

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ**

ΜΑΡΚΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων: Επ. Καθηγητής Α. Τουρλιδάκης

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:... 1357...
Ημερομηνία: ... 9/11/04 ...

2004

Κοζάνη 2004,
Γεώργιος Μαρκίδης

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Επ. Καθηγητής Α. Τουρλιδάκης
(επιβλέπων)

Δεύτερος Εξεταστής: Επ. Καθηγητής Δ. Μπούρης

Τρίτος Εξεταστής: Καθηγητής Α. Τομπουλίδης

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΡΚΙΔΗΣ

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας)
Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αντώνιος Τουρλιδάκης, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών
Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων

Περίληψη

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει όλα όσα χρειάζονται για τη δημιουργία υπολογιστικής μεθόδου για τη μελέτη των αξονικών βιομηχανικών ανεμιστήρων. Με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο των αρχών της μηχανικής ρευστών και των βασικών αρχών των στροβιλομηχανών και σε συνδυασμό με τις βασικές γνώσεις προγραμματισμού της Visual Basic, δημιουργούμε ένα εύχρηστο πρόγραμμα με στόχο το σχεδιασμό και την ανάλυση των αξονικών ανεμιστήρων.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 2 Θεωρία.....	17
Κεφάλαιο 3 Λογισμικό.....	52
Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα.....	73
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα.....	92
Κεφάλαιο 6 Παράρτημα.....	93
Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία.....	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η ανάλυση και ο σχεδιασμός γενικά των στροβιλομηχανών και όχι μόνο των ανεμιστήρων είναι διαδικασίες αρκετά δύσκολες και χρονοβόρες. Όταν κάποιος καλείται να σχεδιάσει έναν ανεμιστήρα πρέπει να υπολογίσει όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά από τη βάση έως την κορυφή του πτερυγίου. Πρέπει λοιπόν ο υπολογισμός αυτός να γίνει πάρα πολλές φορές, κάτι το οποίο είναι δύσκολο χωρίς τη χρήση υπολογιστικής μεθόδου. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για την ανάλυση ενός ανεμιστήρα. Όταν ένας ανεμιστήρας σχεδιαστεί για να λειτουργεί με μια ονομαστική παροχή πρέπει να προβλεφτεί πως αυτός θα αντιδράσει σε τυχόν αυξομείωση της παροχής αυτής, κάτι το οποίο απαιτεί πάλι τη χρήση υπολογιστικής μεθόδου. Ο βαθμός απόδοσης των ανεμιστήρων όταν δεν υπάρχει λεπτομερής μελέτη δεν είναι πάντα ο καλύτερος δυνατός. Ένας καλύτερος βαθμός απόδοσης είναι πάντα επιθυμητός καθώς προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να υπολογιστούν και πειραματικά, αλλά η εκπόνηση ενός πειράματος, κατά πρώτον δεν είναι εφικτή από τον καθένα και κατά δεύτερον τα αποτελέσματα που εξάγονται δεν είναι πάντα ακριβή.

Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο, για την αντιμετώπιση όλων των παραπάνω να δημιουργηθεί λογισμικό, βασισμένο σε θεωρητικές εξισώσεις, ώστε με ευκολία και ταχύτητα να κάνουμε υπολογισμούς.

1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ

Οι ανεμιστήρες είναι μηχανήματα με τα οποία επιτυγχάνουμε την κυκλοφορία του αέρα (ή και αερίων) και τις επιθυμητές κάθε φορά μεταβολές της εντάσεως του. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα και οι βασικές τους εφαρμογές είναι σε :

- ψύξη κινητήρων (από κινητήρες βαρέων οχημάτων μέχρι κινητήρες μικροεπεξεργαστών)
- ανακυκλοφορία αέρα σε κλειστούς χώρους
- συστήματα κλιματισμού
- συστήματα εξαερισμού
- και γενικά σε όλα τα συστήματα που έχουν σχέση με μεταφορά η διοχέτευση αερίων μαζών μέχρι ένα συγκεκριμένο εύρος απαιτήσεων σε αύξηση πίεσης

Τους χρησιμοποιούμε στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις ως:

- α) Ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού των λεβήτων
- β) Ανεμιστήρες ή εξαεριστήρες

A) ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΛΚΥΣΜΟΥ

Αυτοί παράγουν με τεχνητό τρόπο το ρεύμα ελκυσμού του αέρα που εισέρχεται στην εστία για την καύση. Χαρακτηρίζονται ως αναρροφητικοί (included draft fans), όσοι αναρροφούν το καυσαέριο της καπνοδόχου και τα οδηγούν προς την ατμόσφαιρα, και καταθλιπτικοί (forced draft fan ή και forced draft blowers), όσοι καταθλίβουν στο λέβητα αέρα υπό πίεση κατά το σύστημα κλειστού οχετού ή το σύστημα κλειστού λεβητοστασίου. Μπορεί να είναι οριζοντίου ή κατακόρυφη τύπου, αξονικοί οι φυγοκεντρικοί. Κινούνται από βοηθητικό κινητήριο μηχανήμα, που μπορεί να είναι παλινδρομική μονοκύλινδρη μηχανή, ατμοστρόβιλος ή κατάλληλος ηλεκτροκινητήρας. Όλοι οι ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού, όταν εργάζονται κατά ζεύγη ή παράλληλα, πρέπει να συγχρονίζονται για να περιστρέφονται με τον ίδιο αριθμό στροφών και να αποδίδουν την ίδια παροχή ο καθένας.

B) ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ – ΕΞΑΕΡΙΣΤΗΡΕΣ

ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ

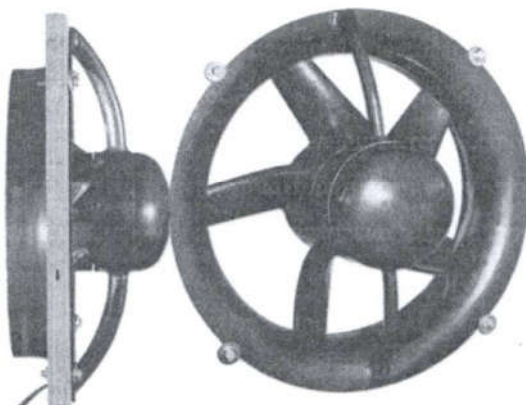
Οι δύο βασικοί τύποι ανεμιστήρων είναι αξονικοί και φυγοκεντρικοί.

Αξονικοί ανεμιστήρες

Οι αξονικοί ανεμιστήρες χρησιμοποιούν πτερύγια για να κινήσουν τον αέρα παράλληλα προς τον άξονα του ανεμιστήρα. Δουλεύουν με σχετικά μεγάλες παροχές αέρα, αλλά δημιουργούν σχετικά μικρή αύξηση πίεσης.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αξονικών ανεμιστήρων:

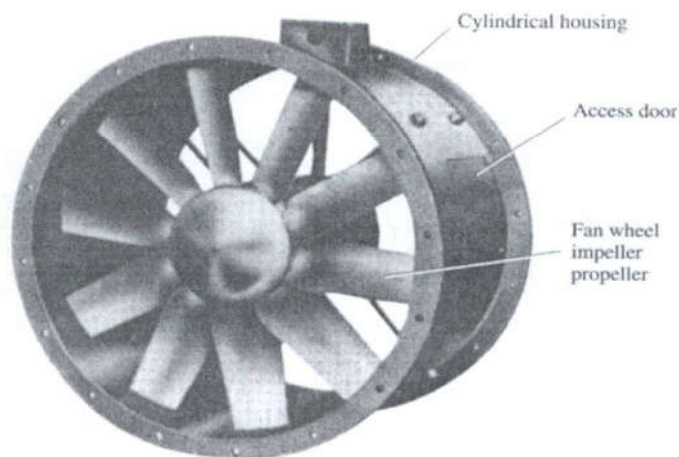
· οι **ανεμιστήρες προώθησης** (propeller fans) έχουν δύο ή περισσότερα πτερύγια και λειτουργούν με μεγάλες παροχές αέρα σε χαμηλή πίεση ή σε ελεύθερη μεταφορά. Η αποδοτικότητα είναι χαμηλή, περίπου 40 % ή και λιγότερο. Έχουν χαμηλό κόστος αγοράς καθώς αποτελούνται από 2 ή και περισσότερα πτερύγια μικρού πάχους προσκολλημένα σε άξονα με σχετικά μικρή διάμετρο. Η κίνηση του άξονα γίνεται είτε με ιμάντα είτε απευθείας. Η μεταφορά ενέργειας είναι με τη μορφή της αύξησης της κινητικής πίεσης. Προσφέρονται για συστήματα με μικρές απαιτήσεις σε αύξηση πίεσης και για μεγάλες απαιτήσεις σε παροχή αέρα. Χρησιμοποιούνται για τον εξαερισμό ζεστού ή μολυσμένου αέρα από χώρους όπως εργαστήρια οξυγονοκόλλησης, χυτήρια, φούρνους βαφής, εργαστήρια, μαγαζιά η και κατοικίες. Τοποθετούνται συνήθως στους τοίχους των παραπάνω χώρων. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας ανεμιστήρας αυτού του τύπου όπου φαίνονται τα στοιχεία που τον απαρτίζουν.



Σχήμα 1. Propeller fan

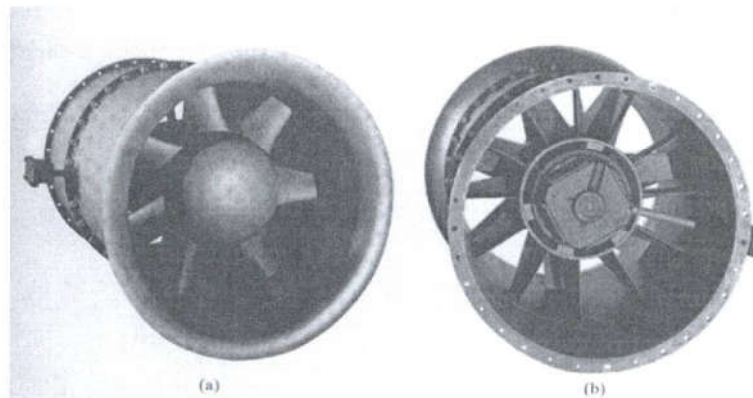
· οι **ανεμιστήρες με σωληνοειδές περίβλημα** (tube axial fans) έχουν μέσα σε αυτό ένα δρομέα με μικρό διάκενο ανάμεσα στο κέλυφος και στα πτερύγια για βελτίωση της απόδοσης ροής. Ο δρομέας περιστρέφεται γρηγορότερα από τον αντίστοιχο των απλών ανεμιστήρων που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιτρέποντας μεγαλύτερη αύξηση πίεσης και βαθμό απόδοσης περίπου 65 %. Προσφέρονται για μετατροπή περισσότερο στατικής πίεσης παρά κινητικής. Συνήθως έχουν από 4 έως 8 πτερύγια και με λόγο ακτίνας κορυφής προς ακτίνα βάσης μικρότερο από 50 %.

Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού μέσω σωληνώσεων (μεγάλων διατομών) όπου οι απώλειες πίεσης βρίσκονται στο εύρος αύξησης πίεσης των συγκεκριμένων ανεμιστήρων. Επίσης χρησιμοποιούνται και στη βιομηχανία σε αποξηραντικές διαδικασίες και σε θαλάμους βαφής.

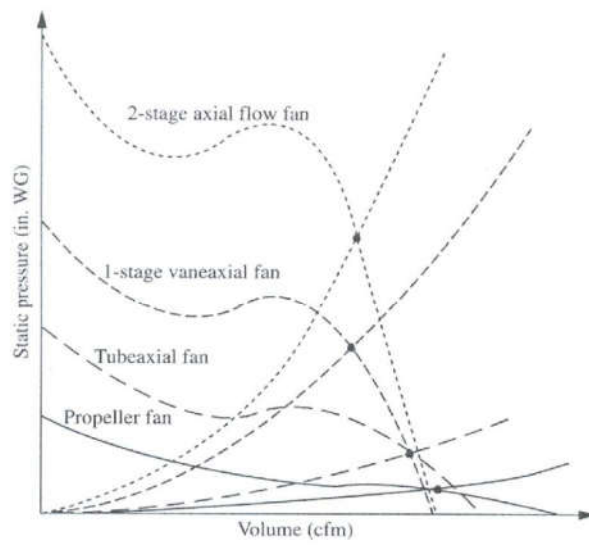


Σχήμα 2. Tube axial fan

· οι **αξονικοί ανεμιστήρες με οδηγητικά πτερύγια** (vane axial fans) είναι παρόμοιοι με τους σωληνοειδούς κελύφους αξονικούς ανεμιστήρες με μόνη διαφορά την προσθήκη οδηγητικών πτερυγίων στην είσοδο ή την έξοδο του ανεμιστήρα με αποτέλεσμα καλύτερη κατεύθυνση της ροής και ενδυνάμωσής της. Έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης από τους δυο παραπάνω τύπους και κυμαίνεται γύρω στο 75 % Μερικά μοντέλα έχουν πτερύγια μεταβλητού μεγέθους για καλύτερη συγκράτηση της ροής ανάλογα με την παροχή. Ο λόγος της διαμέτρου κορυφής προς την ακτίνα βάσης κυμαίνεται από 45 – 80 %. Χρησιμοποιούνται για μεταφορά αέρα σε συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού με απαιτήσεις αύξησης πίεσης χαμηλές, μεσαίες και υψηλές. Πλεονεκτούν σε συστήματα σταθερής ροής και σε συστήματα που αντιμετωπίζουν πρόβλημα χώρου. Έχουν τις ίδιες βιομηχανικές εφαρμογές με τους ανεμιστήρες του προηγούμενου τύπου.



Σχήμα 3. Van axial fan. a)inlet side. b)outlet side



Σχήμα 4. Διάγραμμα αξονικών ανεμιστήρων για επιλογή ανάλογα με την παροχή και την απαιτούμενη αύξηση πίεσης.

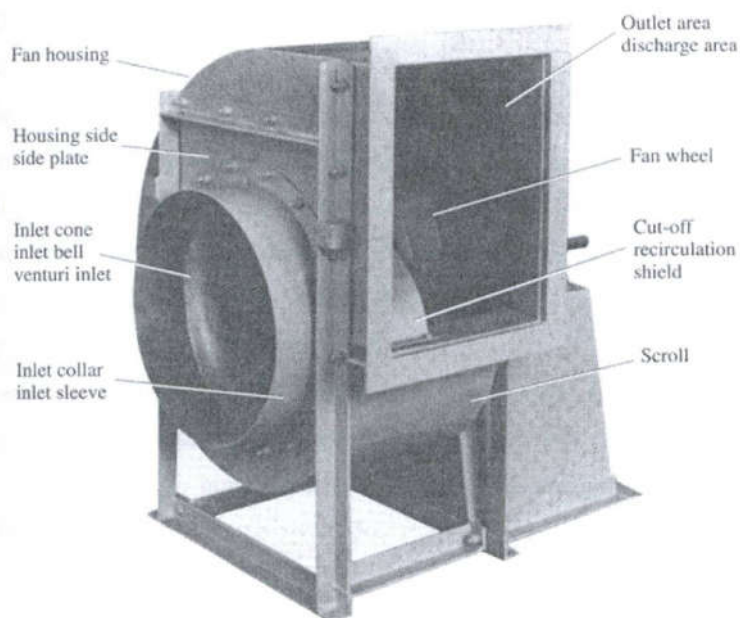
Πίνακας χαρακτηριστικών διαφόρων τύπων αξονικών ανεμιστήρων

Τύπος ανεμιστήρα	Propeller fan	Tube axial fan	Single stage Vane axial fan	Two stage Van axial fan
Περίβλημα	Δακτυλοδοειδές πλαίσιο στήριξης	Μικρό κυλινδρικό περίβλημα	Κυλινδρικό περίβλημα	Μεγάλο κυλινδρικό περίβλημα
Τοποθέτηση ηλεκτροκινητήρα	Πλευρά εισόδου	Εντός περιβλήματος Πλευρά εξόδου	Εντός περιβλήματος Πλευρά εξόδου	Εντός περιβλήματος Ανάμεσα στις δύο βαθμίδες
Οδηγητικά περύγια	-	-	Μετά το δρομέα	Ανάμεσα Στις δύο Βαθμίδες
R _{βασής} / R _{κορυφής}	0 – 40 %	30 – 50 %	45 – 80 %	50 – 80 %
Στατική πίεση (Pascal)	0 – 250	120 – 600	250 – 2200	900 – 4500
Γωνία καμπυλότητας περυσίου στη βάση	30 – 50 °	30 – 50 °	30 – 60 °	30 – 60 °
Γωνία καμπυλότητας περυσίου στην κορυφή	10 – 25 °	10 – 25 °	100 – 35 °	10 – 35 °
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	70 %	75 %	90 %	70 %

Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες

Χρησιμοποιούν φυγοκεντρική δύναμη για να επιταχύνουν τον κινούμενο αέρα. Κοινός στη βιομηχανία, και ιδιαίτερα σε εφαρμογές που απαιτούν αυξήσεις πίεσης μεγαλύτερες από τους αξονικούς ανεμιστήρες, για να υπερνικήσουν τις αντιστάσεις τριβής στο σύστημα διανομής. Ανεμιστήρες για βιομηχανικό εξαερισμό λειτουργούν για να υπερνικήσουν αντιστάσεις μέχρι και 1,4 atm. Υπάρχουν βέβαια και ανεμιστήρες που δημιουργούν αυξήσεις πίεσης μέχρι και 4 atm. Οι μεγαλύτεροι ανεμιστήρες αυτού του τύπου έχουν διαμέτρους στροφείου μέχρι 200 ίντσες ή και μεγαλύτερες, και μπορούν να λειτουργούν με παροχές μεγαλύτερες περισσότερο από 100.000 κυβικά πόδια ανά λεπτό.

Οι τέσσερις βασικοί τύποι των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων διακρίνονται από τη γωνία των πτερυγίων του δρομέα σε τέσσερις κατηγορίες με αποδόσεις που κυμαίνονται από 60 έως και 85 %.



Σχήμα 5. Centrifugal fan

ΕΞΑΕΡΙΣΤΗΡΕΣ

Οι εξαεριστήρες μπορούν να δημιουργήσουν πολύ υψηλότερες πιέσεις από τους ανεμιστήρες, της τάξεως των 1,4 atm. Χρησιμοποιούνται επίσης για να δημιουργούν αρνητικές πιέσεις για βιομηχανικά συστήματα κενού (vacuum systems).

· οι φυγοκεντρικοί εξαεριστήρες μοιάζουν περισσότερο με τις φυγοκεντρικές αντλίες παρά με τους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες. Ο δρομέας συνήθως είναι συνδεδεμένος με κιβώτιο ταχυτήτων και περιστρέφεται περίπου με 15.000 περιστροφές ανά λεπτό. Στους πολυβάθμιους εξαεριστήρες ο αέρας επιταχύνεται καθώς περνάει από κάθε δρομέα, ωστόσο μεγάλοι μονοβάθμιοι εξαεριστήρες είναι πιο αποδοτικοί επειδή ο αέρας δεν υποχρεούται σε τόσες πολλές περιστροφές. Οι φυγοκεντρικοί εξαεριστήρες δημιουργούν αυξήσεις πίεσης περίπου από 0,4 – 0,8 atm αλλά μπορούν να δημιουργήσουν και μεγαλύτερες. Ένα χαρακτηριστικό είναι ότι η ροή αέρος τείνει να μειωθεί

δραστικά όταν η πίεση του συστήματος αυξάνεται, κάτι το οποίο μπορεί να είναι μειονέκτημα για συστήματα που απαιτούν σταθερή παροχή αέρα. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές που δεν είναι επιρρεπής σε απόφραξη.

· Οι εξαεριστήρες πρακτικής – τοποθέτησης (positive - displacement) έχουν δρομείς οι οποίοι παγιδεύουν αέρα και τον αναγκάζουν να εξέλθει μέσω μιας διατομής.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΕΡΙΣΤΗΡΩΝ

Η παροχή αέρα στους ανεμιστήρες και τους εξαεριστήρες ρυθμίζεται με τέσσερις βασικούς τρόπους:

- Η αλλαγή της περιστροφικής ταχύτητας είναι η αποδοτικότερη. Εάν η απαίτηση της παροχής είναι σταθερή, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επιλογή κατάλληλου μεγέθους γραναζιών για τη σύνδεση του άξονα του ηλεκτροκινητήρα με τον άξονα του δρομέα. Εάν η παροχή αέρα ποικίλλει ανάλογα με τη διεργασία προτείνεται να κομπλαριστεί στον άξονα κιβώτιο ταχυτήτων

- Η αλλαγή της γωνίας του πτερυγίου είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται σε μερικούς αξονικούς ανεμιστήρες οδηγητικών πτερυγίων .

- Ο περιορισμός της ροής αέρα πραγματοποιείται με διατάξεις βαλβίδων που μειώνουν τη ροή στην είσοδο ή στην έξοδο.

1.3. ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας όπως φαίνεται και από τον τίτλο είναι η ανάπτυξη λογισμικού για το σχεδιασμό και την ανάλυση των αξονικών ανεμιστήρων. Το πρόγραμμα θα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει διαδικασία υπολογισμών όσον αφορά την ανάλυση και το σχεδιασμό. Με βάση κάποια δεδομένα, που θα καθορίζει ο χρήστης του λογισμικού, θα υπολογίζουμε τα ανάλογα αποτελέσματα ανάλογα με την επιλογή της ανάλυσης ή του σχεδιασμού.

Στο σχεδιασμό με βάση την αύξηση πίεσης, την παροχή μάζας, τον αριθμό των στροφών και το μέγεθος του ανεμιστήρα θα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να υπολογίζει τη γεωμετρία των πτερυγίων (γωνία εισόδου, γωνία εξόδου), τον αριθμό των πτερυγίων και άλλα χαρακτηριστικά που θα αναπτυχθούν λεπτομερέστερα σε άλλο κεφάλαιο της εργασίας.

Στην ανάλυση με βάση τη γεωμετρία των πτερυγίων, την διατομή της μηχανής, και την ονομαστική παροχή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει πως μεταβάλλεται η αύξηση πίεσης, το ειδικό έργο, η ισχύς καθώς επίσης και οι σχετικές και απόλυτες ταχύτητες στην είσοδο και την έξοδο της στροβιλομηχανής όταν μεταβάλλεται η παροχή σε διάφορες ακτίνες. Επίσης θα μπορούν να εξαχθούν κάποια διαγράμματα.

Είναι λογικό πως ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή να αλλάξει το πρόγραμμα προσαρμόζοντάς το στις απαιτήσεις του και να δημιουργήσει πάνω στον κορμό του λογισμικού όσες παραλλαγές επιθυμεί. Έτσι του δίνεται η δυνατότητα για πιο ακριβής εξαγωγή αποτελεσμάτων λαμβάνοντας υπόψη κάποια λεπτομερή στοιχεία που τυχόν απουσιάζουν ή έχουν εισαχθεί σαν παραδοχές.

Απώτερος σκοπός όλων των παραπάνω είναι ο όσο το δυνατό ακριβέστερος υπολογισμός, ώστε να μπορέσουμε να πετύχουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Ένας μεγάλος βαθμός απόδοσης έχει σαν αποτέλεσμα εξοικονόμηση ενέργειας που μεταφράζεται άμεσα σε εξοικονόμηση χρημάτων και έμμεσα σε προστασία του περιβάλλοντος.

Όταν ένας ανεμιστήρας λειτουργεί για να δημιουργήσει μια αύξηση πίεσης καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια που ισούται, με την ενέργεια που απαιτείται για να κινηθεί ο δρομέας του ανεμιστήρα (ώστε να δημιουργήσει την απαιτούμενη αύξηση πίεσης), αν σε αυτή προσθέσουμε τις απώλειες που είναι αναπόφευκτες κατά τη

λειτουργία του ανεμιστήρα. Όταν λοιπόν υπάρχει λεπτομερής μελέτη κατά το σχεδιασμό ενός ανεμιστήρα είναι δυνατό για συγκεκριμένη αύξηση πίεσης να απαιτείται λιγότερο μηχανικό έργο, επομένως και λιγότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα το οποίο σημαίνει εξοικονόμηση χρημάτων. Όταν λοιπόν καταναλώνουμε λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια οι ρύποι που εκπέμπονται κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι λιγότεροι.

1.4.ΔΟΜΗ

Το υπόλοιπο της εργασίας χωρίζεται σε άλλα έξι κεφάλαια.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρατίθεται η θεωρία σχετικά με τους αξονικούς ανεμιστήρες, που βασίζεται σε βασικές αρχές ρευστομηχανικής και θερμοδυναμικής.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος δημιουργίας και η μορφή του λογισμικού.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χρήσης του λογισμικού.

Στο 5^ο κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που αφορούν όλη την εργασία.

Στο 6^ο κεφάλαιο υπάρχει το παράρτημα που αφορά τον προγραμματισμό του λογισμικού.

Στο 7^ο κεφάλαιο βρίσκεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΩΡΙΑ

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Οι βασικοί νόμοι της ώσης που διέπουν την ροή του ρευστού και την παραγωγή έργου σε μια στροβιλομηχανή σε μια μορφή κατάλληλη για την μελέτη στροβιλομηχανών είναι οι:

- α) Η αρχή της διατήρησης της μάζας.
- β) Η αρχή διατήρησης της ορμής.
- γ) Το θεώρημα της συστροφής.
- δ) Η αρχή διατήρησης της ενέργειας.
- ε) Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος.

Οι νόμοι αυτοί είναι γενικοί, ανεξάρτητοι από την φύση του ρευστού και μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικά χρησιμοποιώντας μερικές παραγώγους ή διαφοσμικό λογισμό. Οι εξισώσεις αυτές έχουν μελετηθεί αναλυτικά στη Μηχανική των ρευστών και επομένως εδώ θα αναφερθούμε μόνο σε απλοποιημένες εκφράσεις κατάλληλες για την περίπτωση.

2.1.1 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ

Η αρχή αυτή λέει ότι:

"Σ' ένα στοιχειώδη όγκο δεν μπορεί να γίνει συσσώρευση μάζας".

Η μαθηματική έκφραση της αρχής αυτής είναι η εξίσωση της συνέχειας που είναι

:

$$dp / dt + \text{div}(p.c) = 0$$

Σε περίπτωση σταθερής μονοδιάστατης ροής η αρχή της διατήρησης της μάζας μπορεί να απλοποιηθεί με τον ακόλουθο τρόπο. Θεωρούμε λοιπόν την ροή ενός ρευστού μέσα από μια στοιχειώδη επιφάνεια dA και για ένα χρονικό διάστημα dt .

