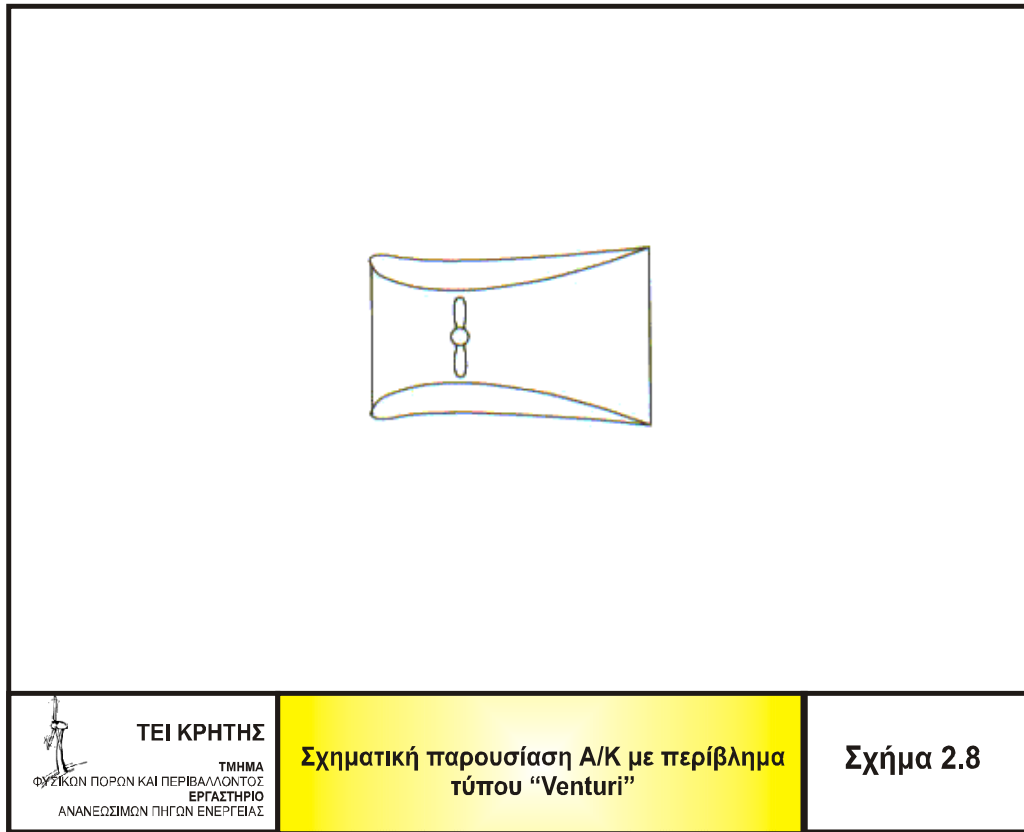
2.7 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα

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”.

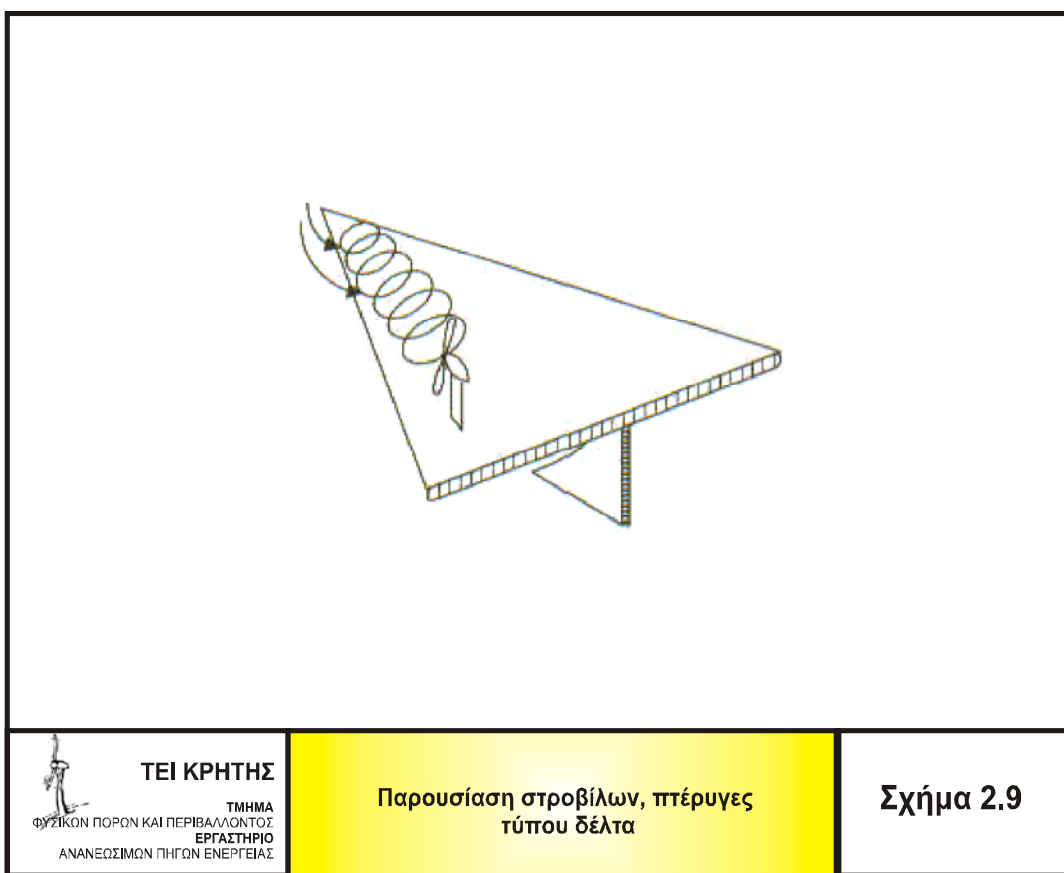


Ο εν λόγω ανεμόμυλος τύπου “Andreau-Enfield” αποτελείται από μία έλικα αεροπλάνου, σχήμα 2.7, με κοίλα πτερύγια, που κάτω από την επίδραση του ανέμου περιστρέφεται και ενεργεί σαν φυγοκεντρική αντλία αέρα. Το ρεύμα αέρα που εισροφάται από τη βάση του πύργου αποβάλλεται από τα ακροπτερύγια, κινώντας ενδιάμεσως 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 περιβλήμα 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]



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Παρουσίαση στροβίλων, πτέρυγες
τύπου δέλτα

Σχήμα 2.9

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 συμβουλευούνται 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, σπανίως 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.

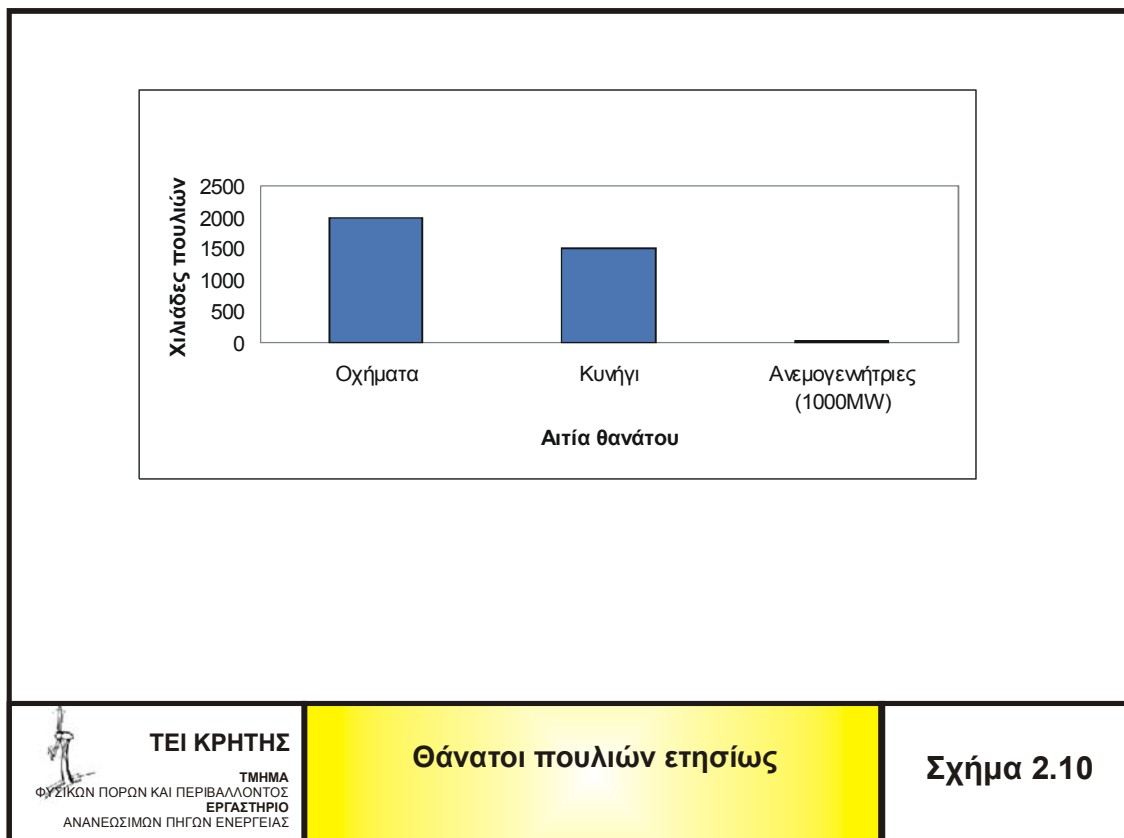
Είδη που επιδημούν (παραμένουν σε μια περιοχή όλο το έτος του χρόνου) στην περιοχή του αιολικού πάρκου συχνά συνηθίζουν την ύπαρξη του και πλησιάζουν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες. Ορισμένα είδη πουλιών εξοικειώνονται τόσο με το αιολικό πάρκο που πετούν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες ιδιαίτερα κατά την τροφοληψία. Ορισμένα αρπακτικά ελκύονται 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. Οι

επιπτώσεις αυτές μπορεί να αποβούν μοιραίες για πολλά είδη και μεγάλους πληθυσμούς πουλιών και είναι σαφώς σημαντικότερες από τις όποιες επιπτώσεις μπορούν να έχουν τα αιολικά πάρκα, ακόμη κι αν υποθέσουμε ότι δεν λαμβάνονται αντισταθμιστικά μέτρα προστασίας της ορνιθοπανίδας. [9]

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

3.1 Τμήματα ανεμογεννήτριας

Για την κατασκευή της πειραματικής ανεμογεννήτριας χρησιμοποιήθηκε κυρίως αλουμίνιο για όλα τα μέρη. Σαν βάση κόπηκε ένα κομμάτι από αλουμίνιο με διαστάσεις $31 \times 16,5$ cm. Στη μέση ανοίχτηκε τρύπα διαμέτρου 4 cm.

Ως πύργος της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιήθηκε σωλήνας από αλουμίνιο διαμέτρου 4 cm και μήκους 50 cm. Η ένωση με τη βάση έγινε με αλουμινοκόλληση. Στην κορυφή του πύργου μπήκε το δυναμό το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ρεύματος. Για να δέσει το δυναμό στον πύργο, χρησιμοποιήθηκε λίμα προκειμένου αυτό να εφαρμόσει καλύτερα. Για να κρατιέται σταθερό το δυναμό χρησιμοποιήθηκε μια «ζώνη» η οποία δένει πάνω του και με βίδες πιάνεται στον πύργο. Έτσι το δυναμό ακινητοποιείται χωρίς να υπάρχει φόβος ατυχήματος κατά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Τα μέρη που αναφέρονται παραπάνω φαίνονται στην εικόνα 3.1 σαν φωτογραφία και σχεδιασμένα στα σχήματα 3.1 και 3.2



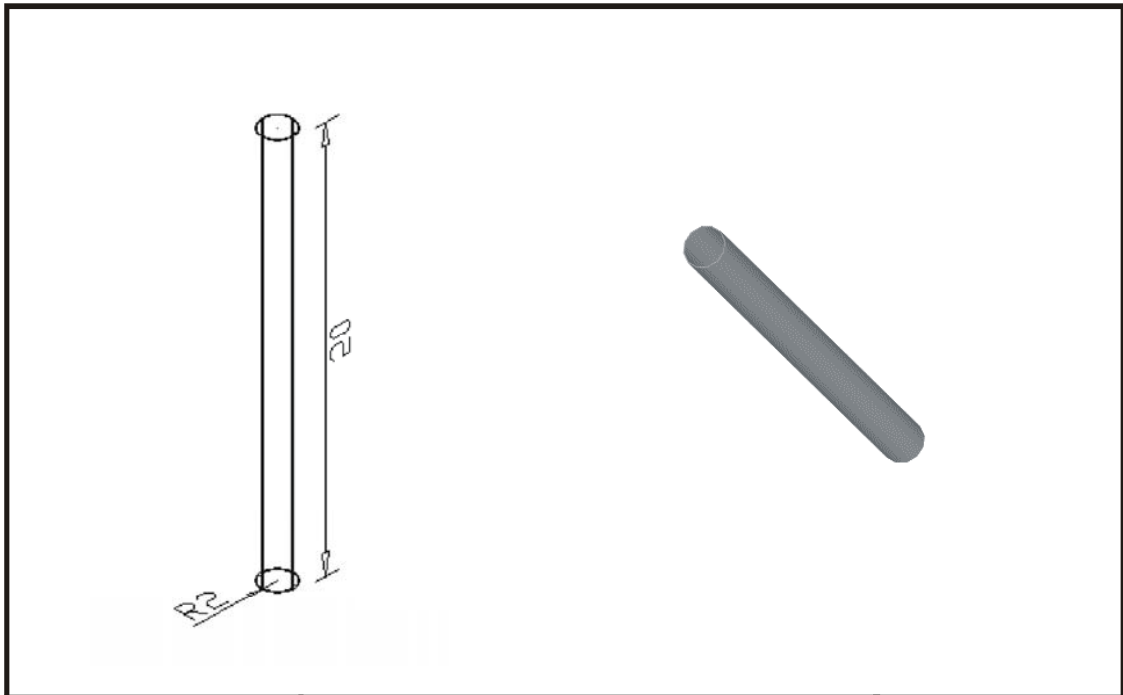
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μέρη του βασικού κορμού της ανεμογεννήτριας

Εικόνα 3.1

Στον άξονα του δυναμό δέθηκε η πλήμνη της ανεμογεννήτριας η οποία είναι φτιαγμένη από αλουμίνιο και αποτελείται από δύο μέρη ώστε να δένουν μέσα σε αυτή τα πτερύγια. Η διάμετρός της είναι 4 cm και κατασκευάστηκε στον τόρνο σε μηχανουργείο. Στη συνέχεια ανοίχτηκαν οι τρύπες με διάμετρο 0,4 cm σε γωνία 120° που θα δένουν τα πτερύγια πάνω της (Σχήμα 3.3, Σχήμα 3.4). Στο εξωτερικό μέρος της πλήμνης δέθηκε το κέλυφος το οποίο είναι πλαστικό.

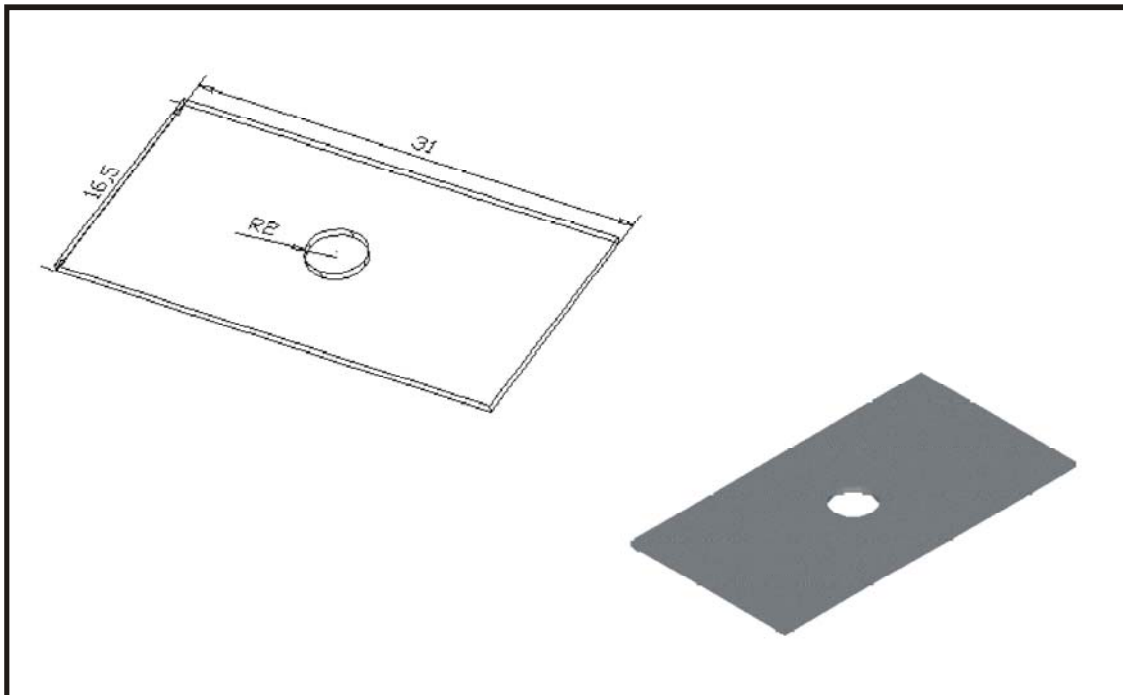


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο πύργος

Σχήμα 3.1

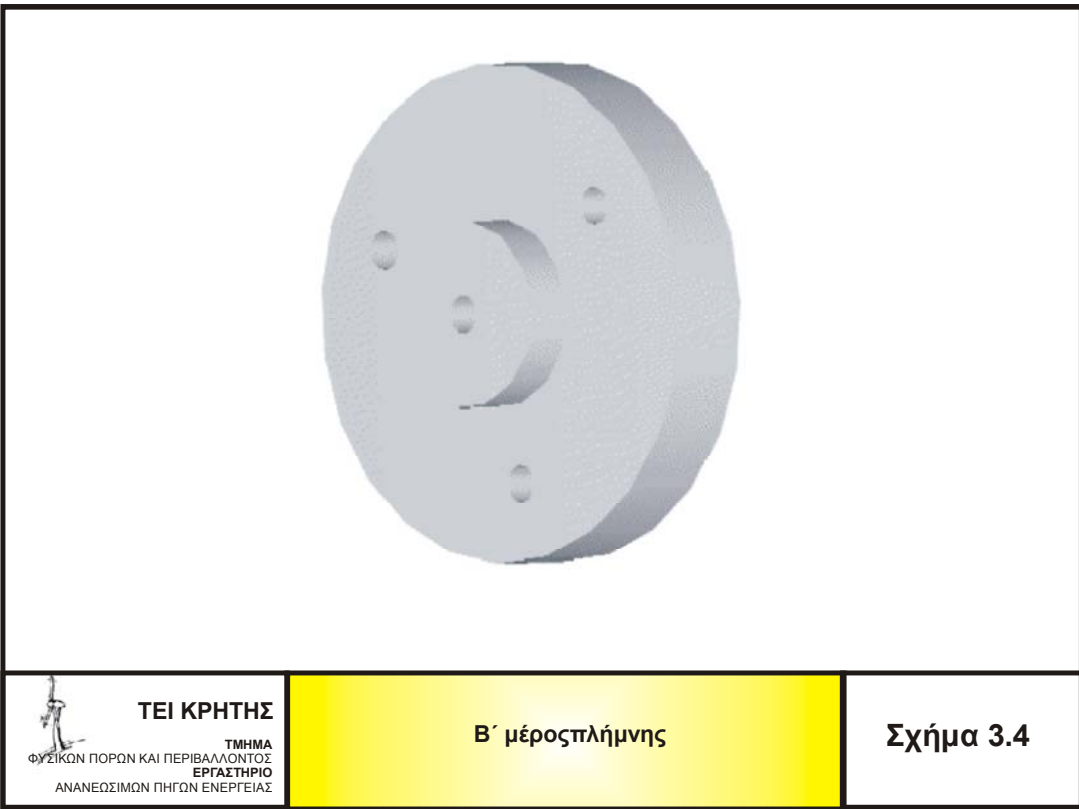
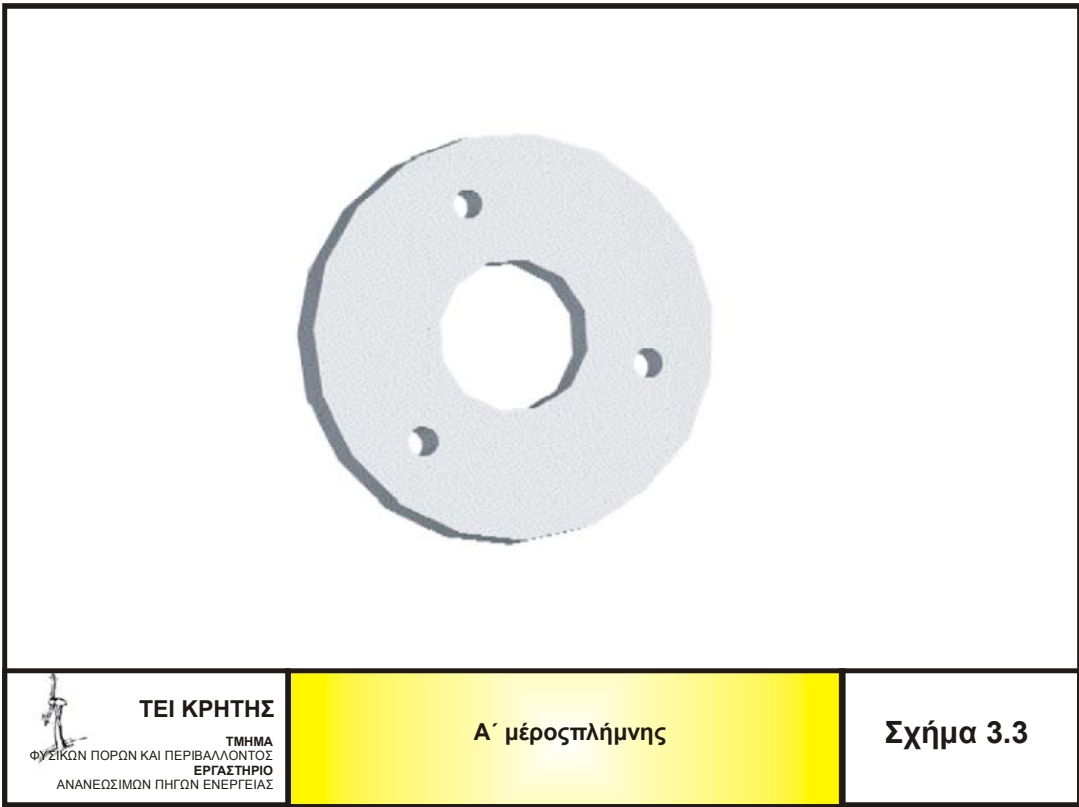


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η βάση

Σχήμα 3.2



3.2 Γεννήτρια

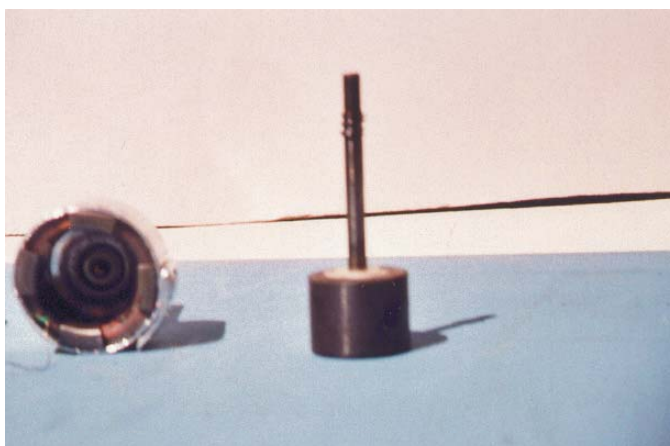
Για την παραγωγή ρεύματος από την ανεμογεννήτρια, χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό δυναμό ποδηλάτου 12 V και 6 W μάρκας Tung Lin (Εικόνα 3.2, Εικόνα 3.3). Το δυναμό είναι μια κοινή ηλεκτρική μηχανή η οποία παράγει μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα. Για τις ταχύτητες που εξετάστηκε δεν ήταν δυνατό να φτάσει μέγιστες τιμές καθώς όλη η κατασκευή της ανεμογεννήτριας είναι αρκετά μικρή.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εξωτερική όψη γεννήτριας

Εικόνα 3.2



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

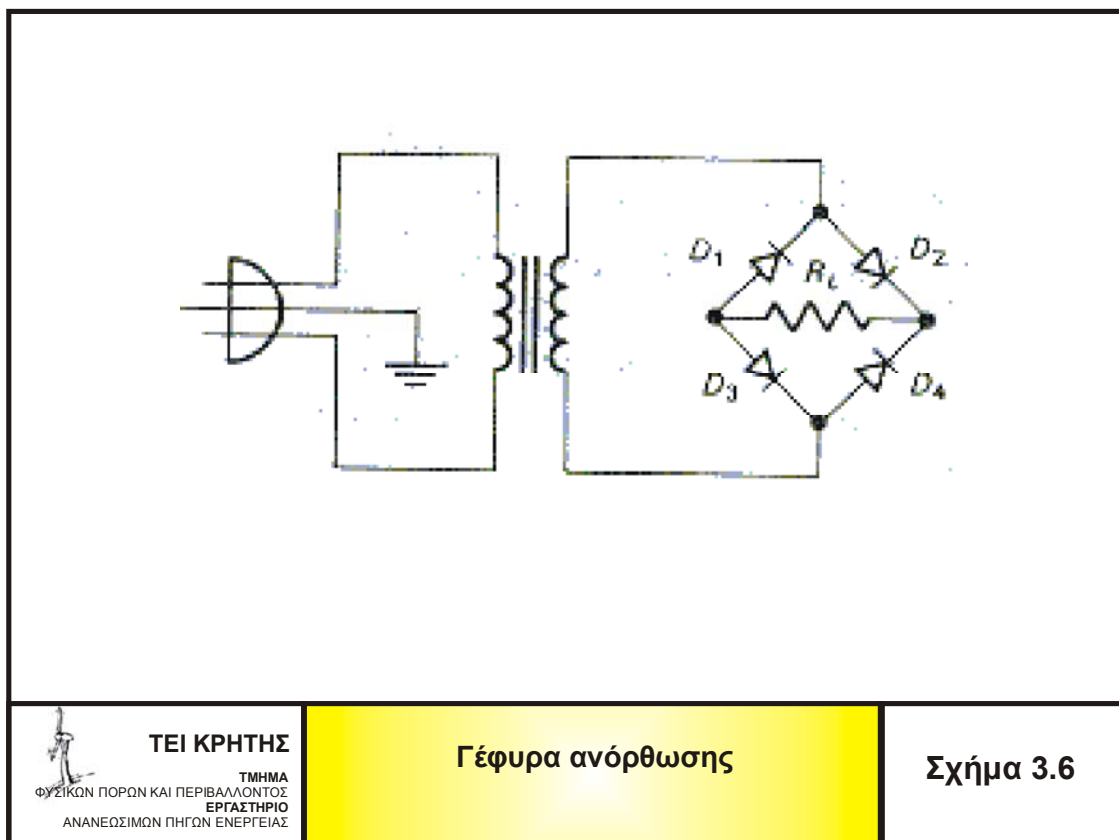
Εσωτερική όψη γεννήτριας

Εικόνα 3.3

Σε μια πειραματική μέτρηση χρησιμοποιήθηκε ως γεννήτρια ένα μοτέρ συνεχούς ρεύματος με τάση 6 V-8,4 V και είναι της Ιαπωνικής εταιρείας ΤΑΜΙΥΑ. 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]

3.4 Φίλτρο πυκνωτή

Τα κυκλώματα ημιανόρθωσης και πλήρους ανόρθωσης έχουν κυμαινόμενη dc τάση. Πριν να καταστούν κατάλληλα για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, οι κυμαινόμενες dc τάσεις πρέπει να φιλτραριστούν ή να εξομαλυνθούν, ώστε η τάση εξόδου να είναι μια περίπου

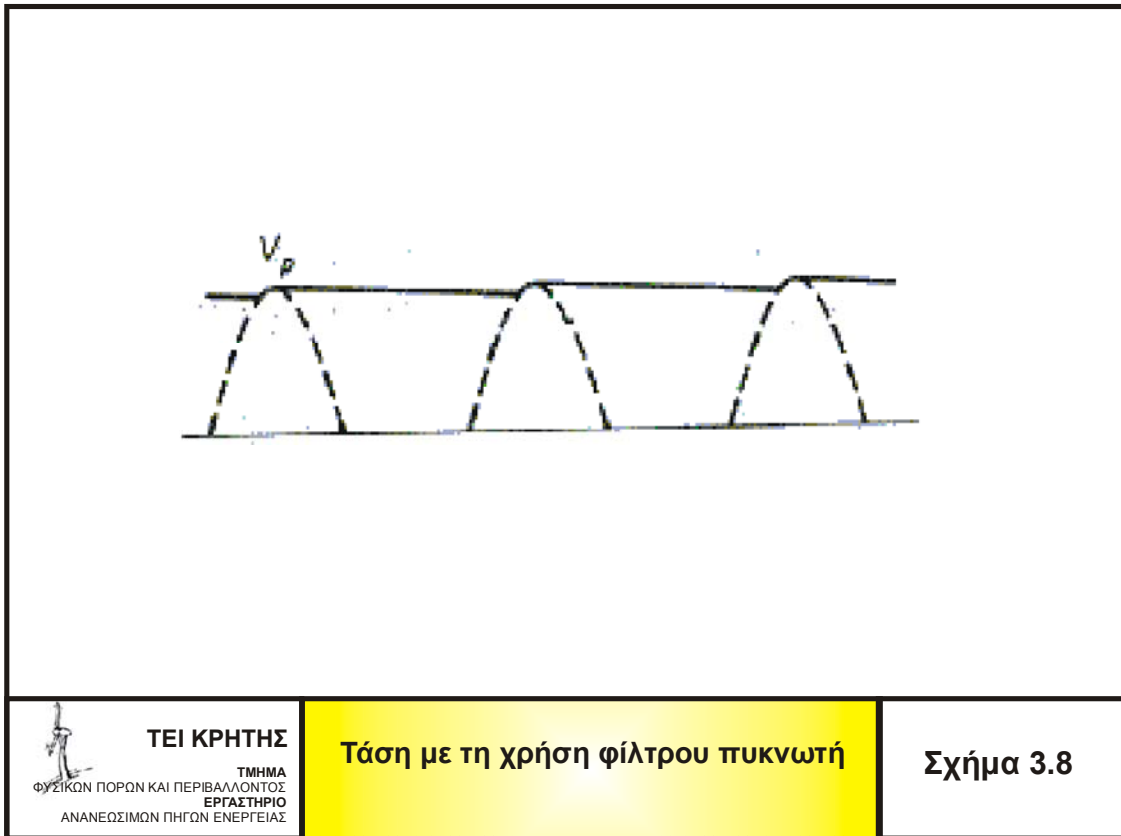
σταθερή dc τάση. Η περισσότερο διαδεδομένη μέθοδος, που χρησιμοποιείται γι' αυτήν τη διαδικασία, είναι το φίλτρο πυκνωτή.



