

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ  
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑ ΑΚΤΙΝΙΚΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΤΟΪΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :**

**ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ  
ΣΤΑΝΤΣΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ**

**ΣΕΡΡΕΣ 2010**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ  
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑ ΑΚΤΙΝΙΚΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΤΟΪΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :**

**ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ  
ΣΤΑΝΤΣΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
1. ΤΥΠΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	5
1.1 Πτερύγια με προς τα πίσω κλίση	5
1.2 Ακτινωτά πτερύγια	6
1.3 Μπροστινής κλίσης πτερύγια	6
2. ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	7
2.1 Τρίγωνα ταχυτήτων	9
2.2 Στατικό έργο	11
2.3 Άνοδος στατικής πίεσης	14
2.4 Συντελεστής στατικής πίεσης και συντελεστής στροφείου	15
2.5 Στατικός βαθμός αντίδρασης	16
2.6 Στατική αντίδραση	18
3. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	19
3.1 Μέγεθος στροφείου	19
3.2 Μορφή πτερυγίων	20
3.3 Αριθμός λεπίδων	20
3.4 Διασκορπιστές και περιβλήματα	21
4. ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ ΤΥΠΩΝ ΤΥΜΠΑΝΩΝ	22
5. ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ μερικής-ροής	25
5.1 Ανεμιστήρες εξωτερικής-ροής	25
5.2 Ανεμιστήρες διασταυρούμενης ροής	26
6. ΑΠΩΛΕΙΕΣ	28
7. ΟΔΗΓΟΙ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	29
8. ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	30
9. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	31
10. ΚΑΤΑΤΑΞΗ	34
11. ΠΙΕΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	35
12. ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ	36
13. ΝΟΜΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ	40
14. ΝΟΜΟΙ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ	40
15. ΑΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ	43
16. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ	46
17. ΕΚΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ	49
18. ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	51
19. ΣΥΜΒΟΛΑ	53
20. Βιβλιογραφία	54
21. ΣΧΕΔΙΑ	

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένας μεγάλος αριθμός ανεμιστήρων και φυσητήρων για εφαρμογές υψηλών πιέσεων είναι του φυγοκεντρικού τύπου. Βασικό εξάρτημα στις φυγοκεντρικές μηχανές είναι το στροφείο που οι λεπίδες του οριοθετούν την εσωτερική και εξωτερική διάμετρο. Το στροφείο μπορεί να τοποθετηθεί είτε άμεσα στην επέκταση του άξονα του ηλεκτροκινητήρα είτε χωριστά σε έναν άξονα που υποστηρίζεται μεταξύ δύο πρόσθετων ρουλεμάν. Η τελευταία ρύθμιση υιοθετείται για τους μεγάλους ανεμιστήρες οπότε σ' αυτή την περίπτωση το στροφείο οδηγείται μέσω εύκαμπτων ιμάντων. Ο αέρας ή το αέριο εισάγεται στο στροφείο αξονικά μέσω του ακροφύσιου οδηγού, το οποίο παρέχει μικρή επιτάχυνση στον αέρα πριν από την είσοδό του στο στροφείο. Η κίνηση του στροφείου οδηγεί το αέριο από μια μικρότερη σε μια μεγαλύτερη ακτίνα και προσδίδει στο αέριο μια υψηλότερη πίεση και ταχύτητα όταν φτάνει στο περίβλημα. Κατά συνέπεια αντίθετα από τον αξονικό τύπο, εδώ η φυγοκεντρική ενέργεια συμβάλλει επίσης στην άνοδο της στατικής πίεσης. Ένα σπειροειδές διαμορφωμένο περίβλημα γνωστό ως ελικοειδής θάλαμος συλλέγει τη ροή από τα πτερύγια και τον οδηγεί στην έξοδο του ανεμιστήρα. Το περίβλημα του στροφείου μπορεί περαιτέρω να αυξήσει τη στατική πίεση του αέρα. Η έξοδος του θαλάμου μετά, από τον κύλινδρο, μπορεί επίσης να λάβει τη μορφή ενός κωνικού διασκορπιστή.

Το φυγοκεντρικό στροφείο μπορεί να κατασκευαστεί από την ένωση δύο ξεχωριστών στροφείων ή από ένα μονοκόμματο κομμάτι. Οι ανοικτοί τύποι στροφείων έχουν μόνο ένα στροφείο και είναι ανοικτοί σε μια πλευρά. Ένας μεγάλος αριθμός χαμηλής πίεσεως φυγοκεντρικών ανεμιστήρων γίνεται από λεπτό φύλλο μετάλλου. Στη δική μας περίπτωση έχουμε επιλέξει πλαστικό υλικό. Σε μερικές εφαρμογές εάν είναι απαραίτητο να αποτραπεί η διαρροή του αερίου, οι συσκευές σφραγίζονται κατάλληλα μεταξύ του άξονα και του περιβλήματος. Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες μεγάλης παροχής χρησιμοποιούν μερικές φορές και διπλή εισαγωγή για το αέριο.