Η μάζα του ρευστού που περνάει από την επιφάνεια αυτή είναι:

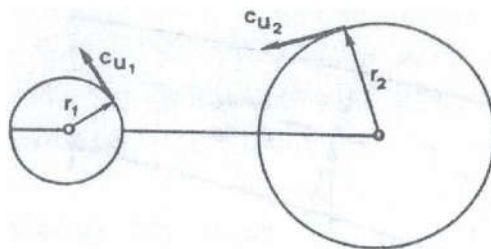
$$dm = \rho \cdot c \cdot \cos\theta \cdot dA \cdot dt = \rho \cdot c_n \cdot dA \cdot dt$$

όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στην επιφάνεια και την διεύθυνση της ταχύτητας. Η στοιχειώδης παροχή μάζας λοιπόν θα είναι:

$$dm / dt = \rho \cdot c_n \cdot dA$$

Για μονοδιάστατες ροές όπου η ταχύτητα και η πυκνότητα θεωρούνται ότι δεν μεταβάλλονται πάνω σε μια διατομή, μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η μάζα θα είναι ίση με :

$$m = \rho_1 \cdot c_{n1} \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_{n2} \cdot A_2 = \rho \cdot c_n \cdot A \quad [\text{kg/s}] \quad (2.4)$$



όπου A_1, A_2, A είναι το εμβαδόν διάφορων διατομών ενός καναλιού.

2.1.2. Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

Η αρχή της διατήρησης της ορμής βασίζεται στον δεύτερο νόμο του Newton, που στη βασική του μορφή για ένα σύστημα ροής με σταθερή μάζα είναι:

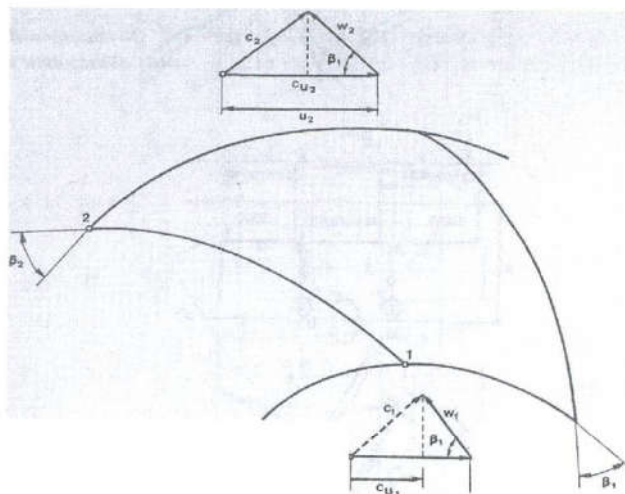
$$\text{Δύναμη} = \text{μάζα} * \text{επιτάχυνση} \Leftrightarrow F = m * r$$

Ο νόμος αυτός συνδέει διανύσματα και επομένως για να εφαρμοσθεί χρειάζεται κάποιο σύστημα συντεταγμένων.

Στη γενική της μορφή η αρχή διατήρησης της ορμής είναι:

$$Dc / Dt = f - (1 / \rho \text{ grad } p) \quad (2.5)$$

όπου f είναι διάφορες δυνάμεις που ενεργούν πάνω στον στοιχειώδη όγκο του ρευστού.

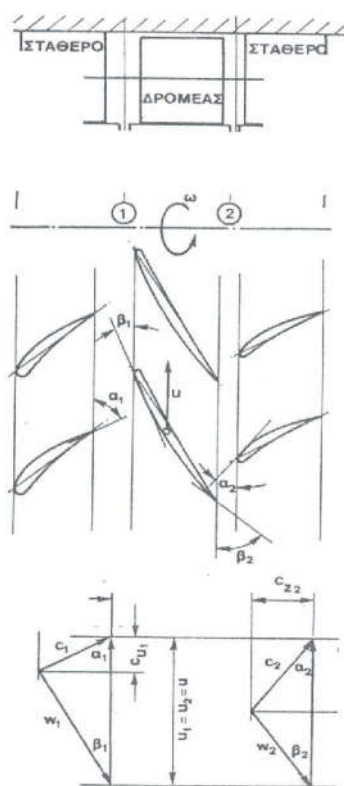


Μπορούμε να πάρουμε μια απλοποιημένη έκφραση της εξίσωσης (2.5), θεωρώντας πάλι μια μονοδιάστατη ροή μάζας m και ένα στοιχειώδη όγκο, όπου, η ομοιόμορφη ταχύτητα εισόδου στη διεύθυνση x είναι c_{x1} και η ταχύτητα εξόδου είναι c_{x2} .

Η αρχή διατήρησης της ορμής λέει ότι το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων που ενεργούν μέσα και πάνω στην επιφάνεια του στοιχειώδους όγκου στην διεύθυνση x ισούται με την μεταβολή της ορμής σ' αυτή την διεύθυνση. Εκφράζοντάς με μαθηματικά έχουμε:

$$\Sigma F_x = m (dc_x / dt) \quad (2.6 \alpha)$$

$$\Sigma F_x = m (c_{x2} - c_{x1}) \quad (2.6 \beta)$$



σχήμα 2.6

Η εξίσωση (2.6) μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τις δυνάμεις που ενεργούν πάνω στις στερεές επιφάνειες μιας στροβιλομηχανής.

Μπορούμε επίσης να πάρουμε μια απλοποιημένη έκφραση της εξίσωσης (2.5)

θεωρώντας ένα στοιχειώδη όγκο κατά μήκος μιας γραμμής ροής.

Αν θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν τριβές, είτε κατά μήκος είτε στην επιφάνεια του στοιχειώδους όγκου, η μόνη δύναμη που μένει είναι η γεωδαιτική.

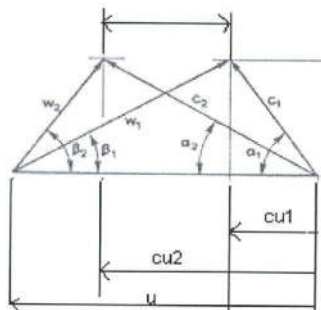
Επομένως $f = g.z$.

Τότε η εξίσωση (2.5) μπορεί να γραφεί:

$$c \cdot dc = -g \cdot dz - (1/\rho) \cdot dp \quad (2.8 \alpha)$$

$$1/\rho \cdot dp + c \cdot dc + g \cdot dz = 0 \quad (2.8 \beta)$$

$$\Delta cu = (cu_2 - cu_1)$$



σχήμα 2.7

που είναι η εξίσωση για μονοδιάστατη ροή. Αν ολοκληρώσουμε την εξίσωση (2.8β) Κατά μήκος μιας γραμμής ροής, από την θέση 1 στην θέση 2, θεωρώντας ασυμπίεστη ροή ($\rho = ct$) θα πάρουμε:

$$1/\rho (p_2 - p_1) + 1/2 (c_2^2 - c_1^2) + g (z_2 - z_1) = 0 \quad (2.1)$$

που είναι η εξίσωση bernoulli.

Αν αγνοήσουμε τις μεταβολές του γεωδαιτικού ύψους και θεωρήσουμε ολική πίεση ανακοπής (stagnation pressure) ,

$$p_0 = p + 1/2 \rho \cdot c^2 \quad (2.11)$$

η εξίσωση (2.10) θα μας δώσει ότι:

$$p_{01} = p_{02} \quad (2.12)$$

Επομένως η ολική πίεση ανακοπής κατά μήκος των γραμμών ροής, όταν δεν υπάρχουν απώλειες, είναι σταθερή.

2.1.3. ΤΟ ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΣΤΡΟΦΟΡΜΗΣ

Στις στροβιλομηχανές, η μεταβολή της ροπής της ορμής ανάμεσα στα πτερύγια του δρομέα, παίζει σημαντικό ρόλο στην εναλλαγή ενέργειας ανάμεσα στο ρευστό και στην πτερωτή. Η μεταβολή της ροπής της ορμής ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο από την πτερωτή, έχει σαν συνέπεια, να αναπτυχθεί πάνω στην πτερωτή μια ροπή στροφής, δηλαδή μηχανικό έργο περιστροφής πάνω στην άτρακτο της μηχανής, που είναι σταθερά συναρμολογημένη με την πτερωτή.

Για να υπολογίσουμε την ροπή μιας δύναμης F ως προς ένα σημείο θα πρέπει να υπολογίσουμε το εξωτερικό γινόμενο

$$M = r \times F \quad (2.13)$$

Το διάνυσμα της ροπής M είναι επομένως κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από την ακτίνα r και την δύναμη F .

Για να βρούμε, επομένως, την ροπή πάνω σε έναν άξονα με διεύθυνση ω , θα πρέπει να σχηματίσουμε την έκφραση:

$$M\alpha = M \cdot \omega = (r \times F) \cdot \Omega \quad (2.14)$$

Σε μια στροβιλομηχανή που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω , το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών $M\alpha$ στον άξονα θα πρέπει να είναι ίσο με την ροπή της στροφής πάνω στην περρωτή.

Θα πρέπει κανένας βέβαια να θεωρήσει όλες τις δυνάμεις F_i που ενεργούν σε κάθε στοιχειώδη όγκο ρευστού, όπως δίνονται από την εξίσωση της ορμής, και να υπολογίσει την στοιχειώδη ροπή, όπως δίνεται από την εξίσωση 2.13. Στη συνέχεια θα πρέπει να ολοκληρώσει κανείς όλες αυτές τις στοιχειώδεις ροπές μέσα και γύρω σε μια οριακή επιφάνεια που περικλείει την περρωτή για να υπολογίσει την τελική ροπή που εμφανίζεται στον άξονα και είναι ίση με την ροπή της στροφής του άξονα.

2.1.4. ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ EULER

Σαν απλή εφαρμογή ας θεωρήσουμε ένα σύστημα που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από ένα άξονα. Ρευστό μάζας m μπαίνει στο σύστημα στην θέση 1 και έχει εφαπτομενική ταχύτητα cu_1 . Το ρευστό βγαίνει από το σύστημα σε μια θέση 2 με εφαπτομενική ταχύτητα cu_2 .

Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν άλλες δυνάμεις να ενεργούν στο σύστημα τότε η μεταβολή της ροπής της ορμής, συστροφής, θα είναι ίση με την ροπή στον άξονα της περιστροφής.

Για ένα μονοδιάστατο σύστημα η μεταβολή της ορμής στην εφαπτομενική διεύθυνση είναι $m \cdot cu$ και η αντίστοιχη ροπή παράλληλη στον άξονα της περιστροφής θα είναι:

$$m \cdot cu \cdot r$$

Η μεταβολή τότε της συστροφής μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

$$T_A = m (cu_2 \cdot r_2 - cu_1 \cdot r_1) \quad (2.15)$$

όπου T_A είναι η ροπή στον άξονα της περιστροφής.

Για μια στροβιλομηχανή που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω , η ισχύς που εναλλάσσεται μεταξύ ρευστού και πτερωτής θα είναι:

$$T_A \cdot \omega = m (cu_2 \cdot r_2 - cu_1 \cdot r_1) \cdot \omega \quad (2.16)$$

Σε μια πτερωτή η ταχύτητα του πτερυγίου δίνεται από τον τύπο:

$$U = \omega \cdot r \quad (2.17)$$

και επομένως το έργο ανά μονάδα μάζας είναι

$$\Delta W = T_A \cdot \omega / m = U_2 \cdot cu_2 - U_1 \cdot cu_1 \quad (2.18)$$

Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή σαν εξίσωση του Euler για αντλίες.

Στην περίπτωση του στροβίλου το πρόσημο του έργου είναι αντίθετο γιατί το έργο παράγεται στον άξονα. Στην περίπτωση αυτή και μόνο για να μην έχουμε αρνητικό έργο, αντιστρέφοντας το πρόσημο έχουμε το ειδικό έργο στον άξονα στροβίλου:

$$\Delta W = T_A \cdot \omega / m = U_1 \cdot cu_1 - U_2 \cdot cu_2 \quad (2.19)$$

Η σχέση αυτή είναι γνωστή σαν η "εξίσωση του Euler για στροβίλους.

2.1.5. ΤΡΙΓΩΝΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας πτερωτής, δρομέα, είναι ότι περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω και επομένως γεωμετρικά υπάρχει αξονική συμμετρία. Για τον λόγο αυτό η μελέτη της ροής σε μια στροβιλομηχανή είθισται να γίνεται σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων με μοναδιαία διανύσματα

z_0 διεύθυνση κατά μήκος του άξονα περιστροφής, r_0 η διεύθυνση της ακτίνας σε κάποιο σημείο και u_0 που είναι κάθετη στο r_0 στο σημείο εφαρμογής και εξορισμού:

$$u_0 = z_0 \cdot r_0 \quad (2.20)$$

Πρακτικά η διεύθυνση u συμπίπτει με την διεύθυνση της περιστροφής.

Η ταχύτητα του δρομέα σε ένα σημείο ακτίνας r δίνεται τότε σαν

$$U = (\omega \cdot r) \cdot u_0 \quad (2.21)$$

Η ταχύτητα του ρευστού σε κάθε σημείο (r, u, z) είναι

$$c = c_r \cdot r_0 + c_u \cdot u_0 + c_z \cdot z_0 \quad (2.22)$$

Αν θεωρήσουμε λοιπόν τώρα ένα άλλο σύστημα κυλινδρικών συντεταγμένων που περιστρέφεται με την πτερωτή, η ταχύτητα του ρευστού στο περιστρεφόμενο σύστημα συντεταγμένων θα είναι:

$$w = c - U = w_r \cdot r_0 + w_u \cdot u_0 + w_z \cdot z_0 \quad (2.23)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$c_r = w_r$$

$$c_u = w_u + U \quad (2.24)$$

$$c_z = w_z$$

όπου w είναι η σχετική ταχύτητα του ρευστού μέσα σε μια πτερωτή.

Οι γεωμετρικές σχέσεις ανάμεσα στην απόλυτη c , την σχετική w και περιφερειακή ταχύτητα u αποτελούν τα λεγόμενα τρίγωνα ταχυτήτων.

Στο σχήμα 2.6 δείχνεται σχηματικά μια βαθμίδα αξονικής στροβιλομηχανής που αποτελείται από τα σταθερά πτερύγια εισόδου, την πτερωτή και τα σταθερά πτερύγια

εξόδου. Επίσης δείχνουμε τα τρίγωνα εισόδου και εξόδου στο δρομέα.

Αν υποθέσουμε ότι, το ρευστό βγαίνει από τα σταθερά πτερυγία εισόδου με ταχύτητα c_1 και μπαίνει στο δρομέα που περιστρέφεται με περιστροφική ταχύτητα u_1 το διάνυσμα της σχετικής ταχύτητας w_1 είναι αυτομάτως καθορισμένο από την σχέση:

$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2c_1 \cdot u_1 \cdot \cos\alpha_1 \quad (2.25)$$

Κάτω από ιδανικές συνθήκες, όπου θέλουμε το ρευστό να ακολουθήσει την διεύθυνση του πτερυγίου, η γωνία β_1 θα είναι:

$$\beta_1 = \cos^{-1} [(u_1 - c_1 \cdot \cos\alpha_1) / w_1] \quad (2.26)$$

Παρόμοιες σχέσεις μπορεί κανένας να αναπτύξει και για τις γωνίες των πτερυγίων εξόδου.

Η αξονική συνιστώσα της ταχύτητας πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ικανοποιεί την αρχή διατήρησης της μάζας.

$$m = \rho_1 \cdot c_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_2 \cdot A_2 \quad (2.27)$$

Στην περίπτωση των αξονικών μηχανών κάτω από ιδανικές συνθήκες το ρευστό κινείται παράλληλα στον άξονα περιστροφής και επομένως.

$$R_1 = R_2 \quad \text{και εφόσον το } \omega \text{ είναι κοινό}$$

$$u_1 = u_2 = u$$

Τότε μπορούμε να σχεδιάσουμε τα λεγόμενα τρίγωνα κοινής βάσης σχ.2.7 που μας επιτρέπουν να βλέπουμε εύκολα τη μεταβολή της περιφερειακής συνιστώσας της απόλυτης ταχύτητας και επομένως το ειδικό έργο όπως δίνεται από την εξίσωση του Euler:

$$\Delta W = u (cu_2 - cu_1) \quad (2.28)$$

2.1.6. Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Χρήση της αρχής διατήρησης της ενέργειας έχουμε ήδη κάνει στην εισαγωγή, προκειμένου να κατατάξουμε τις διάφορες στροβιλομηχανές με βάση την ροή ενέργειας.

Επαναλαμβάνουμε εδώ τις τελικές εξισώσεις που συνδέουν συνθήκες εισόδου, κατάσταση 1 και εξόδου, κατάσταση 2, μιας στροβιλομηχανής, με την ιδεατή ισχύ που παράγεται / απορροφάται από τη μηχανή.

Έτσι έχουμε την εξίσωση

$$m[(z_2 - z_1)g + (p_2/\rho_2 - p_1/\rho_1) + 1/2(c_2^2 - c_1^2) + (u_2 - u_1)] = N \quad (2.30)$$

2.2 ΑΕΡΟΤΟΜΕΣ

ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ / ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ / ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ

Στις στροβιλομηχανές, η βάση εναλλαγής ενέργειας είναι η μεταβολή της στροφορμής, που σε αξονικές κυρίως μηχανές επιτυγχάνεται με την χρήση πτερυγίων με κατάλληλες διατομές.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε πρώτα με τη θεωρία των πτερυγίων, αεροτομών, που αποτελούν τη βάση μελέτης και σχεδιασμού αξονικών στροβιλομηχανών και στην συνέχεια θα αναφερθούμε στα κατασκευαστικά και λειτουργικά στοιχεία των αξονικών συμπιεστών.

2.2.1. ΘΕΩΡΙΑ ΑΕΡΟΤΟΜΩΝ



Από την μηχανική των ρευστών είναι γνωστό ότι κάθε σώμα που βρίσκεται μέσα σ' ένα πεδίο ροής που χαρακτηρίζεται από μια ταχύτητα U_0 υπόκειται σε δύο ειδών δυνάμεις.

- α) Δυνάμεις αντίστασης (D) που είναι παράλληλες στην διεύθυνση της ταχύτητας και
- β) Δυνάμεις άνωσης (L) που είναι κάθετες σ' αυτήν.

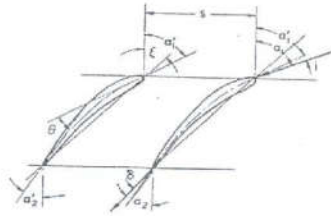
Οι δυνάμεις αυτές σχετίζονται με την αλλαγή της ορμής του ρευστού κάτω από ορισμένες συνθήκες, την εναλλαγή ενέργειας ανάμεσα στο ρευστό και στο σώμα.

Στις στροβιλομηχανές γενικά επιζητούμε αύξηση της άνωσης L με ταυτόχρονη μείωση της αντίστασης D για να επιτευχθεί ο μέγιστος βαθμός απόδοσης.

Μεγιστοποίηση της άνωσης επιτυγχάνεται με αεροτομές γι' αυτό και η μελέτη τους αποτελεί τη βάση της θεωρίας των στροβιλομηχανών.

2.2.2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Στο σχήμα 5.1 και στον πίνακα 5.1 δίνονται οι γεωμετρικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια αεροτομή. Γίνεται επίσης διάκριση ανάμεσα σε σταθερή και περιστρεφόμενη αεροτομή. Στη δεύτερη περίπτωση οι γωνίες που αναφέρονται αντιστοιχούν στην γωνία της σχετικής ταχύτητας w .



Σχήμα 2.8

Πίνακας 2.1

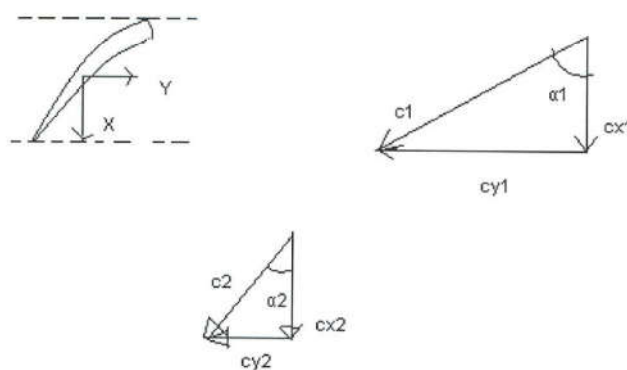
	Σταθερό	Περιστρεφόμενο
Γωνία του ρευστού στην είσοδο	α_1	β_1
Γωνία του ρευστού στην έξοδο	α_2	β_2
Γωνία της αεροτομής στην είσοδο	α_1'	β_1'
Γωνία της αεροτομής στην έξοδο	α_2'	β_2'
Γωνία καμπυλότητας της αεροτομής	$\theta = (\alpha_1' - \alpha_2')$	$\theta = (\beta_1' - \beta_2')$
Γωνία διάταξης (stagger)	ξ	ξ
Γωνία αλλαγής διεύθυνσης (deflection)	$\varepsilon = (\alpha_1 - \alpha_2)$	$\varepsilon = (\beta_1 - \beta_2)$
Γωνία πρόσπτωσης (incidence)	$i = (\alpha_1 - \alpha_1')$	$i = (\beta_1 - \beta_1')$
Γωνία απόκλισης (deviation)	$\delta = (\alpha_2 - \alpha_2')$	$\delta = (\beta_2 - \beta_2')$
Χορδή	l	l
Ύψος πτερυγίου	h	h
Απόσταση πτερυγίων (pitch)	s	s
Λόγος χορδής προς απόσταση πτερυγίων (solidity)	l/s	l/s

Οι γωνίες της αεροτομής βρίσκονται φέρνοντας της εφαπτόμενη στην μέση γραμμή, γραμμή καμπυλότητας, του πτερυγίου στην είσοδο και έξοδο της αεροτομής.

Θα πρέπει να υπογραμμιστεί εδώ ότι όλες οι γωνίες μετριοούνται από την ευθεία

την κάθετη στο επίπεδο, που ορίζεται από τις αιχμές προσβολής των αεροτομών. Αυτή είναι η πρακτική κυρίως για αεροσυμπιεστές, ενώ μερικές φορές, κυρίως σε αντλίες ή ανεμιστήρες, οι γωνίες μετριοούνται από το ίδιο το επίπεδο. Αυτή είναι η πρακτική κυρίως για αεροσυμπιεστές ενώ μερικές φορές, κυρίως σε αντλίες ή ανεμιστήρες, οι γωνίες μετριοούνται από το ίδιο το επίπεδο. Επίσης οι γωνίες που αντιστοιχούν στο διάνυσμα της ταχύτητας στην είσοδο και στην έξοδο της αεροτομής, δεν είναι απαραίτητο να συμπίπτουν με αυτές της αεροτομής. Με άλλα λόγια το διάνυσμα της ταχύτητας, δεν είναι εφαπτόμενο στη μέση γραμμή του περυγίου. Η σημασία των γωνιών πρόσπτωσης και απόκλισης θα συζητηθεί παρακάτω.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται τα τρίγωνα ταχύτητας στην είσοδο και στην έξοδο μιας σειράς αεροτομών.



Σχήμα 2.9

Το ρευστό έχει ταχύτητα στην είσοδο c_1 και στην έξοδο c_2 . Υποθέτοντας ότι η ροή είναι ασυμπίεστη και σταθερή τότε πάνω στο περυγίο θα ασκηθεί από το ρευστό, ανά μονάδα μήκους του περυγίου, μια δύναμη $-F$ που είναι ίση και αντίθετη με αυτή που ασκείται από το περυγίο στο ρευστό και έχει συνιστώσα X και Y . Από την εξίσωση της συνέχειας έχουμε

$$m = c_1 \cdot \cos a_1 = c_2 \cdot \cos a_2 = c_x \quad (2.31)$$

εφαρμόζοντας την εξίσωση της διατήρησης της ορμής έχουμε:

$$X = (p_2 - p_1) \cdot s \quad (2.32)$$

$$Y = r \cdot s \cdot c_x (c_{y_1} - c_{y_2}) = r \cdot s \cdot c_x^2 (\tan a_1 - \tan a_2) \quad (2.33)$$

μπορούμε να ορίσουμε μια μέση διεύθυνση τέτοια ώστε

$$\tan a_m = \frac{1}{2} (\tan a_1 + \tan a_2) \quad (2.34)$$

Η μέση ταχύτητα που αντιστοιχεί στη γωνία αυτή και χαρακτηρίζει τη ροή δίνεται από τη σχέση:

$$c_m = c_x / \cos a_m \quad (2.35)$$

Αν η δύναμη F αναλυθεί σε δύο συνιστώσες, μια παράλληλη και μία κάθετη στην ταχύτητα c_m υπολογίζεται η δυναμική άνοση L και η αντίσταση D .

Στις αεροτομές συνήθως χρησιμοποιούνται οι συντελεστές άνοσης c_L και αντίστασης c_D

$$c_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho c_m^2 I}$$

$$c_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho c_m^2 I} \quad (2.36)$$

Οι δυνάμεις L και D αναφέρονται στη μονάδα μήκους του πτερυγίου ($h = 1$).

Δύο ακόμη αδιάστατοι αριθμοί που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη αεροτομών, είναι οι εξής:

Συντελεστής απωλειών ολικής πίεσης

$$\zeta = \frac{\Delta P_o}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x^2} \quad (2.37)$$

όπου

$$\Delta P_o = \frac{1}{\rho} (p_1 - p_2) + \frac{1}{2} (c_1^2 - c_2^2) \quad (2.38)$$

και ο συντελεστής αύξησης πίεσης

$$c_p = \frac{p_2 - p_1}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x^2} \quad (2.39)$$

που αναφέρεται σε όλη την αεροτομή. Μερικές φορές μπορούμε να ορίσουμε έναν τοπικό συντελεστή πίεσης

$$c_p = \frac{p - p_1}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x^2} \quad (2.40)$$

όπου p είναι η στατική πίεση σε ένα σημείο της αεροτομής. Ο συντελεστής αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διανομή των πιέσεων γύρω στην αεροτομή.

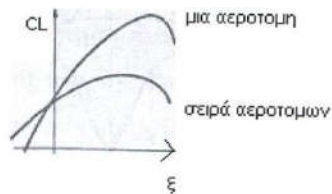
2.2.3. ΣΕΙΡΑ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

Στις στροβιλομηχανές έχουμε συνήθως έναν αριθμό από όμοιες αεροτομές που σχηματίζουν μια σειρά αεροτομών (cascade). Η γειτνίαση αεροτομών επηρεάζει την

συμπεριφορά του γιατί πλέον η ροή ακολουθεί τα κανάλια που σχηματίζονται από τις γειτονικές αεροτομές.

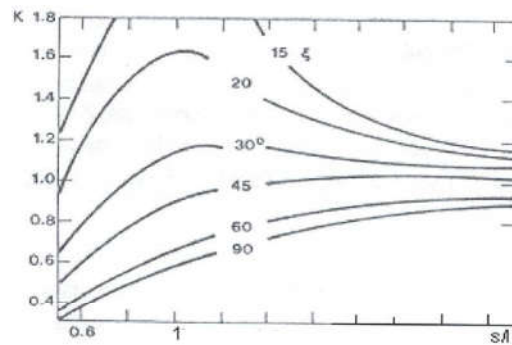
Στο σχήμα 5.9 φαίνεται διαγραμματικά η μεταβολή του συντελεστή c_l για μία μόνη αεροτομή και για την ίδια αεροτομή σαν μέρος σειράς πτερυγίων. Για λεπτές αεροτομές, όπου ο συντελεστής δυναμικής άνωσης δίνεται για μία μόνο πλάκα από την εξίσωση $c_l = 2\pi \cdot \sin\xi$ ο WEINIG εισήγαγε έναν συντελεστή k , που συνάρτηση του λόγου απόστασης αεροτομών προς τη χορδή και της γωνίας διάταξης. Ο συντελεστής άνωσης για μια σειρά πτερυγίων θα είναι:

$$c_l = 2\pi \cdot k \cdot \sin\xi \quad (2.41)$$



Σχήμα 2.10

Ο συντελεστής k δίνεται στο σχήμα 2.11. Για μια δεδομένη γωνία διάταξης όσο μειώνεται η απόσταση ανάμεσα στα πτερύγια, τόσο μειώνεται ο συντελεστής k . Όσο αυξάνεται η απόσταση, ο συντελεστής k τείνει στη μονάδα και η εξίσωση 2.41, γίνεται ταυτόσημη με την εξίσωση $c_l = 2\pi \cdot k \cdot \sin\xi$ που ισχύει για μια μόνο αεροτομή.