Στο σχήμα 3.7 φαίνεται το φίλτρο πυκνωτή. Όταν η διόδος άγει, η πηγή φορτίζει τον πυκνωτή. Επειδή η διόδος έχει μικρή αντίσταση, η σταθερά χρόνου της φόρτισης του πυκνωτή είναι πολύ μικρή. Από την άλλη μεριά, όταν η διόδος δεν άγει, ο πυκνωτής εκφορτίζεται στο φορτίο. Κάνοντας προσεκτική σχεδίαση, η σταθερά χρόνου εκφόρτισης γίνεται πολύ μεγάλη. Αυτός είναι ο λόγος, που η τάση στ' άκρα του πυκνωτή είναι μια σχεδόν σταθερή dc τάση, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8 (συνεχής γραμμή). Χωρίς τον πυκνωτή το κύκλωμα θα ήταν ένα κύκλωμα ημιανόρθωσης με μια ημιανορθωμένη τάση (διακεκομμένη γραμμή).

Παρακάτω αναλύεται πως λειτουργεί το κύκλωμα. Κατά τη θετική ημιπερίοδο της τάσης εισόδου, η διόδος άγει και ο πυκνωτής φορτίζεται. Επειδή η διόδος έχει πολύ μικρή αντίσταση, ο πυκνωτής φορτίζεται σχεδόν αμέσως στην κορυφή της τάσης εισόδου. Λίγο μετά τη θετική κορυφή η διόδος παύει να άγει. Τότε, ο πυκνωτής εκφορτίζεται στην αντίσταση φορτίου. Όμως η σταθερά χρόνου εκφόρτισης είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την περίοδο του σήματος εισόδου. Έτσι, η τάση του πυκνωτή ελαττώνεται μόνο για λίγο, πριν από την εμφάνιση της επόμενης κορυφής. Κατά τη διάρκεια αυτής της κορυφής η διόδος άγει, για σύντομο χρονικό διάστημα, και ξαναφορτίζει τον πυκνωτή στο μέγιστο της τάσης εισόδου (αγνοούμε την πτώση τάσης της διόδου).

Η τάση εξόδου του σχήματος 3.8 είναι περίπου μια dc τάση, ίση με το πλάτος της τάσης εισόδου. Η μόνη παρέκκλιση από το dc είναι μια μικρή κυμάτωση, που προέρχεται από την περιορισμένη φόρτιση και εκφόρτιση του πυκνωτή του φίλτρου. Επειδή η έξοδος του κυκλώματος έχει τιμή ίση με την κορυφή της τάσης εισόδου, το κύκλωμα αυτό μερικές φορές λέγεται και ανορθωτής κορυφής ή ανιχνευτής κορυφής.

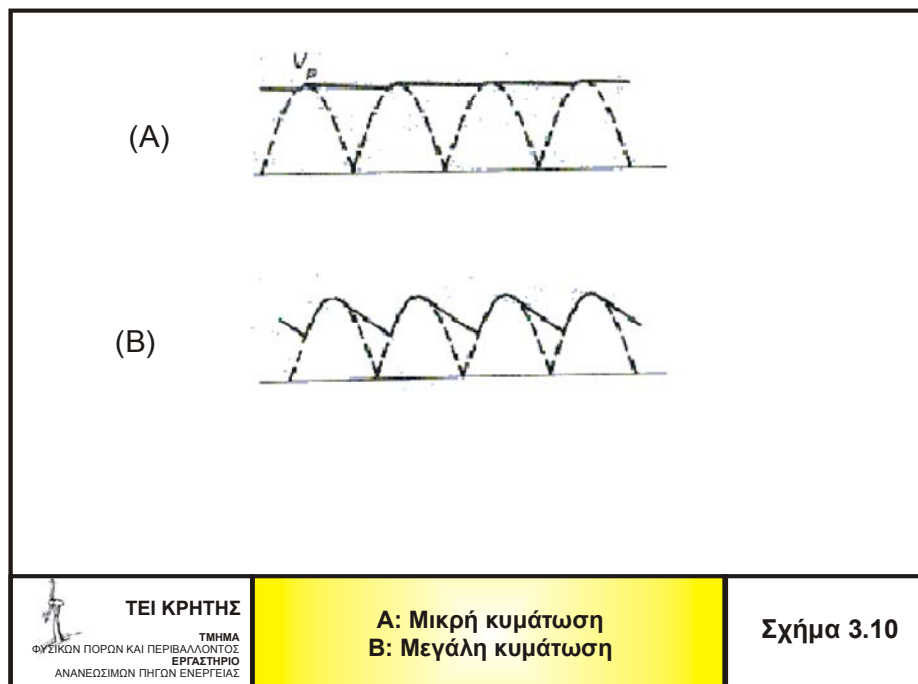
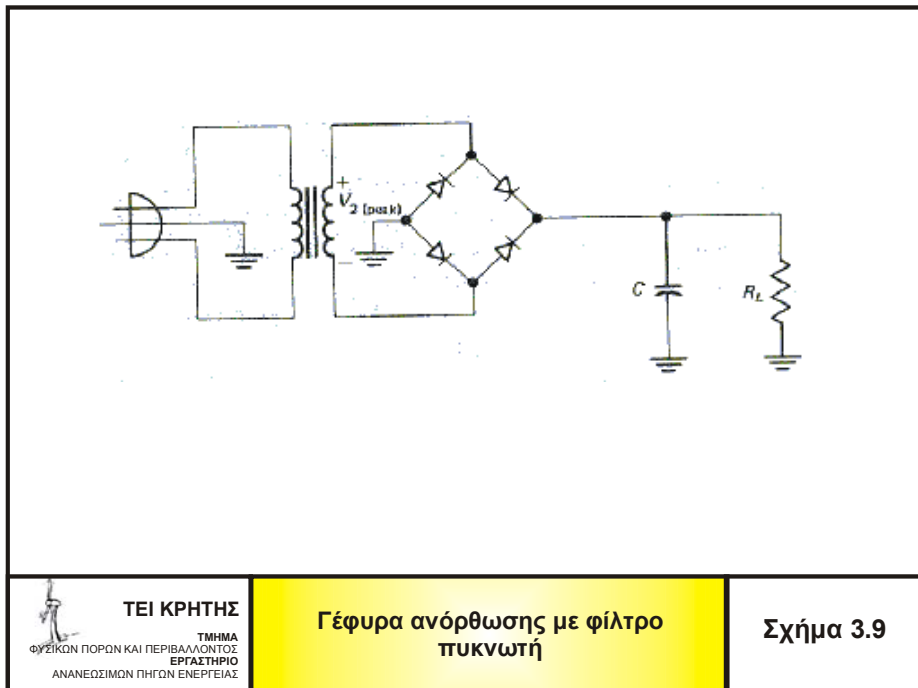


Στο σχήμα 3.9 δίνεται μια γέφυρα ανόρθωσης, που οδηγεί ένα φίλτρο πυκνωτή. Η ανίχνευση της κορυφής που πετυχαίνεται μ' αυτό το κύκλωμα είναι καλύτερη, επειδή ο πυκνωτής φορτίζει δυο φορές κατά τη διάρκεια μιας περιόδου του σήματος εισόδου. Έτσι, η κυμάτωση περιορίζεται στο μισό και η dc τάση εξόδου πλησιάζει περισσότερο την κορυφή της τάσης εισόδου. Οι πλήρεις ανορθωτές κορυφής χρησιμοποιούνται συχνότερα από τους ημιανορθωτές.[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]



3.6 Αεροδυναμική

3.6.1. Είδη ροών

Η ροή του αέρα είναι ασυμπίεστη ή συμπίεστη 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.

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

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 (ανιξωδικά), 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.

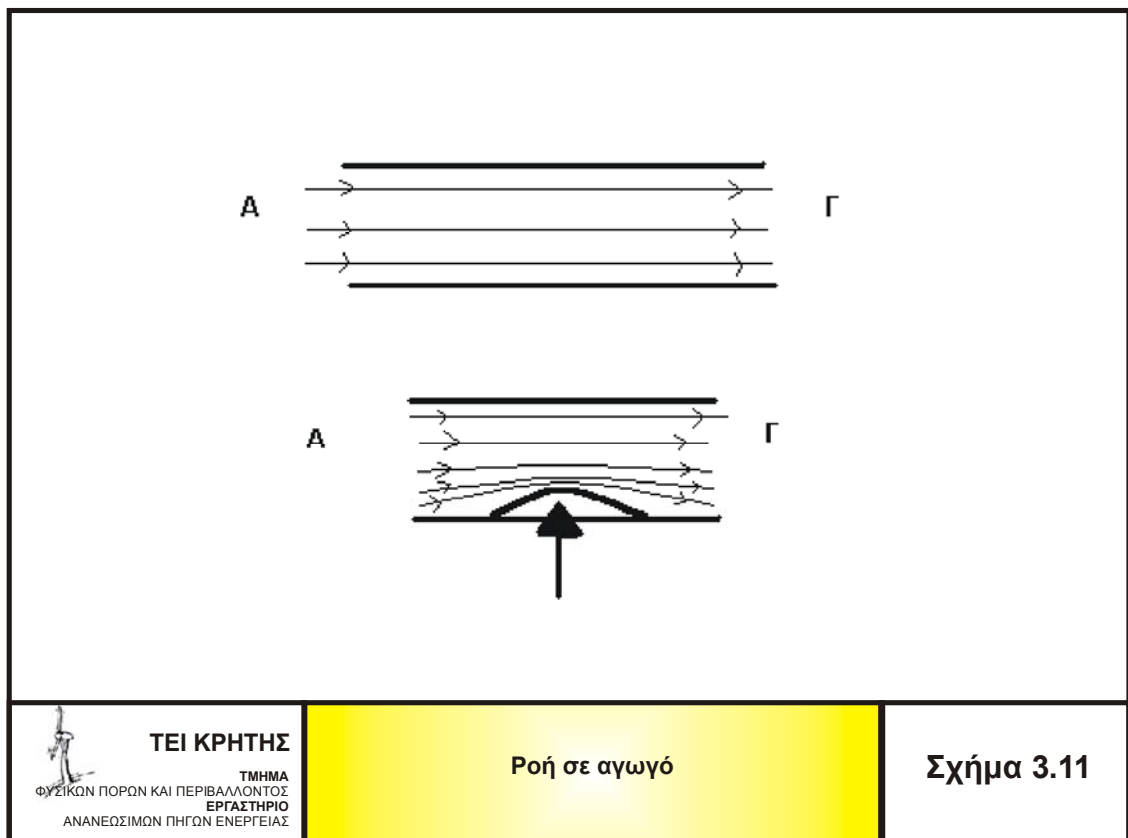
Ροή χωρίς περιστροφή (Αστροβιλη ροή) χαρακτηρίζεται η ροή όταν τα μόρια της κατά την κίνηση τους, μεταβάλλουν θέσεις στο χώρο αλλά δεν στρέφονται περί τον εαυτό τους.

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.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ροή σε αγωγό

Σχήμα 3.11

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.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} = \text{σταθ.} \quad (3.1)$$

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 τροφέα 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.

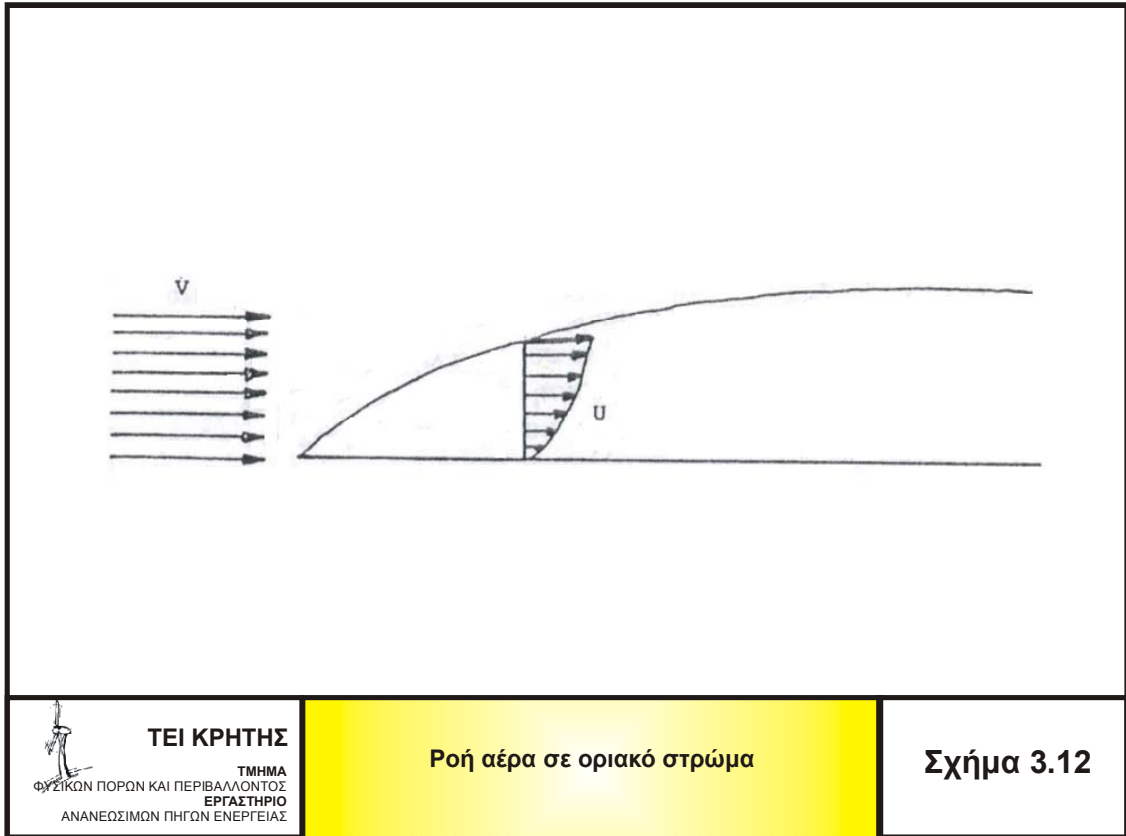
Κατά τον Prandtl, όταν ο αέρας κινείται γύρω από ένα στερεό, τότε θεωρητικής απόψεως, το όλο πεδίο ροής χωρίζεται σε δύο περιοχές:

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 $\theta u/\theta y$, 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 κατανεμημένη.

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:

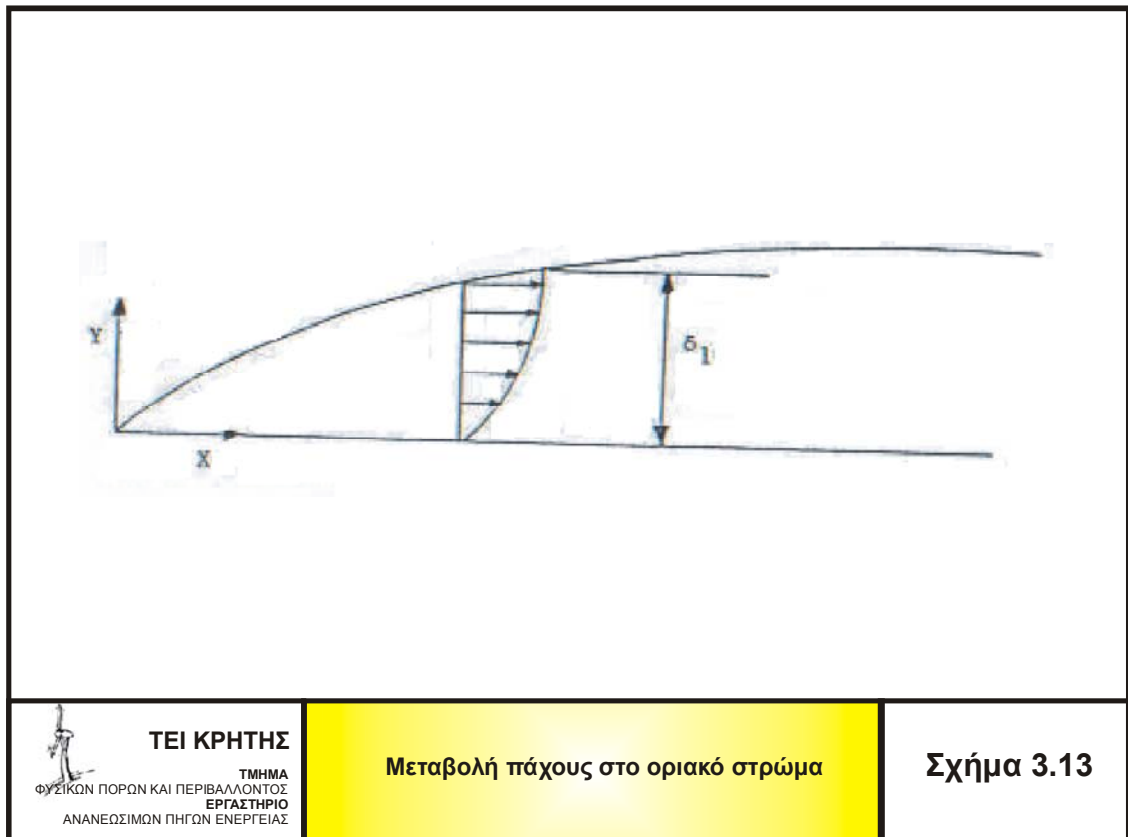
- α) Το πάχος δ αυτού είναι πάρα πολύ μικρό
- β) Η ροή του αέρα μέσα στο οριακό στρώμα είναι πάρα πολύ πιο αργή εξαιτίας του ιξώδους.

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.



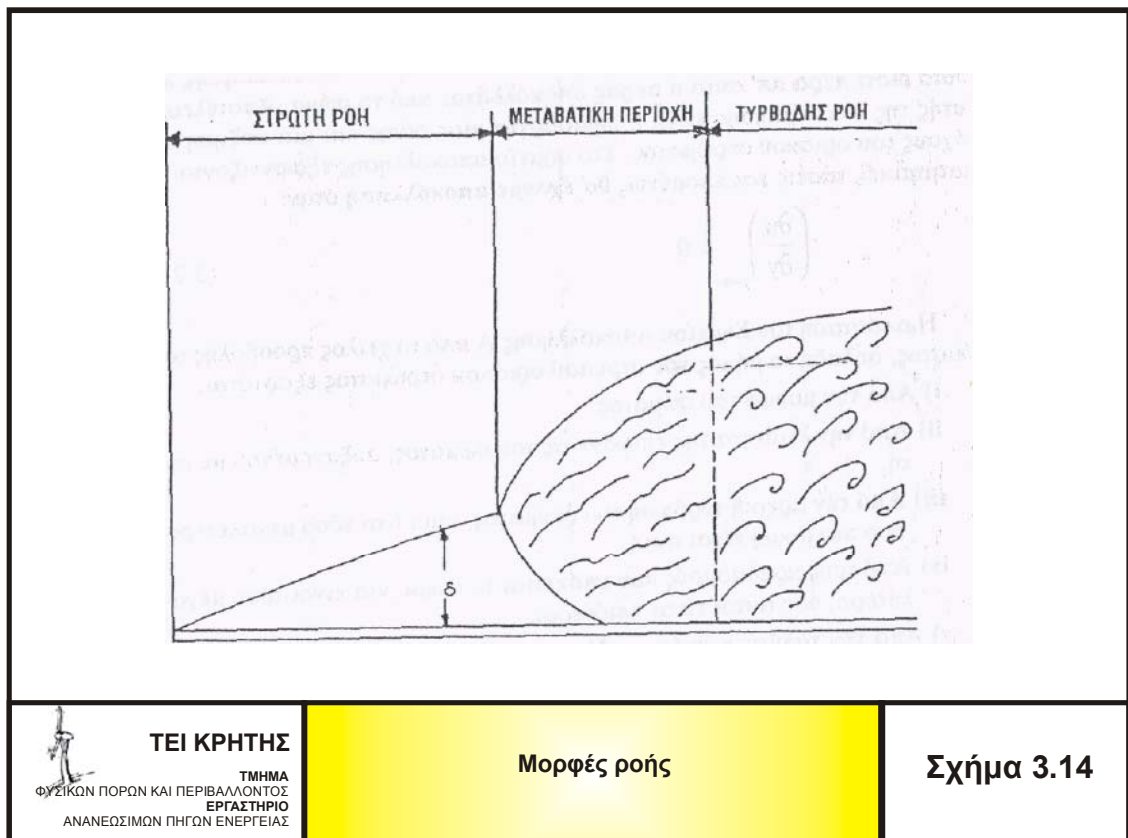
Ακόμα το πάχος του οριακού στρώματος μεταβάλλεται με τις διάφορες παραμέτρους της πτήσης και συγκεκριμένα, αυξάνει όταν ελαττώνεται η ταχύτητα πτήσης V , και όταν ελαττώνεται η πυκνότητα ρ του αέρα, δηλαδή αυξανόμενου του ύψους πτήσης.

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.



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 χασοτική 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 διαμηθικές τάσεις και επομένως θα έχουμε αποκόλληση όταν:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \quad (3.4)$$

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.

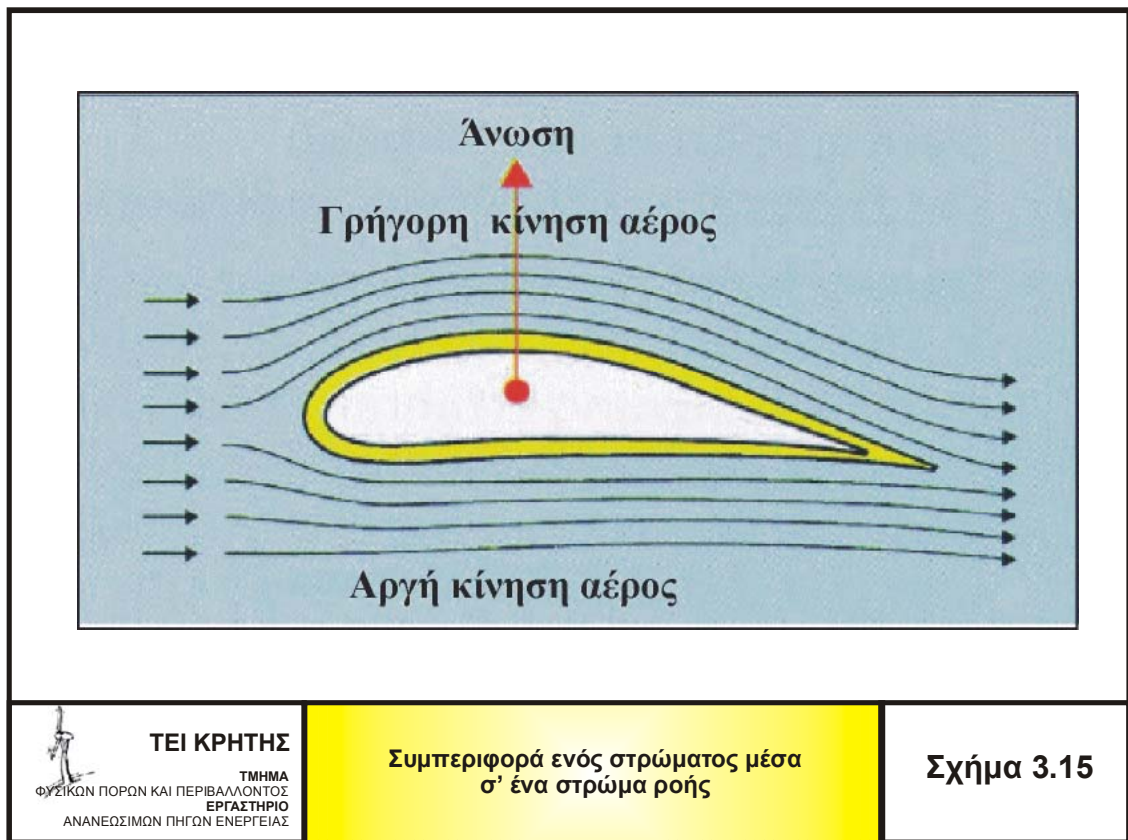
Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η δημιουργία τύρβης προέρχεται από μια αστάθεια της ροής. Στην περίπτωση του οριακού στρώματος παρουσιάζεται μια αστάθεια από το γεγονός ότι η εξωτερική ρευματική ταχύτητα του αέρα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του αέρα μέσα στο οριακό στρώμα. Η αύξηση αυτή της εξωτερικής 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.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Συμπεριφορά ενός στρώματος μέσα
σ' ένα στρώμα ροής

Σχήμα 3.15

Γενικά η έξοδος από την απώλεια στήριξης πραγματοποιείται με την εξουδετέρωση του αίτιου που την προκάλεσε, δηλ. την ελάττωση της γωνίας προσβολής.

Σ' ένα αεροπλάνο η ελάττωση αυτή γίνεται αυτόματα, αρκεί ο χειριστής να μην την εμποδίσει, επιμένοντας να έλκει το χειριστήριο ανόδου καθόδου προς τα πίσω. Οι παράγοντες οι οποίοι προσπαθούν να ελαττώσουν την γωνία προσβολής είναι:

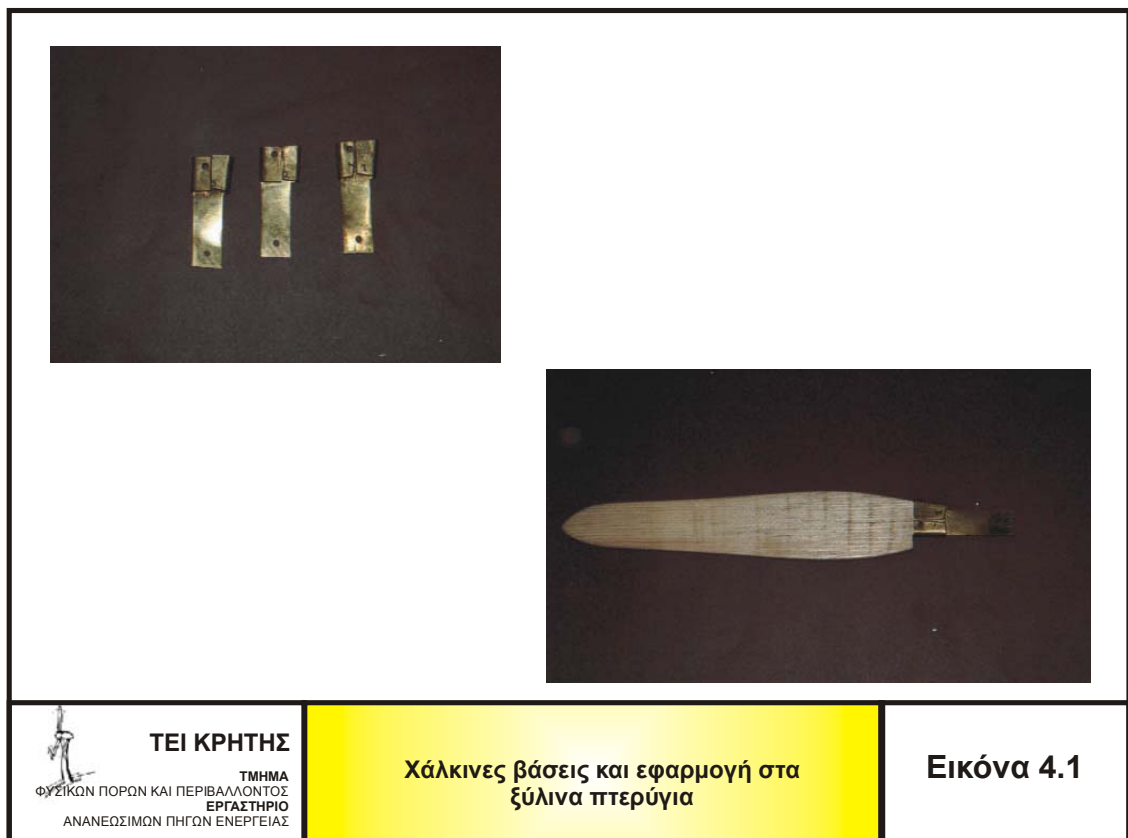
α) Η μετατόπιση της άντωσης L προς τα πίσω, η οποία παράγει ροπή κατάβασης της κεφαλής του αεροπλάνου

β) Η ευστάθεια που εξασφαλίζει στο αεροπλάνο το οριζόντιο ουραίο πτέρωμα, του οποίου ο ρόλος είναι να αντιδρά σε κάθε αύξηση ή ελάττωση της γωνίας προσβολής.[5]

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

4.1 Γενικά

Τα πτερύγια που κατασκευάστηκαν για την πειραματική διάταξη είναι ξύλινα, αλουμίνια και πλαστικά. Τα ξύλινα πτερύγια αφορούν ένα σχέδιο και κατασκευάστηκαν αφού πρώτα σχεδιάστηκαν πάνω στο κομμάτι του ξύλου, κόπηκαν και στη συνέχεια λειάνθηκαν με γυαλόχαρτο. Επειδή τα ξύλινα πτερύγια είναι πολύ λεπτά και πρέπει να έχουν κάποια κλίση για να είναι επιτυχής η λειτουργία τους χωρίς να καταστραφούν, προστέθηκε στη βάση τους μια χάλκινη βάση η οποία δένει πάνω στη βάση των πτερυγίων και η οποία απέκτησε την επιθυμητή κλίση (Εικόνα 4.1).



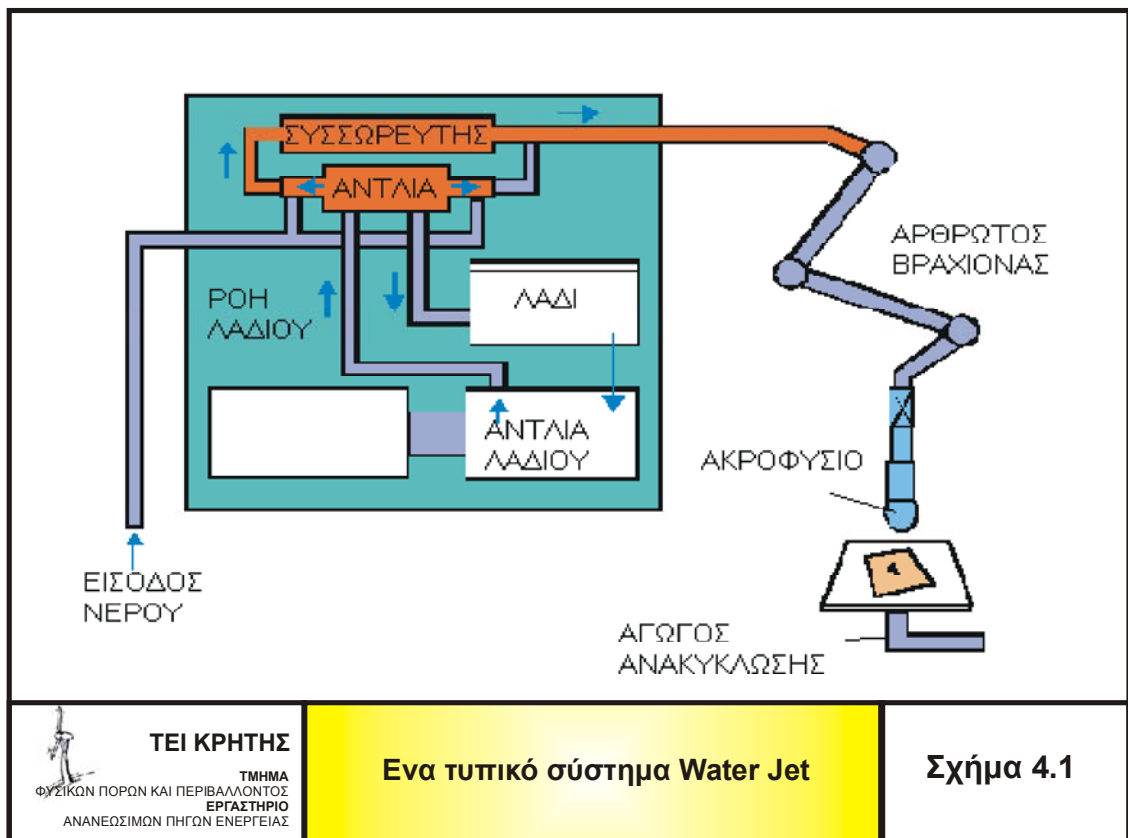
Τα πτερύγια από αλουμίνιο κατασκευάστηκαν κάποια στο χέρι με κόψιμο και λείανση όπως ακριβώς τα ξύλινα και κάποια με υδροκοπή.

Τα πλαστικά πτερύγια κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο CAD του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη μέθοδο Vacuum Casting Molding.

4.2 Υδροκοπή

Η δύναμη του νερού υπηρετεί τη φύση απ' το ξεκίνημα του χρόνου σκαλίζοντας, φιλοτεχνώντας και διαμορφώνοντας την επιφάνεια της γης. Τον περασμένο αιώνα η φυσική του νερού κατανοήθηκε καλύτερα και αναπτύχθηκε περισσότερο. Η τεχνολογία του Water-Jet χρησιμοποιήθηκε αρχικά για καθαρισμό κυρίως για να απομακρύνει υπολείμματα αργίλου και πέτρας (Σχήμα 4.1). Το 1930 οι Ρώσοι και οι Αμερικανοί έκαναν τις πρώτες προσπάθειες να εφαρμόσουν υψηλή ταχύτητα δέσμης νερού σε εξορύξεις για να μετακινήσουν πέτρες και κάρβουνο. Στα τέλη του 1960 μία αμερικανική διαστημική εταιρεία αντιμετώπισε την πρόκληση κοπής ενισχυμένης ίνας και μιας σειράς άλλων σκληρών υλικών που ήταν ιδιαίτερα ευαίσθητα σε υψηλές θερμοκρασίες και μηχανικές καταπονήσεις και τα οποία οι συμβατικές μέθοδοι κοπής τα κατάρρεφαν κατά τη διάρκεια της κοπής. Τότε κλήθηκε το Water-Jet Machining να επιλύσει αυτά τα προβλήματα.

Όταν τα οφέλη της χρήσης της τεχνολογίας του Water-Jet άρχισαν να γίνονται εμφανή, ανακαλύφθηκαν περισσότερες εφαρμογές. Το αποτέλεσμα ήταν να επιτευχθεί η κοπή διαφόρων υλικών που μέχρι τότε ήταν αδύνατο να κοπούν με τις συμβατικές μεθόδους. Από τότε, οι νέες δυνατότητες για αυτή την τεχνική κοπής καθώς και νέες βιομηχανικές εφαρμογές, άρχισαν να αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας την ικανότητα του Water-Jet για να κόψουν περίπλοκα σχήματα από υλικά διάφορων παχών, διατηρώντας ταυτόχρονα την καλή ποιότητα επιφάνειας.



Το Water Jet Machining χρησιμοποιείται σε όλους σχεδόν τους χώρους της σύγχρονης βιομηχανίας, ιδιαίτερα στην βιομηχανία αυτοκινήτων, στη διαστημική βιομηχανία, σε ποικιλία άλλων μηχανολογικών εφαρμογών, στην τεχνολογία περιβάλλοντος κ.λ.π.

Γενικά το Water Jet χρησιμοποιείται για :

- Βιομηχανικό καθαρισμό και προετοιμασία επιφάνειας
- Χρωματισμό, γυάλισμα και επικαλύψεις επιφανειών
- Υδροκατεδάφισητσιμέντου και θρυμματισμός βράχων
- Απολύμανση και Ανακύκλωση υλικών

Ενώ ειδικότερα στην μηχανουργική τεχνολογία χρησιμοποιείται για :

- Κοπή υλικών με απλή δέσμη (πλαστικά, λεπτά φύλλα μετάλλων, υφάσματα)
- Κοπή υλικών που είναι δύσκολο να κατεργαστούν (σύνθετα υλικά)
- Τόρνευση και κατεργασία τρισδιάστατων επιφανειών με AWJ
- Διάτρηση
- Καθάρισμα

Βασική ιδέα της μεθόδου κοπής με δέσμη νερού, είναι η εκτόξευση καθαρού νερού ή νερού με σωματίδια λειαντικής ουσίας, μέσα από μια μικρή οπή με μεγάλη πίεση πάνω στο υλικό που πρόκειται να κατεργαστεί. Το αποτέλεσμα είναι μια γρήγορη, ευέλικτη και αποτελεσματική μέθοδος κοπής μιας μεγάλης ποικιλίας υλικών, που σήμερα έχει γίνει ιδιαίτερα ανταγωνιστική. Η δέσμη νερού εκτοξεύεται με ταχύτητα 900 m/sec ή 3 mach. Όταν η δέσμη χτυπήσει την κατεργασμένη επιφάνεια, τα μόρια του υλικού απομακρύνονται ταχύτατα λόγω της διαβρωτικής ιδιότητας του νερού.

Η υψηλή πίεση που απαιτείται για την κοπή παράγεται σε μια αντλία πίεσης. Το νερό που συμμετέχει στη διαδικασία φιλτράρεται ώστε να αποτρέπεται η στόμωση του ακροφυσίου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει σχηματικά ένα σύστημα Water Jet.

Η λειτουργία του αγωγού ανακύκλωσης είναι να παραλαμβάνει το νερό αλλά και να διασκορπίζει την ενέργεια της δέσμης σε λογικά επίπεδα θορύβου (80-90db). Η ταχύτητα της δέσμης (u), σύμφωνα με το νόμο Bernoulli δίνεται κατά προσέγγιση από τη σχέση (4.1):

$$u = \sqrt{2 \cdot p / \rho} \quad (4.1)$$

όπου, p είναι η πίεση και ρ η μέση πυκνότητα του νερού.

Η παροχή (Q) θα είναι:

$$Q = C_D \cdot A \cdot u \quad (4.2)$$

Και η δύναμη ρευστού που απαιτείται (P), δίνεται από τη σχέση (4.3) και είναι:

$$P = p \cdot Q = C_D \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} p^{1.5} \quad (4.3)$$

όπου, C_D είναι ο συντελεστής του ακροφυσίου (περίπου ίσος με 0.7) και A είναι το εμβαδόν επιφάνειας της δέσμης.

Η απόσταση του ακροφυσίου από την τράπεζα κατεργασίας, δεν είναι σημαντική παράμετρος εφόσον είναι μικρότερη από 25 mm. Το βάθος διείσδυσης της δέσμης εξαρτάται από το είδος του υλικού που πρόκειται να κοπεί καθώς και από την ταχύτητα (u) της δέσμης ύδατος.

Η κοπή με δέσμη νερού προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους κοπής. Πιο συγκεκριμένα η κοπή με δέσμη ύδατος έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Δεν αναπτύσσεται ζώνη θερμότητας και δεν προκαλείται σκλήρυνση ή αλλαγή ιδιοτήτων στο κατεργαζόμενο τεμάχιο κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.
- Κατεργάζεται οποιοδήποτε υλικό με δυνατότητα κοπής περίπλοκων σχημάτων.
 - Έχει την ικανότητα να κόβει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.
- Μπορεί να κατεργαστεί τα περισσότερα υλικά χωρίς προδιάτρηση οπής.

- Δεν απαιτείται δευτερεύουσα επεξεργασία μετά την κύρια κατεργασία.
- Παρουσιάζει μεγάλη εξοικονόμηση ακατέργαστης ύλης και είναι ταχύτερη συγκρινόμενη με τις συμβατικές μεθόδους κοπής.
 - Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας το περιβάλλον εργασίας είναι καθαρό και αβλαβές για τον άνθρωπο, ενώ είναι φιλική προς στο περιβάλλον.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά του Water jet είναι η ποιότητα της κοπής στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό επιτρέπει να κόβονται υλικά τα οποία θα καίγονταν, έλιωναν ή ράγιζαν με τις συμβατικές μεθόδους κοπής. Οι θερμικές κατεργασίες προκαλούν σκλήρυνση της επιφάνειας, παραμορφώσεις και εκπομπή επικίνδυνων αερίων. Αντίθετα στα υλικά που κόβονται με την τεχνική αυτή δεν υφίσταται καμία θερμική καταπόνηση, αποκλείοντας τέτοια ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα είναι η ικανότητα να κόβει υλικά ενισχυμένης ίνας, ανακλαστικά υλικά με ανώμαλες επιφάνειες και τεμάχια κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά. Παρά την υψηλή κινητική ενέργεια στην κοπή με δέσμη νερού, αποφεύγονται οι παραμορφώσεις και η μεγάλη ακρίβεια κοπής επιτυγχάνεται χωρίς να δημιουργούνται τριμμένες άκρες ή σπασίματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξαιρετική ποιότητα επιφάνειας που στις περισσότερες περιπτώσεις αποκλείει την ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία φινιρίσματος.

Η κοπή με δέσμη νερού είναι ιδιαίτερα πλεονεκτική στην κοπή περίπλοκων σχημάτων. Μπορεί να κατεργαστεί πληθώρα υλικών σχεδόν σε οποιοδήποτε σχήμα. Μυτερές γωνίες, διάτρητες τρύπες και σχήματα με ελάχιστη εσωτερική ακτίνα, είναι μερικές από τις ελάχιστες δυνατότητες της κατεργασίας. Αντίστοιχα μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κοπής ενός τεμαχίου γιατί δεν χρειάζεται προδιάτρηση ή οποιαδήποτε άλλη προεργασία

πριν από την κοπή. Η κοπή με δέσμη νερού είναι ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας η κατεργασία είναι καθαρή και δεν δημιουργεί τριβές, ρινίσματα, ή επικίνδυνα αέρια που είναι ιδιαίτερα βλαβερά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Λιπαντικά κοπής ή γαλακτώματα δεν χρειάζονται και δεν χρησιμοποιούνται.

Στην εποχή των υπερτιμημένων πρώτων υλών και των περιορισμένων πόρων, η τεχνική Water Jet εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο υλικό με λιγότερη φύρα. Χρησιμοποιώντας καθαρό νερό, είναι δυνατόν να κοπούν υφάσματα, ελαστικά, λεπτά πλαστικά, τρόφιμα, και πολλά άλλα προϊόντα. Αυτά τα υλικά μπορούν να κοπούν σε υψηλές ταχύτητες που φτάνουν τις μερικές εκατοντάδες μέτρα το λεπτό.

Ειδικότερα το Abrasive Water Jet Machining έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους κατεργασίας και μπορεί να αντικαταστήσει αρκετές συμβατικές μεθόδους ακόμα και σε πολύπλοκες κατεργασίες όπως η κοπή γραναζιών. Ίσως το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του Abrasive jet είναι το χαμηλό επίπεδο μηχανικής τάσεως που δέχεται το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην καταπονείται το τεμάχιο και έτσι να μη μειώνεται η μηχανική αντοχή του.

Μετά το τέλος της κατεργασίας η επιφάνεια του κατεργαζόμενου τεμαχίου είναι καθαρή και λεία και η οποία απαιτεί λιγότερη ή και μηδενική περαιτέρω επεξεργασία.

Έτσι μπορεί να εξαιρεθούν ολόκληρα βήματα στην διαδικασία της παραγωγής, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό το κόστος και το χρόνο της κατεργασίας.

Αφού η κοπή με δέσμη νερού με λειαντικά σωματίδια έχει τόσα πλεονεκτήματα θα αναρωτιόταν κανείς γιατί δεν την χρησιμοποιείται. Η απάντηση δεν βασίζεται στην καθ' αυτή κατεργασία αλλά στον έλεγχό της. Μέχρι τώρα η χρήση αυτής της τεχνικής απαιτούσε ένα συνδυασμό περίπλοκων προγραμματισμών και έμπειρους χειρίστες.

Η γραμμική ταχύτητα του ακροφυσίου του abrasive jet πρέπει να έχει μια ποικιλία από αλλαγές στις γωνίες και στις διάρρητες τρύπες των κατεργαζόμενων τεμαχίων αφού η υπερβολική ταχύτητα έχει σαν αποτέλεσμα τη χαμηλή ποιότητα κοπής. Στο παρελθόν η χρήση του abrasive jet απαιτούσε έμπειρο χειριστή να ελέγχει την ταχύτητα της δέσμης. Αν η ταχύτητα ήταν πολύ μεγάλη η ποιότητα στην άκρη και η ακρίβεια ήταν χαμηλή σε σχέση με το υπόλοιπο τεμάχιο. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της μηχανικής αντοχής του τεμαχίου

λόγω ύπαρξης ατελειών. Από την άλλη μεριά αν η ταχύτητα ήταν πολύ μικρή τότε χάνονταν χρόνος και ακρίβεια στην κοπή. Αν το ακροφύσιο διαπερνούσε μια γωνία πολύ γρήγορα, το αποτέλεσμα θα ήταν κακή διαμόρφωση και μη ολοκληρωμένη κοπή. Όμως αυτές οι δυσκολίες εξαλείφθηκαν αφού ήδη κάποιες κατασκευαστικές εταιρείες εργαλειομηχανών Water Jet έκαναν πολύ μεγάλες προόδους στην βελτίωση της κοπής και πολύ ευκολότερο τον έλεγχο.

Η κοπή με νερό με λειαντικά σωματίδια μπορεί να κατεργαστεί πολλά υλικά τα οποία το Laser δεν μπορεί, όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός. Δεν καταπονεί το κομμάτι και κατά συνέπεια δεν προκαλεί θερμική διάχυση ή σκλήρυνση του υλικού. Οι μηχανές ακρίβειας με νερό και λειαντικά σωματίδια, μπορούν να εξασφαλίσουν ίδιες ή και μεγαλύτερες ανοχές από την κοπή με Laser, ενώ οι τιμές αγοράς αυτών των μηχανών είναι πολύ μικρότερες. Η χρήση μιας τέτοιας μηχανής είναι πολύ πιο ασφαλής σε σχέση με αυτής της κοπής με Laser, όπου μπορεί να υπάρξουν προβλήματα με καμένα δάκτυλα, επιβλαβή αέρια ή φωτιές. Η κοπή με νερό και λειαντικά σωματίδια, ενώ εμφανίζει τα ίδια αποτελέσματα με το Laser στα λεπτά τεμάχια, στα τεμάχια με μεγαλύτερο πάχος εμφανίζει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης δεν χάνει την εστίαση της δέσμης ύδατος σε τραχείς επιφάνειες, ενώ επιτρέπει το στοίβαγμα στην τοποθέτηση των κομματιών, κάτι που τα Laser λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών δεν το επιτρέπουν.

Σε σχέση με την ηλεκτροδιάβρωση (EDM), η κοπή με δέσμη ύδατος και λειαντικά σωματίδια είναι πιο γρήγορη, μπορεί να επεξεργαστεί σχεδόν οποιοδήποτε υλικό, δε χρειάζεται αρχικές τρύπες για να ξεκινήσει, δε θερμαίνει την επιφάνεια που κατεργάζεται, αγνοεί τις ανωμαλίες των επιφανειών των υλικών οι οποίες προκαλούν βραχυκύκλωμα στην ηλεκτρική εκκένωση, δεν προκαλεί την εμφάνιση ζωνών επηρεασμένων από θερμοκρασιακές αλλαγές και επεξεργάζεται μεγαλύτερα σε διάσταση κομμάτια.

Σε σχέση με τις παραδοσιακές μηχανουργικές κατεργασίες, στη μέθοδο κοπής με δέσμη ύδατος η εγκατάσταση και η τοποθέτηση των κατεργαζόμενων τεμαχίων, καθώς επίσης και το καθάρισμα όταν τελειώσει η κατεργασία είναι πολύ γρηγορότερα, ενώ πιο εύκολος είναι ο προγραμματισμός της καθοδήγησής της. Στην κατεργασία με νερό δε χρειάζεται να γίνει αλλαγή εργαλείων ενώ το κοπτικό εργαλείο δε φθείρεται τόσο πολύ όσο στις παραδοσιακές μηχανουργικές κατεργασίες, ιδιαίτερα όσον αφορά την κατεργασία πολύ σκληρών υλικών.

Η κατεργασία κοπής με δέσμη νερού μπορεί να κόψει οποιοδήποτε υλικό το οποίο μπορεί να έχει μικρή σκληρότητα, σε αντίθεση με τη δέσμη νερού που εμπλουτίζεται με λειαντικό η οποία αντιμετωπίζει δυσκολία στην κοπή μαλακών υλικών. Όλα τα μέταλλα, πλαστικά, συνθετικά, μάρμαρα, γρανίτης κ.λ.π. μπορούν να κοπούν. Το πάχος των κατεργαζόμενων τεμαχίων περιορίζεται μόνο από το μέγεθος της μηχανής. Για ορισμένα υλικά και για κάποιο πάχος, μπορεί μια άλλη μέθοδος κοπής (συμβατική ή μη) να είναι πιο οικονομική. Επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου γίνεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν κοινά πλεονεκτήματα της κοπής με δέσμη ύδατος με τις υπόλοιπες μεθόδους, όπως καλύτερη ποιότητα επιφάνειας, μη σκλήρυνση του μετάλλου, μη παραμόρφωση ή παραποίηση και δυνατότητα κοπής εύθραυστων υλικών, όπως το γυαλί και η πέτρα χωρίς τη δημιουργία θρυμμάτων.

Επειδή το σύστημα κοπής με δέσμη ύδατος είναι ένα «ελαστικό εργαλείο» είναι παράξενο πως μπορεί να έχει τόσο έντονη δράση. Σε κόψιμο ευθείας γραμμής αυτό μεταφράζεται σε «χάσιμο χρόνου», ή αλλιώς καθυστέρηση. Αυτή η καθυστέρηση συνήθως αγνοείται, όμως είναι σημαντική όταν το κόψιμο φτάνει σε γωνία. Όσο η δέσμη πλησιάζει τη γωνία τότε κρίνεται απαραίτητο να χαμηλώνει ο ρυθμός, έτσι ώστε ο πάτος της δέσμης να μπορέσει να πιάσει την κορυφή και να είναι κάθετη στο υλικό. Αν δεν κατέβει ο ρυθμός θα δημιουργηθεί στην πραγματικότητα μια άσχημη γωνία. Αν επιταχυνθεί η δέσμη γρήγορα όταν εξέρχεται από την γωνία, τότε η δέσμη θα «κλωσήσει» πίσω και θα καταστραφεί το τεμάχιο. Εξελιγμένα συστήματα αντισταθμίζουν αυτή την συμπεριφορά αυτόματα, για αυτό και λέμε ότι ο προγραμματισμός αυτών των συστημάτων είναι εύκολος.

Το πάχος του κατεργαζόμενου υλικού επηρεάζει την κατεργασία μια και όσο μεγαλώνει το πάχος του υλικού, τόσο πιο δύσκολος είναι ο έλεγχος της δέσμης που εξέρχεται. Τα σκληρότερα υλικά εκτίθενται περισσότερο σε κωνοποίηση η οποία συμβάλλει σημαντικά στο να καθοριστεί το είδος των ανοχών που μπορεί να επιτευχθεί στο κατεργαζόμενο τεμάχιο.

Επειδή σαν κοπτικό εργαλείο που δρα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο είναι βασικά η διάμετρος της δέσμης ύδατος, η οποία λειτουργεί σαν ένα «ελαστικό εργαλείο», η δέσμη έχει μια καθυστέρηση από τη στιγμή που αρχικά εισδύει στο υλικό μέχρι τη στιγμή που εξέρχεται από το υλικό. Προφανώς, όσο πιο ακριβέστερα γίνει η τοποθέτηση της δέσμης τόσο με πιο μεγάλη ακρίβεια θα κατεργαστεί το κομμάτι και σε αυτό παίζει πού σημαντικό ρόλο η ακρίβεια της τράπεζας του συστήματος. Οποιαδήποτε ξαφνική κίνηση (όπως αλλαγή στο ρυθμό τροφοδοσίας) θα προκαλέσει κάποιο μικρό σφάλμα. Έτσι, για υψηλότερη ακρίβεια είναι απαραίτητος ο έλεγχος της επιτάχυνσης καθώς επίσης και του ρυθμού τροφοδοσίας.

Τα ακροφύσια και ο σωλήνας ανάμιξης αποτελούν τα κρίσιμότερα στοιχεία της εργαλειομηχανής Water Jet Machining και αυτά που φθείρονται γρηγορότερα. Τα ακροφύσια του συστήματος δέσμης ύδατος είναι συνήθως από διαμάντι. Το διαμάντι μπορεί να ραγίσει ή να βουλώσει. Αν συμβούν αυτά θα είναι εξ' αιτίας της εισόδου βρώμικου νερού στο ακροφύσιο. Αυτό εύκολα μπορεί να αποφευχθεί με την χρήση φίλτρου. Το διαμάντι μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί σε 2 με 10 λεπτά περίπου και δεν έχει μεγάλο κόστος. Παρά τον απλό σχεδιασμό τους, τα ακροφύσια αυτά μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα. Το κυρίως πρόβλημα δεν είναι η ζωή του στομίου, αλλά η διάρκεια ζωής του σωλήνα ανάμιξης. Τα στόμια είναι φτηνά και διαρκούν πολύ περισσότερο (3 έως 5 φορές) από ότι οι σωλήνες ανάμιξης. Επιπλέον το στόμιο τυπικά αποτυγχάνει όταν έχουν συσσωρευτεί ψήγματα ορυκτών (τα οποία απομακρύνονται εύκολα) ή από βρομιά. Είναι δύσκολο να πούμε πότε ένας σωλήνας έχει φθαρεί τελείως, αλλά όσο φθείρεται γίνεται ένα κοπτικό εργαλείο λιγότερο αποτελεσματικό (και αν αρχίσει να φθείρεται, ο ρυθμός φθοράς επιταχύνεται). Για ακριβή εργασία ένας καινούργιος σωλήνας αποδίδει καλύτερα από ένα χρησιμοποιημένο. Η διάρκεια ζωής του εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα ανάμιξης καθορίζει πόσο γρήγορα θα φθαρεί, τι ακρίβεια κοπής μπορεί να επιτύχει καθώς και πόσο γρήγορα μπορούμε να κόψουμε. Επίσης σχετίζεται και με την διάμετρο του πλάτους κοπής. Το μήκος του σωλήνα επιδρά στην ικανότητα εστίασης του ακροφυσίου. Γενικά, μεγάλο μήκος σωλήνα έχει καλύτερη εστίαση, όποτε και επιτρέπει ελαφρώς μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η κατεργασία κοπής με νερό, με ή χωρίς λειαντικά σωματίδια, βρίσκει σήμερα πολλές εφαρμογές, ιδιαίτερα στην βιομηχανία τροφίμων, την αυτοκινητοβιομηχανία, όπως και γενικά στην βιομηχανία κατασκευών.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατασκευή πτερυγίων με υδροκοπή

Εικόνα 4.2

Η τεχνολογία της κοπής με υψηλή πίεση χρησιμοποιείται κυρίως στο τεμάχισμα και το μοίρασμα του φαγητού, που είναι και μια από τις παλιότερες εφαρμογές στην τεχνολογία τροφίμων. Κρέατα, πουλερικά, ψάρια, πίτες, κατεψυγμένα, ακόμα και σοκολάτες, κόβονται σήμερα με υψηλής πίεσης water jet. Όταν τεμαχίζεται το αντικείμενο με water jet, δε λαμβάνει χώρα καμία μετάδοση βακτηριδίων ούτε νεκρός χρόνος για ακόνισμα, όπως συμβαίνει με τα μαχαίρια. Η δέσμη του water jet κόβει μια πολύ λεπτή τομή σε απίστευτη ταχύτητα (Εικόνα 4.2).

Η κοπή με νερό στη βιομηχανία αυτοκίνητων χρησιμοποιείται από τη δεκαετία του εβδομήντα. Η κοπή με νερό χρησιμοποιείται για να κοπεί μια ευρεία γκάμα από εσωτερικά και εξωτερικά μέρη φινιρίσματος αυτοκίνητων. Χρησιμοποιούμενη με ρομπότ με αρθρώσεις η κοπή με νερό μπορεί να χρησιμεύσει ως μια πολλαπλών αξόνων, ευέλικτη και συμφέρουσα διαδικασία για το κόψιμο ποικίλων υλικών στη βιομηχανία αυτοκίνητων, μια και τα συστήματα κοπής με νερό με αρθρώσεις μπορούν να

προσαρμοστούν εύκολα στην παραγωγική διαδικασία. Επιπρόσθετα τα συστήματα αυτά παρέχουν ευκολίες και ευελιξία στη χρήση τους που άλλες ανταγωνιστικές διαδικασίες δεν παρέχουν. Τέτοια συστήματα κοπής με νερό αυξάνουν την παραγωγικότητα με μια πιο καθαρή, πιο ασφαλή και πιο εύστοχη λύση για κοπή χωρίς ανάπτυξη θερμοκρασιών.

Εκτός από την κοπή, η αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί το water jet για καθαρισμό επιφανειών. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα καθαρισμού κοπής με νερό χρησιμοποιεί τεχνολογία άντλησης δέσμη ύδατος σε πίεση 40000 psi η οποία είναι πίεση από τις υψηλότερες στην βιομηχανία. Η χαμηλή ποσότητα του νερού παράγει λιγότερη δύναμη αντίδρασης από αλλά συμβατικά συστήματα καθαρισμού με νερό. Ένα πρωταρχικό πλεονέκτημα καθαρισμού με water jet, συγκρινόμενο με εναλλακτικές μεθόδους όπως η αμμοβολή, το σμίλευμα και η καύση, είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον. Τα υπολείμματα μπogiάς απομακρύνονται εύκολα από το νερό για πέταμα, ενώ το νερό μπορεί να στραγγιστεί χωρίς επιπρόσθετη επεξεργασία.

Οι βιομηχανίες αεροσκαφών χρησιμοποιούν εργαλειομηχανές πολλαπλών διαδικασιών, που μπορούν με τη χρήση της κοπής με νερό να κόψουν, να τρυπήσουν, να χαραξουν ή να καθαρίσουν ένα τεμάχιο. Πολλά από τα μέρη επιβατικών αεροσκαφών μπορούν να κοπούν μέσω της κοπής με νερό. Τα εργαλεία κοπής με νερό πραγματοποιούν μια ποικιλία εργασιών που περιλαμβάνει κοπή, χάραγμα, φινίρισμα των άκρων και τρύπημα, κόβοντας σε οποιαδήποτε διεύθυνση, γύρω από μικρές γωνίες, έτσι ώστε το τελικό τεμάχιο να παράγεται με ελάχιστο ή καθόλου φινίρισμα με το χέρι.

Η κοπή με νερό απομακρύνει τα σπρέι, τα σύνθετα υλικά και αλλά καλύμματα από εξαρτήματα μηχανών αεροπλάνων. Η κοπή με νερό σε υψηλή πίεση

απομακρύνει τα στρώματα βρωμιάς χωρίς να καταστρέφει το βασικό υλικό ή να καταπονεί τα τεμάχια.

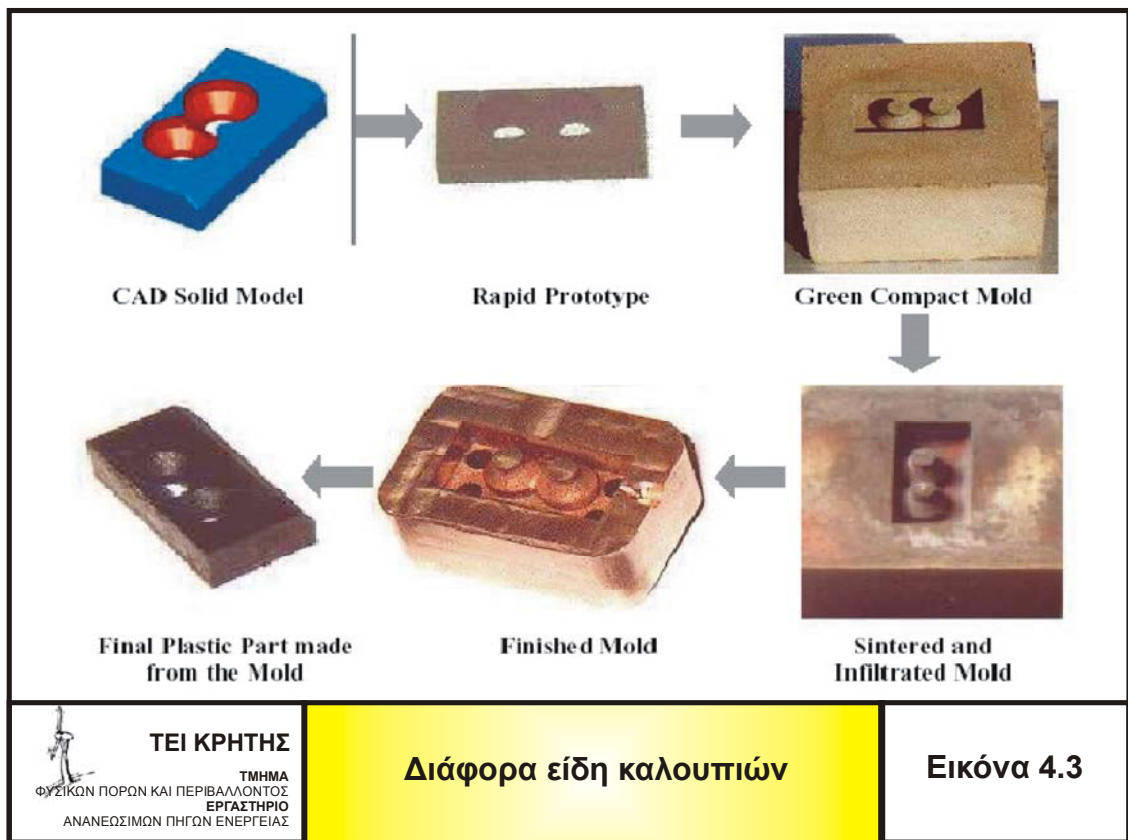
Η κοπή με νερό με σωματίδια τριβής χρησιμοποιείται επίσης και για την κοπή λίθων και πλακιδίων σε όλο τον κόσμο. Η μεγαλύτερη χρήση μηχανημάτων κοπής λίθων και πλακιδίων μπορεί να βρεθεί γύρω από τη Μεσόγειο, τη Βόρειο Αφρική, τη Νότια Ευρώπη όπως επίσης και στη Βόρεια Αμερική. Η κοπή με νερό με λειαντικά σωματίδια, κόβει περίτεχνα ή απλά σχήματα για ψηφιδωτά. Αυτό συμβαίνει γιατί δίνεται η δυνατότητα να κοπούν περίπλοκα σχέδια σε λίθους και πλακίδια σε υψηλές ταχύτητες χωρίς το ρίσκο θραύσης. Το abrasive water jet κόβει οποιαδήποτε πέτρα ή πλακάκι χωρίς αλλαγή εργαλείου, ενώ μπορεί να τρυπήσει τη δική του τρύπα εκκίνησης. Το abrasive water jet δε μεταδίδει θερμότητα ή επιφανειακές δυνάμεις στην πέτρα ή στο πλακάκι και έτσι το υλικό διατηρεί την αρχική του εμφάνιση και δύναμη, ενώ μπορεί να κοπεί σε οποιοδήποτε σχέδιο.[7]

4.3 Μέθοδοι Rapid Tooling

Γενικά χαρακτηριστικά για τις μεθόδους Rapid Tooling:

- Έχουν ως στόχο τη μείωση του χρόνου κατασκευής εξαρτημάτων σε σχέση με τις συνήθεις μεθόδους κατεργασίας.
- Αφορούν κυρίως την κατασκευή καλουπιού, από το οποίο θα προκύψει το αντικείμενο, που πρόκειται να κατασκευαστεί.
- Στις περισσότερες μεθόδους πρέπει να υπάρχει αρχικά το αντικείμενο, είτε σε πραγματική μορφή, είτε σε μορφή πρωτοτύπου, κατασκευασμένου με κάποια μέθοδο ταχείας πρωτοτυποποίησης.
- Παρέχουν τη δυνατότητα κατασκευής πρωτοτύπων σε κάποιες ποσότητες, γρήγορα, οικονομικά και με μεγάλη ποικιλία υλικών.
- Τα καλούπια που κατασκευάζονται με τη χρήση των μεθόδων Rapid Tooling μπορεί να είναι μεταλλικά ή πλαστικά.