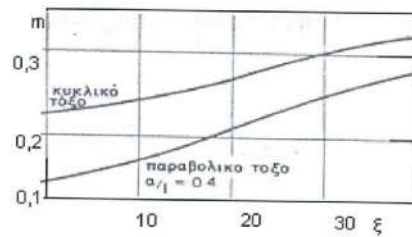
Σχήμα 2.11

Στο κεφάλαιο 2.1, στην συζήτηση των τριγώνων ταχυτήτων, είχε υποθεθεί ότι η γωνία της ροής στην έξοδο της πτερύγωσης συμπίπτει με αυτήν της αεροτομής. Στην πράξη, λόγω της ύπαρξης των οριακών στρωμάτων οι δύο γωνίες διαφέρουν. Η διαφορά τους είναι η γωνία απόκλισης δ (deviation angle). Το μέγεθος της εξαρτάται, για κανονικές γωνίες πρόσπτωσης, από την γωνία καμπυλότητας, τον λόγο απόστασης πτερυγίων προς την χορδή κ.α.

Υπάρχουν διάφορες σχέσεις που βρέθηκαν πειραματικά για την γωνία απόκλισης. Η πιο γνωστή οφείλεται στον Carter όπου

$$\delta = m \cdot \theta \cdot \sqrt{s/l} \quad (2.42)$$

ο συντελεστής m δίνεται στο σχήμα 2.12 σαν συνάρτηση της γωνίας διάταξης και για δύο διαφορετικές καμπύλες κυρτότητας. Για μικρές γωνίες πρόσπτωσης ξ ή γωνία απόκλισης μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά με ανάλυση της ροής γύρω από μια αεροτομή λαμβάνοντας υπόψη το ιξώδες και την τύρβη.



Σχήμα 2.12

2.2.4 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΡΟΗ

Σε κάθε περύγωση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ρευστό ακολουθεί επιφάνειες ροής (stream surfaces), που είναι εφαπτόμενες στο διάνυσμα της ταχύτητας. Εάν “ η ” είναι το διάνυσμα το κάθετο στην επιφάνεια, τότε θα ισχύει

$$\eta \cdot c = 0$$

για μια σταθερή περύγωση, ή

$$\eta \cdot w = 0$$

για μια περιστρεφόμενη περύγωση.

Οι επιφάνειες ροής στην γενική περίπτωση είναι τρισδιάστατες,

Η ροή σε μια περύγωση μπορεί να θεωρηθεί σαν το άθροισμα δύο ροών, της πρωτογενούς (primary) και της δευτερογενούς (secondary). Η πρωτογενής είναι η ροή που παίρνουμε, αν θεωρήσουμε ότι οι επιφάνειες ροής είναι επιφάνειες εκ περιστροφής.

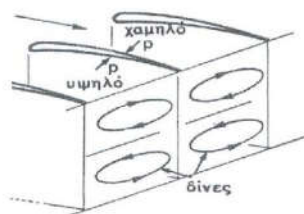
Η δευτερογενής ροή είναι ουσιαστικά η διαφορά της πρωτογενούς ροής από την πλήρη τρισδιάστατη ροή. Στην πράξη, με τον όρο δευτερογενής ροή εννοούμε συνήθως τη δημιουργία δινών, μέσα στο πεδίο ροής.

Δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί δημιουργίας δινών δευτερογενούς ροής σε μια περύγωση. Η πρώτη οφείλεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στα οριακά στρώματα των πλαϊνών τοιχωμάτων με την καμπυλότητα των πτερυγίων. Η δεύτερη οφείλεται στην διαρροή ρευστού, από την πλευρά της κατάθλιψης, στην πλευρά της αναρρόφησης, ανάμεσα από την κορυφή (tip) του πτερυγίου και την επιφάνεια της κορυφής.

Στις απόμενες παραγράφους θα αναφερθούμε περιληπτικά στα δύο αυτά φαινόμενα.

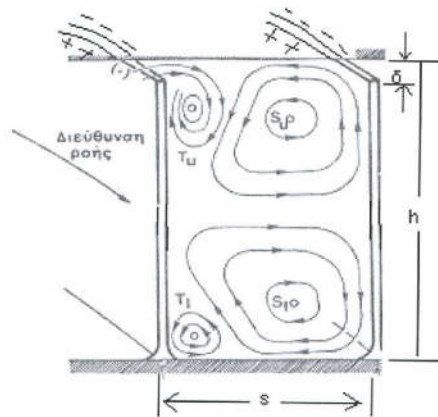
Στα πλαϊνά τοιχώματα δημιουργούνται οριακά στρώματα και επομένως η κλίση της ταχύτητας στα τοιχώματα είναι μη μηδενική.

Λόγω της καμπυλότητας της πτέρυγας δημιουργείται μια κλίση πίεσης ανάμεσα στην επιφάνεια κατάθλιψης και αναρρόφησης, που συνδυαζόμενη με την παραπάνω κλίση της ταχύτητας, προκαλεί μια περιστροφική κίνηση στο ρευστό με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν στην έξοδο της περύγωσης δύο δίνες όπως δείχνεται στο σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13

Μια δεύτερη πηγή δινών σε αξονικές αλλά και σε κάθε άλλου είδους στροβιλομηχανές, όπου οι κορυφές των πτερυγίων δεν είναι ενωμένες μεταξύ τους με κάλυμμα (Shroud), είναι η διαρροή ρευστού πάνω από το πτερύγιο. Στο σχήμα 2.14 δίνεται σχηματικά η κορυφή του πτερυγίου, σε σχέση με το σταθερό τοίχωμα. Στην πλευρά της κατάθλιψης η στατική πίεση είναι υψηλή ενώ στην πλευρά της αναρρόφησης χαμηλή.



σχήμα 2.14

Στο διάκενο λοιπόν υπάρχει μια διαφορά πίεσης που ωθεί ρευστό μέσω του διακένου και επαπτομενικά στο σταθερό τοίχωμα από την πλευρά της κατάθλιψης, στην πλευρά της αναρρόφησης, δημιουργώντας μια επιπλέον δίνη. Στην πράξη, η δίνη αυτή περιέχει ρευστό υψηλής εντροπίας ή χαμηλής ολικής πίεσης / ενθαλπίας με αποτέλεσμα να αποτελεί μια σημαντική πηγή απωλειών σε μια πτερύγωση.

2.2.5 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΜΙΑ ΑΞΟΝΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ

Σε μια βαθμίδα αξονικής μηχανής η απώλειες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες.

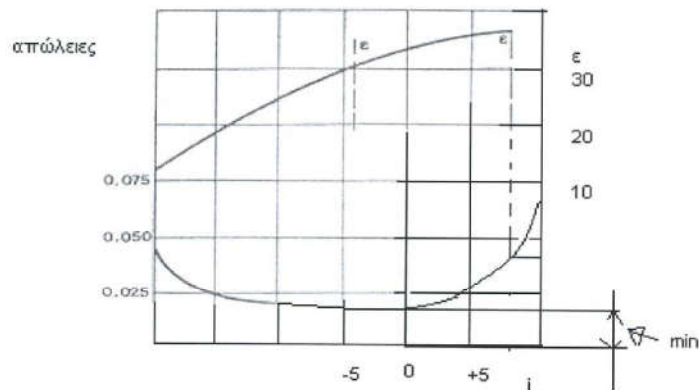
- α) Απώλειες διατομής (profile 1055)
- β) Απώλειες δευτερογενούς ροής
- γ) Απώλειες οριακού στρώματος πλαϊνών τοιχωμάτων (annulus 1055)

Οι απώλειες διατομής αφορούν κυρίως δύο κομμάτια, τις απώλειες τριβών στα οριακά στρώματα και τις απώλειες πρόσπτωσης που είναι συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης.

Στο σχήμα 2.15 δίνονται οι απώλειες

$$\Delta P_o / \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_1^2 \right)$$

σαν συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης.



Σχήμα 2.15

Οι απώλειες έχουν μια ελάχιστη τιμή όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μηδενική. Μικρή μεταβολή 10° περίπου και για θετική γωνία πρόσπτωσης οι απώλειες αυξάνονται σημαντικά. Αυτό έχει σχέση με την αποκόλληση.

Για αρνητικές γωνίες οι απώλειες είναι χαμηλές για ένα μεγάλο εύρος γωνιών. Αυτό φυσικά δεν εξυπηρετεί τον μελετητή γιατί ο συντελεστής δυναμικής άνωσης c_L μηδενίζεται για αρνητικές γωνίες μικρότερες από μια δεδομένη γωνία και δεν είναι δυνατή η λειτουργία της στροβιλομηχανής. Οι απώλειες διατομής επομένως έχουν μια ελάχιστη τιμή στο σημείο σχεδιασμού της πετυγύωσης και αυξάνονται σημαντικά για παροχές μικρότερες ή μεγαλύτερες από την παροχή σχεδίασης. Οι απώλειες δευτερογενούς ροής είναι μεγαλύτερες σε χαμηλές παροχές και βαίνουν μειούμενες,

όσο η παροχή αυξάνει.

Τέλος αντίθετα οι απώλειες λόγω των οριακών στρωμάτων των τοιχωμάτων είναι ανάλογες της ταχύτητας και επομένως αυξάνονται με την παροχή.

2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

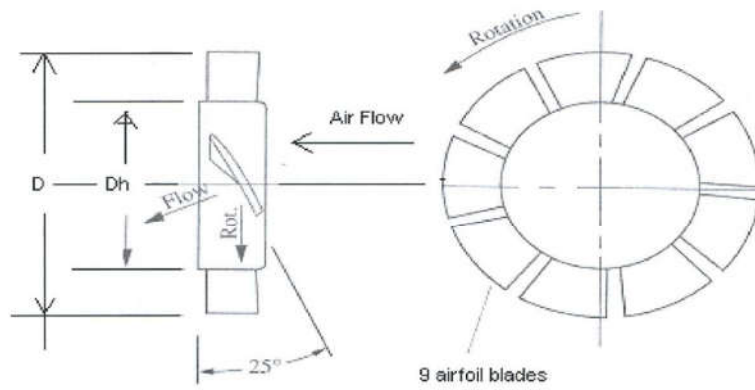
Με βάση τη θεωρία που αναπτύχθηκε παραπάνω θα ξεκινήσει η εξαγωγή των εξισώσεων για ανάλυση και σχεδιασμό αξονικών ανεμιστήρων. Οι εξισώσεις αυτές έπειτα θα αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη του λογισμικού.

2.3.1.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Στο σχεδιασμό με βάση κάποια λειτουργικά χαρακτηριστικά, που καθορίζονται, από τον ενδιαφερόμενο, με βάση κάποιους εμπειρικούς τύπους, είμαστε εξ αρχής σε θέση να υπολογίσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα, ώστε ο τελευταίος να ανταποκρίνεται στα λειτουργικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται.

Συνηθίζεται αρχικά ο ενδιαφερόμενος να καθορίζει (συνήθως με τη βοήθεια μηχανικού) την αύξηση πίεσης που χρειάζεται να δημιουργεί ο ανεμιστήρας. Έπειτα καθορίζει την παροχή μάζας βάση της οποίας θα λειτουργεί ο ανεμιστήρας, καθώς επίσης και την διάμετρο του (βασικό σε περίπτωση έλλειψης χώρου). Τέλος μπορεί να καθορίζει τον επιθυμητό αριθμό στροφών (συνήθως για ελάττωση του παραγόμενου θορύβου).

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω μπορούμε να ξεκινήσουμε τη διαδικασία του σχεδιασμού.



Έχουμε λοιπόν με βάση τα παραπάνω τα εξής δεδομένα:

ΠΑΡΟΧΗ ΟΓΚΟΥ : Q [m^3/s]

ΟΛΙΚΗ ΑΥΞΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ : ΔP_o [Pascal]

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ: D [m]

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ: N [rpm]

Υπάρχουν δύο εμπειρικοί τύποι βάσει των οποίων μπορούμε να υπολογίσουμε αρχικά την ελάχιστη διάμετρο της βάσης των πτερυγίων d_h και έπειτα την ελάχιστη διάμετρο της κορυφής των πτερυγίων D_{min} .

Ο λόγος της διαμέτρου βάσης d_h προς την αρχική διάμετρο D πρέπει να είναι ανάμεσα σε ποσοστό 45 – 80 %.

Αν ο λόγος είναι εκτός αυτών των ορίων θα επιλέξουμε μεγαλύτερη η μικρότερη διάμετρο βάσης (d_{hub}), έτσι ώστε να βρίσκεται μέσα στα προαναφερθέντα όρια.

Η ελάχιστη διάμετρος βάσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$d_{min} = \frac{30.7806521}{N} \cdot \sqrt{\Delta P}$$

Το ΔP είναι η μερική πίεση στην έξοδο του συμπιεστή και ισούται με την ολική πίεση αν από αυτή αφαιρέσουμε την ταχύτητα. Δηλαδή:

$$\Delta P = \Delta P_o - \frac{1}{2} \rho \cdot c^2$$

Η ταχύτητα c σε έναν αξονικό ανεμιστήρα ισούται με το πηλίκο Q / A , όπου A είναι το εμβαδόν της διατομής στην έξοδο του ανεμιστήρα. (αυτό προκύπτει από την εξίσωση της συνέχειας)

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot c_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_2 \cdot A_2$$

$$\text{όπου } A = \pi \cdot D^2 / 4$$

εφόσον η πυκνότητα είναι σταθερή

$$c_2 = Q / A$$

Εφόσον λοιπόν υπολογίσουμε την ελάχιστη ακτίνα (διάμετρος / 2) βάσης και ελέγξουμε αν είναι εντός των ορίων υπολογίζουμε την ελάχιστη ακτίνα στην κορυφή των πτερυγίων, η οποία δίνεται από την εξής σχέση:

$$D_{\min} = \sqrt{d_{\min}^2 + 83.401\left(\frac{Q}{N}\right)}$$

Υπολογίζουμε λοιπόν και την ελάχιστη ακτίνα στην κορυφή των πτερυγίων. (είναι ευνόητο πως αν η ακτίνα αυτή για κάποιο λόγο είναι μεγαλύτερη από την αρχική ακτίνα D τότε κάποια χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα πρέπει να αλλάξουν).

Τώρα είμαστε έτοιμοι να υπολογίσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Αριθμός στροφών	N	r.p.m
Διαφορά πίεσης στη μέση ακτίνα	ΔP_o	Pa
Παροχή για μηδενική γωνία πρόσπτωσης	Q_o	m^3 / s
Ακτίνα βάσης	r_h	m
Ακτίνα κορυφής	r_t	m
Μέση ακτίνα	r_m	m

Θα υπολογίσουμε για τρεις ακτίνες τα εξής:

Γωνίες των πτερυγίων β_1, β_2 ,

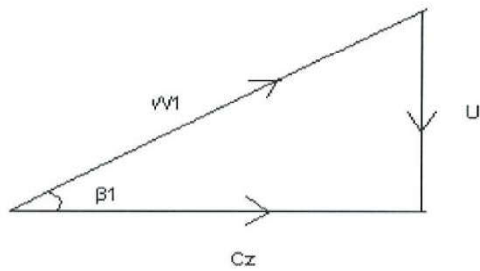
Σχετικές ταχύτητες εισόδου w_1 και w_2

Απόλυτες ταχύτητες εισόδου c_1 και εξόδου c_2

Γωνίες α_1, α_2

ΤΡΙΓΩΝΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Είσοδος ανεμιστήρα



λόγω του ότι ο ανεμιστήρας είναι αξονικής ροής το

$$c_z = c_1$$

$$c_z = \frac{Q}{A} \text{ όπου } A \text{ η διατομή του ανεμιστήρα}$$

επίσης

$$U = w \cdot r$$

από τη γεωμετρία του τριγώνου ταχύτητας έχουμε:

$$\tan \beta_1 = \frac{U}{c_z}$$

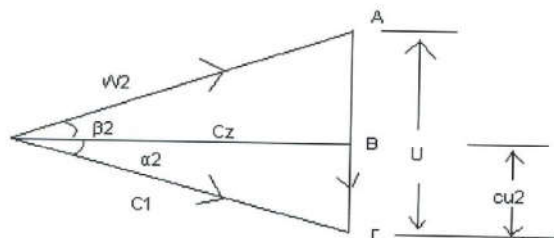
και επομένως

$$\beta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{U}{c_z}\right)$$

και

$$w_1 = \sqrt{c_z^2 + U^2}$$

έξοδος ανεμιστήρα



$$\tan \beta_2 = \frac{AB}{c_z} = \frac{A\Gamma - B\Gamma}{c_z} = \frac{U - c_{u2}}{c_z}$$

η συστροφή c_{u2} δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta W = \rho \Delta P_o = U \cdot (c_{u2} - c_{u1})$$

όπου ρ η πυκνότητα του ρευστού ($c_{u1} = 0$)

επομένως

$$c_{u2} = \frac{\rho \Delta P_o}{U} = \frac{\rho \Delta P_o}{\omega r}$$

αντικαθιστώντας υπολογίζουμε τη γωνία β_2 .

Η γωνία που β_2 υπολογίζουμε είναι δεν είναι η γωνία του ρευστού στην έξοδο του πτερυγίου αλλά η γωνία του πτερυγίου στην έξοδο. Η γωνία του ρευστού στην έξοδο υπολογίζεται αν στη γωνία της του πτερυγίου προσθέσουμε τη γωνία απόκλισης δ η εξίσωση της οποίας έχει δοθεί παραπάνω.

Και πάλι με βάση τη γεωμετρία υπολογίζουμε τα ακόλουθα μεγέθη.

$$w_2 = \frac{c_z}{\cos \beta_2}$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{c_{u2}}{c_z}$$

$$c_2 = \frac{c_z}{\cos \alpha_2}$$

έχουμε υπολογίσει λοιπόν τις γωνίες εισόδου και εξόδου των πτερυγίων.

Ο επιλογή του αριθμού των πτερυγίων αποτελεί ένα δύσκολο σημείο στο σχεδιασμό των ανεμιστήρων. Η στατική αύξηση πίεσης που επιτυγχάνεται είναι ανάλογη του γινομένου $z \cdot l$, όπου z είναι ο αριθμός των πτερυγίων και l το μήκος της χορδής των πτερυγίων.

Η παραγόμενη αύξηση στατικής πίεσης δίνεται προσεγγιστικά από την εξίσωση:

$$\Delta P = 3,43 \cdot 10^{-9} \cdot \text{rpm} \cdot z \cdot l \cdot c_L \cdot w$$

Όπου

ΔP = μερική αύξηση πίεσης [inches of water column]

rpm = ταχύτητα περιστροφής [rounds per minute]

z = αριθμός των πτερυγίων

l = μήκος χορδής πτερυγίων σε συγκεκριμένη ακτίνα [inches]

c_L = συντελεστής άνωσης της αεροτομής σε συγκεκριμένη ακτίνα

w = σχετική ταχύτητα του αέρα πάνω στο πτερύγιο στη συγκεκριμένη ακτίνα [feet per minute]

Με λίγα λόγια μπορούμε να ρυθμίσουμε τον αριθμό των πτερυγίων και το μήκος τους έτσι ώστε το γινόμενο να παραμένει σταθερό. Αεροδυναμικά θα ήταν καλύτερα αν είχαμε ένα πτερύγιο με μεγάλο μήκος χορδής, καθώς έχουμε μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, αλλά αυτό θα ήταν βαρύ ακριβό και δύσκολο να συντηρηθεί.

Το καλύτερο που προτείνεται είναι η επιλογή ενός αριθμού πτερυγίων από πέντε ως δώδεκα.

Το μήκος των πτερυγίων είναι συνάρτηση της ακτίνας και του αριθμού των πτερυγίων και δίνεται από τον τύπο :

$$l = 6,8 \cdot r / z$$

Το πάχος των πτερυγίων είναι πολύπλοκο και δίνεται συναρτήσει του μήκους του πτερυγίου ανάλογα με την αεροτομή που χρησιμοποιείται. (σχετικός πίνακας υπάρχει παραπάνω).

2.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ

Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία του σχεδιασμού του ανεμιστήρα μπορούμε να ξεκινήσουμε την ανάλυση.

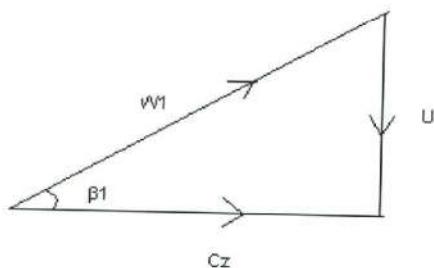
Στην ανάλυση γνωρίζοντας τη γεωμετρία των πτερυγίων γωνία εισόδου β_1 και εξόδου β_2 , καθώς και την παροχή βάσει της οποίας σχεδιάστηκε ο ανεμιστήρας μπορούμε να δούμε πως λειτουργεί όταν η παροχή αυξομειώνεται.

Η ονομαστική παροχή του ανεμιστήρα αντιστοιχεί σε μηδενική γωνία πρόσπτωσης άρα όταν αυτή αυξάνεται η μειώνεται η γωνία πρόσπτωσης αλλάζει.

Για παράδειγμα έστω ότι ένας ανεμιστήρας είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί με ονομαστική παροχή Q_0 και με γωνία εισόδου β_1 .

Όπως προαναφέρθηκε η γωνία εισόδου είναι η γωνία που σχηματίζει η αξονική ταχύτητα με τη σχετική ταχύτητα του ρευστού πάνω στο πτερύγιο.

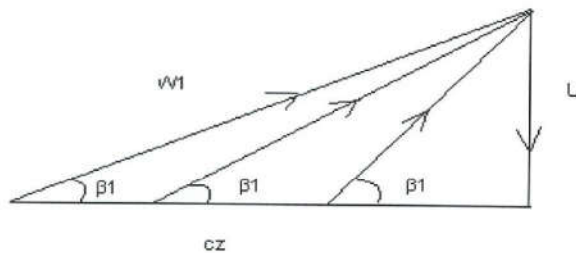
Το τρίγωνο ταχύτητας είναι:



Όταν σε έναν συμπίεστη αλλάζει η παροχή γίνεται το εξής.

Η ταχύτητα $c_z = \frac{Q}{A}$ εφόσον η διατομή A είναι σταθερή μεταβάλλεται ανάλογα με την παροχή. Η γωνία εισόδου αλλάζει από β_1' σε β_1 άρα και η ταχύτητα w_1 αλλάζει.

Υπενθυμίζεται ότι για μηδενική γωνία πρόσπτωσης η γωνία β_1 του ρευστού στην είσοδο συμπίπτει με τη γωνία της αεροτομής β_1' . Το μόνο που παραμένει σταθερό είναι η ταχύτητα περιστροφής της πτερωτής U .



όταν λοιπόν η ταχύτητα $c_z = \frac{Q}{A}$ αλλάξει η γωνία πρόσπτωσης παύει να είναι μηδενική και δίνεται από τη σχέση:

$$i = \beta_1 - \beta_1' = \left(\tan^{-1} \frac{U}{c_z} \right) - \beta_1'$$

Η αλλαγή της παροχής επηρεάζει τη λειτουργία του ανεμιστήρα ως εξής.

Οι ταχύτητες εισόδου w_1 , $c_z = c_1$, και η γωνία β_1 του ρευστού ανάλογα αυξάνονται ή μειώνονται με βάση τις σχέσεις που περιγράφονται στο σχεδιασμό.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν η αλλαγές που πραγματοποιούνται στην έξοδο του συμπιεστή καθώς αλλάζει η παραγόμενη διαφορά πίεσης ΔP_0 .

Η συστροφή του ρευστού εξαρτάται από την αξονική ταχύτητα c_z

$$c_{a2} = (\omega.r) - (\tan \beta_2.c_z)$$

και η διαφορά πίεσης εξαρτάται άμεσα από τη συστροφή και δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta P_0 = c_{a2} . r . \omega / \rho$$

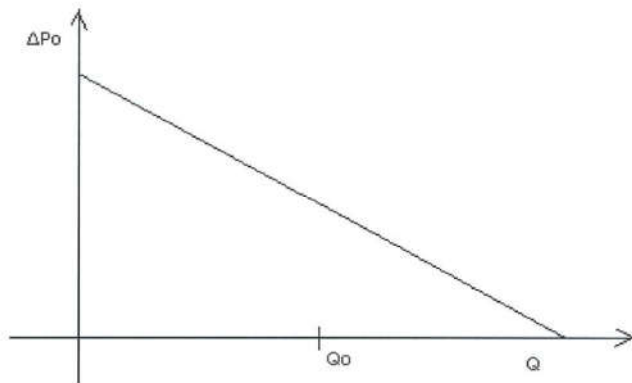
επομένως η αλλαγή της παροχής μεταβάλλει την παραγόμενη διαφορά πίεσης στην έξοδο.

Επίσης αλλάζουν η σχετική και η απόλυτη ταχύτητα στην έξοδο, καθώς και η γωνία α_2 μεταξύ της αξονικής και της απόλυτης ταχύτητας.

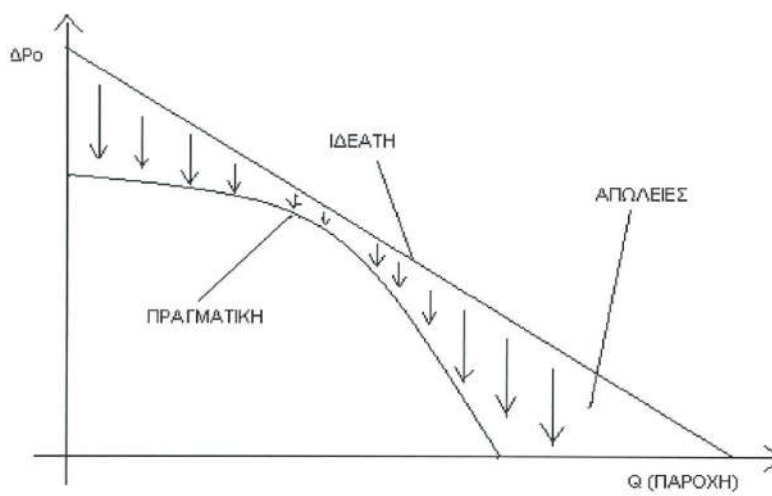
Σκοπός της ανάλυσης ενός ανεμιστήρα είναι η δημιουργία χαρακτηριστικών (γραφικών παραστάσεων), ώστε όλα τα παραπάνω να φαίνονται σε ένα διάγραμμα.

Η πλέον κλασική χαρακτηριστική είναι αυτή που στον άξονα y παρουσιάζεται η αύξηση πίεσης συναρτήσει της παροχής.

Η ιδεατή αυτή χαρακτηριστική έχει τη παρακάτω μορφή.