Διάφορα είδη καλουπιών φαίνονται στην εικόνα 4.3.[10]



4.4 Μέθοδοι Rapid Tooling με θερμοπλαστικά υλικά

RTV Molding/Urethane Casting

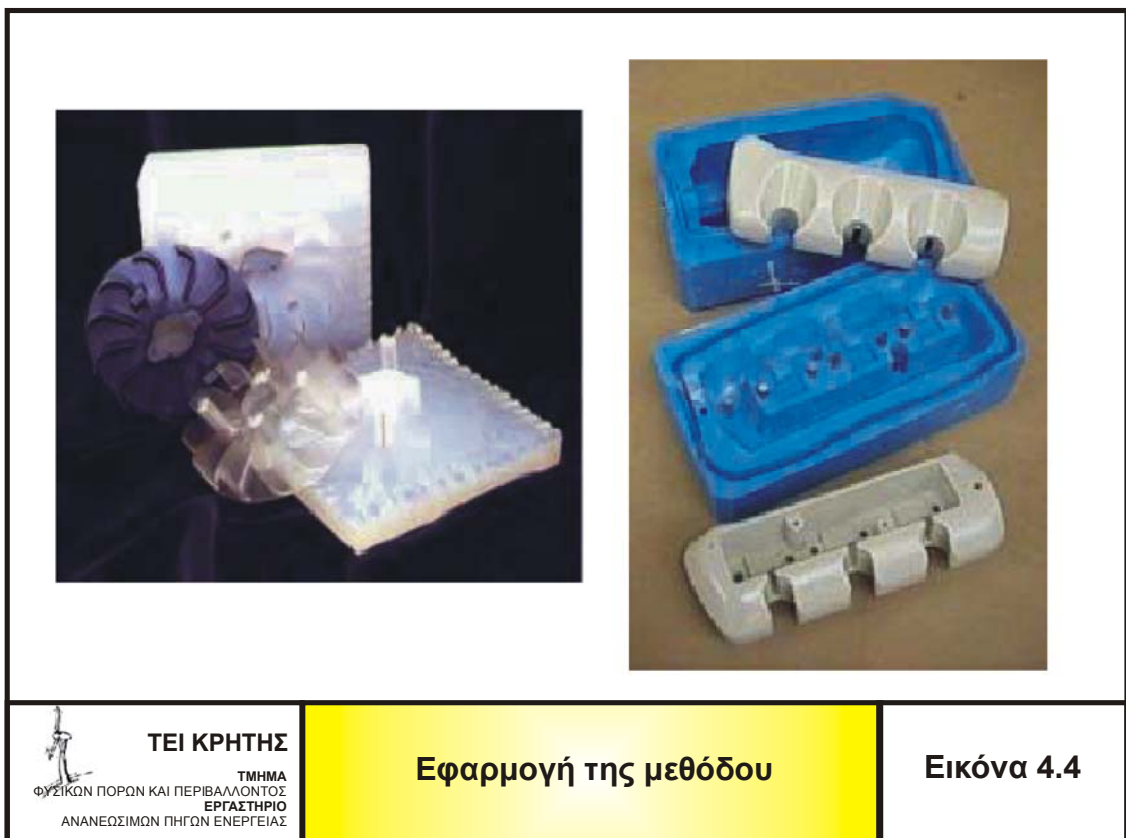
Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου με θερμοπλαστικά υλικά είναι:

- Τα καλούπια είναι από καουτσούκ.
- Κατασκευάζονται περίπου 10 αντικείμενα από πολυουρεθάνη, τα οποία επιδέχονται μηχανική κατεργασία.
- Απαιτείται πρωτότυπο για την κατασκευή του καλουπιού, οι διαστάσεις του οποίου πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η συρρίκνωση του καουτσούκ.
- Γίνεται ενδιάμεση επεξεργασία με άμμο, ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί το αντικείμενο, όταν κατασκευαστεί το καλούπι.
- Ο χρόνος σκλήρυνσης του καλουπιού μπορεί να είναι από 30 λεπτά ως 40 ώρες.

Έχουν παρουσιαστεί 3 παραλλαγές της μεθόδου:

- Gravity Casting: Έγχυση βασισμένη στη βαρύτητα.
- Vacuum Cast Molding: Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε.
- Thin Wall RIM: δημιουργία 3 έως 4 αντιγράφων την ώρα.

Εφαρμογή της μεθόδου φαίνεται στην εικόνα 4.4.[10]



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εφαρμογή της μεθόδου

Εικόνα 4.4

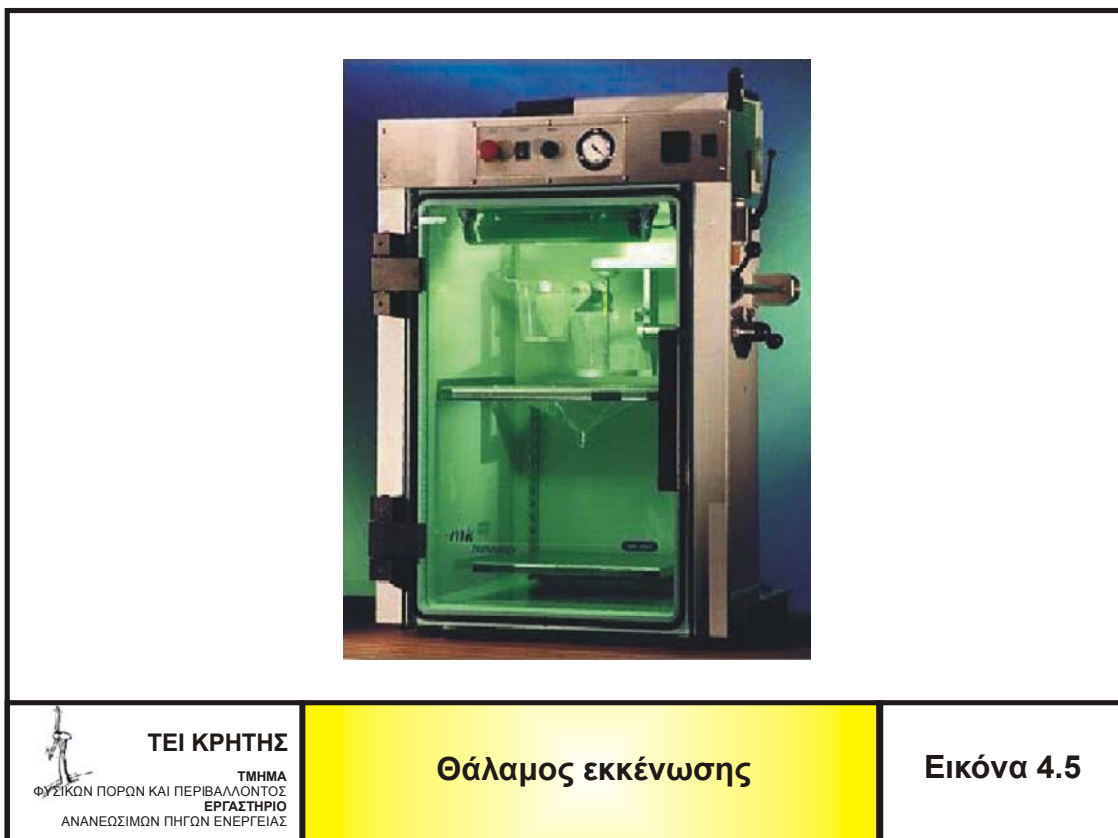
4.5 Μελέτη και ανάπτυξη προϊόντων με το σύστημα Vacuum Casting MK-Mini

Αυτό το σύστημα έχει κατασκευαστεί σαν ένα σύστημα χαμηλού κόστους για αρχάριους, εύκολο στη χρήση δημιουργήθηκε για εκπαίδευση σε πανεπιστήμια και για μικρές εταιρίες. Με λίγα λόγια είναι ένα μέσο για να φτάσουμε στην όσο το δυνατό καλύτερη παραγωγή μέσω αυτής της μεθόδου.

Το σύστημα αυτό έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- 1) Τέλεια οπτική επαφή με το εσωτερικό χάρη στην μεγάλη γυάλινη πόρτα, εύκολος χειρισμός των δοχείων, διαφανή δοχεία και φωτεινό εσωτερικό.
- 2) Πολύ καλή εργονομία εξαιτίας του εύκολου χειρισμού των μοχλών από την δεξιά πλευρά της μηχανής.
- 3) Ακριβής λειτουργίες χάρη στον άμεσο χειρισμό των μοχλών και της ταχύτητας του μίξερ.
- 4) Εύκολη πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες του.
- 5) Τέλεια σχέση μεταξύ του μέγιστου μεγέθους του καλουπιού που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και του χώρου που καταλαμβάνει ολόκληρο το σύστημα.
- 6) Συμπαγής κατασκευή, χρήση συγκεκριμένων υλικών και μεγάλη διάρκεια πριν από κάθε συντήρηση.
- 7) Τέλεια σχέση αξίας και τιμής.

Όταν ο θάλαμος έχει εκκενωθεί πλήρως από τον αέρα τότε, τα τοιχώματά του και η πόρτα του δέχονται πιέσεις της τάξεως των 3-4 τόνων. Για αυτό το λόγο ένας τέτοιος θάλαμος θα πρέπει να είναι πολύ γερός και σταθερός (Εικόνα 4.5). Με τοίχους φτιαγμένους από 10 mm ασάλι και 39 mm γυαλί, το βάρος του είναι πολύ υψηλό (250kg). Η μεταφορά του λοιπόν πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά και με τον κατάλληλο εξοπλισμό.[10]



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Θάλαμος εκκένωσης

Εικόνα 4.5

4.5.1 Ρητίνες και Εξαρτήματα

Όλες οι ρητίνες που προσφέρονται με την μηχανή, είναι ειδικά κατασκευασμένες για να χρησιμοποιούνται στον θάλαμο εκκένωσης, γι' αυτό και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αλλού. Κατά κύριο λόγο, υπάρχουν ρητίνες δύο υλικών, αποτελούμενες από Polyole και Isocyanate. Η αναλογία του μίγματος πρέπει να είναι μεταξύ του 100:100 και 100:75, γι' αυτό και πρέπει οι ποσότητες να υπολογίζονται με ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας, με μέγιστη απόκλιση +/- 2 gr. Πριν το ζύγισμα των υλικών αυτά πρέπει να ανακατεύονται προσεκτικά .

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι PU ρητίνες απορροφούν την υγρασία του αέρα, τα μπουκάλια τους πρέπει να αποθηκεύονται σε ένα ξηρό δωμάτιο στους 18°C περίπου, και να ανοίγονται ακριβώς πριν χρησιμοποιηθούν. Το συστατικό A, το σκληρυντικό, μπορεί να κρυσταλλοποιηθεί, ανάλογα με τον χρόνο και την θερμοκρασία αποθήκευσης.

Εάν εμφανιστούν κρύσταλλοι, στο υλικό A, τότε αυτό πρέπει να βρεθεί σε θερμοκρασία της τάξεως των 70°C για περίπου 2-3 ώρες, έως ότου αυτοί εξαφανιστούν. Σημαντικό είναι να μην αρχίζει η διαδικασία, πριν η ρητίνη κρυώσει και φτάσει στους 35°C, γιατί αλλιώς ο χρόνος πήξης της θα είναι πολύ μικρός.

Για τον χρωματισμό των ρητινών, με το μηχάνημα προσφέρονται και παστέλ μπογιές για όλα τα βασικά χρώματα. Τα χρώματα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στις μαύρες ρητίνες.

Όλα τα χρώματα πρέπει να αναμειγνύονται με το συστατικό A, Polyole, με εξαιρετική προσοχή. Εάν η εργασία απαιτεί έναν αριθμό αντικειμένων με το ίδιο χρώμα, τότε προτείνεται η κατασκευή μιας αρκετά μεγάλης, έγχρωμης, ποσότητας του συστατικού A, η οποία θα χρησιμοποιείται σε κάθε αντικείμενο.[10]

4.5.2 Προετοιμασία των υλικών

Ζυγίζεται η θερμή ρητίνη (35°C) και γεμίζεται το δοχείο Α με το λιγότερο παχύρρευστο υλικό. Τοποθετείται το δοχείο και ο αναδευτήρας στις θέσεις τους, κλείνεται η πόρτα και εκκενώνεται ο θάλαμος, γυρίζοντας τον διακόπτη τριών θέσεων στην πάνω θέση. Εάν είναι απαραίτητο, αφήνεται ο αναδευτήρας να γυρίζει, έτσι ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία εξαέρωσης.

Μετά το πέρας της εκκένωσης (5-20 λεπτά), επαναφέρεται ο θάλαμος στην φυσιολογική του κατάσταση, γυρίζοντας τον διακόπτη στην κάτω θέση. Τοποθετείται το θερμό καλούπι (70°C) κάτω από το χωνί, εφαρμόζοντάς το στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού. Εάν χρειάζεται το καλούπι να ανασηκωθεί παραπάνω τοποθετείται από κάτω του κάποιο πιάτο που θα το σηκώσει.[10]

4.5.3 Η διαδικασία έκχυσης των υλικών

Εκκενώνεται ξανά ο θάλαμος. Μετά από περίπου 3 λεπτά ή μόλις φτάσει η τιμή εκκένωσης το 1 mbar αναμειγνύονται τα υλικά. Ξεκινάει το μίξερ και στραγγίζεται το δοχείο Α. Ανακατεύεται το μίγμα για 30-60 δευτερόλεπτα, και μετά σταματάει το μίξερ. Ανάλογα με το πόσες φυσαλίδες υπάρχουν στο μίγμα, μειώνεται η πίεση γυρίζοντας τον διακόπτη στην κάτω θέση έως ότου φτάσει την τιμή -0,90 με -0,95. Μετά γυρίζεται ο διακόπτης στην οριζόντια θέση.

Γυρίζεται ο μοχλός του δοχείου Β και αδειάζεται το μίγμα στο καλούπι. Μετά επανέρχεται το δοχείο στην κανονική του θέση. Μόλις το μίγμα ξεχειλίζει στα ανοίγματα του καλουπιού, γυρίζεται ο διακόπτης στην κάτω θέση, βγαίνει το καλούπι από τον θάλαμο και τοποθετείται μέσα στο φούρνο των 70°C. Στο τέλος βγαίνει ο αναδευτήρας και καθαρίζεται.[10]

4.5.4 Φτιάχνοντας το καλούπι σιλικόνης

Γενικά κάθε υλικό είναι αποδεκτό για το αρχικό μοντέλο, ανεξαρτήτως σχήματος και μεγέθους. Παρόλα αυτά υπάρχουν μερικοί συγκεκριμένοι περιορισμοί:

- Για τον θάλαμο εκκένωσης, το αρχικό μοντέλο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 440×440×370 mm.
- Βασικά υλικά για τα καλύτερα αποτελέσματα είναι:

α) Θερμοπλαστικά, θερμοπηκτικά πλαστικά, ελαστομερή

β) Μέταλλα, όπως το αλουμίνιο, ασάλι κ.ά.

γ) Ξύλο, με την προϋπόθεση ότι η επιφάνειά του είναι λεία και βερνικωμένη.

δ) Μοντέλα από Rapid Prototyping όλων των ειδών όπως :

- Στερεολιθογραφία

- LOM μετά από επεξεργασία της επιφάνειας ανάλογη με αυτή του ξύλου.

- Laser-Sintering, απαιτείται επεξεργασία της επιφάνειας για την ομαλοποίηση και λείανσή της.

- Η επιφάνεια πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο λεία και απαλή. Πρέπει επίσης πάντα να λαμβάνεται υπ' όψιν ότι το αρχικό μοντέλο θα αναπαραχθεί πλήρως με όλες του τις λεπτομέρειες, περιλαμβάνοντας και τυχόν ατέλειες που μπορεί να έχει. Γι' αυτό ακριβώς αξίζει τον κόπο να αφιερωθεί αρκετός χρόνος στην προετοιμασία του πρωτότυπου.[10]

4.5.5 Διαχωρισμός των γραμμών μετά το καλούπι

Για απλά γεωμετρικά σχήματα και συμμετρικά συστατικά αυτών, η δημιουργία του καλουπιού πρέπει να γίνεται έχοντας το αρχικό μοντέλο να αιωρείται μέσα στο χώρο που έχουμε θέσει εξαρχής ως τα όρια του καλουπιού, με την βοήθεια κάποιου ξύλου ή κάποιας άλλης βάσης. Έτσι όπως αυτό αιωρείται γεμίζει στην συνέχεια με σιλικόνη, η οποία το καλύπτει τελείως.

Κατόπιν αφού η σιλικόνη στερεοποιηθεί πρώτα από όλα θα πρέπει να αφαιρεθούν οι βάσεις που στηρίζανε το μοντέλο.

Η αποκόλληση του μοντέλου από την σιλικόνη θα γίνει πιο εύκολα εάν διοχετευτεί μέσα στο καλούπι αέρας υπό πίεση (6-10 bar) με τη βοήθεια ενός πιστολιού πεπιεσμένου αέρα. Μετά από μερικές προσπάθειες με τον πεπιεσμένο αέρα θα φαίνεται και με το μάτι ότι μερικά κομμάτια από το αρχικό μοντέλο θα έχουν ήδη αποκολληθεί από την σιλικόνη.

Απλά γεωμετρικά σχήματα, όπως κύλινδροι και κώνοι, μπορεί να αποκολληθούν τελείως με τον πεπιεσμένο αέρα. Γι' αυτό το λόγο το καλούπι ανοίγεται σε ένα του σημείο με ένα αιχμηρό αντικείμενο. Εάν πριν το ρίξιμο της σιλικόνης έχουμε αφήσει ένα άνοιγμα της τάξεως των 3-6 mm τότε θα είναι πιο εύκολο μετά την στερεοποίηση της σιλικόνης να εισχωρήσει, με την βοήθεια του πιστολιού, ο πεπιεσμένος αέρας σε όλες τις επιφάνειες του μοντέλου. Έτσι το μοντέλο θα βγει σχεδόν από μόνο του μέσα από το καλούπι της σιλικόνης. Αυτός θεωρείται ο πιο εύκολος τρόπος για να βγάλουμε το πρωτότυπο μέσα από την σιλικόνη.

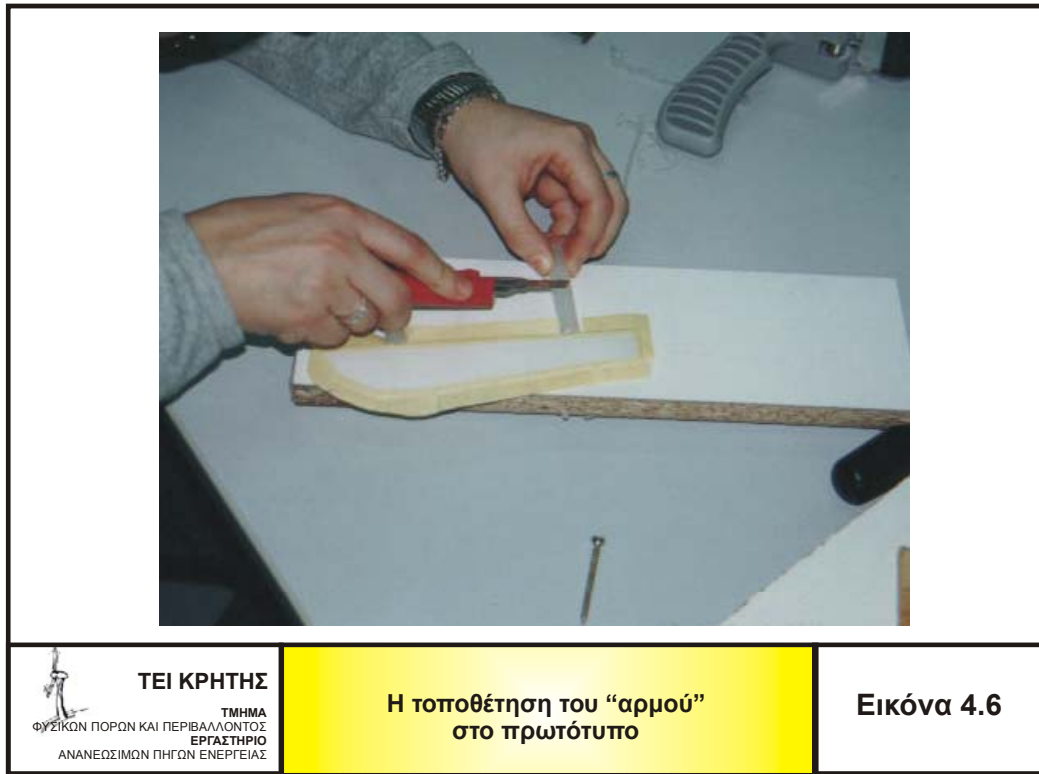
Με την βοήθεια της λαβίδας και μιας λεπίδας το καλούπι μπορεί να κοπεί, με εξαιρετική προσοχή, σε δύο μισά. Απαιτείται προσοχή και αυτό διότι δεν πρέπει να «τραυματιστεί» το αρχικό μοντέλο και δεν πρέπει να δημιουργηθούν φιλέτα κατά το κόψιμο της σιλικόνης. Για την πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο το μοντέλο να έχει ήδη αποκολληθεί από την σιλικόνη, με την βοήθεια του αέρα, κατά 1-2 mm. Η ακρίβεια σε αυτήν την διαδικασία απαιτεί αρκετή εξάσκηση.[10]

4.5.6 Διαχωρισμός των γραμμών με κολλητική ταινία

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για τον διαχωρισμό των γραμμών του αρχικού μοντέλου είναι η χρήση αυτοκόλλητης ταινίας. Η ταινία αυτή χρησιμοποιείται για να κλείσει όλα τα τυχόν ανοίγματα που υπάρχουν στο μοντέλο, και να τοποθετήσει ένα είδος «αρμού» γύρω από το μοντέλο (Εικόνα 4.6 και Εικόνα 4.7).

Η ταινία τοποθετείται βήμα-βήμα γύρω από την επιφάνεια το μοντέλου, σε λίγο μεγαλύτερο μέγεθος από το απαιτούμενο έτσι ώστε να δημιουργηθεί ο επιθυμητός «αρμός». Η ταινία που περισσεύει εσωτερικά αφαιρείται με ένα κοπίδι. Η εξωτερική ταινία που περισσεύει κόβεται με ένα ψαλίδι αφήνοντας όμως μια επιφάνεια 10-20 mm να προεξέχει. Το πόσο μεγάλη θα είναι αυτή η επιφάνεια εξαρτάται από το μέγεθος του αρχικού μοντέλου.

Αφού η σιλικόνη έχει στερεοποιηθεί, το καλούπι κόβεται σε δύο μέρη στο σημείο που διαγράφεται από την ταινία που έχει αφεθεί να προεξέχει. Είναι σημαντικό η μύτη του κοπιδίου να «δείχνει» πάντα προς την κατεύθυνση της ταινίας.

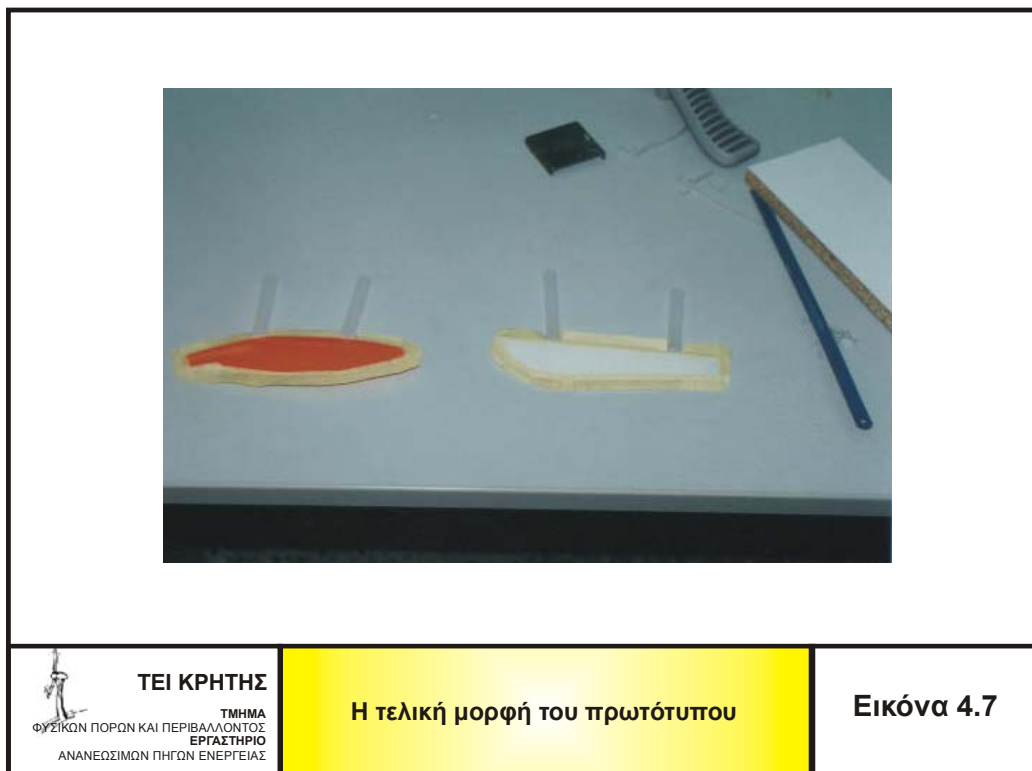


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τοποθέτηση του “αρμού”
στο πρωτότυπο

Εικόνα 4.6

Λαμβάνοντας υπ’ όψιν ότι η ταινία είναι αρκετά ευδιάκριτη μέσα στο καλούπι της σιλικόνης, το κόψιμο είναι πάρα πολύ εύκολο. Συνήθως το καλούπι παραμένει ενωμένο σε αρκετά σημεία. Για να ανοίξει τελείως, ανοίγονται τα δύο μισά του καλουπιού με μία λαβίδα και γίνονται μικρά κοψίματα πάντα σύμφωνα με την διεύθυνση της ταινίας. Πριν ανοιχθεί τελείως το καλούπι πρέπει πρώτα να διοχετευθεί μέσα στο καλούπι πεπιεσμένος αέρας, μέσω του ανοίγματος που έχει ήδη γίνει. Αυτό διευκολύνει τα επόμενα βήματα (Εικόνα 4.9).[10]



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τελική μορφή του πρωτότυπου

Εικόνα 4.7

4.5.7 Ανοίγματα και Στηρίγματα

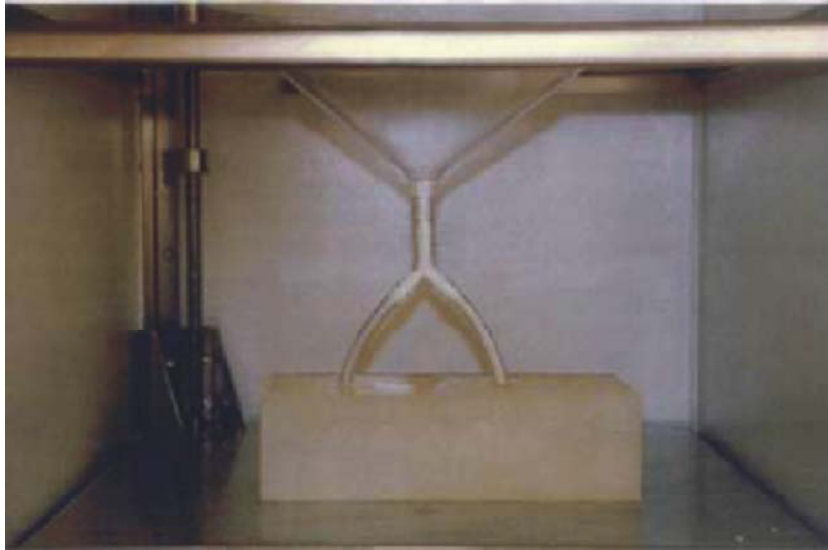
Ο αριθμός και η διάμετρος των ανοιγμάτων που θα αφεθούν στο καλούπι εξαρτάται από το μέγεθος του αρχικού του μοντέλου. Για μικρά μοντέλα, στο μέγεθος μιας γροθιάς, μία διάμετρος της τάξεως των 8 mm θα ήταν κατάλληλη. Για μεγέθη παραπλήσια ενός κινητού τηλεφώνου η διάμετρος θα πρέπει να είναι περίπου 10mm. Εάν το βάρος του αρχικού μοντέλου ξεπερνάει τα 200gr η σωστή διάμετρος πρέπει να είναι 12 mm.

Ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου και τον χρόνο πήξης του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για το αντικείμενο που θα φτιαχτεί, δύο και αρκετές φορές ακόμα και 3 ή 4 ανοίγματα απαιτούνται. Αυτά τα ανοίγματα επικοινωνούν μεταξύ τους με το εργαλείο «Υ» όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα 4.8.

Τα ανοίγματα, όταν είναι παραπάνω από ένα πρέπει να ισαπέχουν από το αντικείμενο και αυτό για να χύνεται το υλικό ομοιόμορφα σε όλα τα σημεία. Για την δημιουργία των ανοιγμάτων τα πιο κατάλληλα υλικά είναι κυλινδρικές μπάρες είτε από ατσάλι είτε, όπως στην περίπτωση μας, από στερεοποιημένη κόλλα παραγωγής.

Οι μπάρες αυτές μπορούν αρκετά συχνά να αντικαταστήσουν ακόμα και αυτά τα στηρίγματα που κρατούν το μοντέλο να αιωρείται μέσα στα όρια του καλουπιού.

Η χρησιμοποίηση ενός μικρού απλού χωνιού, κυρίως για μικρά αντικείμενα, αντί ενός χειροποίητου, είναι μερικές φορές ιδιαίτερα χρήσιμο και αυτό γιατί στο καλούπι βγαίνουν, στο πάνω του μέρος, και τα τοιχώματα του χωνιού τα οποία θα μπορούν στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους σαν χωνί για το υλικό που θα χύσουμε μέσα στο καλούπι (Εικόνα 4.10).



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το εργαλείο “Υ”

Εικόνα 4.8



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το καλούπι ανοιγμένο

Εικόνα 4.9

Το καλούπι κλείνει, τοποθετείται μέσα στο φούρνο, ακριβώς κάτω από το μεγάλο χωνί της μηχανής, και το υλικό αφού ζυγιστεί χύνεται μέσα. Βέβαια με αυτήν την μέθοδο τα ανοίγματα και το χωνί θα ξεχειλίσουν αλλά δεν θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα κυρίως όταν αυτό αφορά μικρά μοντέλα. Εάν το μοντέλο είναι επίπεδο, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα είδος λεπτού ανοίγματος. Ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου, για παράδειγμα, κόβεται σωστά και κολλάται στην μπροστινή μεριά του μοντέλου. Στην πλευρά, που είναι αντίθετα από το αντικείμενο, το φύλλο αυτό καταλήγει σε ένα κώνο ή σε μία κυλινδρική μπάρα, στην είσοδο

της οποίας στην συνέχεια θα μπορέσει να εφαρμόσει το χωνί της μηχανής. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι το καλούπι γεμίζει ομοιόμορφα και η βάση του ανοίγματος μπορεί να αφαιρεθεί πολύ εύκολα.

Είναι καλύτερο τα περαιτέρω μικρά ανοίγματα να τοποθετούνται αργότερα. Τα πλεονεκτήματα αυτής μας της κίνησης είναι: Σε συνάρτηση με την γεωμετρία του αντικειμένου, η πρώτη εξαέρωση δείχνει το εάν και πού απαιτούνται νέα ανοίγματα.

Αφού τα ανοίγματα αυτά θα πρέπει να είναι παράλληλα και μεταξύ τους και με το κεντρικό άνοιγμα, για να βοηθούν στην απελευθέρωση του αντικειμένου από το καλούπι, τα ανοίγματα θα πρέπει να γίνονται με τρυπάνι διαμέτρου 1,5-2 mm και με την μέγιστη ταχύτητα.



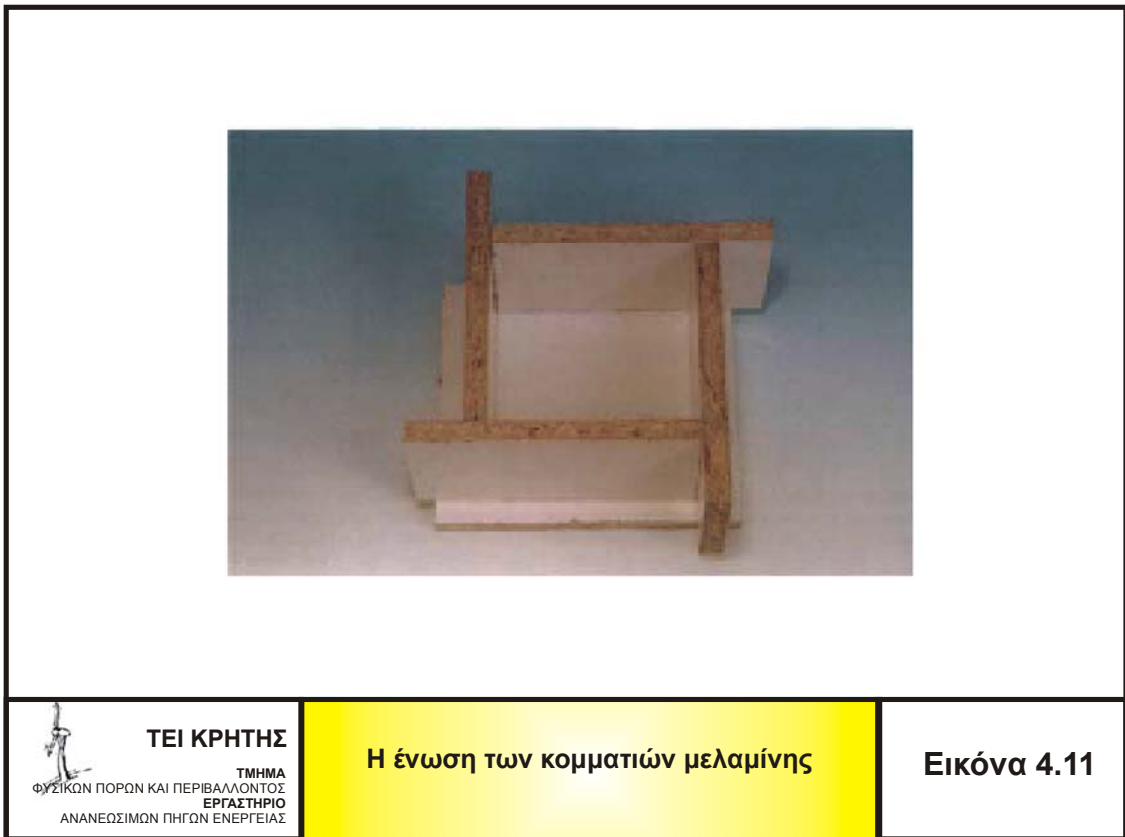
Τα ανοίγματα πρέπει να γίνονται στα σημεία όπου, μετά την εξαέρωση έχουμε ίχνη εγκλωβισμού του αέρα, δηλαδή φουσκάλες. Το τρύπημα του καλουπιού απαιτείται κυρίως στα λεπτά και ψηλά σημεία του μοντέλου.[10]

4.5.8 Τα όρια του καλουπιού

Υπάρχουν περισσότεροι από ένας τρόποι για την επίτευξη του τελικού αποτελέσματος. Καταρχήν το όρια του καλουπιού πρέπει να έχουν λεία τοιχώματα και να έχουν κατασκευαστεί με τέτοιον τρόπο έτσι ώστε το πρωτότυπο μοντέλο να απέχει από τα τοιχώματα, αν είναι μικρό 20-30 mm, και αν είναι μεγάλο 100 mm. Η γεωμετρία και το σχήμα των ορίων του καλουπιού εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την γεωμετρία του μοντέλου και από το σημείο που θα τοποθετηθεί το κεντρικό άνοιγμα. Υπάρχουν δύο τρόποι διαμόρφωσης των ορίων του καλουπιού με κομμάτια μελαμίνης και με έτοιμα δοχεία παραγωγής. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος.[10]

4.5.9 Με κομμάτια μελαμίνης

Για καλούπια σε σχήμα κύβου η χρησιμοποίηση κομματιών μελαμίνης είναι από τις πλέον ενδεδειγμένες λύσεις. Η βάση φτιάχνεται από ένα αρκετά χοντρό κομμάτι ξύλου. Τα τέσσερα τοιχώματα φτιάχνονται και αυτά με κομμάτια μελαμίνης αλλά η τοποθέτησή τους πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας πάντα υπ' όψιν το μέγεθος του μοντέλου. Τα τοιχώματα αυτά μπορούν να τοποθετηθούν με το μάτι και χωρίς να κοπούν ακριβώς. Αρκεί βέβαια το συνολικό μέγεθος να μην είναι μεγαλύτερο από τον φούρνο της μηχανής. Τα κομμάτια της μελαμίνης ενώνονται μεταξύ τους με κόλλα (Εικόνα 4.11). Αυτό το γεγονός κάνει πολύ εύκολη την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγησή τους.[10]

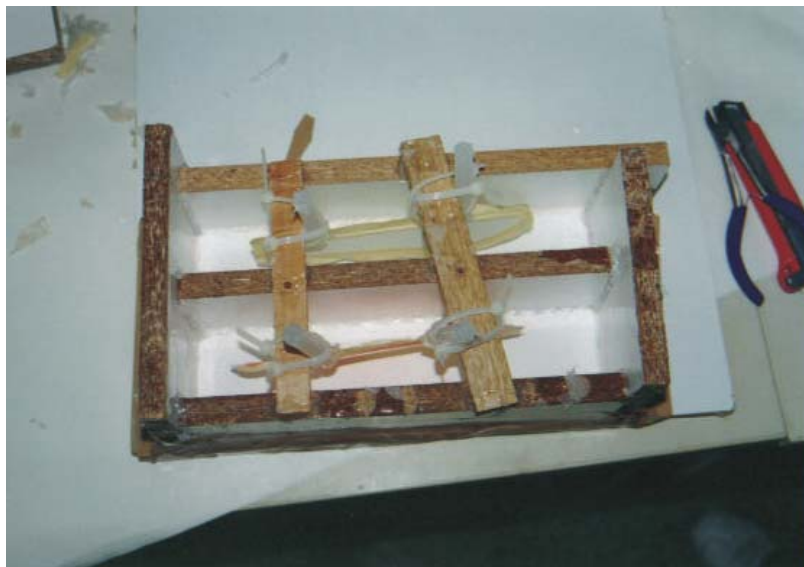


4.5.10 Τοποθέτηση του πρωτότυπου μέσα στα όρια του καλουπιού

Καταρχήν είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται πάντα υπ' όψιν η δύναμη της άνωσης στο αντικείμενο από την σιλικόνη. Είναι κάτι παραπάνω από ενοχλητικό όταν τα στηρίγματα που έχουν τοποθετηθεί, σπάσουν κατά την διάρκεια του γεμίσματος της σιλικόνης και το πρωτότυπο ανέβει στην επιφάνεια. Σε αυτήν την περίπτωση τόσο η σιλικόνη όσο και το καλούπι είναι πλέον άχρηστα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η σιλικόνη είναι αρκετά παχύρρευστη, και ότι το καλούπι συνήθως γεμίζει από την μία πλευρά, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ασκείται αρκετή πίεση στην μια πλευρά του αντικειμένου έως ότου αυτό καλυφθεί πλήρως με την σιλικόνη. Αυτές οι δυνάμεις που ασκούνται μπορεί να προκαλέσουν το σπάσιμο των στηριγμάτων που τυχόν έχουμε τοποθετήσει.

Για όλα τα παραπάνω είναι περισσότερο από κατανοητό ότι το πρωτότυπο πρέπει να στερεωθεί όσο καλύτερα γίνεται μέσα στα όρια του καλουπιού. Εάν το πρωτότυπο έχει σπειροειδή ανοίγματα ή άλλα ανοίγματα που μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθούν, τότε η

στήριξη του με μία βίδα είναι ότι καλύτερο και σταθερότερο. Σε πολλές περιπτώσεις τέτοιου είδους στηρίξεις μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για ανοίγματα εισχώρησης του υλικού στο καλούπι.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τοποθέτηση των πτερυγίων μέσα
στα όρια του καλουπιού

Εικόνα 4.12

Εάν η στήριξη με βίδα δεν είναι εφικτή, π.χ. το αντικείμενο έχει πολύ λεπτά τοιχώματα, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί κόλλα, με ιδιαίτερη όμως προσοχή. Παράλληλα με το κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού, η στήριξη θα πρέπει να περιλαμβάνει δύο ή τρία καλώδια τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν σαν μικρά ανοίγματα (Εικόνα 4.12). Όλα αυτά τα στηρίγματα τοποθετούνται σε «γέφυρες» οι οποίες μοντάρονται στο άνω χείλος του κουτιού που διαμορφώνει τα όρια του καλουπιού. Για την ένωση όλων αυτών των στηριγμάτων, συμπεριλαμβανόμενων και των «γεφυρών» χρησιμοποιείται κόλλα, ταινία ή λάστιχα.

Σε περίπτωση που το αρχικό μοντέλο έχει τρύπες οι οποίες βρίσκονται στην ίδια ευθεία, μία καλή λύση για την κάλυψη τους είναι η χρησιμοποίηση καρφιών. Τα καρφιά αυτά περνούν μέσα από όλες τις τρύπες. Πρέπει τα καρφιά αυτά να είναι αρκετά μεγάλα έτσι ώστε να διαπερνούν το καλούπι από άκρη σε άκρη.

Τοποθετούνται πριν την σιλικόνη και αφαιρούνται πριν βγει το πρωτότυπο από το καλούπι. Μόλις βγει, στη συνέχεια ξανατοποθετούνται έτσι ώστε ρίχνοντας κατόπιν το υλικό για την παρασκευή των αντικειμένων αυτά να έχουν ακριβώς τις ίδιες τρύπες όπως και το πρωτότυπο. Η μέθοδος αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα από το να καλυφθούν οι τρύπες με ταινία.[10]

4.5.11 Υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας σιλικόνης

Αρχικά υπολογίζεται ο όγκος του καλουπιού σε λίτρα και κατόπιν το βάρος του μοντέλου. Ο πιο εύκολος τρόπος, όπου αυτό είναι δυνατόν, είναι γεμίζοντας το καλούπι με νερό, περιλαμβάνοντας μέσα του και το πρωτότυπο. Κατόπιν να αδειάζεται το νερό σε ένα δοχείο και να μετριέται το βάρος του. Βέβαια, αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε

αδιάβροχα υλικά, και εννοείται ότι κατά την επεξεργασία του μοντέλου δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ταινίες ή άλλα παρεμφερή υλικά. Η υπολογισμένη τιμή, σε λίτρα, πολλαπλασιάζεται με το 1,2 για να βρεθεί η απαιτούμενη ποσότητα σιλικόνης.

Παράδειγμα:

Μέγεθος του καλουπιού : $2\text{dm} \times 2\text{dm} \times 1,5\text{dm} = 6\text{ltr}$

Υπολογιστική τιμή για το πρωτότυπο: $0,5\text{ltr}$

Απαιτούμενη ποσότητα σιλικόνης: $6\text{ltr} - 0,5\text{ltr} = 5,5\text{ltr} \times 1,2 = 6,6\text{kg}$

Άρα η ποσότητα της σιλικόνης που απαιτείται είναι 6kg και η ποσότητα του σκληρυντικού 600gr.[10]

4.5.12 Προετοιμάζοντας την σιλικόνη

Αφού έχουν ζυγιστεί ήδη οι ποσότητες της σιλικόνης και του σκληρυντικού τοποθετούνται και τα δύο μέσα σε έναν κουβά. Εκεί ανακατεύονται, κατά προτίμηση για καλύτερη μίξη των υλικών με ένα τρυπάνι στο οποίο έχει εφαρμοστεί ένας αναδευτήρας. Στο σημείο της μίξης είναι σημαντικό να ελεγχθεί η ώρα, και αυτό για να μην ξεπεραστεί ο χρόνος πήξης της σιλικόνης που ανέρχεται περίπου στις δύο ώρες. Το δοχείο ή ο κουβάς που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος, και αυτό γιατί η σιλικόνη, κατά την διάρκεια της εξαέρωσης, θα φουσκώσει 5-8 φορές παραπάνω από τον αρχικό της όγκο (Εικόνα 4.13).

Εάν η ποσότητα της σιλικόνης είναι μικρή, τότε η εξαέρωση της σιλικόνης δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται μεγάλη προσοχή. Αυτό γίνεται γιατί η σιλικόνη φουσκώνει μέσα στον θάλαμο και υπάρχει φόβος υπερχείλισης. Για αυτό τον λόγο πρέπει η εξαέρωση της σιλικόνης να παρακολουθείτε καθ' όλη τη διάρκεια. Για την καλύτερη εξαέρωση της σιλικόνης θα πρέπει η πίεση μέσα στον θάλαμο να διατηρείται σε μία τιμή της τάξεως του 1 mbar (Εικόνα 4.14).



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανάμειξη της σιλικόνης

Εικόνα 4.13



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Εξαέρωση της σιλικόνης στο θάλαμο
και απελευθέρωση του αέρα**

Εικόνα 4.14

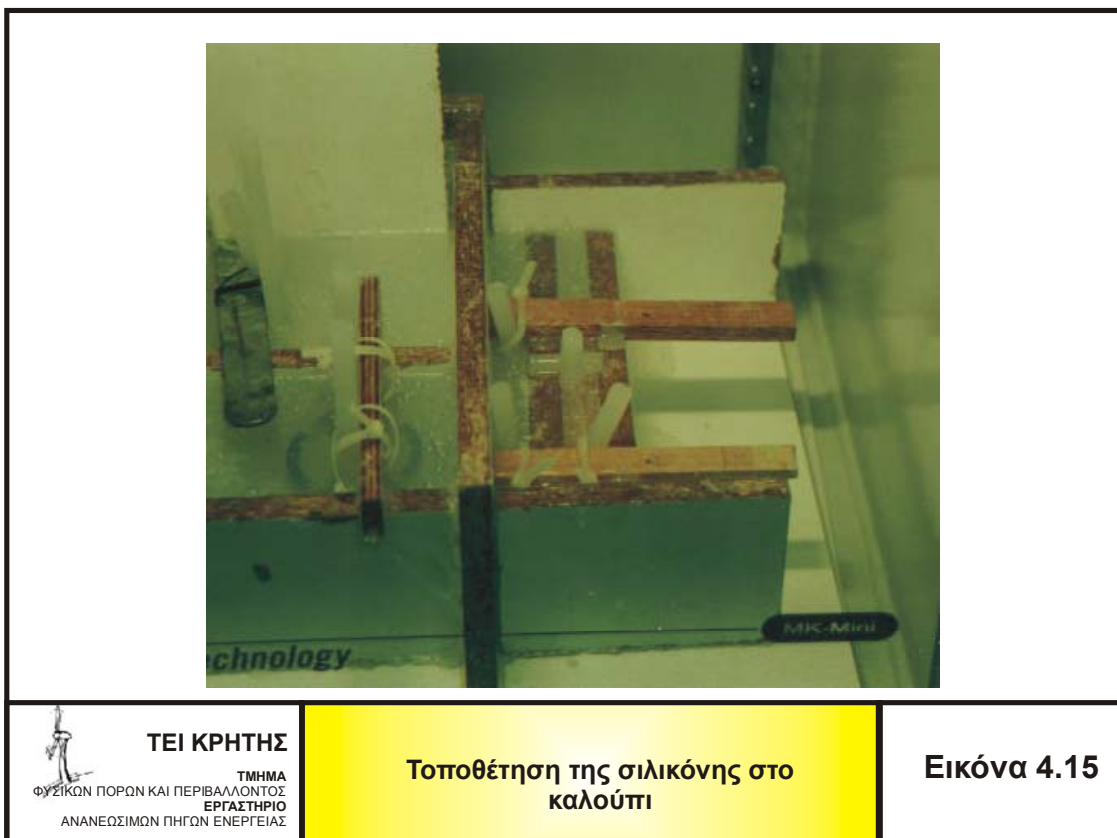
Η διατήρηση αυτής της πίεσεως επιτυγχάνεται με την κατά τακτά χρονικά διαστήματα μείωσή της. Η μείωση αυτή εκτός από τα παραπάνω , βοηθάει και στην απελευθέρωση του

εγκλωβισμένου αέρα. Ο αέρας αυτός βρίσκεται μέσα σε φουσκάλες οι οποίες εμφανίζονται στην επιφάνεια της σιλικόνης. Οι ενέργειες αυτές γίνονται χειροκίνητα.

Η διαδικασία της εξαέρωσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα τριάντα λεπτά. Κατόπιν γίνεται αποσυμπίεση του θαλάμου της μηχανής και βγαίνει έξω το μίγμα της σιλικόνης.

Στη συνέχεια η εξαερωμένη σιλικόνη χύνεται προσεκτικά μέσα στο καλούπι, προσέχοντας να καλύψει πλήρως το πρωτότυπο. Είναι πρακτικό κατά τη διάρκεια του γεμίσματος, το καλούπι να βρίσκεται υπό κλίση για την καλύτερη έκχυση μέσα σε αυτό της σιλικόνης. Μόλις το καλούπι γεμίσει και η σιλικόνη καλύψει πλήρως το μοντέλο, ξανατοποθετείται μέσα στο θάλαμο για νέα εξαέρωση (Εικόνα 4.15).

Παρά την προηγούμενη εξαέρωση που έχουμε κάνει θα ξαναεμφανιστούν φυσαλίδες. Η όλη διαδικασία πρέπει να παρατηρείται προσεκτικά, και αυτό για να αποφευχθεί, μέσω των αυξομειώσεων της πίεσης, η υπερχείλιση της σιλικόνης. Η δεύτερη εξαέρωση διαρκεί και αυτή περίπου τριάντα λεπτά. Ανάλογα με το πόσο επείγει η κατασκευή του καλουπιού, η σιλικόνη στερεοποιείται πλήρως είτε σε 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου, είτε σε τρεις ώρες σε θερμοκρασία της τάξεως των 80°C, από την στιγμή που θα ολοκληρωθεί η δεύτερη εξαέρωση. Καλό είναι να προτιμάται η αργή σκλήρυνση της σιλικόνης, σε φυσιολογικές συνθήκες, εξαιτίας του ότι η μεγάλη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει διαστολές μέσα στο καλούπι οι οποίες είναι ανεπιθύμητες.[10]



4.5.13 Άνοιγμα του καλουπιού της σιλικόνης

Μετά την σκλήρυνση της σιλικόνης το καλούπι μπορεί πλέον να ανοιχθεί (Εικόνα 4.16). Εάν αυτό είναι εφικτό,

καλό θα είναι να χρησιμοποιηθεί πετρευσμένος αέρας πριν το άνοιγμα του καλούπι. Για να γίνει αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί το άνοιγμα που έχει αφεθεί στο καλούπι. Ο πετρευσμένος αέρας μπορεί να προκαλέσει μέχρι και την ολική αποκόλληση του μοντέλου από την σιλικόνη.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στερεοποίηση της σιλικόνης

Εικόνα 4.16

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το καλούπι μπορεί να ανοιχθεί με μία κυματοειδή τομή σε όλη την περιφέρειά του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η σιλικόνη είναι διαφανής, ο χειρισμός και ο καθορισμός της κατεύθυνσης του κοπιδιού γίνεται αρκετά εύκολα. Η κυματοειδής τομή θα βοηθήσει στην μετέπειτα ένωση των δύο κομματιών του καλούπιού.

Κατά την διάρκεια της κοπής είναι σημαντικό η λεπίδα να «κοιτάει» πάντα προς την ταινία. Αφού ολοκληρωθεί η πρώτη τομή, χρησιμοποιούμε λαβίδα για τον διαχωρισμό των δύο κομματιών. Κάνοντας αυτόν τον διαχωρισμό μπορούν να κοπούν όποια κομμάτια σιλικόνης έχουν απομείνει μεταξύ του πρώτου κοψίματος και της ταινίας. Αυτό γίνεται έως ότου το καλούπι χωριστεί πλήρως σε δύο κομμάτια.

Το πρωτότυπο αφαιρείται προσεκτικά από το εσωτερικό του καλούπιού. Κατόπιν αφαιρούνται τυχόν υπολείμματα ταινίας η σιλικόνης και το καλούπι είναι πλέον έτοιμο για την κατασκευή του πρώτου αντικειμένου.[10]

4.5.14 Κατασκευή των αντικειμένων από το καλούπι

Πριν κλείσει το καλούπι πρέπει να το ψεκαστεί με ένα ειδικό σπρέι το οποίο περιλαμβάνεται μέσα στη μηχανή. Ο ψεκασμός με αυτό το σπρέι πρέπει να γίνεται στο εσωτερικό του καλούπιού, και βοηθάει στην μετέπειτα εύκολη αποκόλληση του αντικειμένου από το καλούπι. Υπάρχουν δύο τρόποι για το κλείσιμο του καλούπιού.

Ο ένας τρόπος είναι η ένωσή του με συρραπτικά. Δεν υπάρχει περίπτωση καταστροφής του καλουπιού, και αυτό επειδή η συρραφή γίνεται με το χέρι και τα συρραπτικά έχουν σε κάθε κλείσιμο διαφορετική θέση. Αυτό το γεγονός επιτρέπει την χρησιμοποίηση του καλουπιού για πολλές φορές.

Μεγάλα καλούπια, με βάρος πάνω από 5 kg, πρέπει να κλείνονται και να σφραγίζονται με κολλητική ταινία καλής ποιότητας. Αυτός ο τρόπος απαιτεί εξαιρετική προσοχή και αυτό γιατί το καλούπι δεν πρέπει να παραμορφωθεί και παράλληλα πρέπει να αφεθούν κάποια σημεία ακάλυπτα έτσι ώστε να είναι εφικτό μέσα από αυτά να παρατηρηθεί όλη η διαδικασία έκχυσης των υλικών μέσα σε αυτά. Εάν τώρα το καλούπι είναι μεγάλο και επίπεδο η καλύτερη λύση θα ήταν να τοποθετηθεί το καλούπι ανάμεσα από δύο κομμάτια ξύλου και αυτά με τη σειρά τους να τα κρατούνται στη σωστή θέση με δύο σφικτήρες.

Αφού το καλούπι έχει σφραγιστεί τοποθετείται μέσα στο φούρνο για να προθερμανθεί μέχρι την θερμοκρασία των 50-70°C, ανάλογα με τις ρητίνες που θα χρησιμοποιηθούν.[10]

4.5.15 Υπολογίζοντας τις ποσότητες των ρητινών

Ανάλογα με το μέγεθος του δοχείου και το είδος της ρητίνης, υπάρχουν κάποιες ελάχιστες ποσότητες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Σε κάθε περίπτωση στο δοχείο A θα παραμείνει κάποιο υπόλοιπο, το οποίο επηρεάζει την αναλογία του μείγματος.

Για να κρατηθεί η ανακρίβεια των υπολογισμών όσο γίνεται πιο χαμηλά, καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί το δοχείο A αρκετές φορές, όταν το αντικείμενο φτιάχνεται με το ίδιο είδος ρητίνης. Το δοχείο A, με το υπόλειμμα από την προηγούμενη χρήση του, τοποθετείται στην ζυγαριά και αυτή μηδενίζεται. Με αυτόν τον τρόπο μετά την δεύτερη παραγωγή αντικειμένου έχουμε την προσέγγιση της τέλει αναλογίας μίγματος. Βέβαια το δοχείο B θα πρέπει να αλλάζεται μετά από κάθε χρήση του. Το βάρος του δοχείου όμως θα πρέπει και αυτό να μηδενίζεται, μηδενίζοντας την ζυγαριά με το δοχείο πάνω της.

Εάν το αρχικό μοντέλο είναι φτιαγμένο από πλαστικό, η απαιτούμενη ποσότητα ρητίνης μπορεί να προσεγγιστεί με αποδεκτή ακρίβεια, ζυγίζοντας το μοντέλο, προσθέτοντας όμως 20 με 30% παραπάνω για τα ανοίγματα και τις τυχόν βάσεις.[10]

4.5.16 Προετοιμασία του υλικού

Αφού ζυγιστούν τα δύο υλικά μέσα στα δοχεία A και B (Εικόνα 4.17), αυτά τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο της μηχανής, στις προκαθορισμένες θέσεις τους και ασφαλίζονται (Εικόνα 4.18).

Στη συνέχεια η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

- Πρώτα από όλα τοποθετείται το δοχείο B στην θέση του και ασφαλίζεται.
- Κατόπιν τοποθετείται μέσα σε αυτό ο αναδευτήρας σηκώνοντας την ασφάλεια που βρίσκεται πάνω από αυτό. Κατόπιν τοποθετείται και το δοχείο A και ασφαλίζεται και αυτό. Όταν τοποθετηθούν και τα δύο δοχεία, πρέπει να δοθεί προσοχή στις βάσεις τους να «πατάνε» καλά και το χείλος τους να έχει μπει ακριβώς στις υποδοχές που υπάρχουν.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ζυγαριά του εργαστηρίου

Εικόνα 4.17

Αφού όλα τα παραπάνω έχουν γίνει σωστά τότε μπαίνει και η ασφάλεια που βρίσκεται στο χείλος του κάθε δοχείου.

Εάν αυτό είναι εφικτό, η εξαέρωση των υλικών πρέπει να γίνεται σε δύο βήματα. Η κύρια εξαέρωση διαρκεί περίπου 15-30 λεπτά, ανάλογα με το είδος των υλικών, και πρέπει να γίνει χωρίς το καλούπι να έχει τοποθετηθεί μέσα στο θάλαμο.

Το καλούπι πρέπει να τοποθετηθεί ακριβώς κάτω από το δοχείο Β. Για μεγαλύτερα καλούπια, χρησιμοποιούμε το μεγάλο πλαστικό χωνί, το οποίο και αυτό περιλαμβάνεται στην μηχανή. Σε συνάρτηση με το πόσο μεγάλο είναι το καλούπι, μπορεί να κοπεί το χωνί στο άκρο του έτσι ώστε αυτό να εφαρμόζει ακριβώς στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού (Εικόνα 4.19). Εάν τα ανοίγματα στο καλούπι είναι παραπάνω από ένα τότε χρησιμοποιείται το εργαλείο «Υ» (Εικόνα 4.20).



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Τοποθέτηση των δοχείων
στο θάλαμο**

Εικόνα 4.18



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Τοποθέτηση του πλαστικού χωνιού
πάνω απ' το καλούπι**

Εικόνα 4.19

Ο θάλαμος εκκενώνεται και η ρητίνη επαναεραερώνεται στο απόλυτο κενό (ένδειξη μηδέν) για 3-5 λεπτά. Είναι χρήσιμο το μίγμα των υλικών να βρίσκεται στην θερμοκρασία των 35°C, γιατί οι συνθήκες αυτές διευκολύνουν και επιταχύνουν την εξαέρωση.

Αφού τεθεί σε λειτουργία η αντλία και η εκκένωση του αέρα έχει αρχίσει τότε αρχίζει να μετράει ο ακριβής χρόνος διάρκειας αυτής της φάσης.

Μετά από περίπου 8 λεπτά, 3 λεπτά εκκένωσης του θαλάμου και 5 λεπτά εκκένωσης των υλικών, μπορούμε πλέον να αρχίσουμε την «πραγματική» διαδικασία.[10]



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εκκένωση του αέρα

Εικόνα 4.20

4.5.17 Η διαδικασία έκχυσης των υλικών στο καλούπι

Μετά το πέρας των 8 λεπτών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκκένωσης τότε μηδενίζεται ο χρόνος. Εκείνη την στιγμή χύνεται το υλικό του δοχείου A μέσα στο δοχείο B και το ρολόι ξαναρχίζει. Τώρα τα δύο υλικά έχουν αναμειχθεί και πλέον το ρολόι δεν μετράει τίποτα άλλο από τον χρόνο πήξης του μίγματος. Από αυτό το σημείο ο χρόνος μετράει αντίστροφα. Η όλη διαδικασία πρέπει να ολοκληρωθεί πριν τον πέρας του χρόνου πήξης του μίγματος. Ο χρόνος αυτός ποικίλει από 1,5 έως 20 λεπτά, ανάλογα με το είδος των ρητινών.