εάν υπολογίσουμε τις απώλειες τότε η πραγματική χαρακτηριστική είναι της μορφής:



Όπως προαναφέρθηκε οι απώλειες που θα υπολογίσουμε είναι οι εξής:

- α) Απώλειες διατομής
- β) Απώλειες δευτερογενούς ροής
- γ) Απώλειες οριακού στρώματος πλαϊνών τοιχωμάτων

Απώλειες διατομής :

Υπολογίζονται από το διάγραμμα 2.15. Με αριθμητική ανάλυση και χρήση πολυωνυμικής παρεμβολής βρίσκουμε τη συνάρτηση η οποία δίνει τις απώλειες συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης. Η μορφή της συνάρτησης αυτής βρίσκεται στο παράρτημα.

Απώλειες δευτερογενούς ροής και απώλειες πλαϊνών τοιχωμάτων :

Οι απώλειες αυτές δίνονται συναρτήσει ενός συντελεστή αντίδρασης c_{Da} για τις απώλειες οριακού στρώματος πλαϊνών τοιχωμάτων και c_{Ds} για τις απώλειες δευτερογενούς ροής.

$$c_{Da} = 0,002 \cdot s / h$$

όπου

s είναι η απόσταση των πτερυγίων

και

h είναι το ύψος του πτερυγίου

$$c_{Ds} = 0,018 \cdot c_L^2$$

όπου

c_L είναι ο συντελεστής άνωσης

Η πτώση πίεσης είναι συνάρτηση του ολικού συντελεστή αντίδρασης $c_{Das} = c_{Da} + c_{Ds}$

και δίνεται από τη σχέση:

$$c_{Das} = \frac{s \cdot \Delta P_o \cdot \cos \alpha_m}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_m^2 \cdot l \cdot h}$$

$$c_L = 2 \cdot \frac{s}{l} \cdot \cos \alpha_m (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)$$

$$\tan \alpha_m = \frac{1}{2} \cdot (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)$$

$$c_m = \frac{c_x}{\cos \alpha_m}$$

με χρήση των παραπάνω εξισώσεων υπολογίζουμε την πτώση πίεσης ΔP_0 και μαζί με την πτώση πίεσης από τις απώλειες διατομής τις αφαιρούμε από την ολική αύξηση πίεσης του ανεμιστήρα.

Εκτός από το διάγραμμα παροχής – αύξησης πίεσης ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα διαγράμματα παροχής – ειδικού έργου, παροχής – ισχύος, παροχής ροπής και παροχής βαθμού απόδοσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

3.1 Λίγα λόγια για τη Visual Basic

Για ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων και αποτελεσμάτων η χρήση λογισμικού θεωρείται αναγκαία. Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι η Microsoft Visual Basic 6.

Ο προγραμματισμός σε περιβάλλον Visual Basic βασίζεται στα παρακάτω:

Ξεκινώντας τον προγραμματισμό εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή μία φόρμα πάνω στην οποία μέσω της γραμμής εργαλείων μας δίνεται η δυνατότητα να δημιουργήσουμε κουμπιά εντολών(command buttons) , ετικέτες(labels),πλαισία εισαγωγής κειμένου (text boxes) και άλλες εφαρμογές που ξεφεύγουν από το θέμα της εργασίας. Η φόρμα αποτελεί την επιφάνεια εργασίας, όταν το πρόγραμμα εφόσον δημιουργηθεί, τεθεί σε λειτουργία (μπορούμε να επιλέξουμε το χρώμα και το μέγεθός της κ.α.).

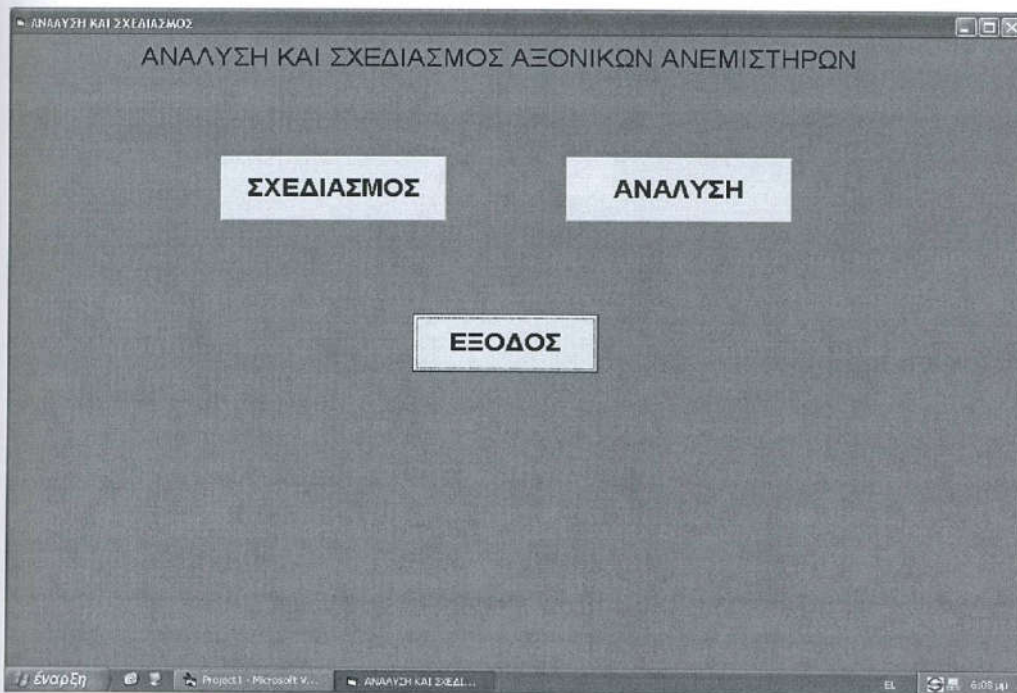
Το πιο σημαντικό κομμάτι του προγραμματισμού είναι η γραφή του κώδικα. Κατά κύριο λόγο ο κώδικας γράφεται στα κουμπιά εντολών, οπότε και ενεργοποιείται με το πάτημα των κουμπιών αυτών όταν το πρόγραμμα τρέχει. Ορίζουμε λοιπόν της μεταβλητές και τις σταθερές, γράφουμε τις εξισώσεις, επιλέγουμε αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε νέα φόρμα η σε αρχείο εκτός περιβάλλοντος Visual Basic και το κουμπί εντολής με ένα απλό πάτημα είναι έτοιμο να εκτελέσει τις πράξεις και όλες τις διεργασίες που περιλαμβάνει ο κώδικας του. Περαιτέρω ανάλυση του κώδικα γίνεται στο κεφάλαιο 3.3.

Ένα επίσης σημαντικό κομμάτι του προγραμματισμού είναι η διασύνδεση δυο η περισσότερων φορμών. Τα κουμπιά εντολής έχουν πρωτεύοντα ρόλο σε αυτό το θέμα. Αν στον παράθυρο κώδικα ενός κουμπιού εντολής γράψουμε την εντολή `formX.show` τότε αυτόματα με το πάτημα του κουμπιού θα μας εμφανίζεται η φόρμα με αριθμό X και με την εντολή `FormX.hide` η φόρμα θα εξαφανίζεται από την οθόνη του υπολογιστή. Για παράδειγμα μπορούμε να καλούμε μια φόρμα να γράφουμε τα

δεδομένα σε πλαίσια κειμένου και να κλείνουμε τη φόρμα και να εκτελούμε διεργασίες με τα δεδομένα που εμείς ορίσαμε.

3.2 Περιγραφή προγράμματος

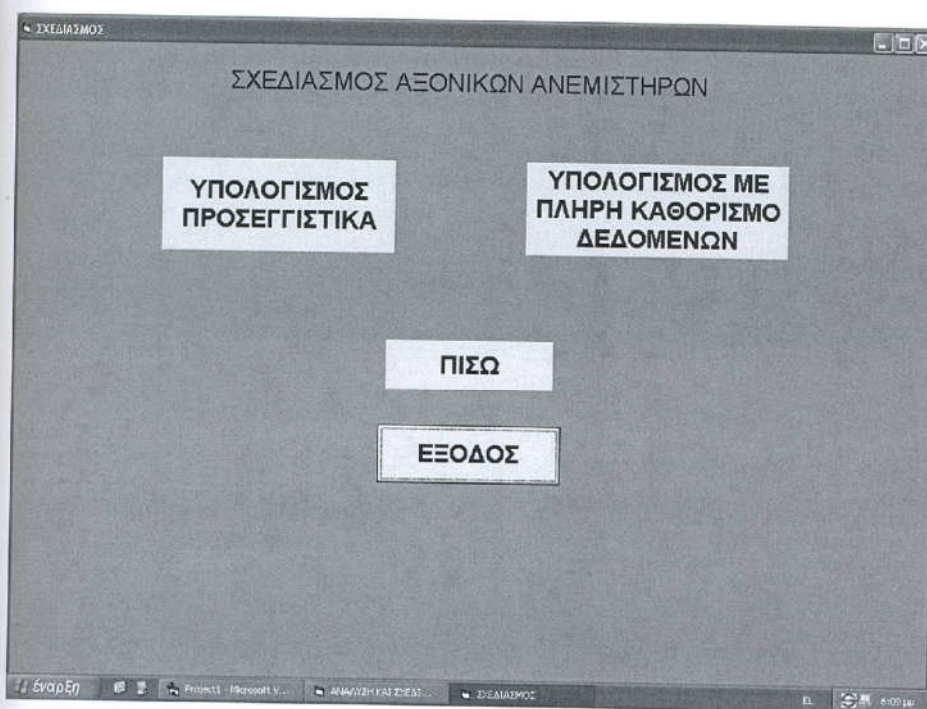
Πιο συγκεκριμένα με την έναρξη του προγράμματος εμφανίζεται μια φόρμα και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ανάμεσα στην ανάλυση, το σχεδιασμό και τον τερματισμό του προγράμματος. Η φόρμα αυτή έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 1

3.2.1 Σχεδιασμός

Αν ο χρήστης επιλέξει το σχεδιασμό θα εμφανιστεί στην οθόνη του μία νέα φόρμα με την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 2

Μπορεί κάποιος να επιλέξει ανάμεσα στο σχεδιασμό με χρήση προσεγγιστικών εξισώσεων και στο σχεδιασμό με πλήρη καθορισμό δεδομένων από το χρήστη.

Επιλέγοντας το πρώτο εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα:

1. **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

2. **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ d_{min}**
 $d_{min} =$ [] [m]

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΒΑΣΗΣ d_{min}
 $d_{min} =$ 0.37 []

4. **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ D_{min}**
 $D_{min} =$ [] [m]

5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΟΡΥΦΗΣ D_{min}
 $D_{min} =$ 0.75 []

6. ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΒΗΜΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΣΕ (m) ΑΚΤΙΝΑΣ
 ΒΗΜΑ 0.05 [m]

7. **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΟ ΒΗΜΑ**
 $v =$ []

8. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΟ ΑΚΕΡΑΙΟ
 $v =$ []

9. **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΠΤΕΡΥΓΩΝ**

10. **ΑΠΛΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ**

ΠΙΣΩ

Εικόνα 3

Έχοντας κάνει αυτή την επιλογή γίνεται χρήση των εξισώσεων D , d_{min} , βάσει των οποίων με δεδομένα την παροχή του ανεμιστήρα, την πτώση πίεσης τον αριθμό στροφών και τη διάμετρο του, υπολογίζεται η ελάχιστη διάμετρος βάσης του ανεμιστήρα.

Πιο συγκεκριμένα επιλέγουμε στη φόρμα το κουμπί με τίτλο εισαγωγή δεδομένων και εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα.

ΠΑΡΟΧΗ Q [m ³ /s]	10
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D _s [m]	0.8
ΟΛΙΚΗ ΑΥΞΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΔP ₀ [Pa]	800
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ N [r.p.m]	2000
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ (5-12)	9

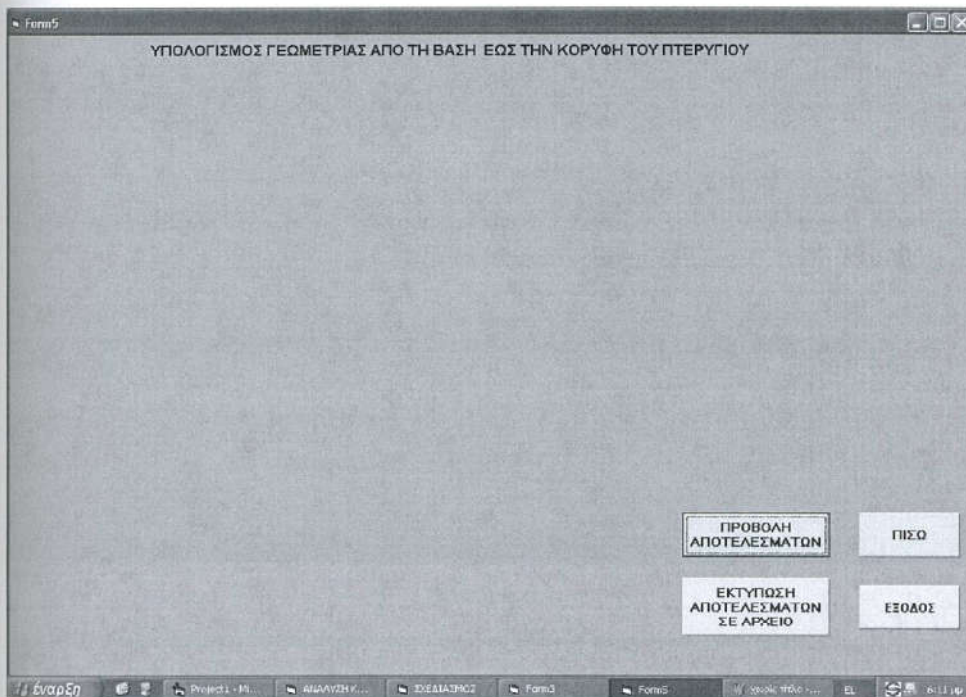
ΠΙΣΩ

Εικόνα 4

Γράφουμε στα πλαίσια κειμένου τα δεδομένα και πατάμε το κουμπί πίσω οπότε εμφανίζεται ξανά στην οθόνη η προηγούμενη φόρμα. Πατάμε το κουμπί “υπολογισμός d_{min}” και στο πλαίσιο με τίτλο d_{min} εμφανίζεται η ελάχιστη διάμετρος της βάσης του ανεμιστήρα. Στρογγυλοποιώντας πάντα προς μεγαλύτερα νούμερα γράφουμε το πλαίσιο κειμένου με τίτλο επιλογή ελάχιστης διαμέτρου βάσης, την επιθυμητή διάμετρο. Το επόμενο βήμα είναι να επιλέξουμε τη ελάχιστη διάμετρο στην κορυφή των πτερυγίων του ανεμιστήρα. Πατώντας το κουμπί “υπολογισμός D_{min}” εμφανίζεται στο πλαίσιο με τίτλο “D_{min}” η ελάχιστη διάμετρος στην κορυφή των πτερυγίων του ανεμιστήρα και πάλι στρογγυλοποιώντας προς τα πάνω και με βάση την τυποποίηση που τυχόν υπάρχει στο εμπόριο επιλέγουμε την ελάχιστη διάμετρο κορυφής και την τοποθετούμε στο πλαίσιο κειμένου με τίτλο “επιλογή διαμέτρου”. Έπειτα καλούμαστε να επιλέξουμε ένα επιθυμητό βήμα για τους υπολογισμούς συναρτήσει της ακτίνας (αν η ακτίνα βάσης είναι για παράδειγμα 0,2 m και η ακτίνα κορυφής είναι 0,4 και επιλέξουμε βήμα ίσο με 0,05 το πρόγραμμα θα υπολογίσει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ξεκινώντας από τη βάση του ανεμιστήρα και αυξάνοντας κάθε φορά την ακτίνα κατά 0,05 m μέχρι την κορυφή των

περυγίων). Ανάλογα με το βήμα που έχουμε επιλέξει καθορίζεται και ο αριθμός επαναλήψεων των υπολογισμών ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να βρίσκονται μέσα στο εύρος: ακτίνα βάσης-ακτίνα βάσης κορυφής. Για βήμα 0,05 και εύρος ακτίνας από 0,2 - 0,4 m υπολογίζεται ότι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων υπολογίζεται 4,57 και τον διορθώνουμε στο ανάλογο πλαίσιο κειμένου στρογγυλοποιώντας στον προηγούμενο ακέραιο. Αν δεν είμαστε ικανοποιημένοι από τον αριθμό των αποτελεσμάτων που προκύπτει τότε μειώνουμε το βήμα και λαμβάνουμε περισσότερα αποτελέσματα. Έχοντας κάνει τα παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε τη γεωμετρία των περυγίων. Υπενθυμίζεται ότι ο αριθμός των περυγίων που εμφανίζεται στη φόρμα με τίτλο “εισαγωγή δεδομένων” προτείνεται να έχει τιμές από εννέα έως δώδεκα.

Πατώντας το κουμπί με τίτλο “υπολογισμός γεωμετρίας περυγίων” εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα.



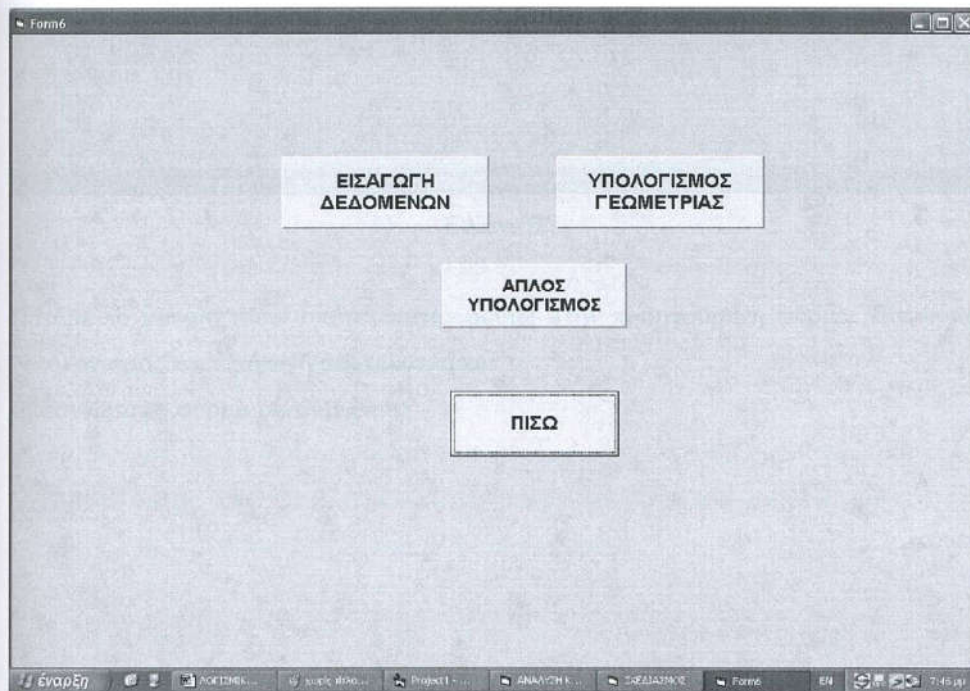
Εικόνα 5

Επιλέγουμε προβολή αποτελεσμάτων και στη φόρμα μας εμφανίζονται γεωμετρικά αποτελέσματα συναρτήσει της ακτίνας.

Μπορούμε να κάνουμε εγγραφή δεδομένων και σε αρχείο πατώντας το κουμπί “εκτύπωση αποτελεσμάτων σε αρχείο”. Πατώντας το κουμπί θα εμφανιστεί στην οθόνη ένα μήνυμα που θα περιέχει πληροφορίες για το όνομα και την τοποθεσία που βρίσκεται το αρχείο.

Έπειτα επιλέγουμε το κουμπί “πίσω” και πηγαίνουμε στην προηγούμενη φόρμα.

Επιστρέφοντας στην φόρμα από την οποία επιλέξαμε “υπολογισμός προσεγγιστικά” και επιλέγουμε “υπολογισμός με πλήρη καθορισμό δεδομένων” οπότε εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα.



Εικόνα 6

Επιλέγουμε εισαγωγή δεδομένων και εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα:

Form7

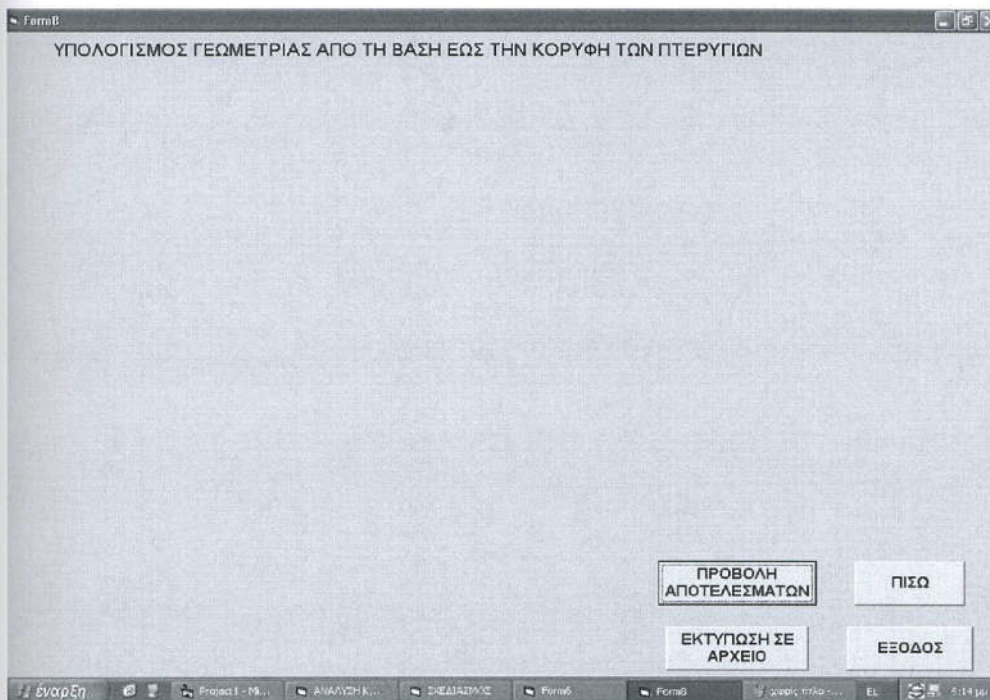
ΠΑΡΟΧΗ Q_0 [m^3/s]	<input type="text" value="20"/>	1. ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΒΗΜΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΣΕ (m) ΑΚΤΙΝΑΣ	ΒΗΜΑ = <input type="text" value="0.05"/> [m]
ΟΛΙΚΗ ΑΥΞΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΔP_0 [Pascal]	<input type="text" value="500"/>	2. <input type="button" value="ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ"/>	$v =$ <input type="text"/>
ΔΙΑΤΟΜΗ A [m^2]	<input type="text" value="1"/>	3. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΣΤΟΝ ΑΜΕΣΩΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΟ ΑΚΕΡΑΙΟ	$v =$ <input type="text"/>
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ N [r.p.m]	<input type="text" value="1500"/>		
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ [kg/m^3]	<input type="text" value="1.2"/>		
ΑΚΤΙΝΑ ΒΑΣΗΣ [m]	<input type="text" value="0.1"/>		
ΑΚΤΙΝΑ ΚΟΡΥΦΗΣ [m]	<input type="text" value="0.4"/>		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ z	<input type="text" value="6"/>		
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΧΟΡΔΗΣ l [m]	<input type="text" value="0.1"/>		<input type="button" value="ΠΙΣΩ"/>

Έναρξη | Project1 - M... | ΔΙΑΛΕΞΗ Κ... | ΣΦΕΔΙΑΣΜΟΣ | Form6 | Form7 | 6/13/14

Εικόνα 7

Πατάμε το κουμπί πίσω οπότε επιστρέφουμε στην προηγούμενη φόρμα. Πατώντας “υπολογισμός και εξαγωγή αποτελεσμάτων”

Εμφανίζεται η φόρμα με τη μορφή:



Εικόνα 8

Επιλέγουμε “προβολή αποτελεσμάτων” και αν θέλουμε “εκτύπωση αποτελεσμάτων σε αρχείο” και έπειτα πατάμε το κουμπί πίσω.

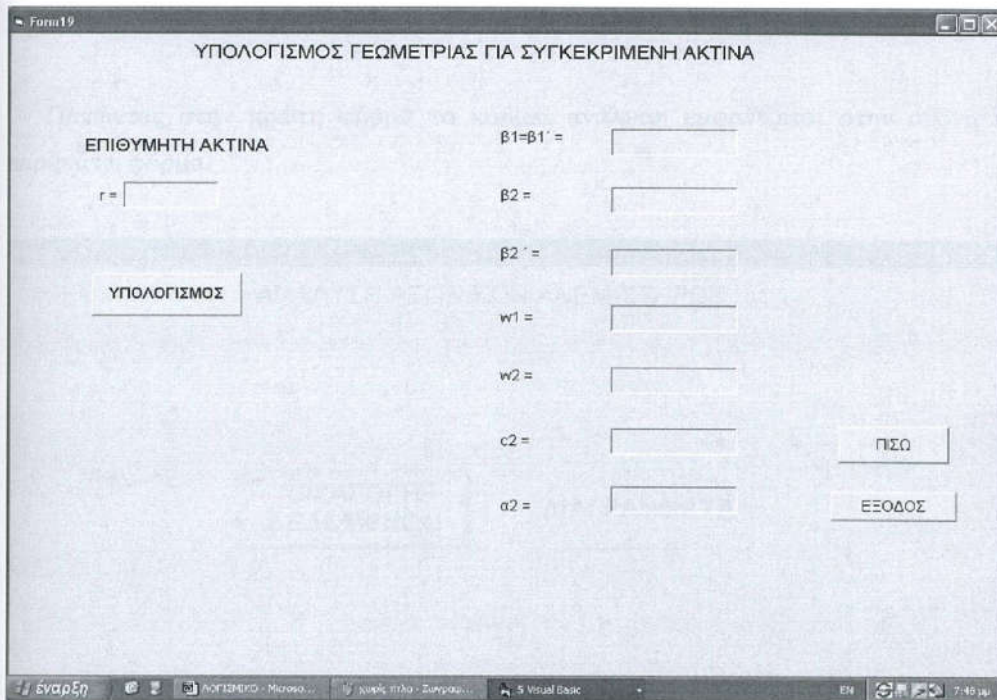
Ο σχεδιασμός με πλήρη καθορισμό δεδομένων απαιτεί αρκετή γνώση πάνω στο αντικείμενο των ανεμιστήρων καθώς οι τιμές των δεδομένων είναι αλληλένδετες μεταξύ τους και δεν μπορούν να πάρουν οποιεσδήποτε τιμές.

Το πρόγραμμα έχει φτιαχτεί για να υπολογίζει τη γεωμετρία σε αρκετό αριθμό ακτινών από τη βάση έως την κορυφή και ανάλογα με την ακτίνα ίσως κάποια φορά να μην υπολογίζει τη γεωμετρία στην ακτίνα κορυφής ή να κάνει υπολογισμούς με τέτοιο βήμα ώστε κάποιες επιθυμητές τιμές να μην παρουσιάζονται. Σε αυτή την περίπτωση η αλλάζουμε το βήμα η επιλέγουμε το κουμπί με τίτλο “απλός υπολογισμός” στη φόρμα της εικόνας 3 και εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα:

εικόνα 9

γράφουμε λοιπόν την επιθυμητή ακτίνα και πατώντας το κουμπί με τίτλο “υπολογισμός” εμφανίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά στα πλαίσια κειμένου στη δεξιά πλευρά της φόρμας. Αυτό για την περίπτωση του υπολογισμού προσεγγιστικά.