Μετά την έναρξη λειτουργίας του ρολογιού χύνεται το υλικό του δοχείου A στο δοχείο B και αρχίζει το ανακάτεμα με το μίξερ. Η ταχύτητα του μίξερ ελέγχεται χειροκίνητα και εξαρτάται από την ποσότητα και από το πόσο παχύρρευστο είναι το μίγμα. Το ανακάτεμα των υλικών ολοκληρώνεται μετά από 15-20 δευτερόλεπτα.

Η ανάμειξη των υλικών πρέπει να γίνεται σε πίεση λίγο κάτω από την μέγιστη πίεση της μηχανής (0,8 mbar). Μετά το ανακάτεμα των υλικών, το μίγμα χρειάζεται μία μικρή μείωση της πιέσεως για να βγει από αυτό τυχόν αέρας που έχει εγκλωβιστεί με την μορφή φουσκών.

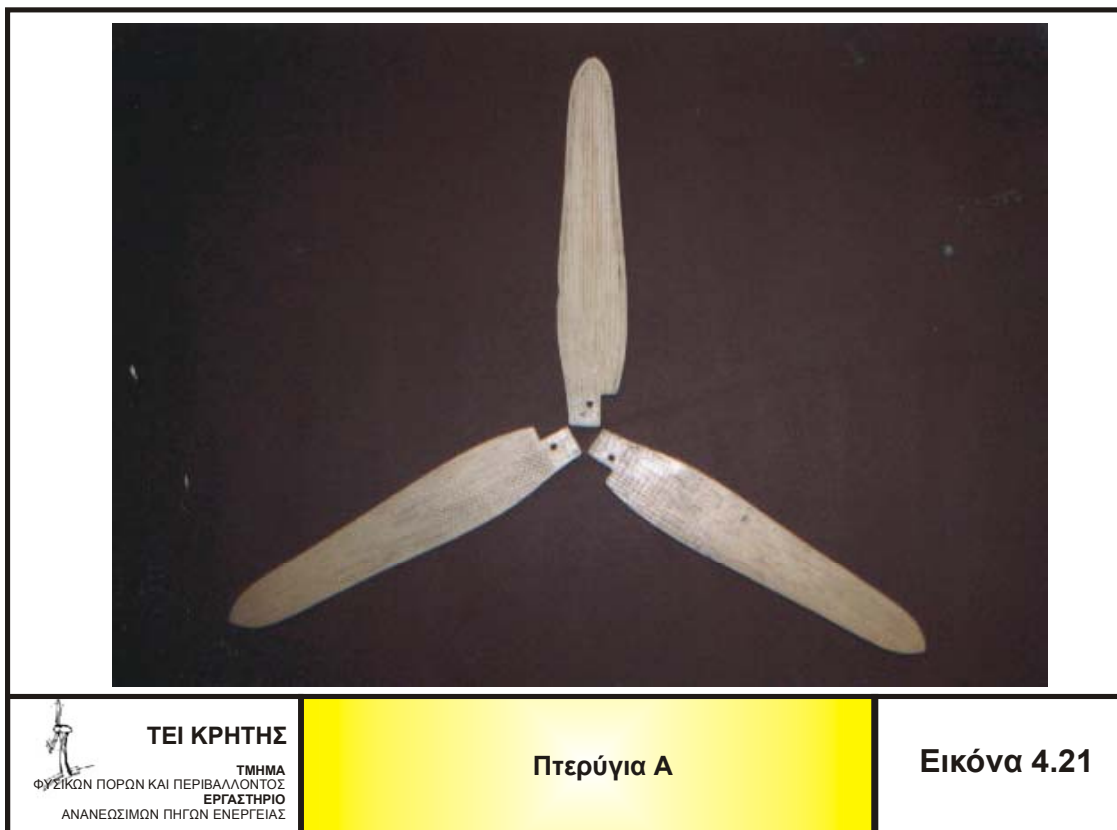
Αφού το μίγμα παραμένει σε αυτή την πίεση για περίπου 15-30 δευτερόλεπτα τότε είναι πλέον έτοιμο για να γεμίσει το καλούπι. Με τη βοήθεια του μοχλού ελέγχου του δοχείου B και αδειάζεται το μίγμα μέσα στο καλούπι έως ότου αυτό γεμίσει τελείως. Αυτή η διαδικασία απαιτεί εκτός από γρήγορες κινήσεις και εξαιρετική προσοχή. Μόλις το καλούπι γεμίσει τελείως με το μίγμα, τότε μειώνεται ακόμη περισσότερο την πίεση μέσα στον θάλαμο έτσι

ώστε το μίγμα να φτάσει σε κάθε γωνία του καλουπιού και τυχόν αέρας εγκλωβισμένος μέσα σε αυτό να βγει στον θάλαμο.

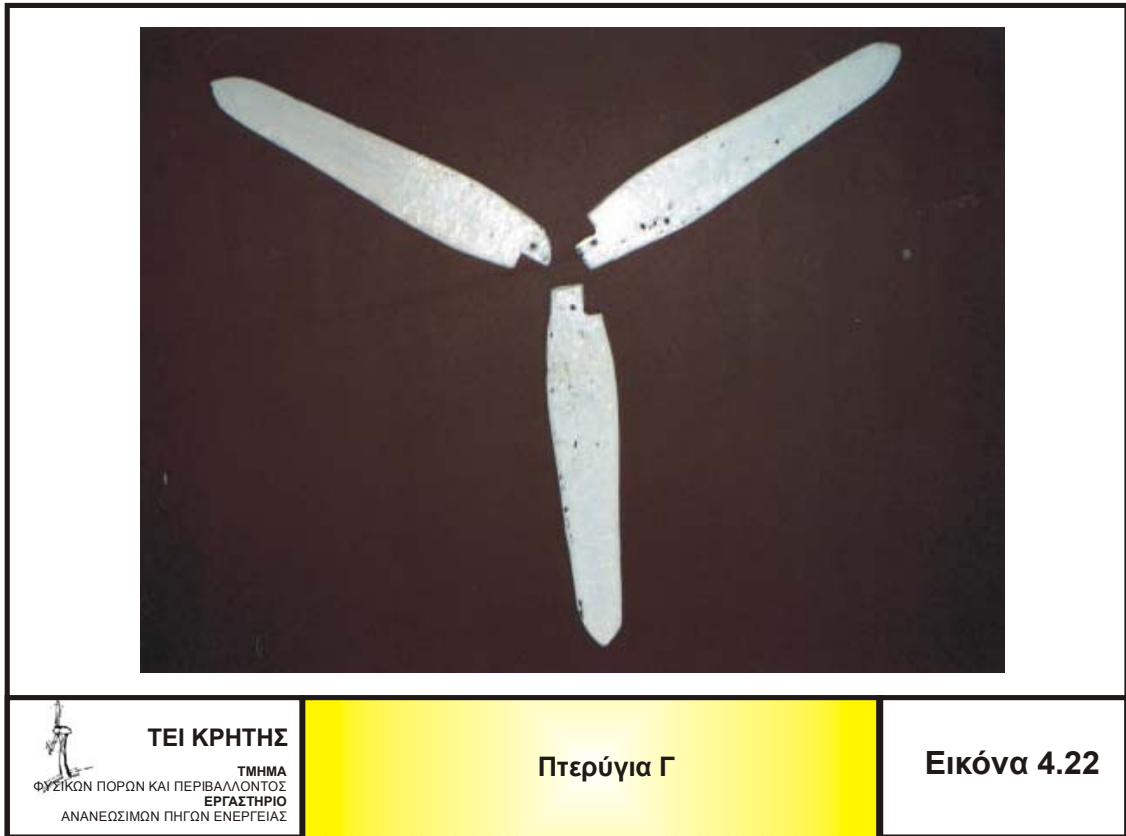
Αφού ολοκληρωθεί τελείως και αυτή η διαδικασία, τότε μηδενίζεται η πίεση στον θάλαμο, ανοίγεται και βγαίνει προσεκτικά το καλούπι. Μόλις βγει τοποθετείται μέσα στον φούρνο και αφήνεται να πήξει η ρητίνη.[10]

4.6 Αποτελέσματα

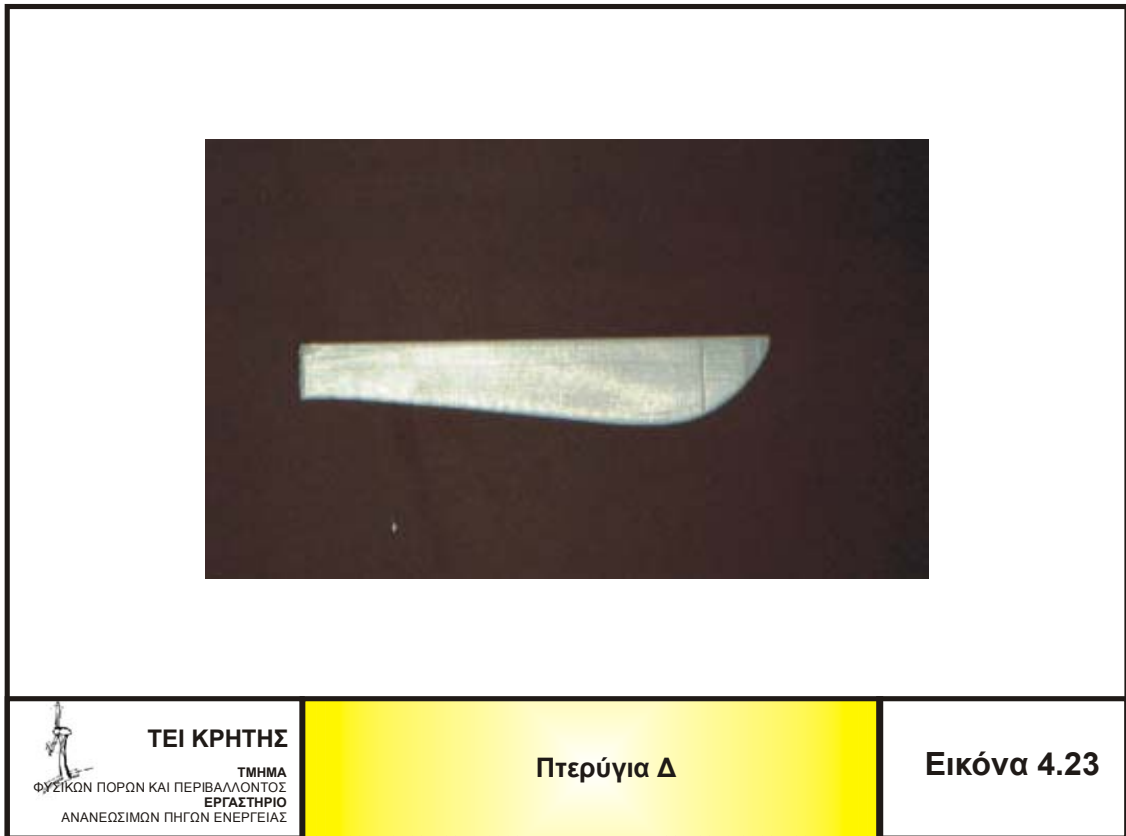
Κατασκευάστηκαν λοιπόν με όλες τις παραπάνω μεθόδους πτερύγια διαφόρων υλικών. Τα ξύλινα πτερύγια φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Για διευκόλυνση στη συνέχεια θα ονομάζονται πτερύγια Α (Εικόνα 4.21).



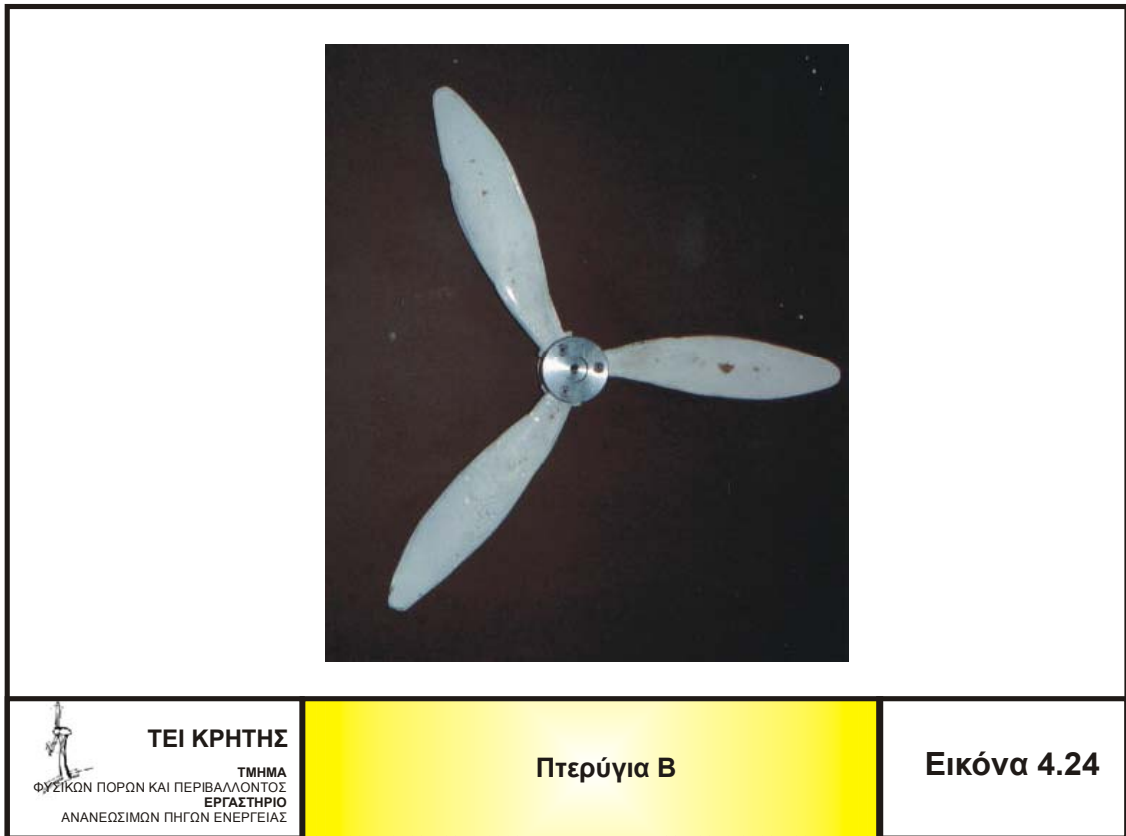
Με τα μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω κατασκευάστηκαν δύο είδη πλαστικών πτερυγίων. Τα πτερύγια αυτά φαίνονται στις επόμενες εικόνες. Για διευκόλυνση στη συνέχεια θα ονομάζονται πτερύγια Β και Γ αντίστοιχα. Τα πτερύγια Γ (Εικόνα 4.22) στηρίζονται στο ίδιο σχέδιο με αυτό των πτερυγίων Α.



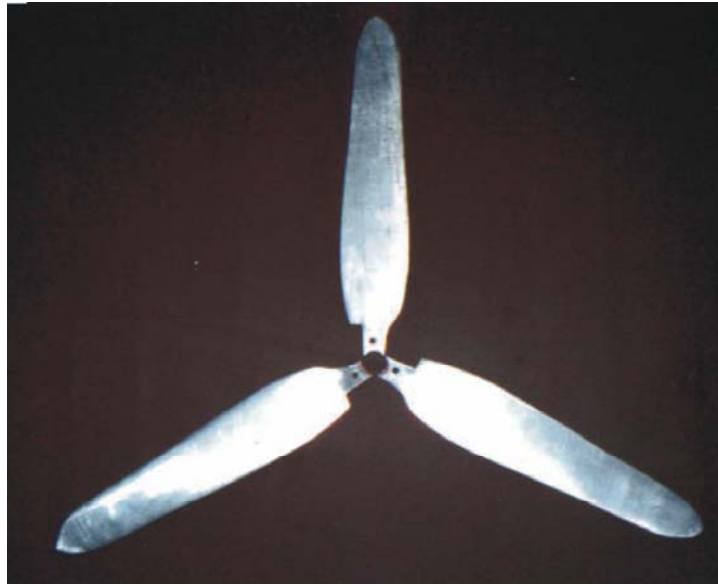
Με τη μέθοδο rapid prototyping κατασκευάστηκε ένα πρωτότυπο, το οποίο όμως ήταν σχεδιασμένο λάθος καθώς είχε στο εξωτερικό μέρος το πιο πλατύ κομμάτι του πτερυγίου κάτι που αεροδυναμικά κρίνεται ως λάθος γιατί είναι πολύ πιθανόν να καταστραφεί. Το πρωτότυπο φαίνεται στην εικόνα 4.23 και θα ονομάζεται πτερύγιο Δ. Σωστότερος σχεδιασμός του Δ οδήγησε στην κατασκευή του πτερυγίου Α.



Τα πτερύγια Β (Εικόνα 4.24) κατασκευάστηκαν με πρωτότυπο έναν έλικα από μοντέλο αεροπλάνου. Όμως κατά την πρώτη δοκιμή της ανεμογεννήτριας τα πτερύγια κρίθηκαν ακατάλληλα. Οι έλικες του αεροπλάνου είναι σχεδιασμένες ώστε να “βιδώνουν” στον αέρα, λειτουργία που είναι αντίθετη από αυτή των ελίκων μιας ανεμογεννήτριας. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα να υπάρχει σφάλμα στις μετρήσεις, καθώς αυτός ο σχεδιασμός θα έχει μικρό βαθμό απόδοσης.



Τέλος, κατασκευάστηκαν και τέσσερα άλλα είδη πτερυγίων από αλουμίνιο. Τα πτερύγια που φαίνονται στην εικόνα 4.25 έχουν το ίδιο σχέδιο με τα πτερύγια Α θα ονομάζονται Ε.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Ε

Εικόνα 4.25

Τα πτερύγια που φαίνονται στις εικόνες 4.26 και 4.27 θα ονομάζονται Στ και Ζ .

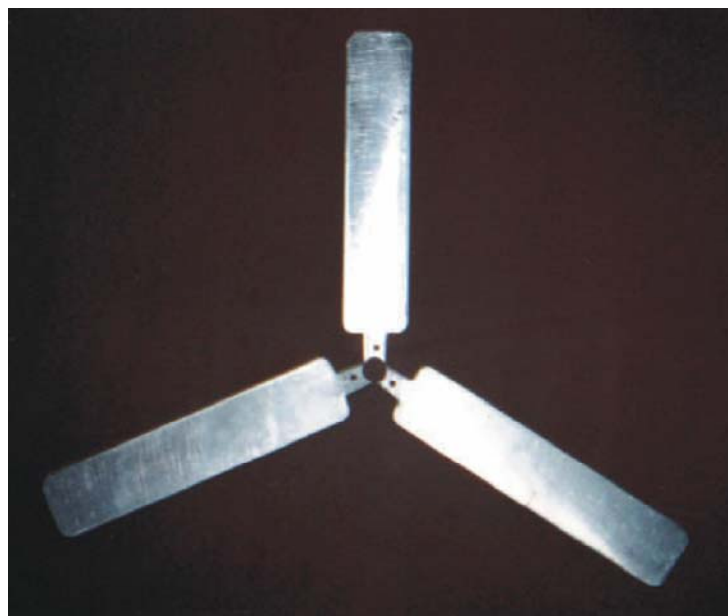


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Στ

Εικόνα 4.26



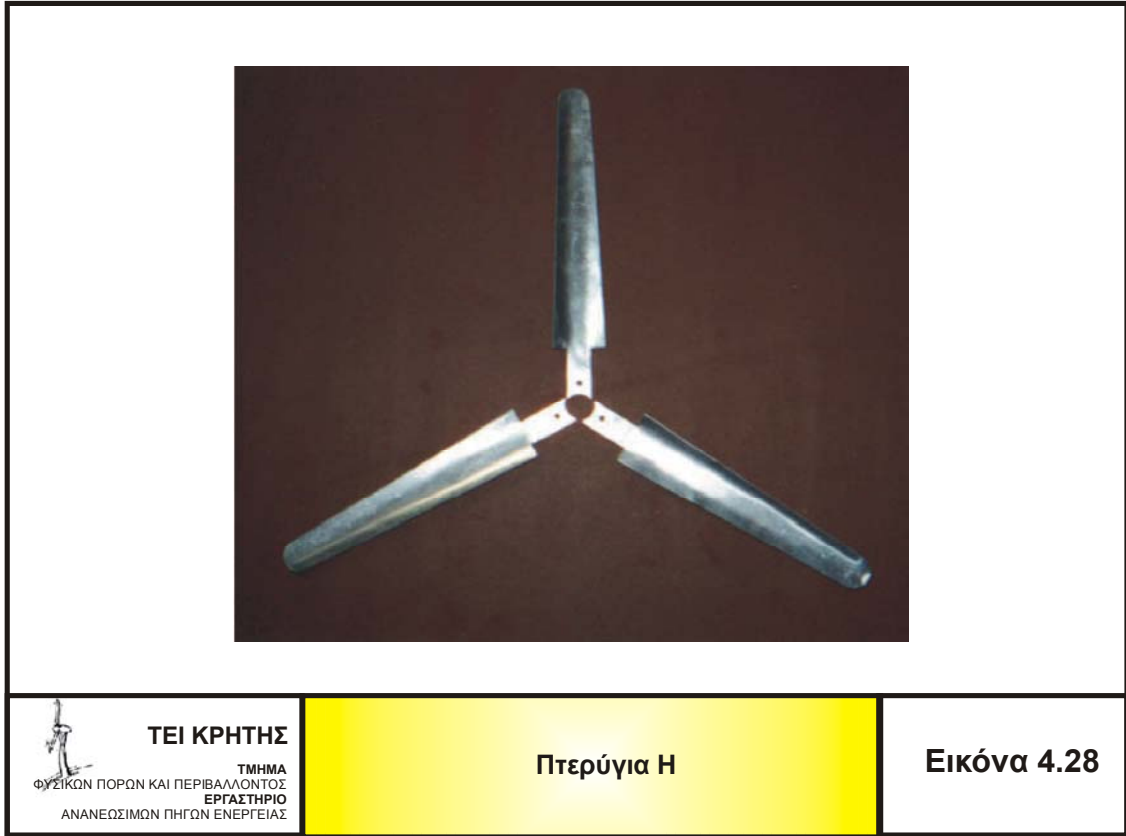
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Ζ

Εικόνα 4.27

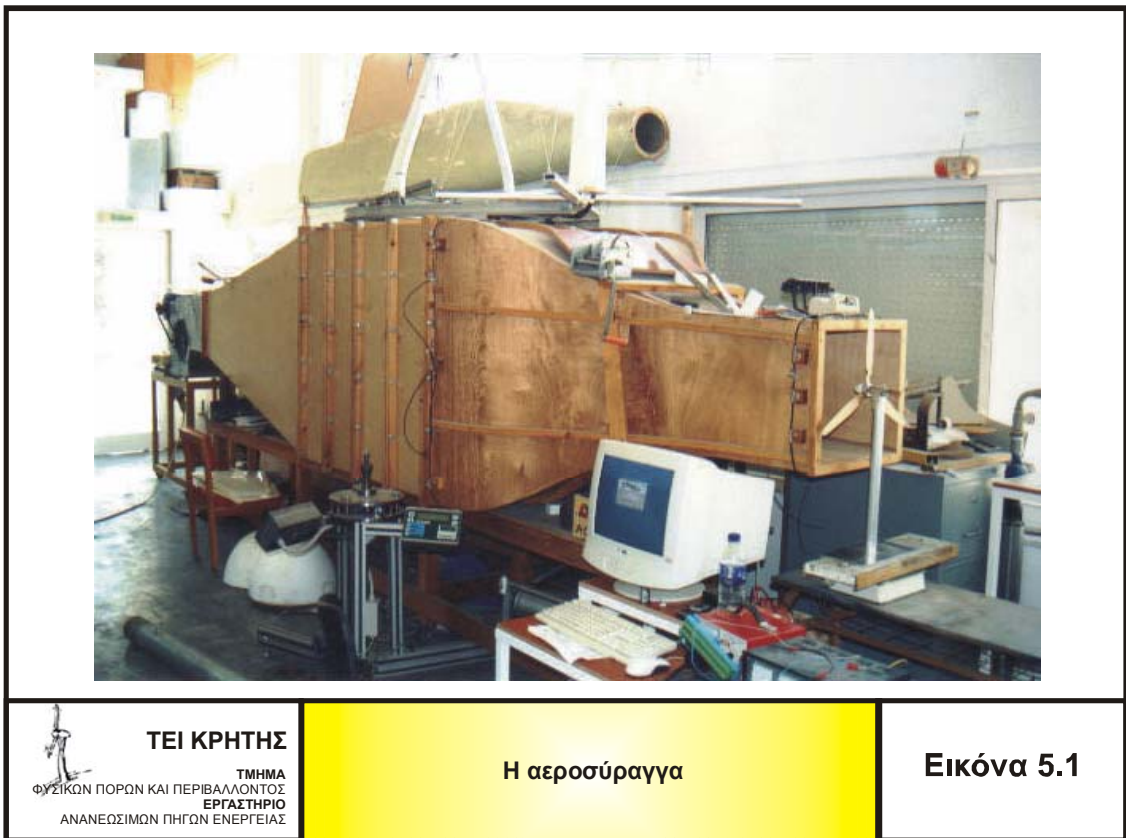
Τα πτερύγια που φαίνονται στην εικόνα 4.28 θα ονομάζονται Η. Αυτά στηρίζονται σε σχέδιο από έλικες αεροπλάνου και έχουν τοποθετηθεί στην ανεμογεννήτρια ανάποδα προκειμένου να μην παρουσιάζει το ίδιο πρόβλημα με αυτό των Β.



5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1. Αεροσήραγγα

Οι μετρήσεις της πειραματικής ανεμογεννήτριας έγιναν στην αεροσήραγγα που διαθέτει το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας του Τμήματος Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Κρήτης στο Ηράκλειο (Εικόνα 5.1).



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αεροσύραγμα

Εικόνα 5.1

Ο χώρος δοκιμών της αεροσήραγγας έχει διαστάσεις 400×400 mm και μήκος 1200 mm και η εκμεταλλεύσιμη ταχύτητα στο χώρο δοκιμών κυμαίνεται από 1,5 έως 14 m/s με τη μέγιστη τύρβη να φτάνει το 2%. Στην αεροσήραγμα υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης ανάγλυφων μοντέλων εδάφους καθώς επίσης και η τοποθέτηση συσκευών απεικόνισης ροής.

Η αεροσήραγμα παρουσιάζει στο ακροφύσιο ένα πεδίο ροής με μέγιστη απόκλιση $<1\%$. Δηλαδή σε οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου η διαφορά του μέτρου της ταχύτητας σε σχέση με το κέντρο του επιπέδου είναι μικρότερη του 1%. Η μέγιστη ένταση τύρβης που έχει μετρηθεί σε ταχύτητα 10 m/s είναι: $I_{max}=0,5\%$

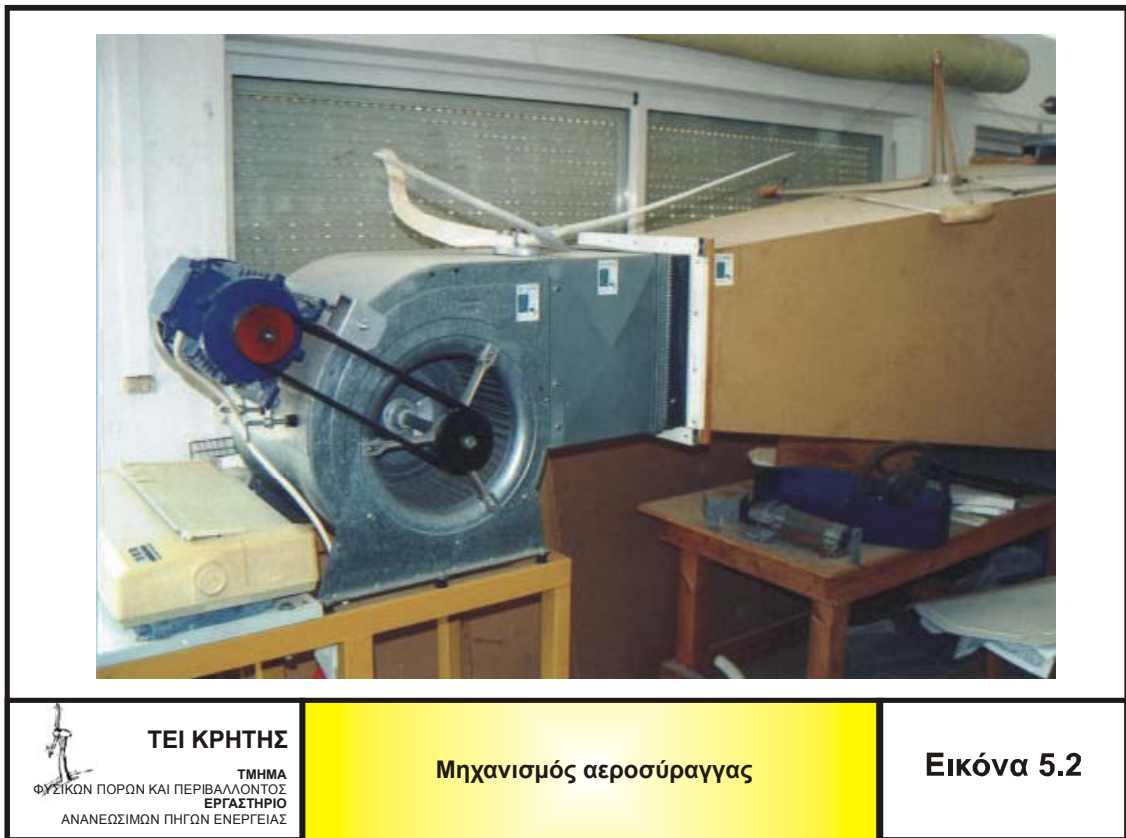
Η ροή του αέρα της αεροσήραγγας, αναπτύσσεται από κινητήρα ηλεκτρικής ισχύος 4 kW που οδηγεί φυγοκεντρικό ανεμιστήρα. Ο έλεγχος της ταχύτητας αναφοράς γίνεται με μεταβολή των στροφών του ανεμιστήρα. Ο έλεγχος των στροφών γίνεται με τριφασικό μετατροπέα συχνότητας (Εικόνα 5.2).

Ο χώρος αποκατάστασης ροής έχει διαστάσεις $1100 \times 1100 \times 1200$ mm και περιέχει τρεις μεμβράνες εξομάλυνσης της κατανομής της ταχύτητας κατάλληλου πορώδους καθώς και κυψελίδες παραλληλισμού της ροής στον άξονα της σήραγγας.

Η ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται μέσω ενός σωλήνα pitot, μετρώντας τη συνολική πίεση στο σημείο της μέτρησης και τη στατική πίεση κάπου μακριά από τη ροή. Η διαφορά τους ΔP είναι η δυναμική πίεση που υπολογίζεται εφαρμόζοντας το νόμο του Bernoulli ανάμεσα στο σημείο που μετράται η ταχύτητα και σ' ένα σημείο, εκτός ροής, όπου η ταχύτητα είναι μηδέν. Η σχέση που προκύπτει είναι η παρακάτω:

$$\Delta P = 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \quad (5.1)$$

Μετρίεται λοιπόν το ΔP και από τον παραπάνω τύπο υπολογίζεται το V αφού θεωρηθεί η πυκνότητα του αέρα $\rho = 1,225 \text{ kg} / \text{m}^3$.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μηχανισμός αεροσύραγγας

Εικόνα 5.2

5.2 Λειτουργία

Η ανεμογεννήτρια πριν τις τελικές μετρήσεις, δοκιμάστηκε άλλες δυο φορές για να μελετηθεί αν το δυναμό λειτουργεί σωστά και αν τα πτερύγια παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα.

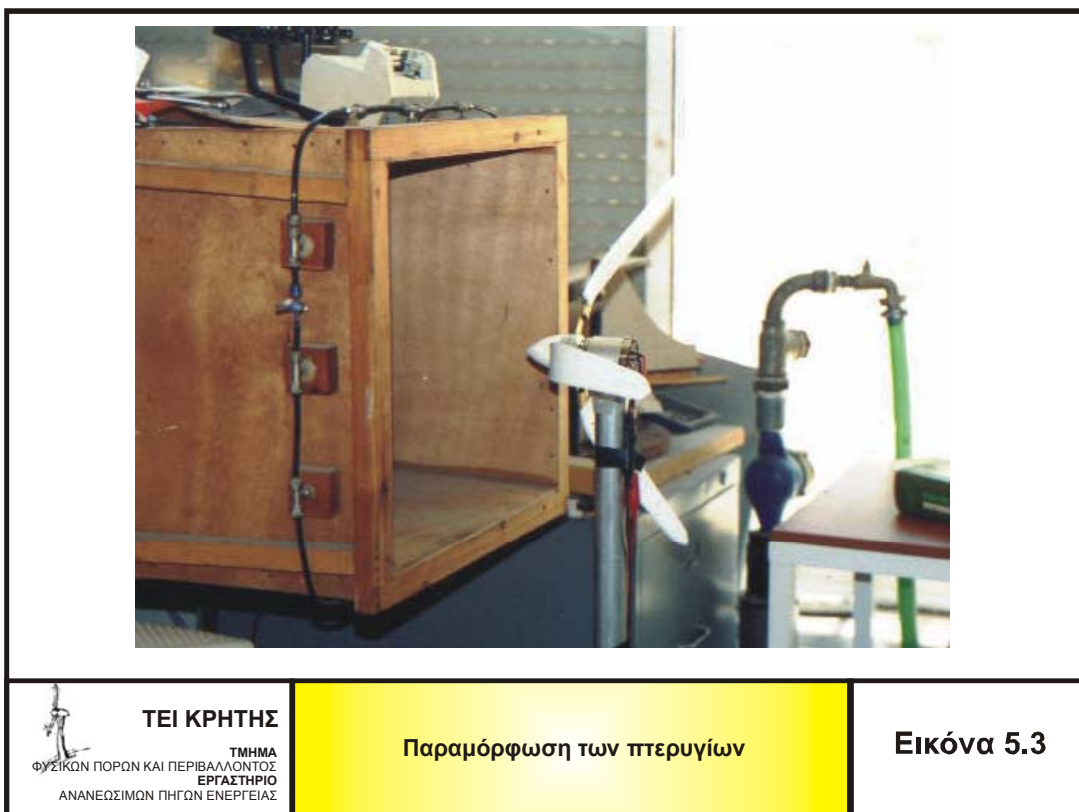
Στις πρώτες δοκιμαστικές μετρήσεις δοκιμάστηκαν τα πτερύγια Η, τα οποία λειτούργησαν άψογα σε όλες τις κλίμακες ανέμου. Όμως παρατηρήθηκε ότι ο άξονας του δυναμό ήταν αρκετά χαλαρός και αυτός ήταν ένας παράγοντας ο οποίος θα μπορούσε να ευθύνεται για λάθη στις μετρήσεις που θα ακολουθούσαν. Έτσι αποφασίστηκε να ανοιχθεί το δυναμό και να σφιχτεί ο άξονάς του ή να βρεθεί άλλο μοτέρ το οποίο να μην έχει τόσο χαλαρό άξονα.

Στις επόμενες δοκιμαστικές μετρήσεις η ανεμογεννήτρια λειτούργησε με ένα dc μοτέρ το οποίο πληρούσε τις προϋποθέσεις που είχαν σημανθεί κατά την πρώτη δοκιμή στο Ηράκλειο. Στις μετρήσεις δοκιμάστηκαν τα πτερύγια Η, τα ξύλινα πτερύγια και τα πλαστικά. Τα δύο τελευταία έχουν το ίδιο σχέδιο.

Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτό το στάδιο ήταν πιο περίπλοκα και έθεταν όλη την προσπάθεια σε κίνδυνο. Το μοτέρ ήταν πολύστροφο με αποτέλεσμα να μη δίνει μετρήσιμο μέγεθος ρεύματος. Η μόνη μέτρηση που γινόταν ήταν η παραγόμενη τάση καθώς και η ταχύτητα ανέμου της αεροσύραγγας στην έξοδο. Η μέτρηση της ταχύτητας ανέμου γινόταν με ένα ανεμόμετρο χειρός και με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχουν σοβαρές αποκλίσεις στις μετρούμενες τιμές αέρα με τις πραγματικές.

Αποφασίστηκε λοιπόν να επιχειρηθεί να κατασκευαστεί το δυναμό που χρησιμοποιήθηκε την πρώτη φορά ώστε να έχει καλύτερα αποτελέσματα το πείραμα. Έτσι το δυναμό ανοίχτηκε και σφίχτηκε ο άξονας του ώστε να μην "παίζει" και εμφανίζονται λάθη στις μετρήσεις.

Άλλο ένα πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τη δοκιμή των πλαστικών πτερυγίων ήταν η παραμόρφωση τους. Τα πλαστικά πτερύγια είναι πολύ εύκαμπτα με αποτέλεσμα να μην καταφέρουν να περιστραφούν αλλά να παρασυρθούν από τον αέρα και να παραμορφωθούν (Εικόνα 5.3).



Αυτό το πρόβλημα αφού εξετάστηκε διαπιστώθηκε ότι η αιτία βρισκόταν στον τρόπο κατασκευής των πτερυγίων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ζυγαριά που υπάρχει στο εργαστήριο όπου φτιάχτηκαν τα πλαστικά πτερύγια είναι μια κοινή ζυγαριά κουζίνας όχι κατάλληλη για τον υπολογισμό μικροποσοτήτων που χρειάζεται ακρίβεια. Η δημιουργία των πλαστικών πτερυγίων απαιτούσε μικρές ποσότητες από τις ουσίες με αποτέλεσμα οι μετρήσεις που πάρθηκαν από τη ζυγαριά να μην είναι ακριβείς. Αυτό το σφάλμα στην αναλογία των ουσιών ίσως είναι ένας λόγος που τα πτερύγια ήταν αρκετά ελαστικά. Άλλος ένας λόγος ίσως είναι το γεγονός ότι τα πτερύγια ήταν πολύ λεπτά, κάτι που είχε επισημανθεί από τον υπεύθυνο καθηγητή, και δεν μπόρεσε η μέθοδος να κατασκευάσει άρτια πτερύγια. Το πρόβλημα της ελαστικότητας των πτερυγίων παρουσιάστηκε και στα πρώτα πλαστικά πτερύγια που κατασκευάστηκαν, τα πτερύγια Β.



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Δοκιμαστική λειτουργία Α/Γ με πτερύγια

Εικόνα 5.4

Η τελευταίες μετρήσεις που έγιναν στην αεροσήραγγα ήταν και οι κυριότερες. Είχε βελτιωθεί το δυναμό, υπήρχαν έτοιμα τέσσερα ζευγάρια αλουμιένια πτερύγια και ένα ζευγάρι ξύλινα. Επίσης είχε βελτιωθεί και ο τρόπος μέτρησης από το εργαστήριο, το κλασικό ανεμόμετρο αντικαταστάθηκε από πιο σταθερό και αξιόπιστο σύστημα και οι μετρήσεις που έγιναν, αφού αξιολογήθηκαν, συγκεντρώθηκαν και βγήκαν διάφορες γραφικές παραστάσεις για κάθε κατηγορία πτερυγίων. Την ώρα του πειράματος έγιναν οι παρακάτω μετρήσεις: μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στην έξοδο της αεροσήραγγας, μέτρηση της τάσης εξόδου της ανεμογεννήτριας, μέτρηση του ρεύματος στην έξοδο της ανεμογεννήτριας και μέτρηση της συχνότητας.

Από αυτές τις τιμές υπολογίστηκαν στη συνέχεια η ισχύς σε κάθε περίπτωση, οι στροφές του δυναμό καθώς είχε υπολογιστεί η σχέση μεταφοράς της συχνότητας με τις στροφές ως:

$$f \times 30 \rightarrow RPM \quad (5.2)$$

Επίσης υπολογίστηκε η ροπή από τη σχέση:

$$P = M \times \omega \quad (5.3)$$

όπου,

$$\omega = \frac{\pi \cdot N}{30} \quad (5.4)$$

Τελικά έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα P-N, P-U, P-V και M-N για το κάθε πτερύγιο που δοκιμάστηκε στο τελικό πείραμα.

5.3 Μετρήσεις

Για τα ξύλινα πτερύγια (πτερύγια Α) οι μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1):

V(Volt)	I(mA)	P(W)	f(Hz)	Uav(m/sec)	N (RPM)	M(Nm)
2,5	20	0,05	36	6,3	1080	0,000442
3,5	30	0,105	40	7	1200	0,000836
3,75	40	0,15	44	8	1320	0,001086
5	45	0,225	53	9	1590	0,001352
5,5	45	0,2475	59	10	1770	0,001336
6,25	50	0,3125	65	11	1950	0,001531
6,5	50	0,325	67	12	2010	0,001545



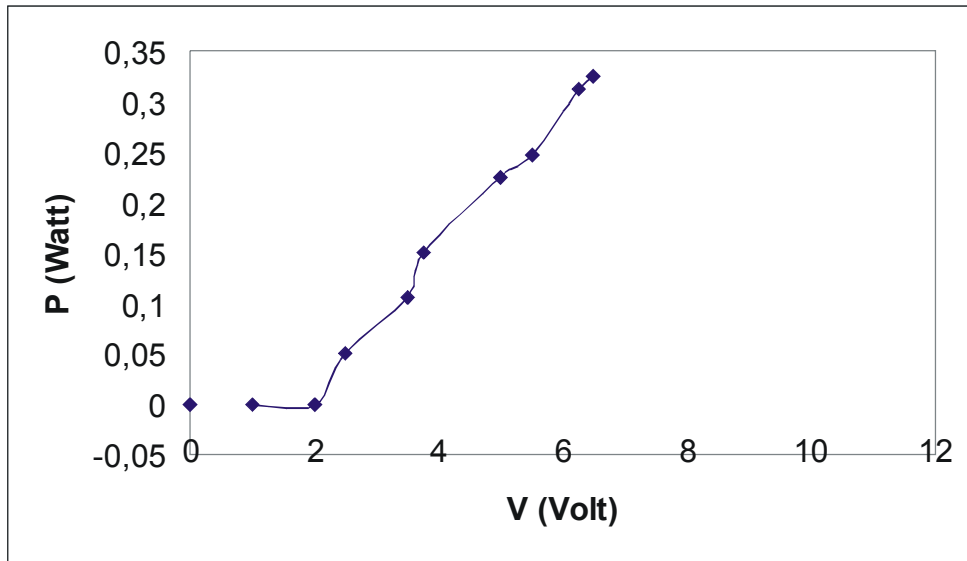
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τιμές για τα πτερύγια Α

Πίνακας 5.1

**Από αυτές τις μετρήσεις, έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα.
Στα διαγράμματα 5.1, 5.2, 5.3 και 5.4 φαίνονται οι γραφικές
P-V, P-U, P-N και M-N αντίστοιχα .**

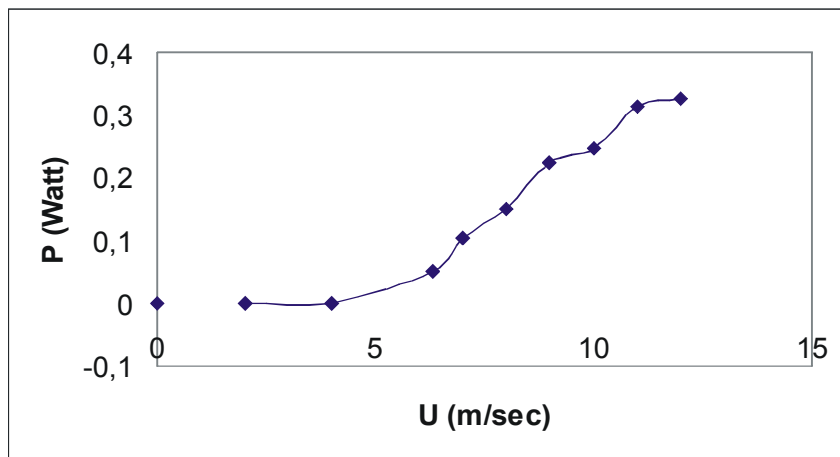


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Α: γράφημα P-V

Διάγραμμα 5.1

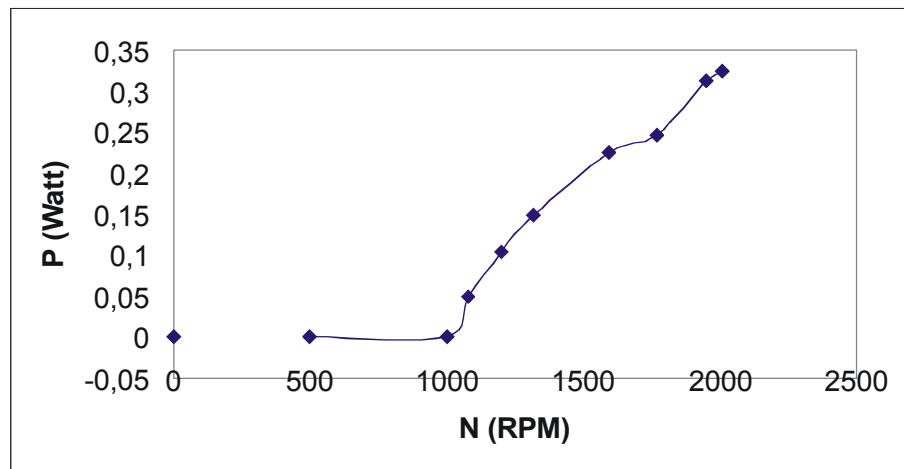


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Α: γράφημα P-U

Διάγραμμα 5.2

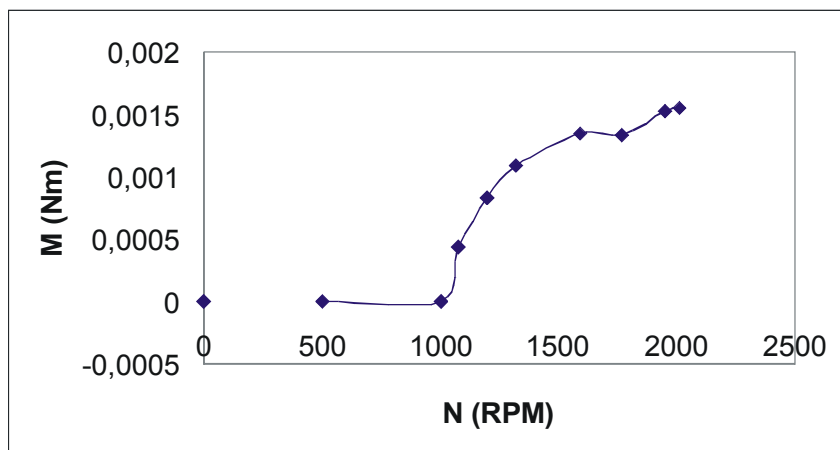


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια A: γράφημα P-N

Διάγραμμα 5.3



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια A: γράφημα M-N

Διάγραμμα 5.4

Για τα αλουμινένια πτερύγια που έχουν το ίδιο σχέδιο με τα A (πτερύγια E) οι μετρήσεις φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 5.2):

V(Volt)	I(mA)	P(W)	f(Hz)	Uav(m/sec)	N (RPM)	M(Nm)
3,5	25	0,0875	41	6	1230	0,00068
4,95	30	0,1485	53	7	1590	0,000892
5,75	40	0,23	62	8	1860	0,001181
7	45	0,315	71	9	2130	0,001413
8	50	0,4	80	10	2400	0,001592



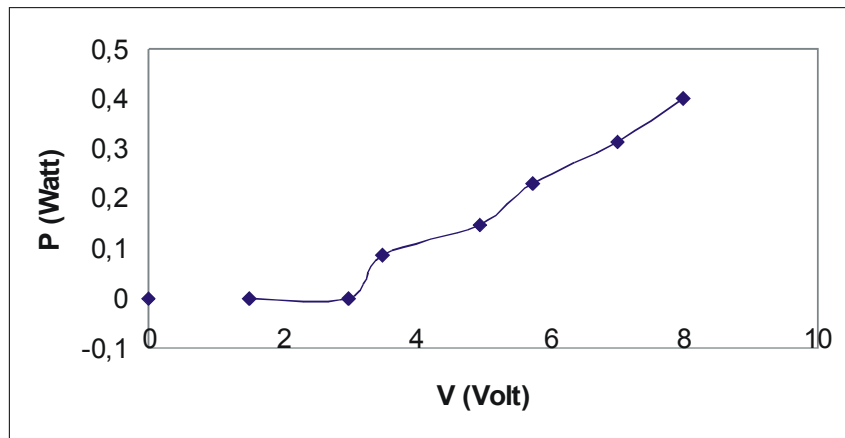
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τιμές για τα πτερύγια Ε

Πίνακας 5.2

**Από αυτές τις μετρήσεις, έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα.
Στα διαγράμματα 5.5, 5.6, 5.7 και 5.8 φαίνονται οι γραφικές
P-V, P-U, P-N και M-N αντίστοιχα .**

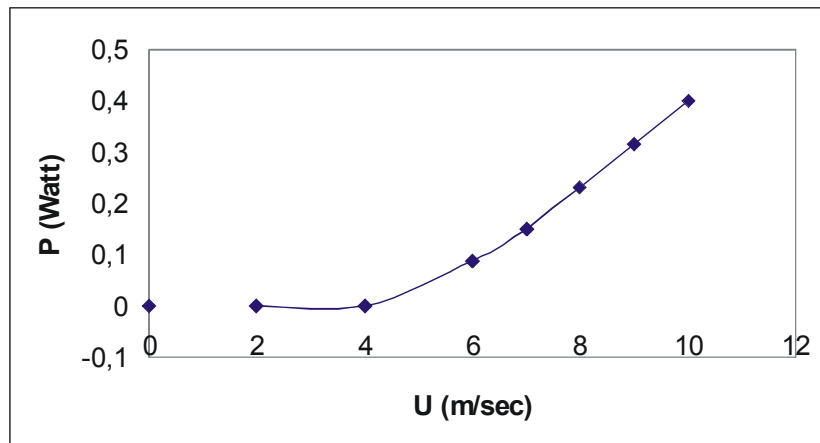


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Ε: γράφημα P-V

Διάγραμμα 5.5

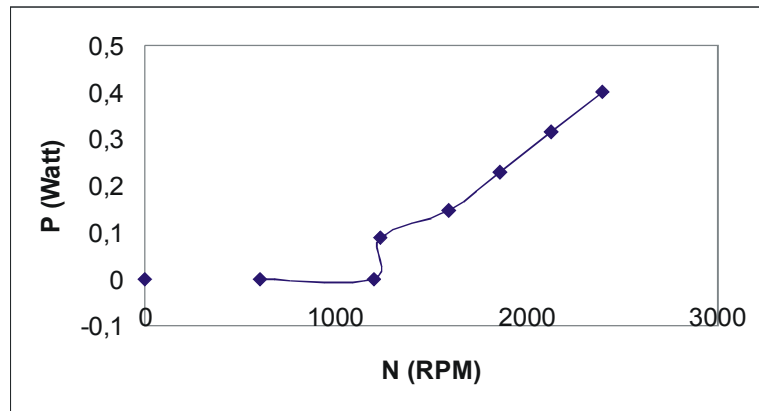


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Ε: γράφημα P-U

Διάγραμμα 5.6

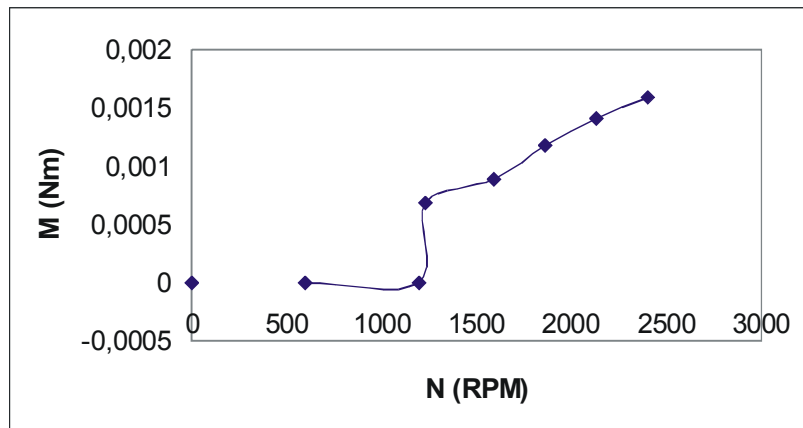


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Ε: γράφημα P-N

Διάγραμμα 5.7



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Ε: γράφημα M-N

Διάγραμμα 5.8

Για τα αλουμιένια πτερύγια (πτερύγια Z) οι μετρήσεις φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.3):

V(Volt)	I(mA)	P(W)	f(Hz)	Uav(m/sec)	N (RPM)	M(Nm)
2	90	0,18	39	6	1170	0,00147
2,7	100	0,27	47	7	1410	0,00183
3,25	115	0,37375	50	8	1500	0,002381
4	130	0,52	60	9	1800	0,00276
4,5	140	0,63	65	10	1950	0,003087
5,25	150	0,7875	76	11	2280	0,0033
6	160	0,96	82	12	2460	0,003728
6,25	170	1,0625	85	13	2550	0,003981
7	180	1,26	94	14,2	2820	0,004269



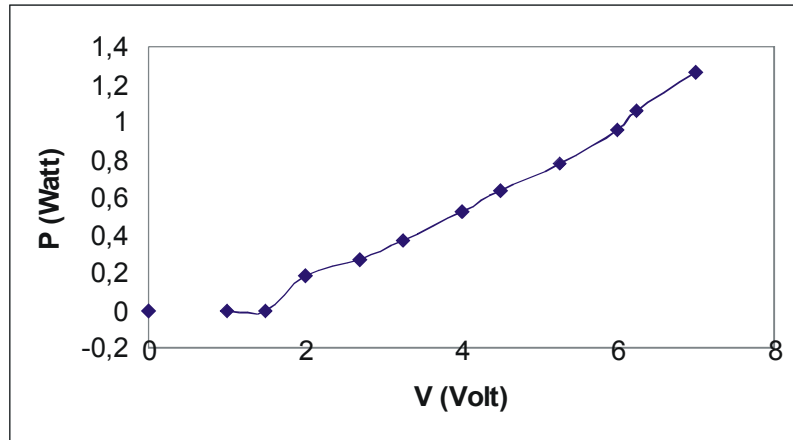
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τιμές για τα πτερύγια Z

Πίνακας 5.3

**Από αυτές τις μετρήσεις, έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα.
Στα διαγράμματα 5.9, 5.10, 5.11 και 5.12 φαίνονται οι
γραφικές P-V, P-U, P-N και M-N αντίστοιχα .**

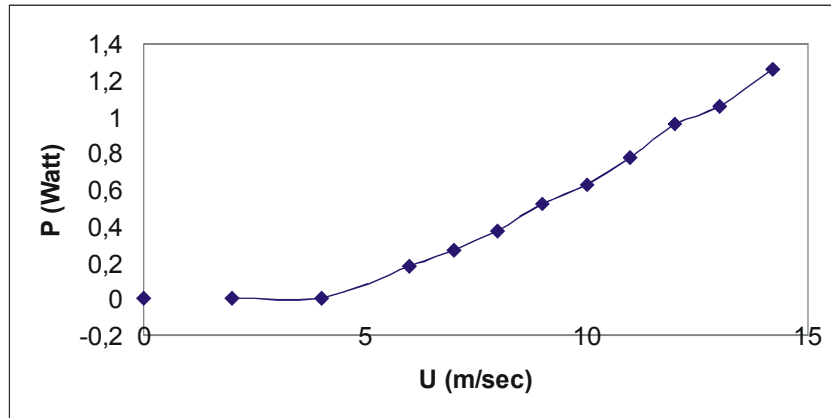


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Z: γράφημα P-V

Διάγραμμα 5.9

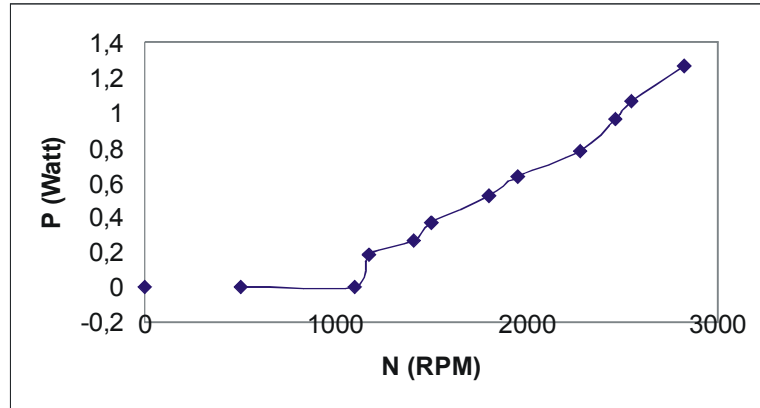


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Z: γράφημα P-U

Διάγραμμα 5.10

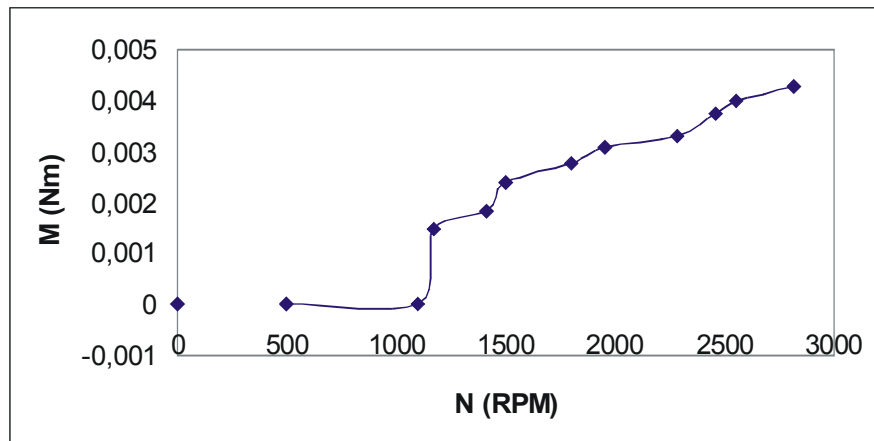


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Z: γράφημα P-N

Διάγραμμα 5.11



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Z: γράφημα M-N

Διάγραμμα 5.12

Για τα αλουμινένια πτερύγια (πτερύγια Στ) οι μετρήσεις φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.4):

V(Volt)	I(mA)	P(W)	f(Hz)	Uav(m/sec)	N (RPM)	M(Nm)
5	35	0,175	55	7	1650	0,001013
6,2	40	0,248	64	8	1920	0,001234
7,5	45	0,3375	74	9	2220	0,001452
8,5	50	0,425	84	10	2520	0,001611
9,5	55	0,5225	94	11	2820	0,00177



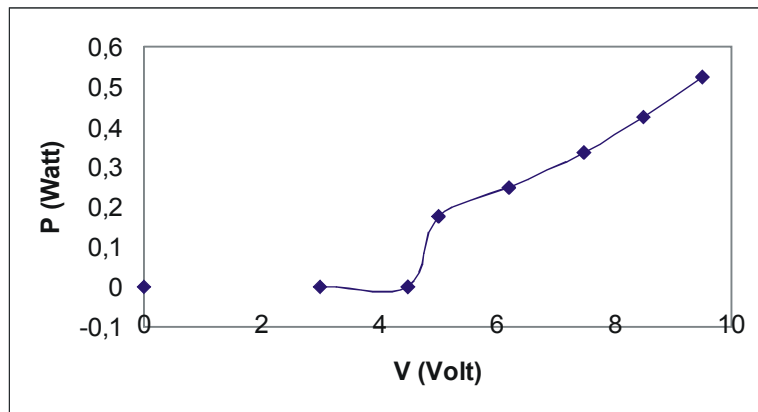
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τιμές για τα πτερύγια Στ

Πίνακας 5.4

**Από αυτές τις μετρήσεις, έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα.
Στα διαγράμματα 5.13, 5.14, 5.15 και 5.16 φαίνονται οι
γραφικές P-V, P-U, P-N και M-N αντίστοιχα .**

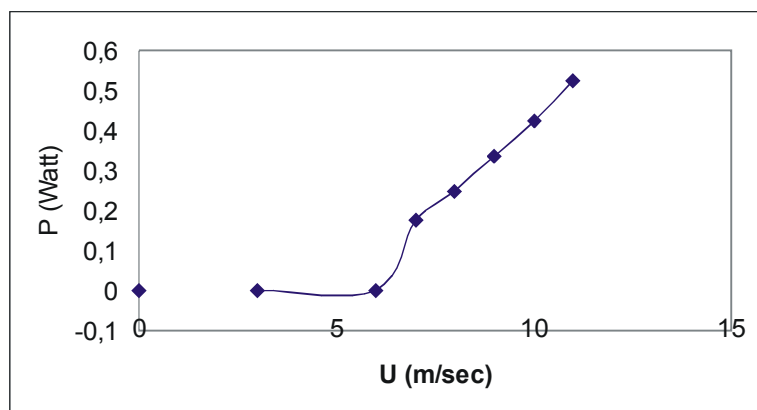


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Στ: γράφημα P-V

Διάγραμμα 5.13

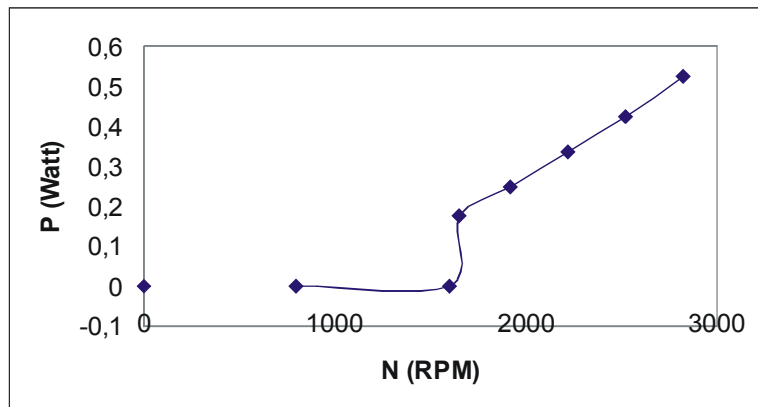


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Στ: γράφημα P-U

Διάγραμμα 5.14

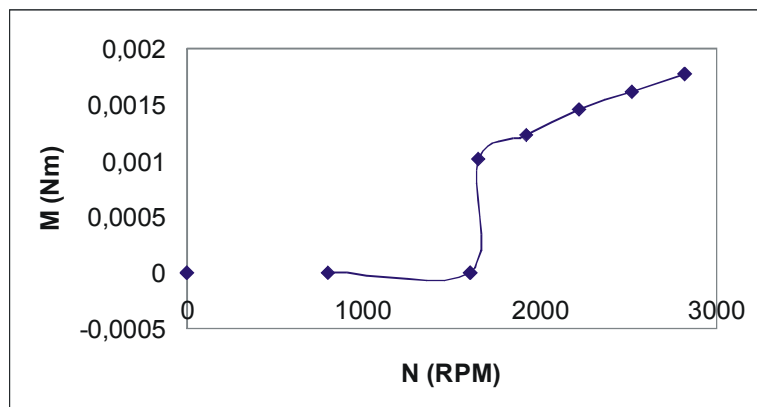


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Στ: γράφημα P-N

Διάγραμμα 5.15



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Στ: γράφημα M-N

Διάγραμμα 5.16

Για τα αλουμινένια πτερύγια (πτερύγια Η) οι μετρήσεις φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.5):