Όταν έχουμε επιλέξει “υπολογισμό με πλήρη καθορισμό δεδομένων” πατάμε το κουμπί με τίτλο “απλός υπολογισμός” που βρίσκεται στη φόρμα της εικόνας 6 και εμφανίζεται η φόρμα με την μορφή:

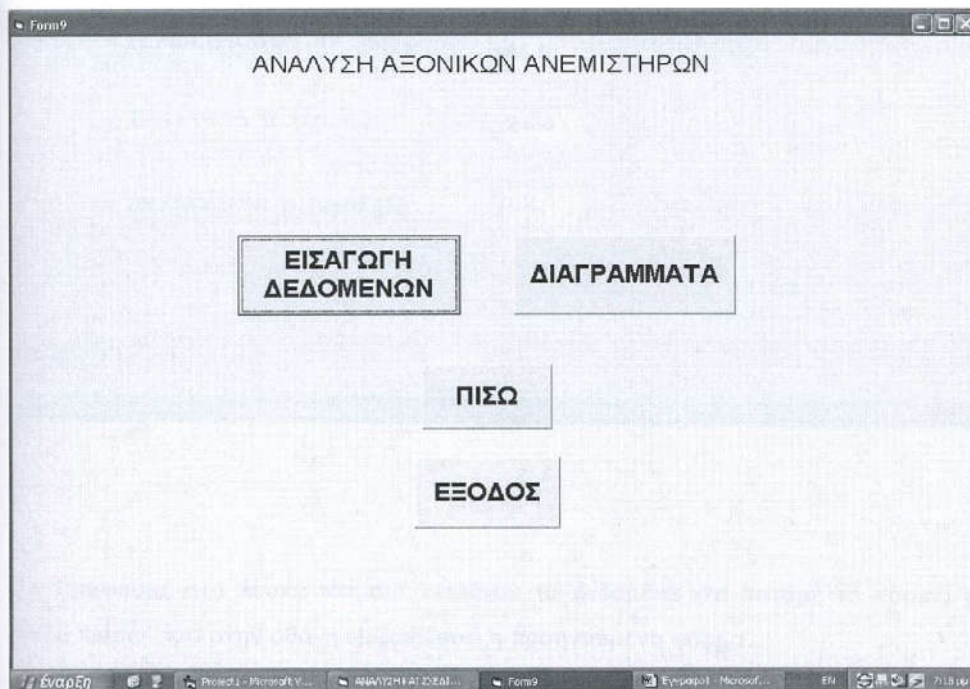


εικόνα 10

επαναλαμβάνουμε την ίδια ακριβώς διαδικασία και υπολογίζουμε τα αποτελέσματα.

3.2.2. Ανάλυση

Πατώντας στην πρώτη φόρμα το κουμπί ανάλυση εμφανίζεται στην οθόνη η παρακάτω φόρμα.



εικόνα 11

Πριν επιλέξουμε το πλήκτρο “διαγράμματα” πρέπει να καθορίσουμε τα δεδομένα.

Επιλέγουμε λοιπόν “εισαγωγή δεδομένων”, οπότε εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα:

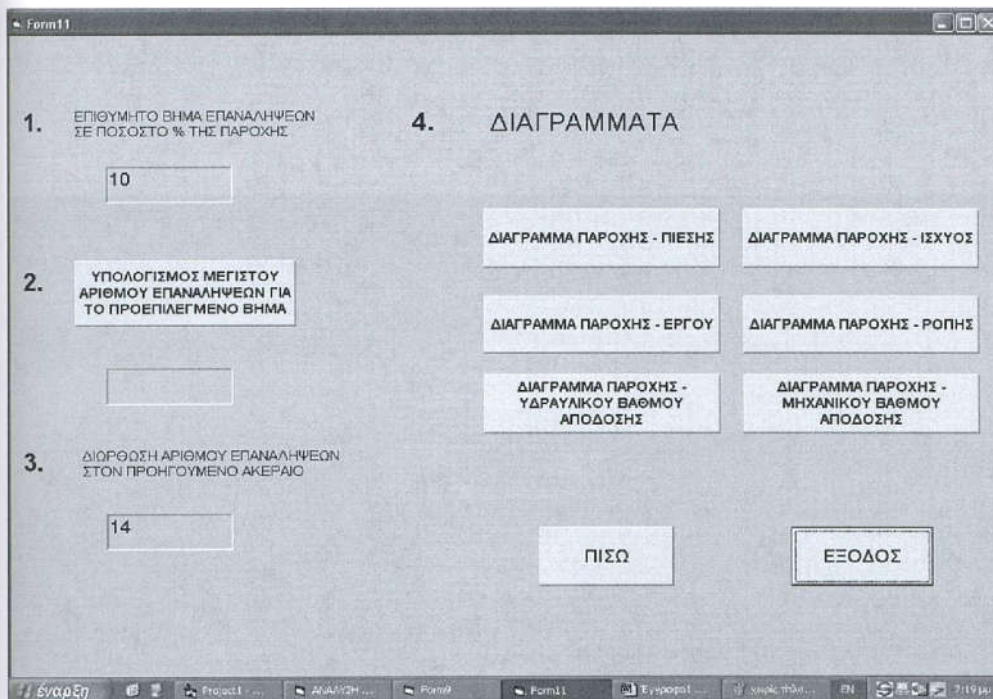
ΠΑΡΟΧΗ Q [m ³ /s]	10
ΔΙΑΤΟΜΗ A [m ²]	0.5
ΑΚΤΙΝΑ r [m]	0.28
ΓΩΝΙΑ ΕΞΟΔΟΥ β2 [deg]	65.5
ΤΑΧΥΤΗΤΑ N [r.p.m.]	2000
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ρ [kg/m ³]	1.2

ΠΙΣΩ

εικόνα 12

Γράφουμε στα λευκά πλαίσια κειμένου τα δεδομένα και πατάμε το κουμπί με τίτλο “πίσω” και στην οθόνη εμφανίζεται η προηγούμενη φόρμα.

Εφόσον καθορίσαμε τα δεδομένα μπορούμε να πατήσουμε το κουμπί με τίτλο “διαγράμματα” οπότε εμφανίζεται η παρακάτω φόρμα.

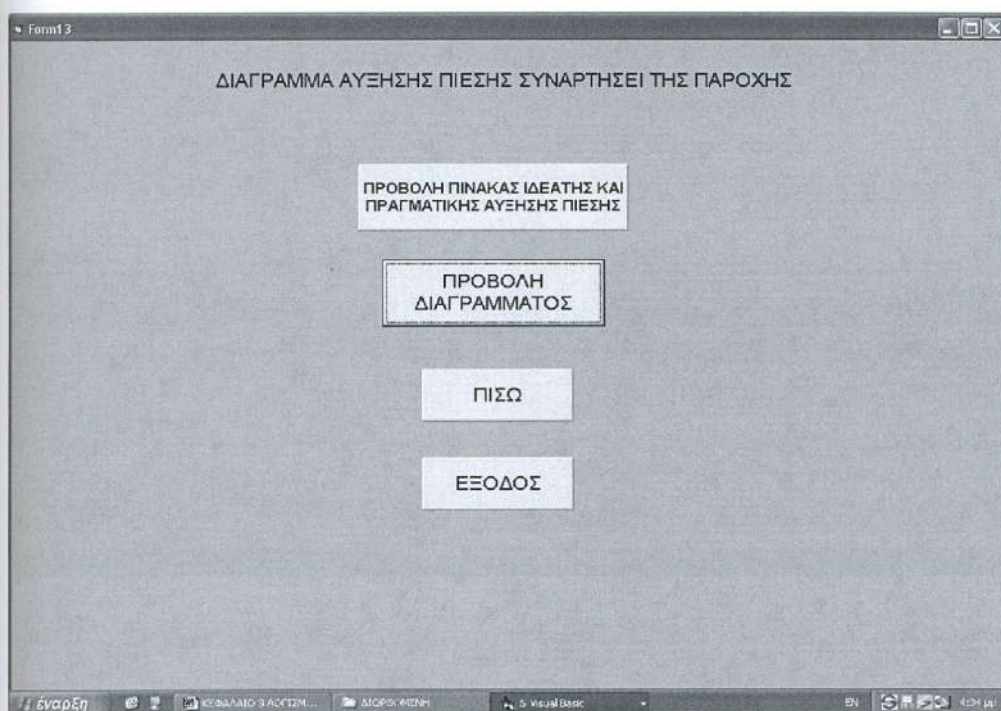


εικόνα 13

Ακολουθούμε τη σειρά των αριθμών οπότε επιλέγουμε το, επί τις εκατό ποσοστό της παροχής, βήμα για τους υπολογισμούς μας.

Για να μην πάρουμε στο διάγραμμα αρνητικές τιμές, υπολογίζουμε το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων για το προεπιλεγμένο βήμα. (η μέγιστη παροχή υπολογισμού είναι αυτή που αντιστοιχεί σε μηδενική αύξηση πίεσης). Πατώντας λοιπόν το κουμπί με τίτλο “υπολογισμός μέγιστου αριθμού επαναλήψεων για το προεπιλεγμένο βήμα” ο υπολογιστής υπολογίζει τον αριθμό αυτό που έχει άμεση σχέση με την μέγιστη παροχή και τον εμφανίζει στο ακριβώς από κάτω πλαίσιο κειμένου. Διορθώνουμε τον αριθμό αυτό στον αμέσως προηγούμενο ακέραιο και είμαστε έτοιμοι να υπολογίσουμε τα διαγράμματα.

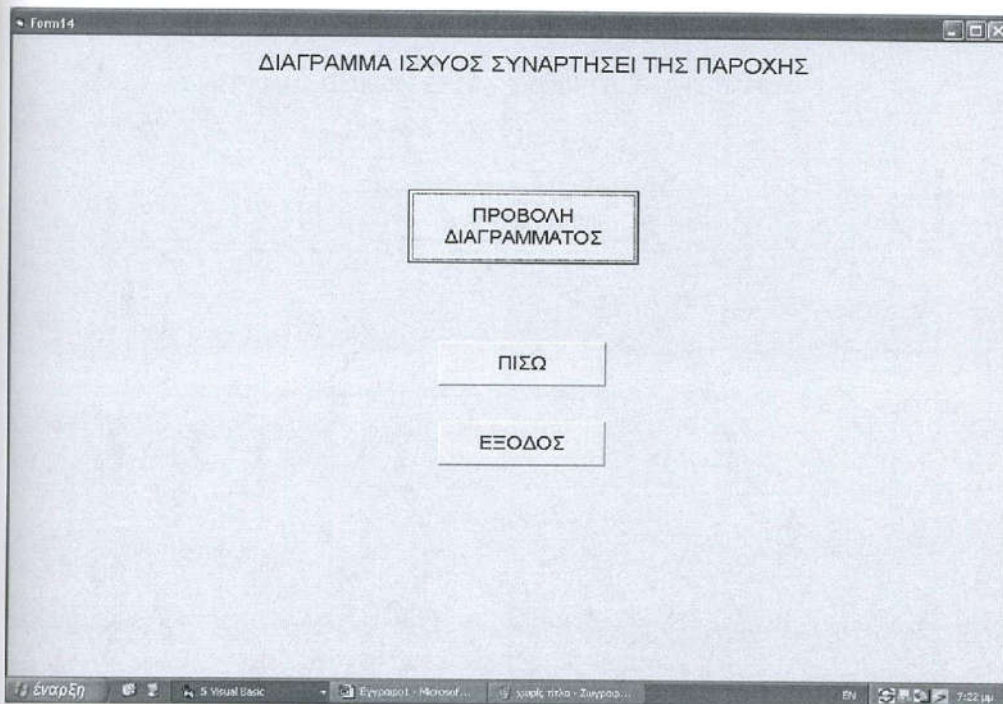
Επιλέγοντας “διάγραμμα παροχής - πίεσης” εμφανίζεται η φόρμα:



εικόνα 14

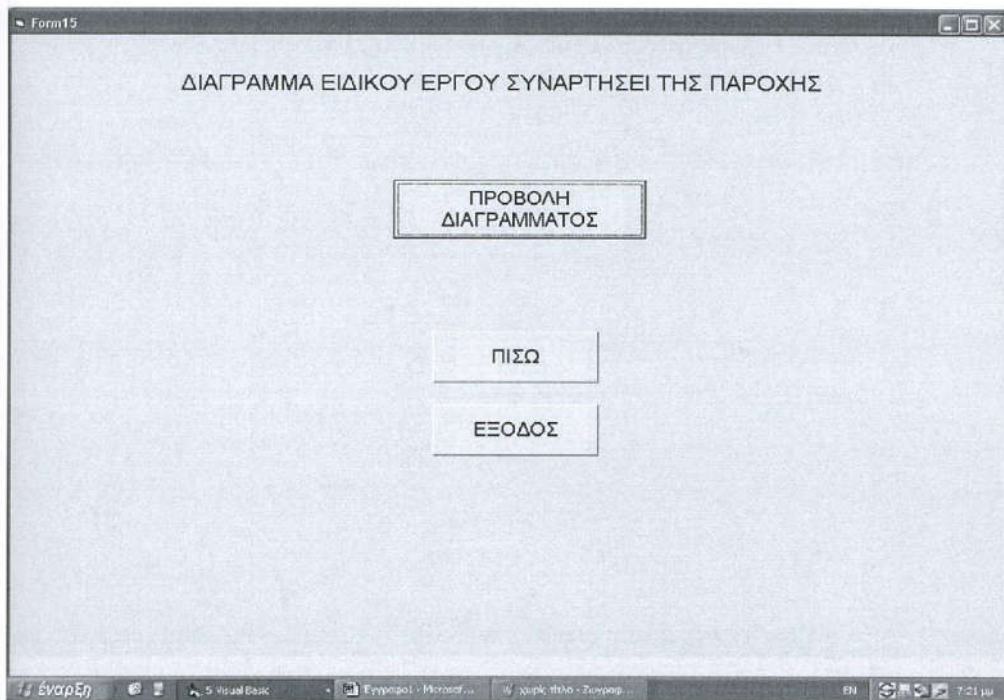
Επιλέγοντας “προβολή πίνακα ιδεατής και πραγματικής χαρακτηριστικής” εμφανίζεται μία φόρμα σαν αυτή της εικόνας 5 όπου πατώντας “προβολή αποτελεσμάτων” εμφανίζει τα αποτελέσματα.

Πατώντας “πίσω” επιστρέφουμε στην προηγούμενη φόρμα και επιλέγουμε “διάγραμμα παροχής – ισχύος” και η φόρμα που εμφανίζεται έχει την παρακάτω μορφή:



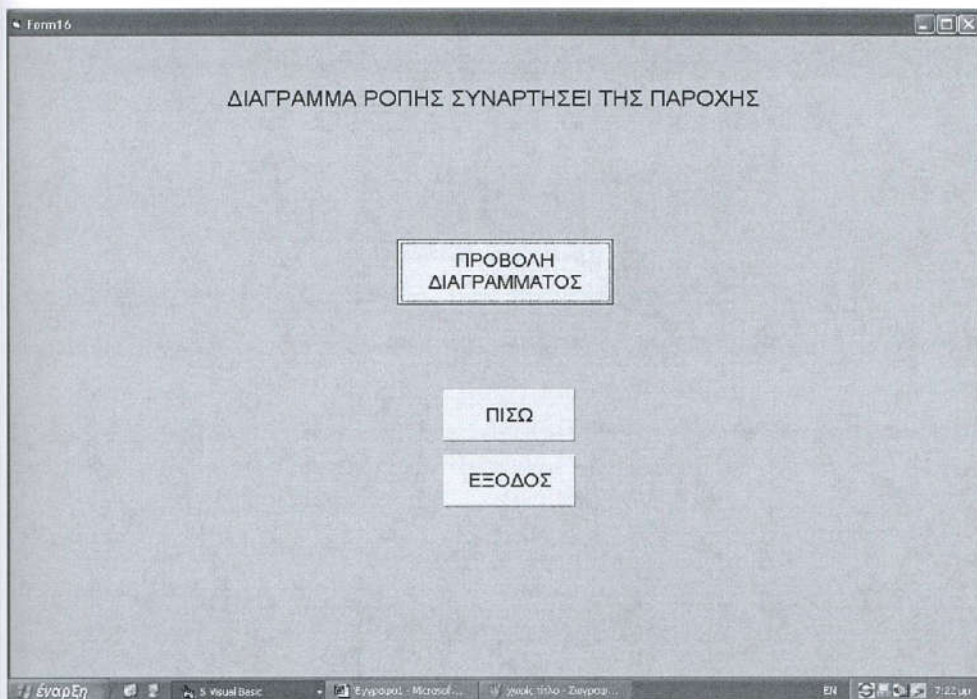
εικόνα 15

με τον ίδιο τρόπο επιλέγουμε “διάγραμμα παροχής - έργου ” και “διάγραμμα παροχής ροπής” και οι φόρμες που εμφανίζονται αντίστοιχα είναι:



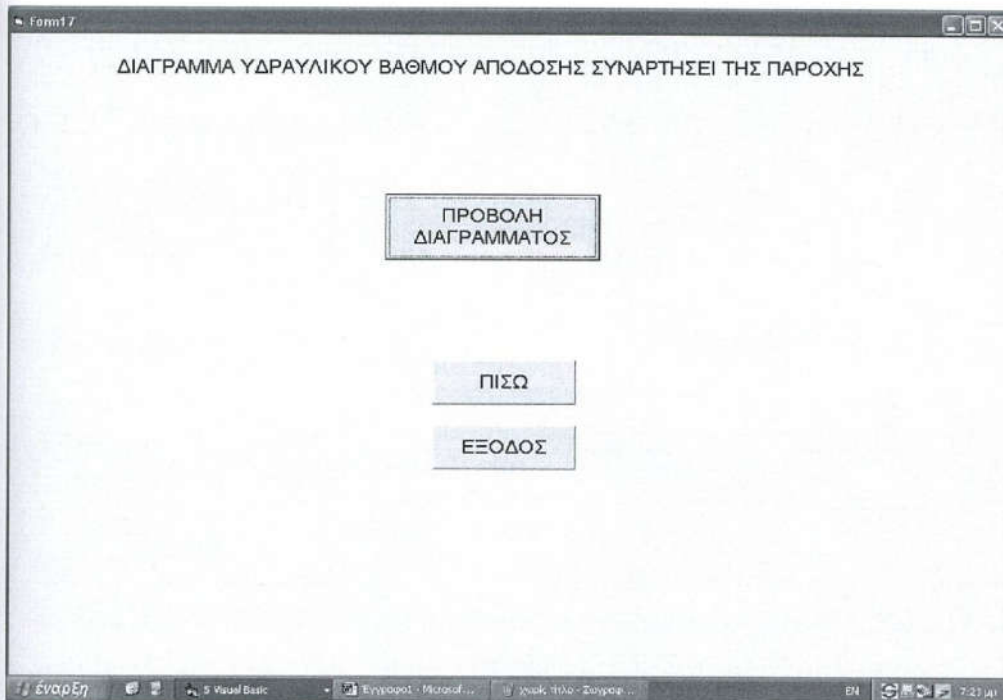
εικόνα 16

και



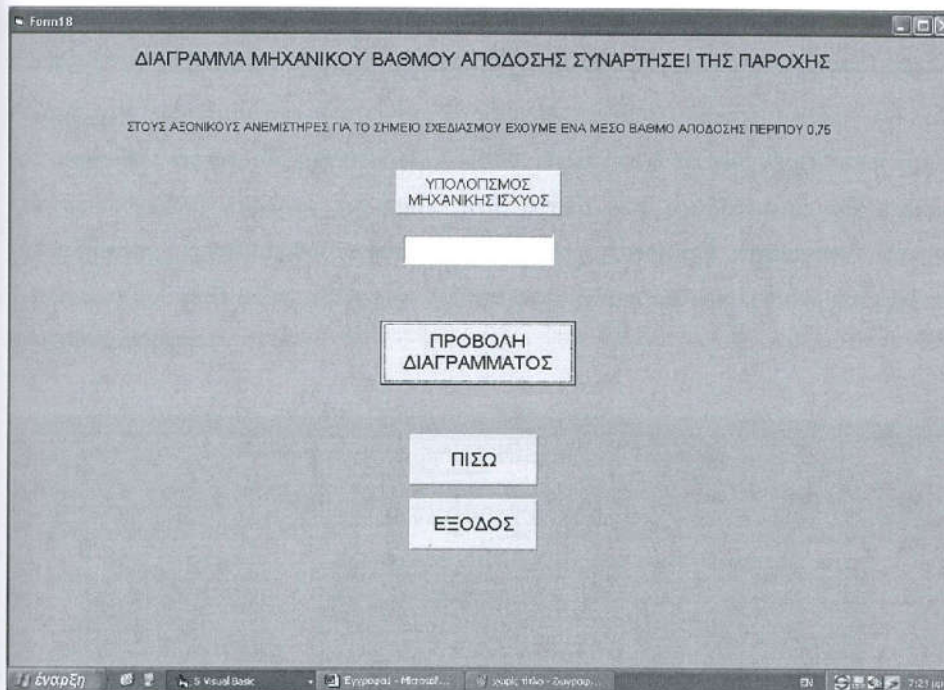
εικόνα 17

επιλέγοντας από τη φόρμα της εικόνας 11 τα δύο εναπομείναντα κουμπιά με τίτλο “διάγραμμα παροχής – υδραυλικού βαθμού απόδοσης ” και “διάγραμμα παροχής – μηχανικού βαθμού απόδοσης” εμφανίζονται κατά αντιστοιχία οι παρακάτω φόρμες:



εικόνα 18

και

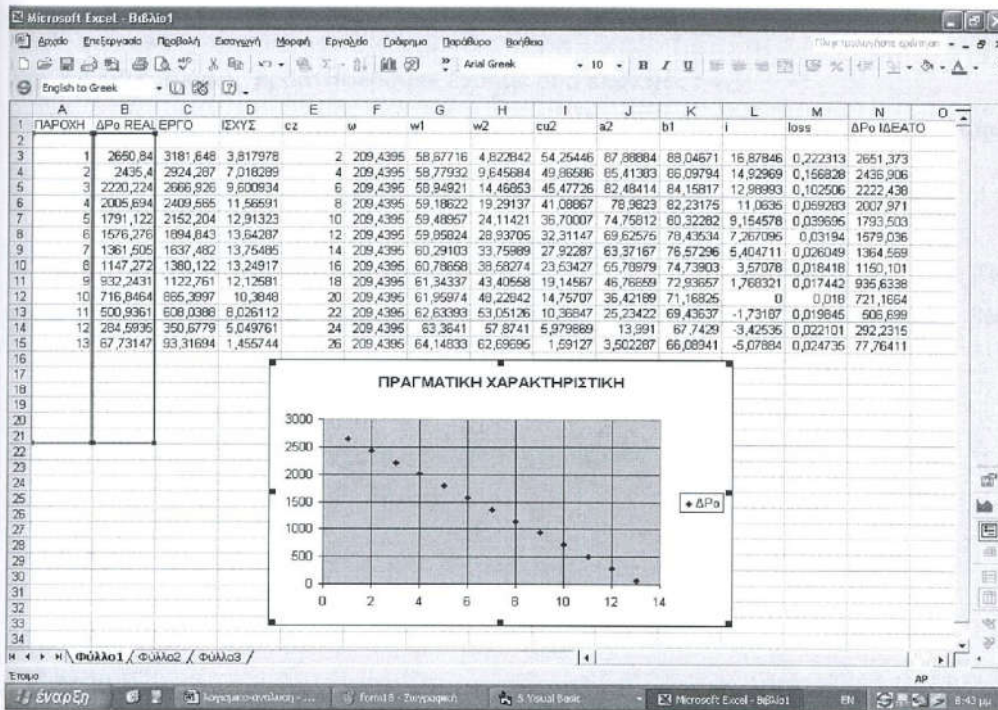


εικόνα 19

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης είναι το πηλίκο της ισχύος που καταναλώνει ο ανεμιστήρας προς την ισχύ που καταναλώνει το μοτέρ. Η επιλογή της ισχύος του μοτέρ, πρέπει να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την ισχύ που καταναλώνει η μηχανή, ώστε να επαρκεί για την περιστροφή του άξονα υπερνικώντας τις μηχανικές απώλειες (τριβές κ.λ.π.) και για να μην υπάρχει κίνδυνος υπερφόρτωσης του μοτέρ. Επομένως η επιλογή του μοτέρ είναι λίγο πολύπλοκη διαδικασία και για αυτό θα θεωρήσουμε εμπειρικά ένα μηχανικό βαθμό απόδοσης περίπου 75 % για αυτού του είδους τους ανεμιστήρες. Για να παραχθεί το διάγραμμα παροχής - μηχανικού βαθμού απόδοσης απαιτείται η μέγιστη ισχύς που καταναλώνει ο ανεμιστήρας η οποία είναι αυτή που καταναλώνεται στο σημείο σχεδιασμού του ανεμιστήρα, στο σημείο δηλαδή της ονομαστικής παροχής, όπου ο ανεμιστήρας παράγει την μέγιστη αύξηση πίεσης.

Επιλέγοντας υπολογισμός μηχανικής ισχύος η μέγιστη ισχύς γράφεται στο πλαίσιο κειμένου και έτσι η δημιουργία του διαγράμματος είναι πλέον εφικτή.

Στις 6 τελευταίες φόρμες που παρουσιάστηκαν απώτερος σκοπός είναι η δημιουργία διαγραμμάτων. Πατώντας το κουμπί “προβολή διαγράμματος” σε κάθε μία από αυτές τις φόρμες αντίστοιχη η Visual Basic καλεί το Microsoft Excel και σε ένα κενό φύλλο τυπώνει τις τιμές ανά στήλη και ανάλογα με τον αριθμό επαναλήψεων χρησιμοποιεί αντίστοιχες σειρές. Αυτόματα δημιουργεί και το διάγραμμα που μαζί με τις τιμές εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή και έχει την ακόλουθη μορφή:



εικόνα 20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του λογισμικού και θα γίνει σχολιασμός των αποτελεσμάτων αυτών φυσικά σε δύο σκέλη, το σχεδιασμό και την ανάλυση.

4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Στο σχεδιασμό όπως προαναφέρθηκε έχουμε δύο επιλογές :

Σχεδιασμό με χρήση προσεγγιστικών εξισώσεων και σχεδιασμό με πλήρη καθορισμό δεδομένων.

Επιλέγοντας το πρώτο και ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν παρακάτω αποτελέσματα δύο ανεμιστήρων για σύγκριση.

Ο πρώτος ανεμιστήρας θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.8 \text{ m}$$

$$\Delta P_o = 800 \text{ Pa}$$

$$N = 2000 \text{ r.p.m}$$

και ο δεύτερος τα ακόλουθα.

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 1.2 \text{ m}$$

$$\Delta P_o = 800 \text{ Pa}$$

$$N = 1500 \text{ r.p.m}$$

Και για τους δύο ανεμιστήρες επιλέξαμε αριθμό πτερυγίων ίσο με εννέα.

Τρέχουμε λοιπόν το πρόγραμμα και ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3 για τον πρώτο ανεμιστήρα και έχουμε.

Στη φόρμα “εισαγωγή δεδομένων” γράφουμε τα χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα.

Έπειτα το πρόγραμμα μας δίνει ελάχιστη διάμετρο βάσης $d_{min} = 0,364$ m και εμείς επιλέγουμε 0,37. Ο λόγος της διαμέτρου βάσης προς τη διάμετρο του ανεμιστήρα βρίσκεται μέσα στα επιθυμητά όρια επομένως συνεχίζουμε τους υπολογισμούς. Σε αντίθετη περίπτωση το πρόγραμμα μας δείχνει ένα μήνυμα και προτείνει να αλλάξουμε τα χαρακτηριστικά της μηχανής. Για την ελάχιστη διάμετρο κορυφής το πρόγραμμα μας δίνει $D_{min}=0,744$ και εμείς επιλέγουμε 0,75. Η ελάχιστη διάμετρος στην κορυφή είναι μικρότερη της ονομαστικής διαμέτρου του ανεμιστήρα επομένως είναι αποδεκτή. Επιλέγουμε υπολογισμός γεωμετρίας και λαμβάνουμε τα εξής αποτελέσματα.

r= 0,195 m	w1= 43,5427678607146	w2= 24,2868323662416	$\beta_1=\beta_1'= 62,8537520783411$	
r= 0,205 m	w1= 47,3087615454671	w2= 28,8017218686562	$\beta_1=\beta_1'= 65,169040747783$	
r= 0,225 m	w1= 51,140662489361	w2= 33,3221953031141	$\beta_1=\beta_1'= 67,1401980167881$	
r= 0,245 m	w1= 55,0244243155638	w2= 38,1799350457628	$\beta_1=\beta_1'= 68,8348674579119$	
r= 0,265 m	w1= 58,9900579945327	w2= 43,0614674653888	$\beta_1=\beta_1'= 70,3049600299008$	
r= 0,285 m	w1= 62,9096441781935	w2= 47,8195894217699	$\beta_1=\beta_1'= 71,5907926106944$	
r= 0,305 m	w1= 66,8971542777693	w2= 52,735968349471	$\beta_1=\beta_1'= 72,7238348901046$	
r= 0,325 m	w1= 70,9078775388814	w2= 57,505112529081	$\beta_1=\beta_1'= 73,7290588513668$	
r= 0,345 m	w1= 74,9380889147521	w2= 62,2272776043024	$\beta_1=\beta_1'= 74,6264119130324$	
r= 0,365 m	w1= 78,9847996173027	w2= 66,905167281018	$\beta_1=\beta_1'= 75,4319959806856$	
$\beta_2= 36,3162756180738$	$\beta_2= 35,113653365408$	c2= 31,7580499136369	$\alpha_2= 51,2757840188159$	l= 0,139777777777778
$\beta_2= 46,9650756901183$	$\beta_2= 46,0040781313902$	c2= 29,910461644537	$\alpha_2= 49,3779111398143$	l= 0,154888888888889
$\beta_2= 54,1768264885809$	$\beta_2= 53,4012008689068$	c2= 28,455363446634	$\alpha_2= 45,7188460615462$	l= 0,17
$\beta_2= 59,2810340704552$	$\beta_2= 58,6442123194497$	c2= 27,2894908296706	$\alpha_2= 43,2603636320526$	l= 0,185111111111111
$\beta_2= 63,0567798418686$	$\beta_2= 62,5249157354389$	c2= 26,3415410258623	$\alpha_2= 41,0439178865384$	l= 0,200222222222222
$\beta_2= 65,957662470535$	$\beta_2= 65,5065288168329$	c2= 25,5809043258296	$\alpha_2= 38,9914258412731$	l= 0,215333333333333
$\beta_2= 68,256689846697$	$\beta_2= 67,8690263861815$	c2= 24,9108206003787	$\alpha_2= 37,1057539268857$	l= 0,230444444444444
$\beta_2= 70,1256936390566$	$\beta_2= 69,7887998919815$	c2= 24,3640516092148	$\alpha_2= 35,3709823450239$	l= 0,245555555555556
$\beta_2= 71,6771164896195$	$\beta_2= 71,3815488429799$	c2= 23,9000700522656	$\alpha_2= 33,7725219326109$	l= 0,260666666666667
$\beta_2= 72,9875716915282$	$\beta_2= 72,725969058862$	c2= 23,6031695588653	$\alpha_2= 32,2971309759965$	l= 0,275777777777778

Ακολουθούμε ακριβώς την ίδια διαδικασία και για το δεύτερο ανεμιστήρα και επιλέγουμε $d_{min} = 0,57 \text{ m}$ $D_{min}=0,94 \text{ m}$.

Τα αποτελέσματα της γεωμετρίας των πτερυγίων είναι:

$r = 0,285 \text{ m}$	$w1 = 45,6301560405977$	$w2 = 24,9390823181294$	$\beta1 = \beta1' = 78,8424728344526$	
$r = 0,305 \text{ m}$	$w1 = 48,7161630666434$	$w2 = 29,2366329736414$	$\beta1 = \beta1' = 79,557475602082$	
$r = 0,325 \text{ m}$	$w1 = 51,8088613928971$	$w2 = 33,431632805145$	$\beta1 = \beta1' = 80,1872036866959$	
$r = 0,345 \text{ m}$	$w1 = 54,9070927128193$	$w2 = 37,5312829415779$	$\beta1 = \beta1' = 80,7459258475154$	
$r = 0,365 \text{ m}$	$w1 = 58,0099972979167$	$w2 = 41,5393835769642$	$\beta1 = \beta1' = 81,2449201917651$	
$r = 0,385 \text{ m}$	$w1 = 61,1168548899713$	$w2 = 45,4671173493823$	$\beta1 = \beta1' = 81,6932132620677$	
$r = 0,405 \text{ m}$	$w1 = 64,2270918350399$	$w2 = 49,3297758452618$	$\beta1 = \beta1' = 82,0981113969942$	
$r = 0,425 \text{ m}$	$w1 = 67,3402398892283$	$w2 = 53,117752957844$	$\beta1 = \beta1' = 82,4655895183995$	
$r = 0,445 \text{ m}$	$w1 = 70,4559131648886$	$w2 = 56,8564288922378$	$\beta1 = \beta1' = 82,8005794808848$	
$r = 0,465 \text{ m}$	$w1 = 73,5737908515332$	$w2 = 60,5462158012994$	$\beta1 = \beta1' = 83,1071870828255$	
$\beta2 = 69,9875121748207$	$\beta2' = 69,2645751789071$	$c2 = 23,1907585613506$	$a2 = 67,6201758080171$	$I = 0,215333333333333$
$\beta2 = 73,0010879560169$	$\beta2' = 72,4216213977113$	$c2 = 21,8970607947455$	$a2 = 66,2191346054048$	$I = 0,230444444444444$
$\beta2 = 75,1641094050476$	$\beta2' = 74,6864082517224$	$c2 = 20,7745997337684$	$a2 = 64,8476438344446$	$I = 0,245555555555556$
$\beta2 = 76,795160985114$	$\beta2' = 76,3928137086284$	$c2 = 19,793257409398$	$a2 = 63,5062997953041$	$I = 0,260666666666667$
$\beta2 = 78,0720207217293$	$\beta2' = 77,7273724377118$	$c2 = 18,9294815369545$	$a2 = 62,195540628499$	$I = 0,275777777777778$
$\beta2 = 79,1012206279692$	$\beta2' = 78,8019469445515$	$c2 = 18,1846216098419$	$a2 = 60,9156575755096$	$I = 0,290888888888889$
$\beta2 = 79,9503420335663$	$\beta2' = 79,6875319715883$	$c2 = 17,48371264506$	$a2 = 59,6668039852607$	$I = 0,306$
$\beta2 = 80,6642870223378$	$\beta2' = 80,4313088348523$	$c2 = 16,8746093513236$	$a2 = 58,4490087662449$	$I = 0,321111111111111$
$\beta2 = 81,27405024117$	$\beta2' = 81,0658481332423$	$c2 = 16,3273536216932$	$a2 = 57,2621870187448$	$I = 0,336222222222222$
$\beta2 = 81,8017215126347$	$\beta2' = 81,614361884052$	$c2 = 15,8337051085251$	$a2 = 56,1081518188918$	$I = 0,351333333333333$

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο πινάκων συμπεραίνουμε ότι τα πτερύγια των δύο ανεμιστήρων έχουν διαφορετική μέση καμπυλότητα, διαφορετικό μέσο μήκος χορδής και διαφορετική μέση ταχύτητα εξόδου (στη μέση ακτίνα). Κάτι που είναι απολύτως λογικό δεδομένου ότι και οι δύο ανεμιστήρες σχεδιάστηκαν για να δουλεύουν στη ίδια παροχή και για να δημιουργούν την ίδια αύξηση πίεσης και έχοντας διαφορά μόνο στο μέγεθος και στον αριθμό στροφών.

Ο πρώτος ανεμιστήρας που έχει διάμετρο 0,8 m παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα.

1. θα είναι μικρότερος σε μέγεθος (παράγοντας πολύ σημαντικός σε ορισμένες περιπτώσεις)
2. θα έχει μικρότερο κόστος αγοράς

Ο δεύτερος ανεμιστήρας με διάμετρο 1,2 m προσφέρει τα εξής:

1. μικρότερη ταχύτητα στην κορυφή των πτερυγίων επομένως και λιγότερο θόρυβο

Ανάλογα λοιπόν με τις απαιτήσεις μας επιλέγουμε τον αντίστοιχο ανεμιστήρα.

Αν είχαμε επιλέξει “σχεδιασμό με πλήρη καθορισμό δεδομένων” θα ακολουθούσαμε την εξής διαδικασία.

Έστω ότι πρέπει να σχεδιάσουμε έναν ανεμιστήρα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

Παροχή αέρα	$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$
Αύξηση ολικής πίεσης	$\Delta P_o = 800 \text{ Pa}$
Διατομή	$A = 1.2 \text{ m}$
Αριθμό στροφών	$N=1500 \text{ r.p.m}$
Ακτίνα βάσης	$r = 0.1 \text{ m}$
Ακτίνα κορυφής	$r = 0.4 \text{ m}$

Θα επιλέξουμε αριθμό πτερυγίων $z = 6$ και μέσο μήκος χορδής $l = 0,1 \text{ m}$

Στη φόρμα με τίτλο εισαγωγή δεδομένων τοποθετούμε τα παραπάνω αποτελέσματα και επιλέγουμε επανάληψη των υπολογισμών για κάθε $0,02 \text{ m}$, δηλαδή το βήμα είναι $0,02 \text{ m}$. Αυτό αντιστοιχεί σε μέγιστο αριθμό επαναλήψεων $n = 16$ ώστε τα αποτελέσματα να βρίσκονται μέσα στο εύρος ακτίνας $(0,1 - 0,4)$

Επιλέγουμε “υπολογισμός γεωμετρίας” και πατώντας “προβολή αποτελεσμάτων ” λαμβάνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

≡ 0,1 m	w1= 25,431085505993	w2= 30,0959325249476	β1=β1'= 38,1460259875173
≡ 0,12 m	w1= 27,4828266089736	w2= 23,8436070027209	β1=β1'= 43,303807307591
≡ 0,14 m	w1= 29,7255885665151	w2= 20,6884303065933	β1=β1'= 47,7148345007291
≡ 0,16 m	w1= 32,1193817131278	w2= 20,0396192492358	β1=β1'= 51,4881127467072
≡ 0,18 m	w1= 34,6329028012747	w2= 21,2074121054881	β1=β1'= 54,7261186102069
≡ 0,2 m	w1= 37,2419177816143	w2= 23,4886504760445	β1=β1'= 57,5183634103724
≡ 0,22 m	w1= 39,927711335156	w2= 26,3756248825613	β1=β1'= 59,9400914283592
≡ 0,24 m	w1= 42,6757897838531	w2= 29,5723856460034	β1=β1'= 62,0533127556168
≡ 0,26 m	w1= 45,4748627671239	w2= 32,9210457134673	β1=β1'= 63,9086610040153
≡ 0,28 m	w1= 48,3180683676035	w2= 36,3392707099935	β1=β1'= 65,5473582611436
≡ 0,3 m	w1= 51,1923919163596	w2= 39,7841034077076	β1=β1'= 67,0029923295356
≡ 0,32 m	w1= 54,098232194171	w2= 43,2331081584429	β1=β1'= 68,3030160298496
≡ 0,34 m	w1= 57,0290774232915	w2= 46,6747138277058	β1=β1'= 69,4699683381974
≡ 0,36 m	w1= 59,9812622889028	w2= 50,1032026791953	β1=β1'= 70,5224510675579
≡ 0,38 m	w1= 62,9517846338735	w2= 53,5160509019394	β1=β1'= 71,4759032064741
≡ 0,4 m	w1= 65,938166187801	w2= 56,9124839160389	β1=β1'= 72,3432128501815

β2=-47,2454191503571	β2'=-48,3528300435014	c2= 43,1164127048282	α2= 14,010670625097
β2=-31,4997709609025	β2'=-32,9864587922154	c2= 37,5927098847808	α2= 24,871633574834
β2=-13,1461558633468	β2'=-14,8222989320118	c2= 33,8289895344959	α2= 38,9348580000963
β2= 5,22660443858839	β2'= 3,60344249506546	c2= 31,1437258211141	α2= 50,0451374865922
β2= 20,8408266448134	β2'= 19,4269175996502	c2= 29,1601847005376	α2= 46,6961926949814
β2= 32,7967703611239	β2'= 31,6275310301476	c2= 27,6542268221924	α2= 43,679296231919
β2= 41,6393413000615	β2'= 40,687562430096	c2= 26,4849288366429	α2= 40,9618320735127
β2= 48,2204456109208	β2'= 47,4443013532635	c2= 25,5597918442292	α2= 38,5118872558652
β2= 53,2285000060596	β2'= 52,5900263664893	c2= 24,8159647642289	α2= 36,2995626369312
β2= 57,1386476275209	β2'= 56,6076836692758	c2= 24,2095050183034	α2= 34,2976094601628
β2= 60,2667712968676	β2'= 59,8203230949897	c2= 23,7089412213411	α2= 32,4816365922
β2= 62,8237568820574	β2'= 62,4444472058752	c2= 23,2912626215322	α2= 30,8300638135007
β2= 64,9531103266639	β2'= 64,6277520905714	c2= 22,939338245609	α2= 29,3239381749357
β2= 66,7548265718292	β2'= 66,4733186924023	c2= 22,6402096488166	α2= 27,9466872469556
β2= 68,3002801366403	β2'= 68,0547983082307	c2= 22,3839343179295	α2= 26,6838534510584
β2= 69,6415927076943	β2'= 69,4260057652939	c2= 22,16278565939482	α2= 25,5220343549181

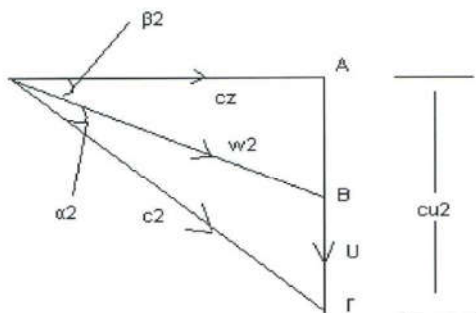
Παρατηρούμε ότι για τις τρεις πρώτες ακτίνες οι γωνίες εξόδου β_2 είναι αρνητικές. Αυτό εξηγείται με βάση την αρχή της ελεύθερης στροβίλωσης (free vortex) που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2. Για να έχουμε ομοιόμορφη κατανομή στατικής πίεσης στην έξοδο του ανεμιστήρα πρέπει σε κάθε ακτίνα η συστροφή c_{u2} να είναι τέτοια ώστε η παραγόμενη αύξηση πίεσης να είναι σταθερή. Η συστροφή δίνεται από την εξίσωση :

$$c_{u2} = \frac{\rho \Delta P_o}{U} = \frac{\rho \Delta P_o}{\omega \cdot r}$$

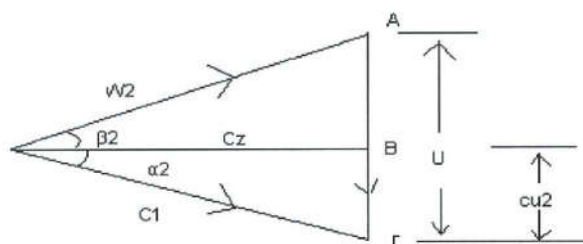
$$= 1,2 \cdot 500 / 157,08 \cdot 0,1 = 38,2$$

και η περιστροφική ταχύτητα είναι $U = \omega \cdot r = 15,7$

Επομένως το τρίγωνο ταχύτητας είναι



σε αντίθεση με το τρίγωνο ταχύτητας σε μεγαλύτερες ακτίνες όπου η συστροφή είναι μικρότερη της ταχύτητας U.



η γωνία β_2 σε κάθε περίπτωση δίνεται από τη σχέση:

$$b_2 = \tan^{-1}\left(\frac{AB}{cz}\right) \text{ για αυτό και στην περίπτωση μας είναι αρνητική.}$$

Αρνητική γωνία σημαίνει ότι το περύγιο σε αυτή την ακτίνα πρέπει να είναι πολύ καμπυλωμένο.

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ

Θα προσπαθήσουμε τώρα με βάση τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου να σχεδιάσουμε τα διαγράμματα για την ανάλυση των τριών ανεμιστήρων.

Για την ανάλυση απαιτούνται τα εξής δεδομένα.

Παροχή αέρα :	$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$
Διάμετρος ανεμιστήρα :	$D = 0.8 \text{ m}$	$D = 1,2 \text{ m}$
Αριθμός στροφών :	$N = 2000 \text{ r.p.m}$	$N = 1500 \text{ r.p.m}$
Γωνία εξόδου β_2 :	$\beta_2 = 65,297^\circ$	$\beta_2 = 78,739^\circ$
Μέση ακτίνα r_μ :	$r_\mu = 0,28 \text{ m}$	$r_\mu = 0,3775 \text{ m}$
Πυκνότητα αέρα :	$\rho = 1,2 \text{ kg / m}^3$	$\rho = 1,2 \text{ kg / m}^3$
Ακτίνα κορυφής :	$r_t = 0,375$	$r_t = 0,47$
Αριθμός πτερυγίων :	$z = 9$	$z = 9$

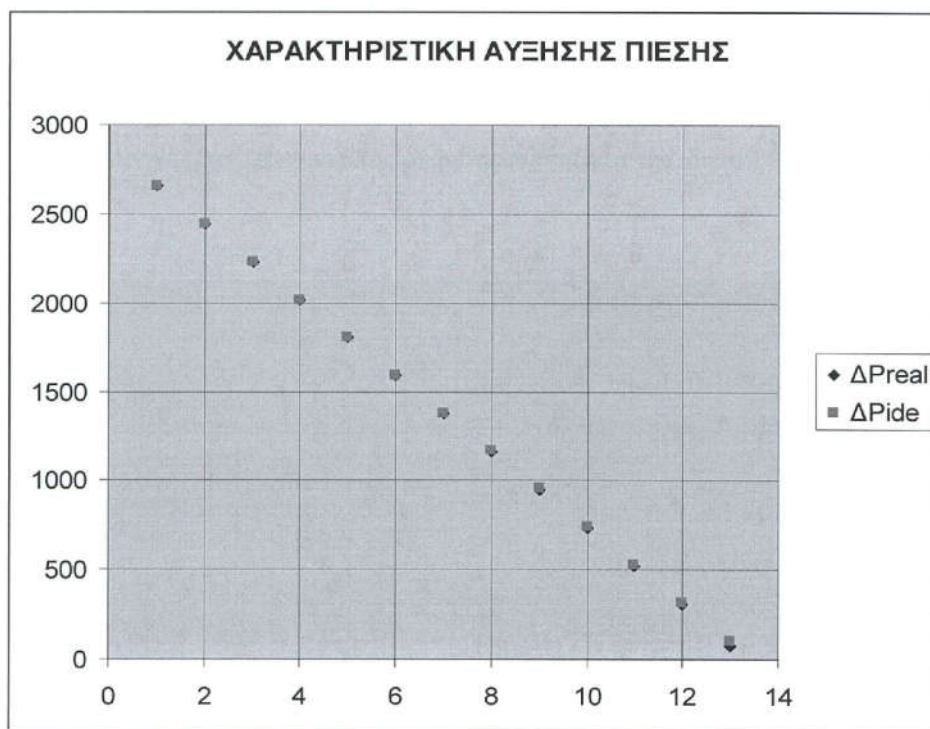
Από τα παραπάνω δεδομένα που απαιτούνται μας λείπουν η μέση ακτίνα και η γωνία εξόδου για την ακτίνα αυτή.

Ανατρέχουμε στους δύο πίνακες στα αποτελέσματα του σχεδιασμού και ψάχνουμε τη μέση ακτίνα και την γωνία β_2 στην ακτίνα αυτή και για τους δύο ανεμιστήρες.

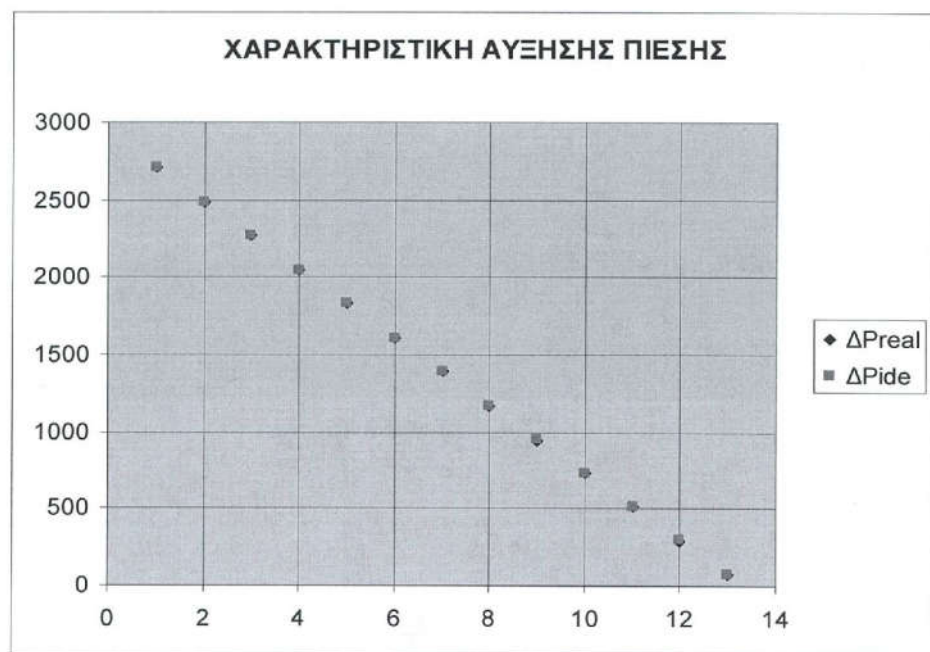
Για τον πρώτο η μέση ακτίνα είναι $r_\mu = 0,28 \text{ m}$ και για τον δεύτερο $r_\mu = 0,3775 \text{ m}$

Παρατηρούμε ότι για αυτές τις τιμές δεν έχουμε αποτελέσματα οπότε πηγαίνουμε στη φόρμα της εικόνας 3 και αφού γράψουμε τα δεδομένα επιλέγουμε “απλός υπολογισμός” και γράφουμε την μέση ακτίνα. Οπότε βρίσκεται ότι η γωνία β_2 σε αυτή την ακτίνα είναι $\beta_2 = 65,297^\circ$. Επαναλαμβάνουμε το ίδιο και για τη μέση ακτίνα του δεύτερου ανεμιστήρα και έχουμε $\beta_2 = 78,739^\circ$. Τώρα εφόσον συμπληρώσαμε όλα τα δεδομένα είμαστε έτοιμοι για τον υπολογισμό των διαγραμμάτων.

Γράφουμε τα δεδομένα στην αντίστοιχη φόρμα και επιλέγουμε βήμα επαναλήψεων 10 % της αρχικής παροχής.



ανεμιστήρας 1



ανεμιστήρας 2

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, εξαιτίας των τιμών της ιδεατής αύξησης πίεσης, είναι δύσκολο να διακρίνουμε τις τιμές της πραγματικής χαρακτηριστικής της αύξησης πίεσης. Για αυτό το λόγο παρατίθεται παρακάτω σχετικός πίνακας με τις τιμές της παροχής, της πραγματικής αύξησης πίεσης και της ιδεατής αύξησης πίεσης.