V(Volt)	I(mA)	P (W)	f(Hz)	Uav(m/sec)	N (RPM)	M(Nm)
2,5	100	0,25	45	6	1350	0,001769
3,5	120	0,42	54	7	1620	0,002477
4,2	130	0,546	63	8	1890	0,00276
4,9	145	0,7105	71	9	2130	0,003187
5,5	160	0,88	80	10	2400	0,003503
6,5	170	1,105	89	11	2670	0,003954
7,5	180	1,35	98	12	2940	0,004387
8,2	190	1,558	108	13	3240	0,004594
9	200	1,8	113	13,5	3390	0,005073



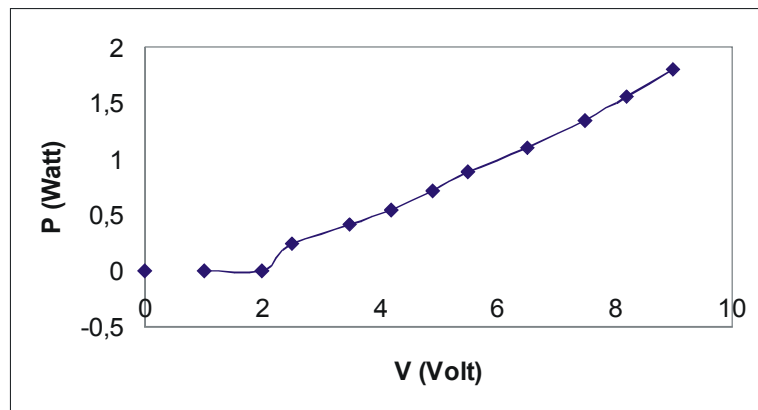
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τιμές για τα πτερύγια Η

Πίνακας 5.5

**Από αυτές τις μετρήσεις, έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα.
Στα διαγράμματα 5.17, 5.18, 5.19 και 5.20 φαίνονται οι
γραφικές P-V, P-U, P-N και M-N αντίστοιχα .**

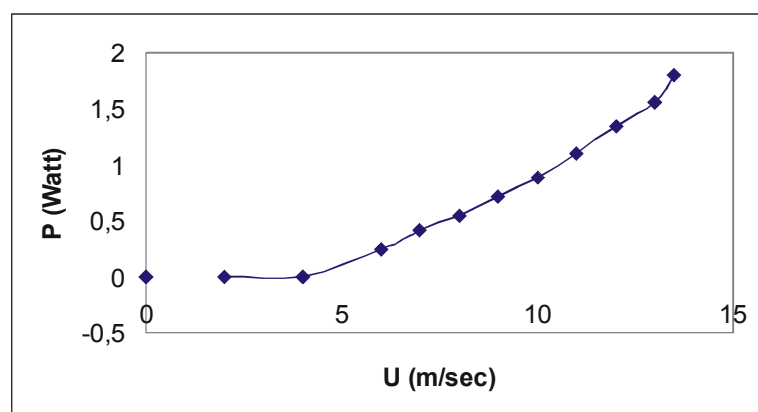


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Η: γράφημα P-V

Διάγραμμα 5.17

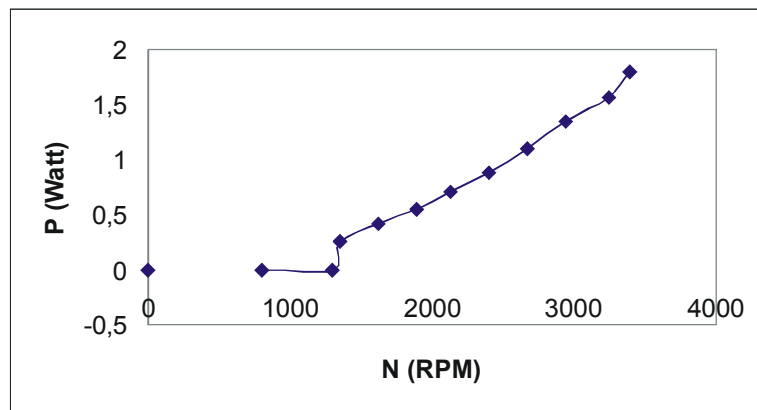


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Η: γράφημα P-U

Διάγραμμα 5.18

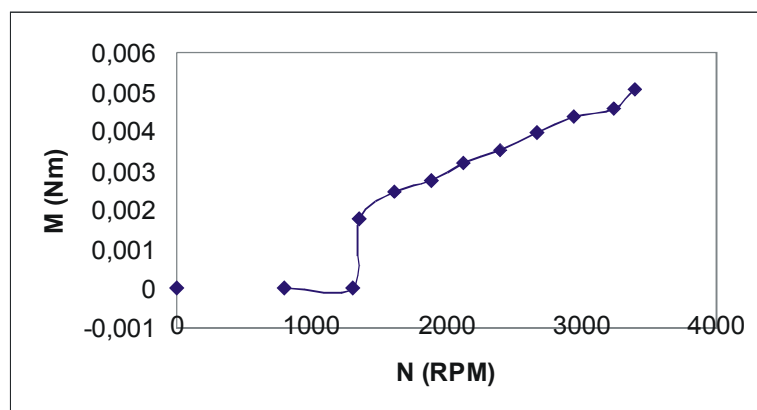


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Η: γράφημα P-N

Διάγραμμα 5.19



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πτερύγια Η: γράφημα M-N

Διάγραμμα 5.20

5.4 Συμπεράσματα

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν προκύπτει σαν πρώτο συμπέρασμα το γεγονός πως το μέγεθος των πτερυγίων δεν επηρεάζει και την

απόδοσή τους στην παραγόμενη τάση. Ιδανική σύγκριση μπορεί να γίνει μόνο για τα πτερύγια που έχουν το ίδιο σχέδιο αλλά είναι κατασκευασμένα από άλλα υλικά. Αυτά είναι τα ξύλινα πτερύγια Α με τα αλουμινένια πτερύγια Ε. Συγκρίνοντας τις τιμές τους παρατηρείται πως τα ξύλινα πτερύγια έχουν μικρότερη απόδοση. Αυτό το μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα ξύλινα πτερύγια είχαν την προσθήκη της χάλκινης βάσης με αποτέλεσμα να αυξάνεται το μήκος τους και να μη βρίσκεται όλη η επιφάνεια του πτερυγίου στην έξοδο της αεροσήραγγας. Επίσης το υλικό κατασκευής τους ίσως παίζει ρόλο, καθώς τα ξύλινα πτερύγια είναι πιο ελαφριά.

Μια γενικότερη σύγκριση των μετρήσεων στα 10 m/sec ανέμου οδηγεί στο γεγονός ότι τα πτερύγια Στ έχουν την καλύτερη απόδοση, ενώ τα πτερύγια Ζ έχουν τη χειρότερη απόδοση κάτι που ήταν αναμενόμενο γιατί αν και μεγαλύτερα πτερύγια, είναι σχεδιασμένα με το απλούστερο σχήμα χωρίς καμία εφαρμογή αεροδυναμικών δεδομένων. Τα πτερύγια Ε, Α και Η βρίσκονται στα ενδιάμεσα στάδια με τα πτερύγια Η να είναι τα μικρότερα σε μέγεθος, αλλά να έχουν πολύ καλό σχεδιασμό, ενώ τα Α και Ε να έχουν το ίδιο σχέδιο αλλά να είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά.

Άλλο ένα φαινόμενο που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι ο θόρυβος που έκαναν ιδιαίτερα τα πτερύγια Ε και Ζ, συγκριτικά με τα πτερύγια Στ που έκαναν λιγότερο. Αυτό οφείλεται στην κατασκευή, καθώς λόγω του υλικού κατασκευής τους και του μεγέθους τους ήταν δύσκολο να αποκτήσουν καλή αεροδυναμική επιφάνεια. Ο θόρυβος οφείλεται στην απότομη κομμένη άκρη των πτερυγίων. Εν αντιθέσει, τα ξύλινα πτερύγια (Α) και τα πτερύγια (Η) λόγω της ομαλότερης άκρης τους δεν εμφάνισαν πρόβλημα θορύβου.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ήταν η αποτυχία στην κατασκευή πλαστικών πτερυγίων με τη μέθοδο του rapid tooling. Το μέγεθος των πτερυγίων σε συνδυασμό με τον λανθασμένο υπολογισμό των ποσοτήτων, δε βοήθησε να δοκιμαστεί επιτυχώς αυτή η φτερωτή έτσι ώστε να υπάρχει σύγκριση και με άλλο ένα υλικό ανάμεσα στα ξύλινα και τα αλουμινένια πτερύγια.

Αρχικός στόχος της εργασίας ήταν να κατασκευαστεί μια πειραματική ανεμογεννήτρια για τις ανάγκες του εργαστηρίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Το κόστος όμως μιας μεγάλης ανεμογεννήτριας που θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε κάποιο εξωτερικό χώρο του ιδρύματος (π.χ. στην ταράτσα), οδήγησε στη δημιουργία μιας πιο οικονομικής λύσης, με τη δημιουργία ενός μοντέλου ανεμογεννήτριας, το οποίο είναι και το πρώτο που πραγματοποιείται στα πλαίσια του τμήματος. Η κατασκευή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια του εργαστηρίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε συνδυασμό με κάποια μεγάλη αεροσήραγγα όπου θα υπολογίζεται η παραγωγή ρεύματος με τους διαφορετικούς τύπους πτερυγίων σε διαφορετικές ταχύτητες αέρα και θα γίνεται κάποια σύγκριση τους, οδηγώντας τους σπουδαστές στην κατανόηση εννοιών της αεροδυναμικής που αφορούν το σχεδιασμό των πτερυγίων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[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

[6] “ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ”, Α. ΦΛΟΚΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

**[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>

[17] <http://www.eere.energy.gov/wind/web.html>

[18] <http://www.telosnet.com/wind/early.html>

[19] <http://www.ewea.org/src/europe.htm>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από τμήματα της
ανεμογεννήτριας, τον τρόπο κατασκευής της και τις δοκιμές
που έγιναν στην αεροσήραγγα.**



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Κατασκευή της πλήμνης στον τόρνο
(μέρος Α)**

Π.1



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Κατασκευή της πλήμνης στον τόρνο
(μέρος Β)**

Π.2



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Δημιουργία των σπειρωμάτων
της πλήμνης με τη βοήθεια
κολαούζου**

Π.3



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εφαρμογή της πλήμνης στη γεννήτρια

Π.4



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το κέλυφος της πλήμνης

Π.5

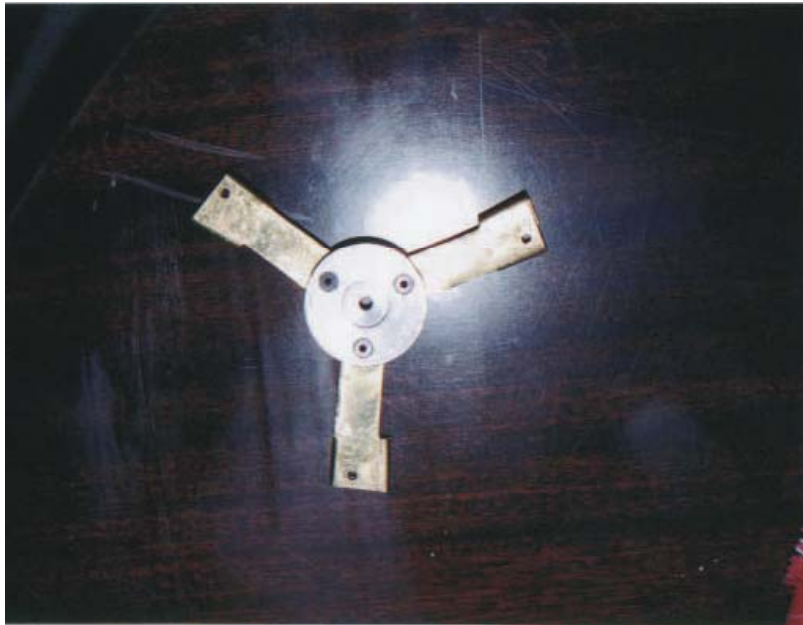


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εφαρμογή του κελύφους στην πλήμνη

Π.6



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Εφαρμογή των χάλκινων βάσεων
στην πλήμνη**

Π.7



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πίσω όψη της γέφυρας ανόρθωσης

Π.8



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Μηχανική εγκατάσταση της
υδροκοπής**

Π.9



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Κατασκευή πτερυγίων με
υδροκοπή**

Π.10



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πτερύγια Α στην ανεμογεννήτρια

Π.11



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πτερύγια Γ στην ανεμογεννήτρια

Π.12

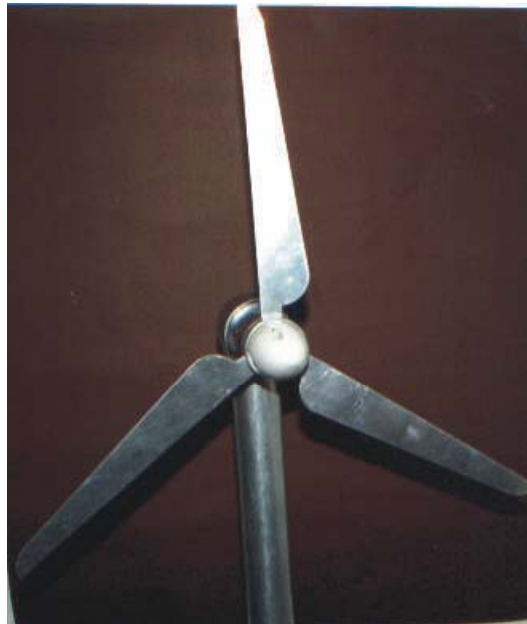


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πτερύγια Ε στην ανεμογεννήτρια

Π.13



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πτερύγια Στ στην ανεμογεννήτρια

Π.14



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πτερύγια Z στην ανεμογεννήτρια

Π.15

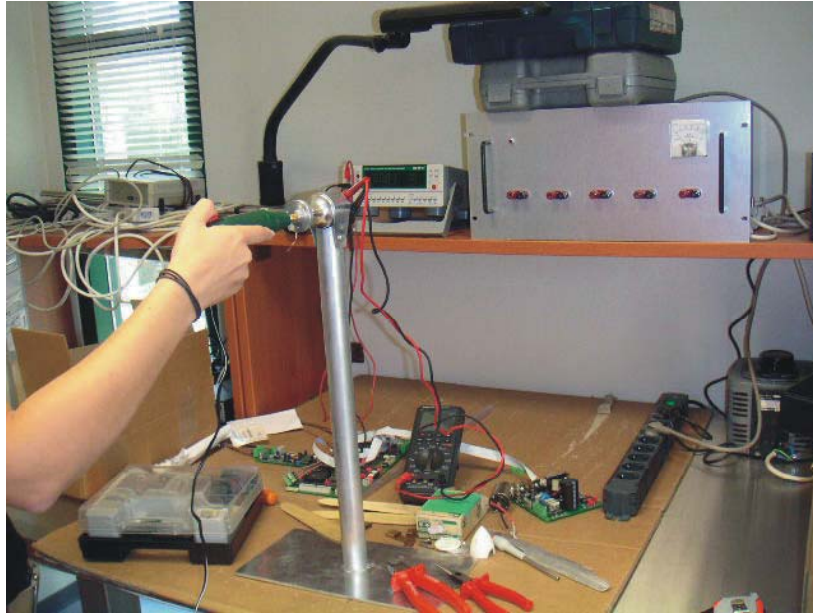


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πτερύγια Η στην ανεμογεννήτρια

Π.16

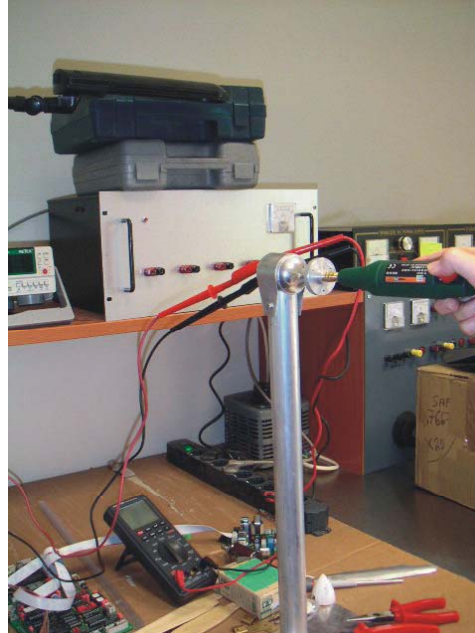


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Μέτρηση στροφών της γεννήτριας
(Α)**

Π.17



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Μέτρηση στροφών της γεννήτριας
(Β)**

Π.18



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Μέτρηση στροφών της γεννήτριας
(Γ)**

Π.19



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Εγκατάσταση της πτερωτής στην
έξοδο της αεροσήραγγας**

Π.20



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Δοκιμαστική λειτουργία της πτερωτής Η

Π.21



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Τοποθέτηση πτερυγίων Γ στην
αεροσήραγα**

Π.22



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Μέτρηση της ταχύτητας με
ανεμόμετρο χειρός**

Π.23



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Παραμόρφωση των πτερυγίων Γ
(Α)**

Π.24

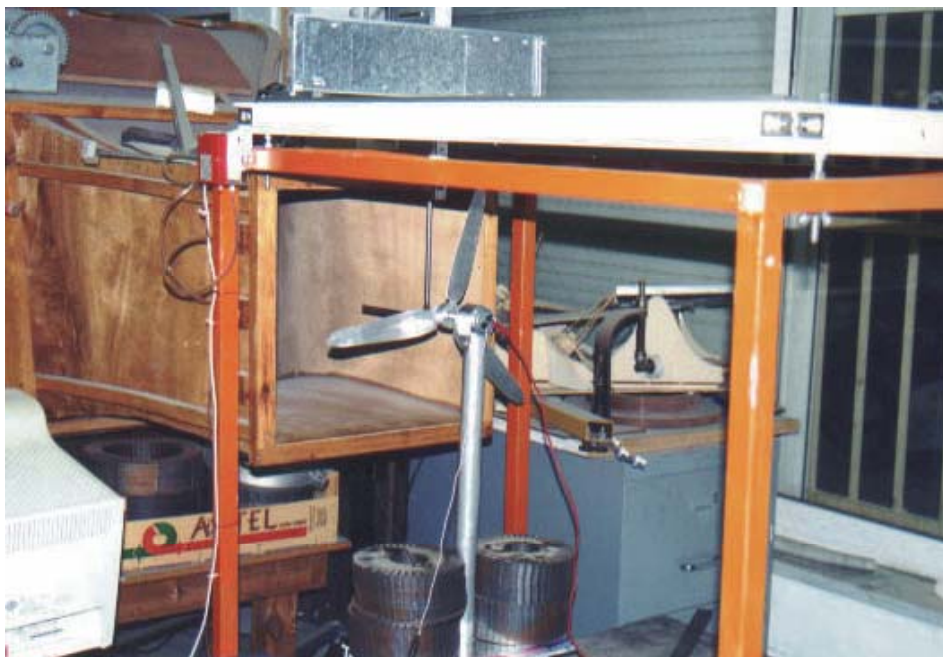


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Παραμόρφωση των πτερυγίων Γ
(Β)**

Π.25



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τελικές δοκιμές πτερυγίων Ε

Π.26

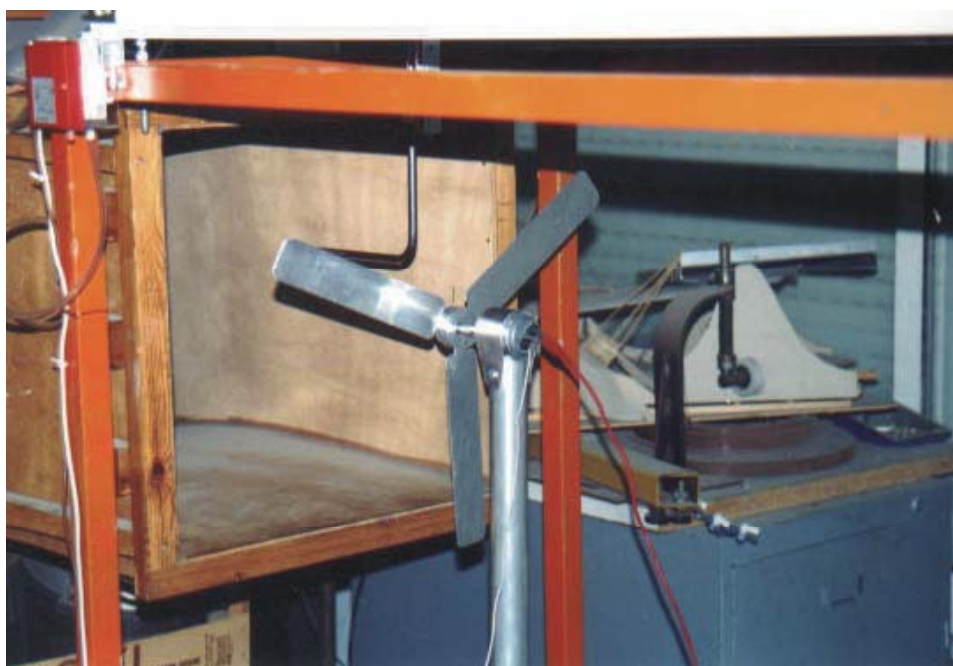


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τελικές δοκιμές πτερυγίων ΣΤ

Π.27

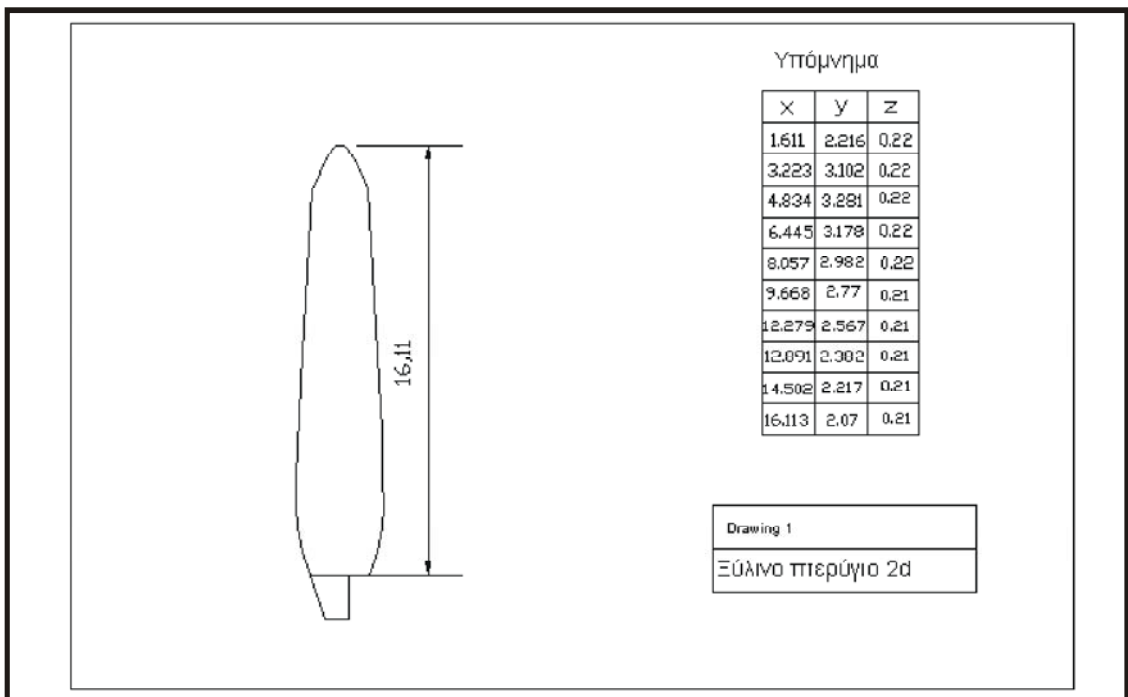


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

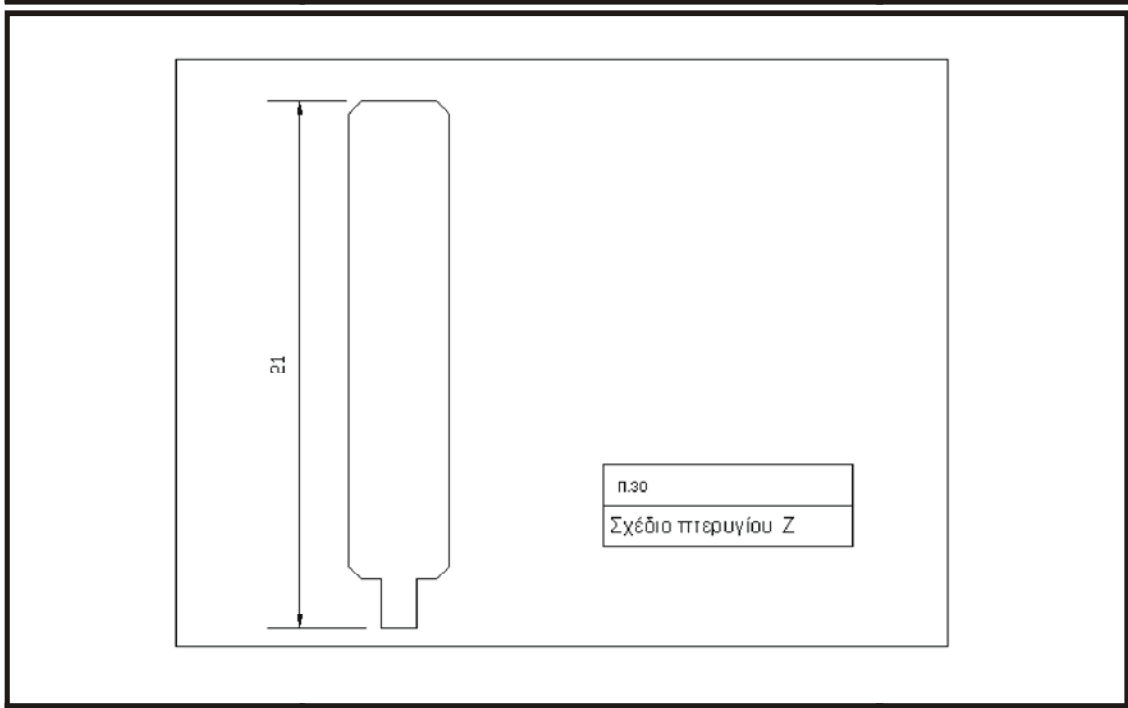
ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τελικές δοκιμές πτερυγίων Ζ

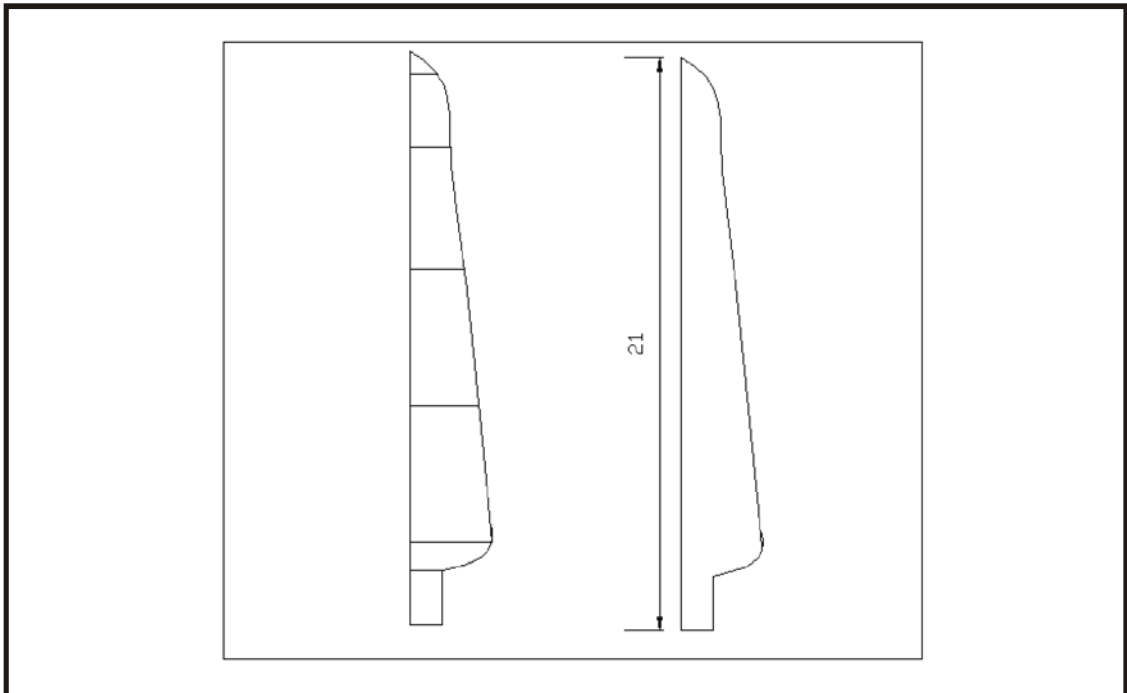
Π.28



Drawing 1
Ξύλινο πτερόγιο 2d



π.30
Σχέδιο πτερυγίου Z



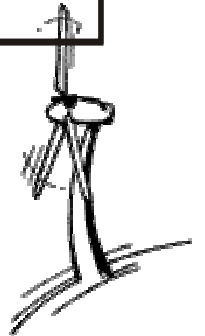
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σχέδιο πτερυγίου Στ

Π.31

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



Ισχύς		6 Watt
Διάμετρος ρότορα		35-42 cm
Ύψος πύργου		50 cm
Διάμετρος πλήμνης		4 cm
Είδη πτερυγίων (δοκιμάστηκαν) Α, Γ, Ε, Ζ, Στ.		5
Είδη πτερυγίων (απέτυχαν) Β, Δ, Η		3
Υλικό πτερυγίων και διάμετρος:		
A	Ξύλο	35 cm
B	Ρητίνη	35 cm
Γ	Ρητίνη	35 cm
Δ	Ρητίνη	35 cm
Ε	Αλουμίνιο	35 cm
Ζ	Αλουμίνιο	42 cm
Η	Αλουμίνιο	42 cm
Στ	Αλουμίνιο	42 cm
Τύπος γεννήτριας (που χρησιμοποιήθηκε)	Tung Lin	12 V
Τύπος γεννήτριας (που απορρίφθηκε)	TAMIYA	6-8,4 V