Q = 1	ΔΡο ιδεατό = 2653,37138492131	ΔΡο πραγματικό = 2652,6023360012
Q = 2	ΔΡο ιδεατό = 2440,90206465309	ΔΡο πραγματικό = 2438,98700221946
Q = 3	ΔΡο ιδεατό = 2228,43278438486	ΔΡο πραγματικό = 2225,7065737791
Q = 4	ΔΡο ιδεατό = 2015,96348411664	ΔΡο πραγματικό = 2012,93756825626
Q = 5	ΔΡο ιδεατό = 1803,49418384842	ΔΡο πραγματικό = 1799,63543072604
Q = 6	ΔΡο ιδεατό = 1591,0248835802	ΔΡο πραγματικό = 1587,39113295235
Q = 7	ΔΡο ιδεατό = 1378,55558331197	ΔΡο πραγματικό = 1374,67090850629
Q = 8	ΔΡο ιδεατό = 1166,08628304375	ΔΡο πραγματικό = 1161,04589569568
Q = 9	ΔΡο ιδεατό = 953,616982775529	ΔΡο πραγματικό = 948,629502133189
Q = 10	ΔΡο ιδεατό = 741,147682507307	ΔΡο πραγματικό = 733,678838795071
Q = 11	ΔΡο ιδεατό = 528,678382239084	ΔΡο πραγματικό = 522,461977148822
Q = 12	ΔΡο ιδεατό = 316,209081970861	ΔΡο πραγματικό = 304,317051402506
Q = 13	ΔΡο ιδεατό = 103,739781702639	ΔΡο πραγματικό = 70,9263829754024

ανεμιστήρας 1

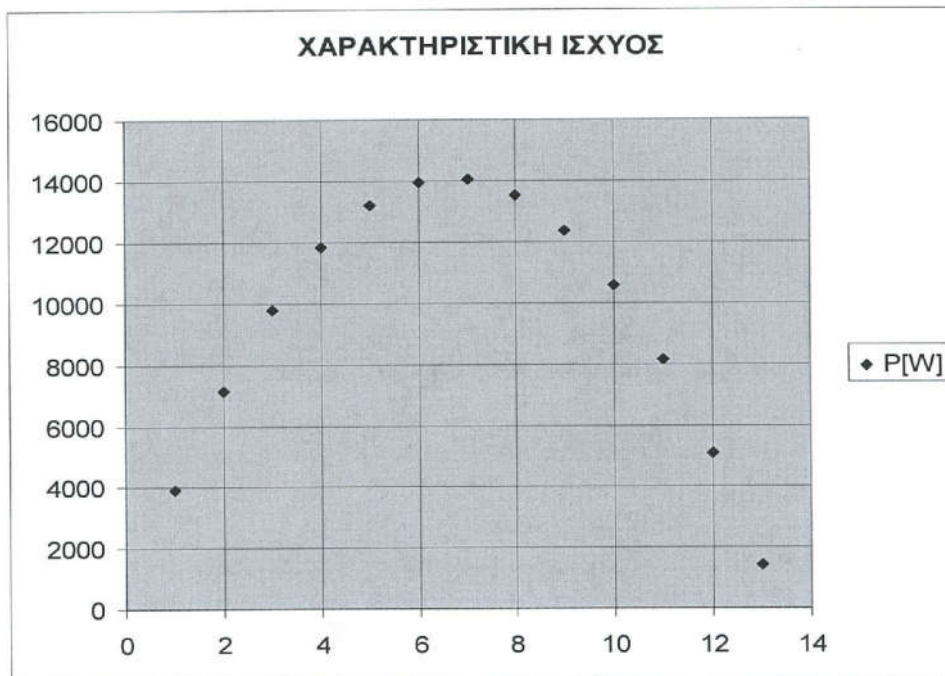
Q = 1	ΔΡο ιδεατό = 2710,54331456454	ΔΡο πραγματικό = 2710,40609196676
Q = 2	ΔΡο ιδεατό = 2490,9193122492	ΔΡο πραγματικό = 2490,59934891506
Q = 3	ΔΡο ιδεατό = 2271,29530993387	ΔΡο πραγματικό = 2270,59359108558
Q = 4	ΔΡο ιδεατό = 2051,67130761853	ΔΡο πραγματικό = 2050,98304202609
Q = 5	ΔΡο ιδεατό = 1832,0473053032	ΔΡο πραγματικό = 1831,6979769611
Q = 6	ΔΡο ιδεατό = 1612,42330298786	ΔΡο πραγματικό = 1611,03943850983
Q = 7	ΔΡο ιδεατό = 1392,79930067253	ΔΡο πραγματικό = 1391,06637564508
Q = 8	ΔΡο ιδεατό = 1173,17529835719	ΔΡο πραγματικό = 1172,13715507486
Q = 9	ΔΡο ιδεατό = 953,551296041855	ΔΡο πραγματικό = 942,784395349929
Q = 10	ΔΡο ιδεατό = 733,927293726519	ΔΡο πραγματικό = 731,52151826205
Q = 11	ΔΡο ιδεατό = 514,303291411184	ΔΡο πραγματικό = 511,710026749061
Q = 12	ΔΡο ιδεατό = 294,679289095848	ΔΡο πραγματικό = 292,671931565056
Q = 13	ΔΡο ιδεατό = 75,0552867805122	ΔΡο πραγματικό = 73,0240258412916

ανεμιστήρας 2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

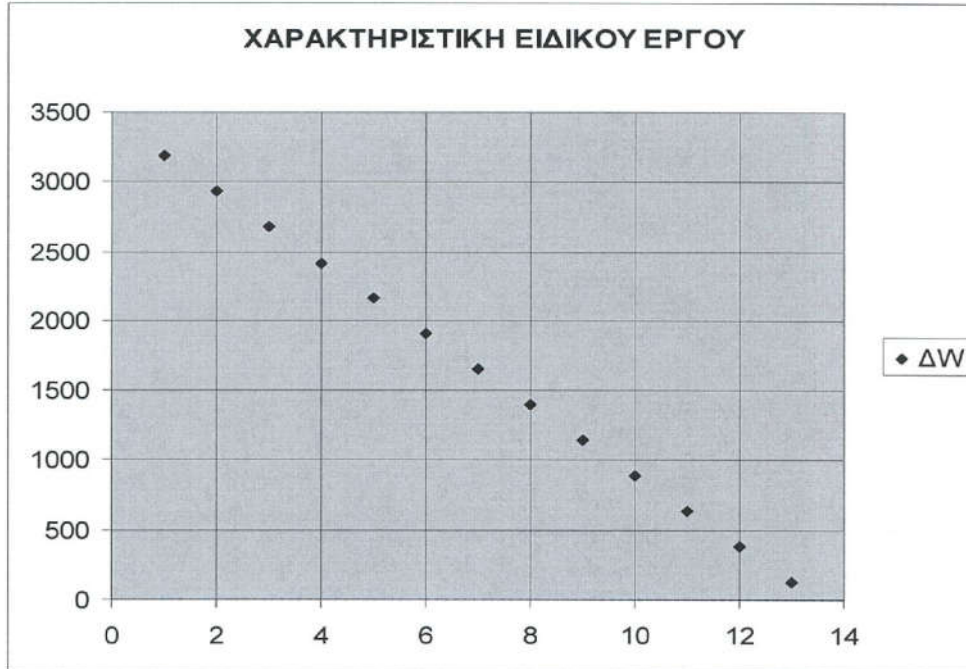


ανεμιστήρας 1

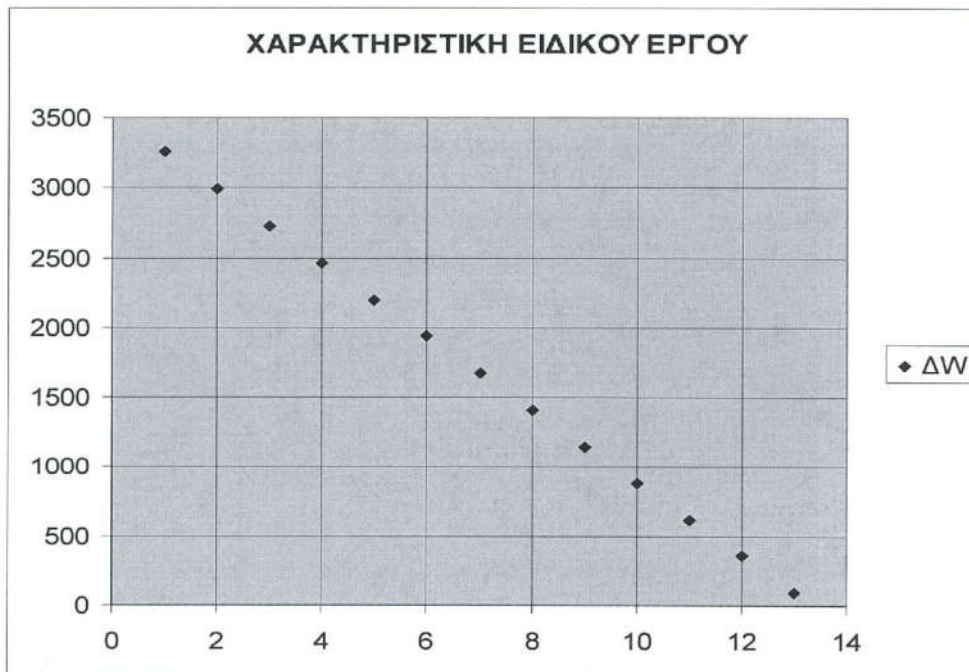


ανεμιστήρας 2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΙΔΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

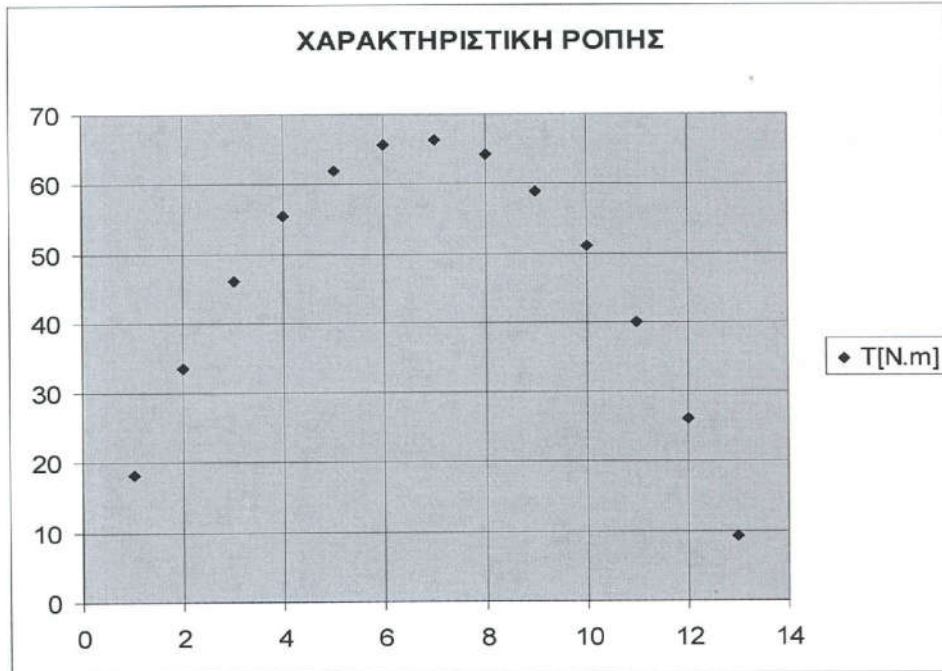


ανεμιστήρας 1

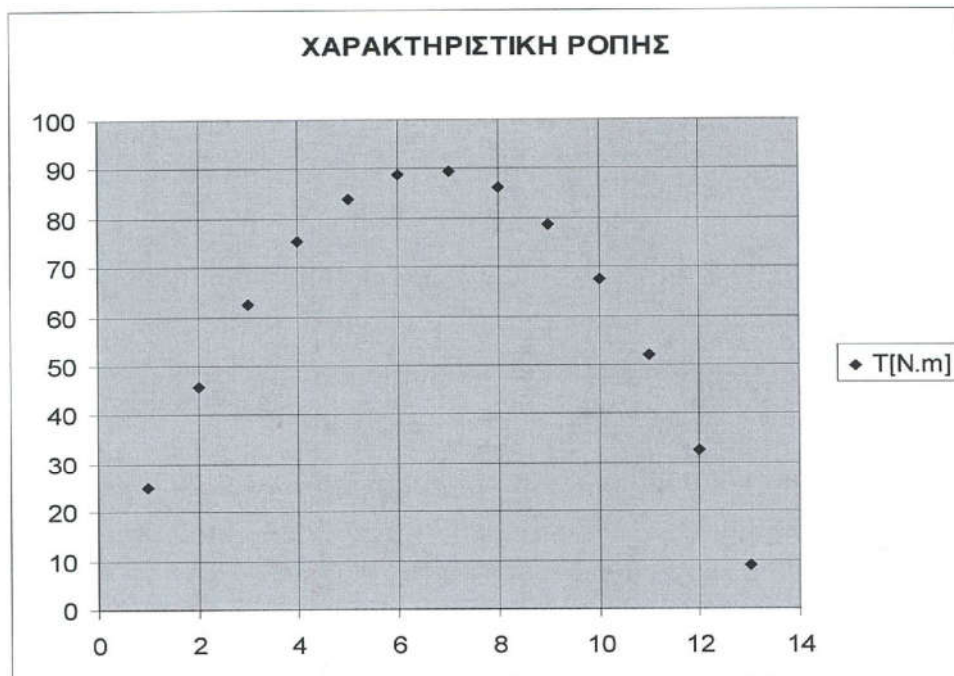


ανεμιστήρας 2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΗΣ

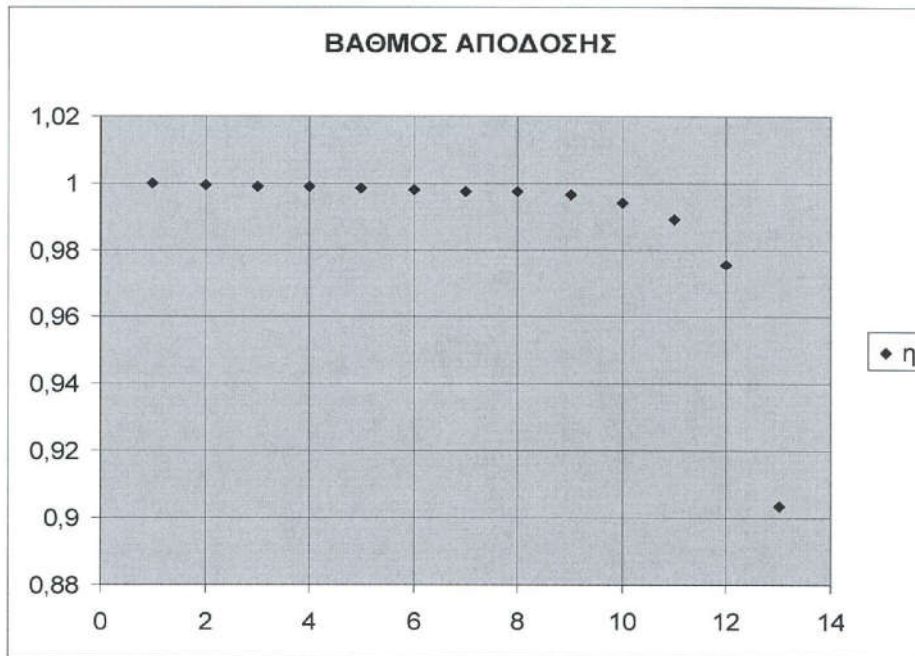


ανεμιστήρας 1

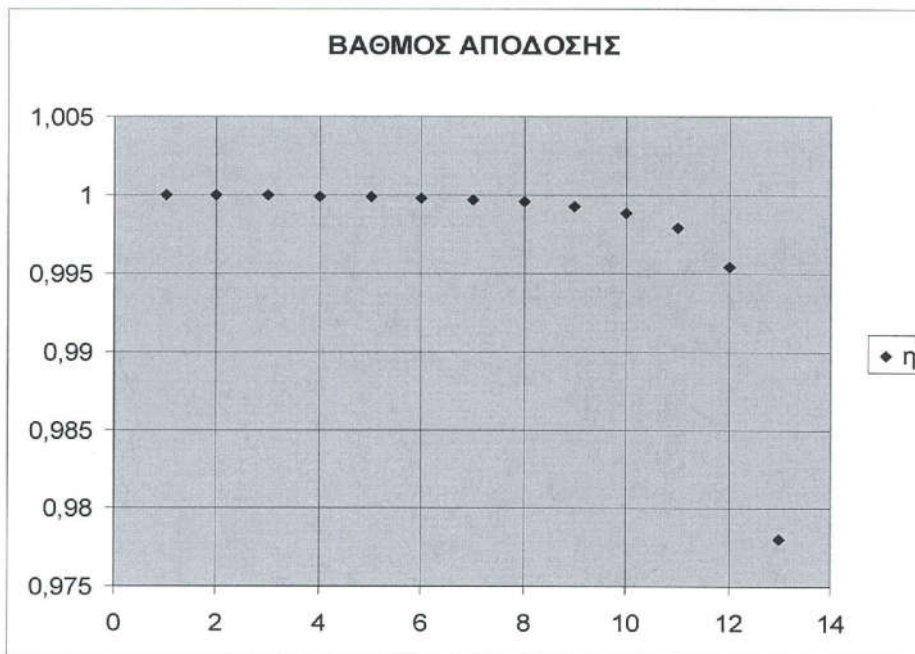


ανεμιστήρας 2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

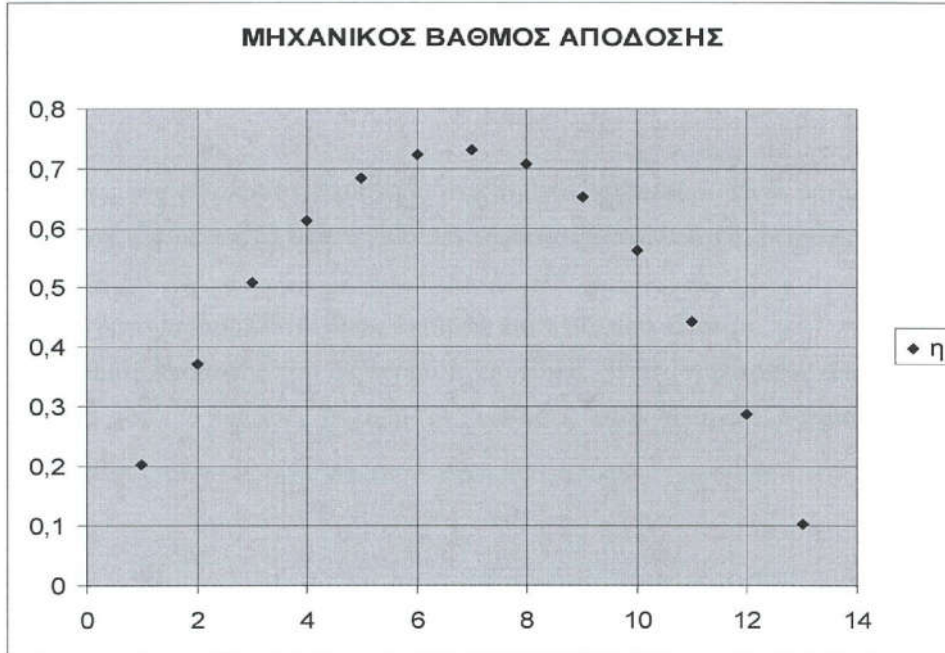


ανεμιστήρας 1

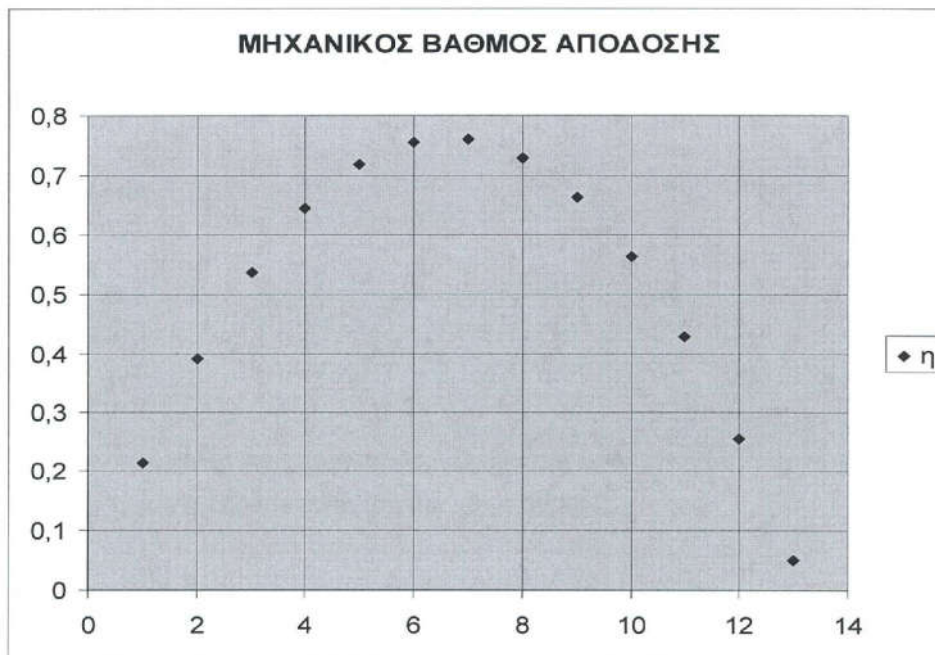


ανεμιστήρας 2

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



ανεμιστήρας 1



ανεμιστήρας 2

Κοιτάζοντας τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι:

Αν η παροχή αλλάξει από την παροχή σχεδιασμού, για μεγαλύτερες παροχές είναι καλύτερος ο πρώτος ανεμιστήρας (παράγει μεγαλύτερη αύξηση πίεσης), ενώ για μικρότερες παροχές ο δεύτερος παράγει μεγαλύτερη αύξηση πίεσης.

Η ισχύς του δεύτερου ανεμιστήρα στο σημείο σχεδιασμού είναι μεγαλύτερη από του πρώτου, επομένως θα απαιτεί και μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος.

Το ειδικό έργο μεταβάλλεται όπως ακριβώς και η αύξηση πίεσης.

Ο βαθμός απόδοσης του δεύτερου ανεμιστήρα είναι μεγαλύτερος από το βαθμό απόδοσης του πρώτου, δηλαδή οι απώλειες στον δεύτερο ανεμιστήρα είναι λιγότερες.

Ας υπολογίσουμε λοιπόν τώρα και τα αποτελέσματα της ανάλυσης του ανεμιστήρα, που σχεδιάστηκε με τη διαδικασία υπολογισμού με πλήρη καθορισμό δεδομένων, επειδή τα δεδομένα είναι επιλεγμένα εντελώς εμπειρικά.

Τα δεδομένα μας ήταν:

$$Q = 20 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$N = 1500 \text{ r.p.m}$$

$$\beta_2 =$$

$$r_\mu =$$

$$\rho = 1.2 \text{ kg} / \text{m}^3$$

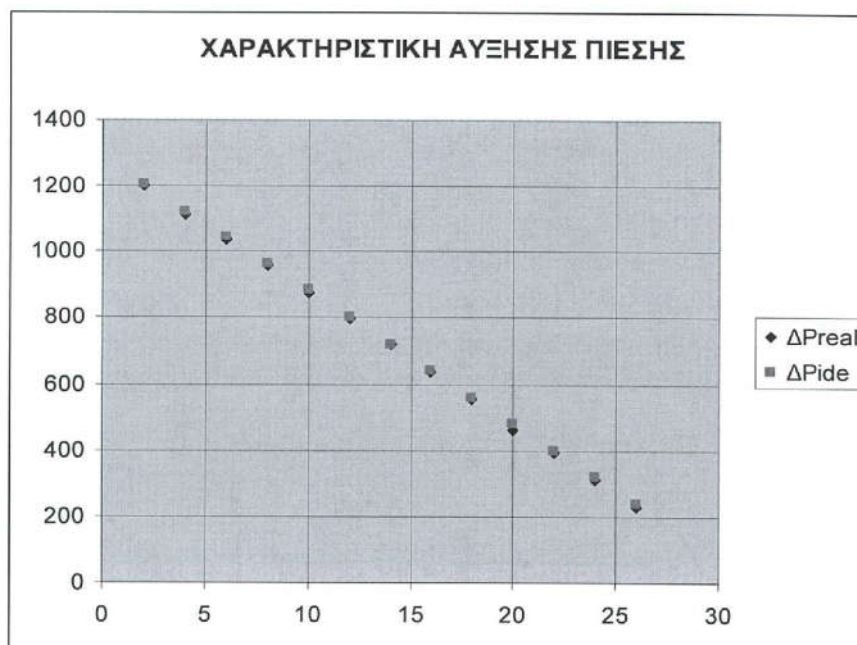
$$r_h = 0.4 \text{ m}$$

$$z = 6$$

από τα αποτελέσματα που πήραμε στο σχεδιασμό υπολογίσαμε ότι στη μέση ακτίνα $r = 0.25 \text{ m}$ η γωνία εξόδου είναι ίση με $\beta_2 = 50,88^\circ$.

εισάγουμε τα δεδομένα στην αντίστοιχη φόρμα της ανάλυσης και τα διαγράμματα που εξάγουμε είναι:

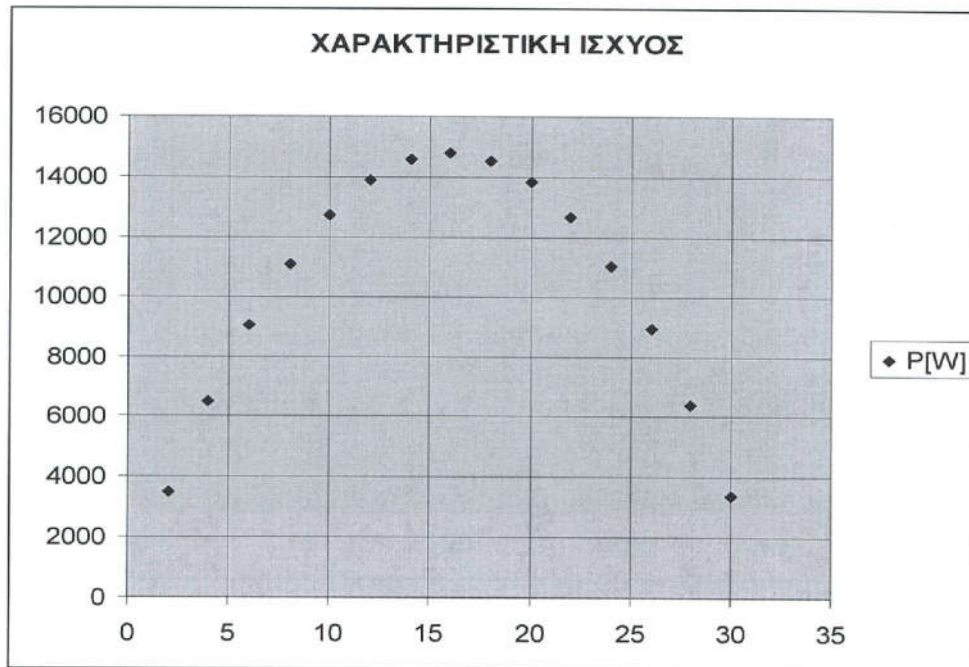
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ



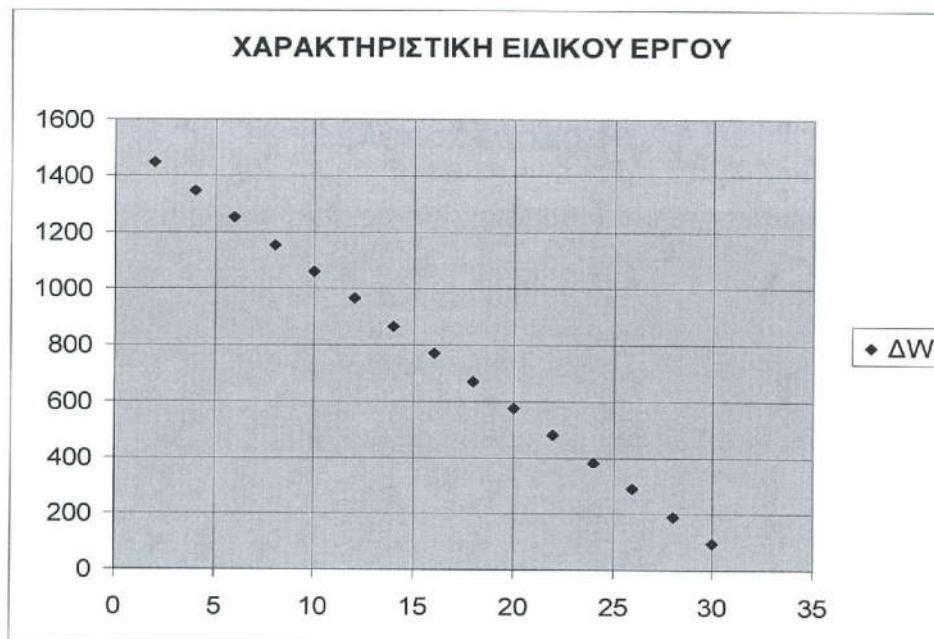
πίνακας τιμών του παραπάνω διαγράμματος

Q = 2	ΔΡο ιδεατό = 1204,62613495773	ΔΡο πραγματικό = 1203,07094157014
Q = 4	ΔΡο ιδεατό = 1124,14753026374	ΔΡο πραγματικό = 1114,48099103616
Q = 6	ΔΡο ιδεατό = 1043,66892556975	ΔΡο πραγματικό = 1037,37439639977
Q = 8	ΔΡο ιδεατό = 963,190320875761	ΔΡο πραγματικό = 955,61536158398
Q = 10	ΔΡο ιδεατό = 882,711716181773	ΔΡο πραγματικό = 876,487368648025
Q = 12	ΔΡο ιδεατό = 802,233111487784	ΔΡο πραγματικό = 798,265855418979
Q = 14	ΔΡο ιδεατό = 721,754506793796	ΔΡο πραγματικό = 717,752566224428
Q = 16	ΔΡο ιδεατό = 641,275902099807	ΔΡο πραγματικό = 637,584141264006
Q = 18	ΔΡο ιδεατό = 560,797297405819	ΔΡο πραγματικό = 555,652441036187
Q = 20	ΔΡο ιδεατό = 480,318692711831	ΔΡο πραγματικό = 464,034780196518
Q = 22	ΔΡο ιδεατό = 399,840088017842	ΔΡο πραγματικό = 393,510129725148
Q = 24	ΔΡο ιδεατό = 319,361483323854	ΔΡο πραγματικό = 310,040745105516
Q = 26	ΔΡο ιδεατό = 238,862878629865	ΔΡο πραγματικό = 226,310699686599

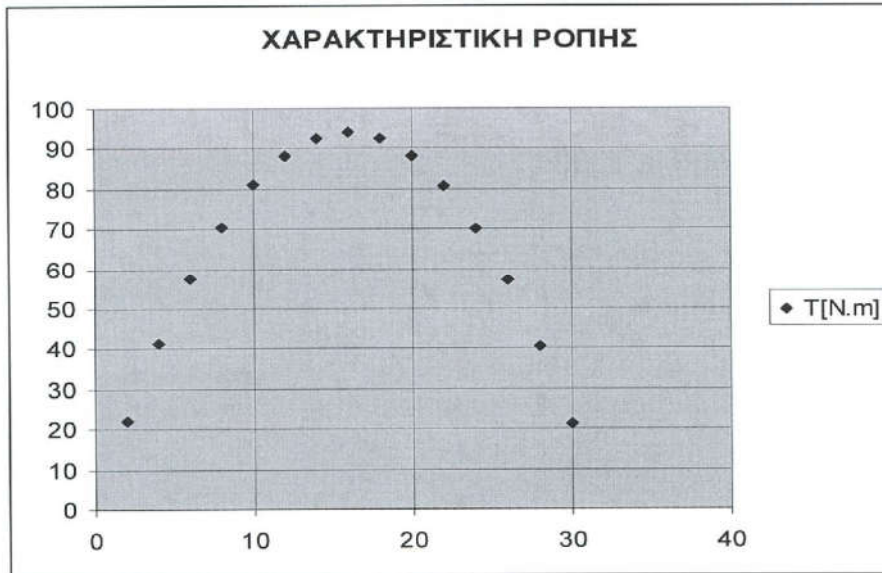
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΣΧΥΟΣ



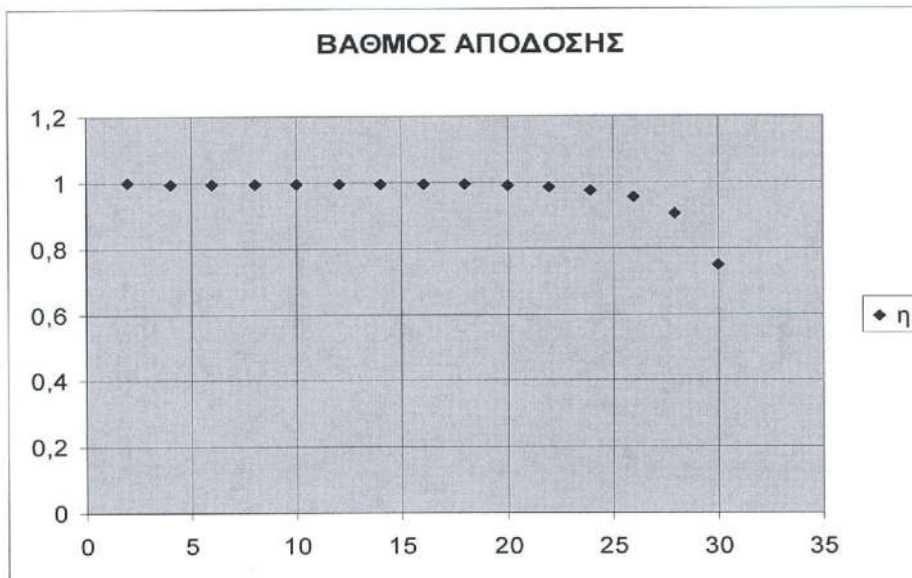
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΙΔΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ



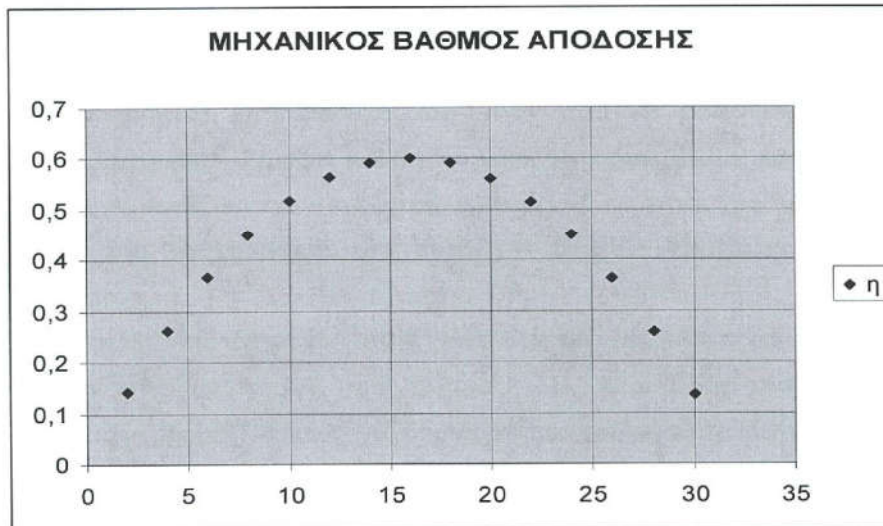
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΠΗΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε μετά τη χρήση του λογισμικού κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά. Οι παραδοχές που έγιναν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής είναι ελάχιστες. Είμαστε λοιπόν σε θέση να πούμε ότι αν κάποιος θέλει να σχεδιάσει ή να αναλύσει έναν ανεμιστήρα μπορεί να το κάνει χρησιμοποιώντας το λογισμικό που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία λαμβάνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα.

Το λογισμικό της εργασίας αυτής προσφέρεται για περαιτέρω βελτίωση και προσαρμογή στις απαιτήσεις του καθενός. Με κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων μπορεί κάποιος να δημιουργήσει επιπρόσθετο λογισμικό και να λαμβάνει γραφικά αποτελέσματα, ή οτιδήποτε άλλο επιθυμεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

6.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Το σημαντικότερο κομμάτι του κώδικα βρίσκεται στις φόρμες υπολογισμού που είναι οι ακόλουθες:

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ d_{min}

$d_{min} =$ [m]

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΒΑΣΗΣ d_{min}

$d_{min} =$ 0.37

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ D_{min}

$D_{min} =$ [m]

5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΟΡΥΦΗΣ D_{min}

$D_{min} =$ 0.75

6. ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΕΪΗΜΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΣΕ [m] ΑΚΤΙΝΑΣ

ΒΗΜΑ 0.05 [m]

7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΟ ΒΗΜΑ

$v =$ []

8. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΟ ΑΚΕΡΑΙΟ

$v =$ []

9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

10. ΑΓΓΛΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

ΠΙΣΩ

Πίσω κάθε κουμπί εντολής βρίσκεται εντολές που εκτελούν διαδικασίες συμβάντων. “εισαγωγή δεδομένων”

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
Form4.Show
```

```
Load Form4
```

```
End Sub
```

Command3 είναι το όνομα του κουμπιού εντολής “εισαγωγή δεδομένων”.

“υπολογισμός dmin ”

```
Private Sub Command1_Click()  
    ‘ Ορισμός μεταβλητών’  
    Dim ρ, A, Q, N, l, Ds, D, dmin, ΔPo, ΔP, cz As Single  
    Dim z As Integer  
    ρ = 1.2  
    ‘ανάγνωση μεταβλητών από την φόρμα δεδομένων’  
    Q = Val(Form4.Text1.Text)  
    Ds = Val(Form4.Text2.Text)  
    ΔPo = Val(Form4.Text3.Text)  
    N = Val(Form4.Text4.Text)  
    ‘αριθμητικές πράξεις’  
    A = 3.14 * (Ds ^ 2) / 4  
    cz = Q / A  
    ΔP = ΔPo - (0.5 * ρ * cz ^ 2)  
    dmin = 30.7806521 / N * (Sqr(ΔP))  
    ‘εγγραφή της dmin στην ετικέτα 3 της φόρμας’  
    Label3.Caption = dmin  
End Sub
```

“υπολογισμός Dmin”

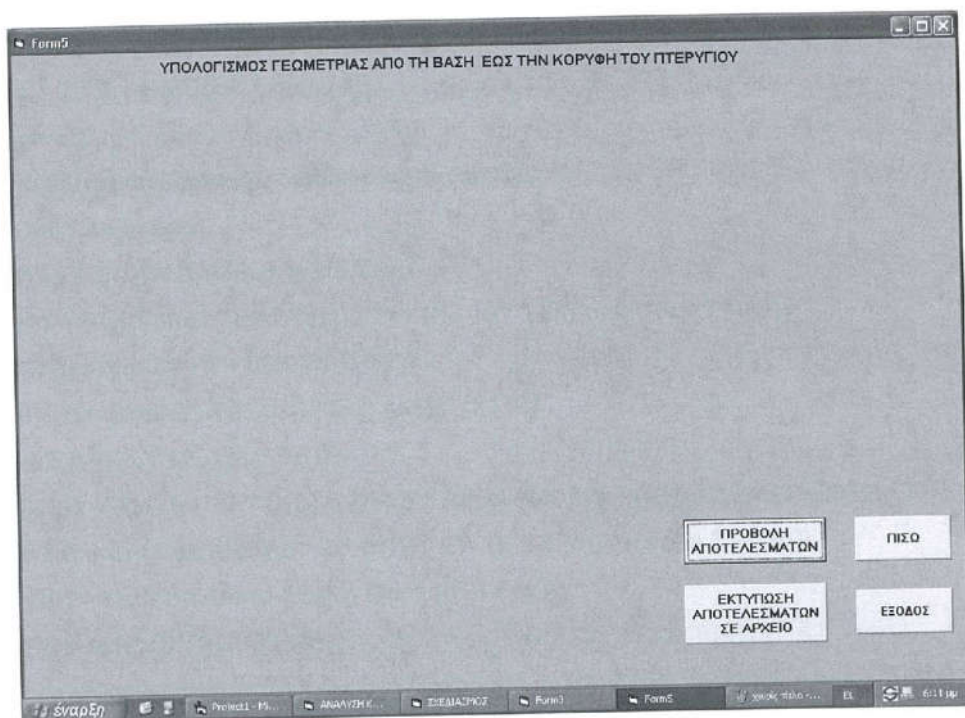
```
Private Sub Command5_Click()  
‘ορισμός μεταβλητών’  
Dim ρ, A, Q, N, l, Ds, D, dmin, ΔPo, ΔP, cz As Single  
‘ανάγνωση μεταβλητών’  
Q = Val(Form4.Text1.Text)  
N = Val(Form4.Text4.Text)  
dmin = Val(Text1.Text)  
Ds = Val(Form4.Text2.Text)  
‘εκτέλεση αριθμητικών πράξεων’  
D = Sqr(((dmin) ^ 2) + (83.401 * (Q / N)))  
‘συνθήκη ελέγχου’  
If dmin / Ds < 0.45 Or dmin / Ds > 0.8 Then  
‘αν ισχύει η συνθήκη εμφάνιση του παρακάτω μηνύματος’  
MsgBox ("ΑΛΛΑΞΤΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ")  
Else  
‘εγγραφή της D στην ετικέτα 4 της φόρμας’  
Label4.Caption = D  
End If  
End Sub
```

“υπολογισμός μεγίστου αριθμού επαναλήψεων για το προκαθορισμένο βήμα”

```
Private Sub Command6_Click()  
‘ορισμός μεταβλητών’  
Dim rt, rh, step As Single  
‘ανάγνωση από τα πλαίσια κειμένου’  
rh = Val(Form3.Text1.Text) / 2  
rt = Val(Form3.Text2.Text) / 2  
step = Val(Form3.Text3.Text)  
‘υπολογισμός του i και εγγραφή στο πλαίσιο κειμένου 4’  
i = (rt - rh + step) / step  
Text4.Text = i
```

Τα κουμπιά “υπολογισμός γεωμετρίας” και “απλός υπολογισμός” περιέχουν μόνο εντολές διασύνδεσης φορμών της μορφής « Show Form και Load Form »

Άλλος κώδικας που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι ο κώδικας της φόρμας των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού.



“προβολή αποτελεσμάτων”

```
Private Sub Command1_Click()  
‘ορισμός μεταβλητών’  
Dim num, A, rh, rt As Single  
Dim r(100), l(100), ρ, w1(100), w2(100), c1(100), c2(100), α1(100), α2(100),  
α1'(100), cu1, cu2(100), u As Double  
Dim N, ω, β2'(100), ΔΡο, cz, ΔW, Q, δ(100), θ(100), ξ(100), m(100), s, β1(100),  
β2(100) As Double
```


Dim z As Integer

‘ανάγνωση δεδομένων’

$\Delta P_0 = \text{Val}(\text{Form4.Text3.Text})$

$Q = \text{Val}(\text{Form4.Text1.Text})$

$z = \text{Val}(\text{Form4.Text5.Text})$

$\text{num} = \text{Val}(\text{Form4.Text4.Text})$

$D = \text{Val}(\text{Form4.Text2.Text})$

$A = 3.14592654 * D ^ 2 / 4$

$cz = Q / A$

$\omega = 2 * 3.141592654 * \text{num} / 60$

$\rho = 1.2$

‘έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας και πράξεις’

Dim i As Integer

For i = 1 To Val(Form3.Text5.Text)

$r(i) = (\text{Val}(\text{Form3.Text1.Text}) / 2) + ((i - 1) * \text{Val}(\text{Form3.Text3.Text}))$

$w1(i) = \text{Sqr}(cz ^ 2 + (\omega * r(i)) ^ 2)$

$\beta1'(i) = (\text{Atn}(\omega * r(i) / cz)) * 360 / 6.283185307$

$cu2(i) = (\rho * \Delta P_0) / (\omega * r(i))$

$\beta2'(i) = \text{Atn}(((\omega ^ 2 * r(i) ^ 2) - (\rho * \Delta P_0)) / (cz * \omega * r(i)))) * 360 / 6.283185307$

$w2(i) = cz / \text{Cos}(\text{Atn}(((\omega ^ 2 * r(i) ^ 2) - (\rho * \Delta P_0)) / (cz * \omega * r(i))))$

$c2(i) = cz / \text{Cos}(\text{Atn}((\rho * \Delta P_0) / (\omega * r(i)) * cz))$

$\xi(i) = 0.5 * (\beta1'(i) + \beta2'(i))$

‘για τη γωνία απόκλισης έγινε στο διάγραμμα πολυωνμική παρεμβολή και η εξίσωση περιέχει τους σταθερούς όρους $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ ’

$\lambda_0 = 0.27$

$\lambda_1 = ((0.3 / (40 - 30)) + (0.27 / (30 - 40)))$

$\lambda_2 = ((0.325 / ((50 - 30) * (50 - 40))) + (0.3 / ((40 - 30) * (40 - 50))) + (0.27 / ((30 - 40) * (30 - 50))))$

$m(i) = \lambda_0 + (\lambda_1 * (\xi(i) - 30)) + (\lambda_2 * (\xi(i) - 30) * (\xi(i) - 40))$

$\theta(i) = \beta1'(i) - \beta2'(i)$

$l(i) = 6.8 * r(i) / z$

$\delta(i) = m(i) * \xi(i) * \text{Sqr}(r(i)) * 6.283185307 / z * l(i)$

```

β2(i) = β2'(i) + δ(i)

'συνθήκη σε περίπτωση που η συστροφή είναι μεγαλύτερη της ταχύτητας U'
If β2'(i) > 0 Then
α2(i) = Atn((ρ * ΔPο) / (ω * (r(i)) * cz)) * 360 / 6.283185307
Else
Dim a2(100) As Double
α2(i) = Atn((ρ * ΔPο) / (ω * (r(i)) * cz)) * 360 / 6.283185307
α2(i) = α2(i) + β2'(i)
End If
Next i

'τυπώνουμε μερικές κενές γραμμές'
Print
Print
Print
Print

'τυπώνουμε τα αποτελέσματα για όλες τις τιμές του i τη μία κάτω από την άλλη'
For i = 1 To Val(Form3.Text5.Text)
Print , "r="; r(i); "m", "w1="; w1(i), "w2="; w2(i), "β1=β1'="; β1'(i)
Next i
Print
For i = 1 To Val(Form3.Text5.Text)
Print , "β2="; β2(i), "β2'="; β2'(i), "c2="; c2(i), "α2="; α2(i), "l="; l(i)
Next i

'τερματισμός υπορουτίνας'
End Sub

```

την ίδιο ακριβώς κώδικα περιέχει και το κουμπί εντολής “εκτύπωση σε αρχείο” με τη διαφορά ότι η εντολή «print» έχει δίπλα το όνομα του αρχείου στο οποίο τυπώνονται τα αποτελέσματα.

Οι φόρμες του απλού υπολογισμού για συγκεκριμένη ακτίνα περιέχουν τον ίδιο κώδικα με την παραπάνω φόρμα με τη διαφορά ότι οι εξισώσεις δεν είναι συνάρτηση μόνο της ακτίνας και όχι και του αριθμού επαναλήψεων.

6.2. ΑΝΑΛΥΣΗ

Κώδικας για την εξαγωγή διαγραμμάτων.

```
Private Sub Command1_Click()
excel_chart
End Sub
'εντολές για άνοιγμα φύλλου στο Excel '
Public Sub excel_chart()
    Dim oXL As Excel.Application
    Dim oWB As Excel.Workbook
    Dim oSheet As Excel.Worksheet
    Dim oRng As Excel.Range
'ορισμός μεταβλητών'
    Dim l, loss(100), z, dP(100), dl(100), w1(100), N(100), w2(100), inc(100), c1(100),
c2(100), a1(100), a2(100), β1(100), cu1(100), cu2(100), u(100) As Double
    Dim ΔPo(100), cz(100), ΔW(100), Q(100), C(100), D(100), E(100), F(100) As
Double

' start excel and get application object.
    Set oXL = CreateObject("Excel.Application")
    oXL.Visible = True

' δημιουργία βιβλίου στο Excel'
    Set oWB = oXL.Workbooks.Add
    Set oSheet = oWB.ActiveSheet
    xtitle = "ΠΑΡΟΧΗ"
    ytitle = "ΔΡο REAL"
    ztitle = "ΕΡΓΟ"
    wtitle = "ΙΣΧΥΣ"
```

' ορισμός επικεφαλίδων για κάθε στήλη του Excel'

```
oSheet.Cells(1, 1).Value = xtitle  
oSheet.Cells(1, 2).Value = ytitle  
oSheet.Cells(1, 3).Value = ztitle  
oSheet.Cells(1, 4).Value = wtitle  
oSheet.Cells(1, 5).Value = "cz"  
oSheet.Cells(1, 6).Value = "ω"  
oSheet.Cells(1, 7).Value = "w1"  
oSheet.Cells(1, 8).Value = "w2"  
oSheet.Cells(1, 9).Value = "cu2"  
oSheet.Cells(1, 10).Value = "a2"  
oSheet.Cells(1, 11).Value = "b1"  
oSheet.Cells(1, 12).Value = "i"  
oSheet.Cells(1, 13).Value = "loss"  
oSheet.Cells(1, 14).Value = "ΔPo ΙΔΕΑΤΟ"
```

' δημιουργία συνάρτησης'

```
Dim pinakas(100, 4)  
Dim i%  
Number = Val(Form11.Text3.Text)
```

```
For i = 2 To Number
```

'ανάγνωση δεδομένων σαν κείμενο και μετατροπή τους σε αριθμητικά δεδομένα'

```
Dim entriesok As Boolean
```

```
Dim s, t, v, y, w, x As String
```

```
Dim Qo, A, r, â2, ù, ñ As Single
```

```
s = Form10.Text1.Text
```

```
Qo = Val(s)
```

```
t = Form10.Text2.Text
```

```
A = Val(t)
```

```
y = Form10.Text3.Text
```

```
r = Val(y)
```

```
v = Form10.Text4.Text
```

```
β2 = Val(v) * 6.283185307 / 360
```

```

w = Form10.Text5.Text
ω = Val(w) * 6.283185307 / 60
x = Form10.Text6.Text
ρ = Val(x)
‘ορισμός και ανάγνωση βήματος επαναλήψεων’
step = Val(Form11.Text1.Text) * 0.01
‘έναρξη πράξεων επαναληπτικής διαδικασίας’
Q(i) = Qo * (i - 1) * step
cz(i) = Q(i) / A
β1(i) = Atn((ω * r) / cz(i))
inc(i) = (β1(i) - Atn((ω * r) / (Qo / A))) * 360 / 6.283185307
w1(i) = cz(i) / Cos(β1(i))
w2(i) = cz(i) / Cos(β2)
cu2(i) = (ω * r) - (cz(i) * Tan(β2))
α2(i) = Atn(cu2(i) / cz(i)) * 360 / 6.283185307
ΔPo(i) = cu2(i) * r * ω / ρ
ΔW(i) = ρ * ΔPo(i)
N(i) = ρ * Q(i) * ΔW(i) / 1000
‘συνθήκη για τις απώλειες συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης’
‘πάλι με πολυωνμική παρεμβολή έγινε ανάλυση του διαγράμματος’
If (inc(i) >= 10) Then
loss(i) = ((1.44 / 1000) * (inc(i) ^ 2)) - (0.0122 * inc(i)) + 0.018
dl(i) = loss(i) * 0.5 * ñ * (cz(i) ^ 2)
dP(i) = ΔPo(i) - dl(i)
Else
If (inc(i) > 5 And inc(i) < 10) Then
loss(i) = ((2.52 / 10000) * (inc(i) ^ 2)) - ((3 / 100000) * inc(i)) + 0.01885
dl(i) = loss(i) * 0.5 * ñ * (cz(i) ^ 2)
dP(i) = ΔPo(i) - dl(i)
Else
If inc(i) > 0 And inc(i) <= 5 Then
loss(i) = ((2.4 / 10000) * (inc(i) ^ 2)) - ((7.4 / 10000) * inc(i)) + 0.018
dl(i) = loss(i) * 0.5 * ñ * (cz(i) ^ 2)

```

```

dP(i) = ΔPo(i) - dl(i)
Else
If (inc(i) = 0) Then
loss(i) = 0.018
dl(i) = loss(i) * 0.5 * ñ * (cz(i) ^ 2)
dP(i) = ΔPo(i) - dl(i)
Else
loss(i) = ((7.8 / 100000) * (inc(i) ^ 2)) - ((9.3 / 10000) * inc(i)) + 0.018
dl(i) = loss(i) * 0.5 * ñ * (cz(i) ^ 2)
dP(i) = ΔPo(i) - dl(i)
End If
End If
End If
End If

```

```

Next i

```

```

For i = 2 To Number

```

```

C(i) = Q(i)

```

```

D(i) = dP(i)

```

‘εγγραφή τιμών σε κάθε στήλη ανάλογα με τον αριθμό των επαναλήψεων’

```

oSheet.Cells(i + 1, 1).Value = Q(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 2).Value = dP(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 3).Value = ΔW(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 4).Value = N(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 5).Value = cz(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 6).Value = ω

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 7).Value = w1(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 8).Value = w2(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 9).Value = cu2(i)

```

```

oSheet.Cells(i + 1, 10).Value =  $\alpha_2(i)$ 
oSheet.Cells(i + 1, 11).Value =  $\beta_1(i) * 360 / 6.283185307$ 
oSheet.Cells(i + 1, 12).Value = inc(i)
oSheet.Cells(i + 1, 13).Value = loss(i)
oSheet.Cells(i + 1, 14).Value =  $\Delta P_o(i)$ 
Next i
'
For i = 2 To Number
pinakas(i - 1, 0) = C(i)
pinakas(i - 1, 1) = D(i)

Next i

' fill A2:B6 with an array of values (first and last names).
oSheet.Range("A2", "B25").Value = pinakas
' εμφάνιση του διαγράμματος
Call DisplayGraph(oSheet)
' Make sure Excel is visible and give the user control
' of Microsoft Excel's lifetime
oXL.Visible = True
oXL.UserControl = True
' Make sure you release object references.
Set oRng = Nothing
Set oSheet = Nothing
Set oWB = Nothing
Set oXL = Nothing
Exit Sub
Err_Handler:
MsgBox Err.Description, vbCritical, "Error:" & Err.Number
End Sub

Public Sub DisplayGraph(oWS As Excel.Worksheet)
Dim oResizeRange As Excel.Range
Dim oChart As Excel.Chart

```

```

' δημιουργία διαγράμματος για τις επιλεγμένες τιμές'
Set oResizeRange = oWS.Range("B2:B21").Resize(columnSize:=1)
Set oChart = oWS.Parent.Charts.Add
With oChart
    .ChartWizard oResizeRange, xl3DColumn, , xlColumns
    .ChartWizard oResizeRange, xlXYScatter, , xlColumns
    .ChartWizard oResizeRange, xlXYScatter, , , , ytitle &
"ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ" & ztitle & " ΑΥΞΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ" & xtitle
    .SeriesCollection(1).XValues = oWS.Range("A2", "A21")
    .SeriesCollection(1).Name = "ÃÑï"
    .Location xlLocationAsObject, oWS.Name
End With
' move the chart so as not to cover your data.
With oWS.Shapes("Chart 1")
    .Top = oWS.Rows(10).Top
    .Left = oWS.Columns(6).Left
End With
' free any references.
Set oChart = Nothing
Set oResizeRange = Nothing

End Sub

```

Σε όλες τις φόρμες της ανάλυσης χρησιμοποιείται ο ίδιος κώδικας με τη διαφορά ότι ανάλογα με το διάγραμμα επιλέγουμε τις ανάλογες τιμές για την κατασκευή του.

Για τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού επαναλήψεων χρησιμοποιείται η παρόμοια μέθοδος με αυτή του σχεδιασμού.

Όπως έγινε αντιληπτό σε αυτό το κεφάλαιο δεν περιγράφεται ο κώδικας κάθε φόρμας για το λόγο ότι αρκετές φορές είναι ίδιος ή γιατί αρκετές φορές κρύβει απλές εντολές διασύνδεσης φορμών.

Σε όλα τα κουμπιά εξόδου χρησιμοποιείται απλά η εντολή “End” που τερματίζει το πρόγραμμα και στα κουμπιά επιστροφής η εντολή “formX.Hide” που εξαφανίζει τις φόρμες από την οθόνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βασικές Αρχές Στροβιλομηχανών, Απόστολος Κ. Γούλας
- [2] Τουρλιδάκης Α., 2003. Σημειώσεις στροβιλομηχανών
- [3] Fan Handbook, Frank P. Bleier, 1998
- [4] Using Visual Basic 5, Mike Mckelvy – Brian Siler – Jeff Spotts, 1997
- [5] Engineering Cookbook, Loren Cook Company, 1997