## 1. ΤΥΠΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

Το ποσοστό ανόδου της πίεσης και η παροχή στους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες εξαρτάται από την περιφερειακή ταχύτητα, τις γωνίες του στροφείου και των πτερυγίων. Οι στατικές απώλειες και η απόδοση ποικίλλουν επίσης με τη γεωμετρία των πτερυγίων. Τα πτερύγια μπορούν να είναι είτε από μέταλλο φύλλων ομοιόμορφου πάχους είτε από πλαστικό ή να έχουν το σχήμα αεροτομών. Παρακάτω είναι οι κύριοι τύποι φυγοκεντρικών ανεμιστήρων:

### 1.1 Πτερύγια με προς τα πίσω κλίση

Το στροφείο έχει πτερύγια με προς τα πίσω κλίση, δηλ. τα πτερύγια έχουν αντίθετη κλίση από αυτήν της κίνησης του στροφείου. Τα διάφορα διανύσματα και οι γωνίες ταχύτητας παρουσιάζονται στα τρίγωνα ταχυτήτων στην είσοδο και την έξοδο. Σε αντίθεση με τους αξονικούς ανεμιστήρες, εδώ η εφαπτόμενη κατεύθυνση λαμβάνεται ως η κατεύθυνση αναφοράς. Υπό τους ιδανικούς όρους, οι κατευθύνσεις των σχετικών διανυσμάτων ταχύτητας  $w_1$  και  $w_2$  είναι οι ίδιες με τις γωνίες των πτερυγίων στην είσοδο και την έξοδο. Η άνοδος της στατικής πίεσης στο στροφείο προκύπτει από τη φυγοκεντρική ενέργεια και τη διάχυση της σχετικής ροής. Το στατικό έργο και η άνοδος της στατικής πίεσης για ένα δεδομένο στροφείο εξαρτώνται από την περιφερειακή ταχύτητα των πτερυγίων ( $c_{\theta 1}$  και  $c_{\theta 2}$ ) από τα διανύσματα της απόλυτης ταχύτητας  $c_1$  και  $c_2$  αντίστοιχα.

Τα προς τα πίσω πτερύγια χρησιμοποιούνται για χαμηλές πιέσεις και χαμηλά ποσά ροής. Το πλάτος προς την διάμετρο τέτοιων στροφείων

είναι μικρό ( $\frac{b}{D} \approx 0,05 - 0,2$ ) και ο αριθμός των πτερυγίων που

χρησιμοποιείται είναι μεταξύ 6 και 17

## 1.2 Ακτινωτά πτερύγια

Το πτερύγιο με μπροστά κλίση και το τρίγωνο ταχύτητας είναι βασισμένο στο απόλυτο διάνυσμα ταχύτητας  $c_t$ , ακτινωτού πτερυγίου. Επομένως ο στρόβιλος στην είσοδο είναι μηδέν. Μια τέτοια μορφή είναι απλή για την κατασκευή όπου γενικά μόνο τα ελαφρώς λυγισμένα πτερύγια χρησιμοποιούνται.

Η άλλη δυνατότητα είναι να χρησιμοποιηθούν τα πτερύγια με προς τα πίσω κλίση. Ένας τέτοιος ανεμιστήρας (είναι σχεδιασμένος και κατασκευασμένος) να αναπτύσσει μια πολύ χαμηλή πίεση εξ αιτίας ενός μεγάλου αριθμού πτερυγίων. Εκτός από αυτήν την ανικανότητα μια τέτοια ρύθμιση θα απαιτήσει περιστροφικά πτερύγια αυξάνοντας το κόστος του ανεμιστήρα.

Το τρίγωνο ταχύτητας εξόδου και για τις δύο ρυθμίσεις είναι το ίδιο. Η σχετική ταχύτητα  $w_2$  έχει ακτινική κατεύθυνση.

Για μια φτηνή κατασκευή, τα πτερύγια του στροφείου μπορούν να κρατηθούν απολύτως ακτινικά όπως και στην περίπτωση μας. Τέτοια στροφεία είναι ιδανικά για το χειρισμό του αέρα με σκόνη επειδή είναι λιγότερα επιρρεπείς σε προσκόλληση σκόνης σε αυτά.

## 1.3 Μπροστινής κλίσης πτερύγια

Όταν τα πτερύγια κλίνουν στην κατεύθυνση της κίνησης, αναφέρονται ως μπροστινής κλίσης πτερύγια. Οι άκρες των πτερυγίων, και στην είσοδο και την έξοδο, έχουν την κατεύθυνση της κίνησης. Επομένως είναι δυνατό να μην επιτευχθεί στροβιλισμός στην είσοδο. Εξ αιτίας της μπροστινής κλίσης των πτερυγίων στην έξοδο, το τμήμα της περιφερειακής ταχύτητας περιστροφών ( $c_{\theta 2}$ ) είναι μεγάλο, οδηγώντας σε μια υψηλότερη άνοδο της στατική πίεσης. Τέτοια πτερύγια έχουν μια μεγαλύτερη αναλογία διαμέτρων, η οποία επιτρέπει αυξημένη παροχή αέρα στην είσοδο. Εντούτοις, εξ αιτίας της μικρής επιφάνειας επαφής του πτερυγίου στην έξοδο, ο αριθμός των πτερυγίων που απαιτείται είναι αρκετά μεγαλύτερος για να είναι αποτελεσματικός.

## 2. ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θ' αναλύσουμε διάφορες παραμέτρους του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα. Τα τρίγωνα ταχύτητας που παρουσιάζονται από το σχήμα 1 χρησιμοποιούνται για αυτόν το λόγο.

Επιλέγουμε φυγοκεντρικό ανεμιστήρα με ακτινικά πτερύγια για πειραματική παροχή  $32,4 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Επίσης επιλέγουμε κινητήρα με στοιχεία :  
 $n = 8250 \text{ rpm}$

Οι διαστάσεις της πτερωτής θα είναι :

$$\text{δεσ.} = d_1 = 19 \text{ mm} = 0.019 \text{ m}$$

$$\text{δεξ.} = d_2 = 39 \text{ mm} = 0.039 \text{ m}$$

Ύψος πτερυγίων

$$b = 17 \text{ mm} = 0.017 \text{ m}$$

Η ροή μάζας του αέρα μέσω του στροφείου δίνεται από τον τύπο :

$$m = \rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad (1)$$

Το εμβαδόν της διατομής στα ακτινικά τμήματα ταχύτητας  $c_{r_1}$  και  $c_{r_2}$  είναι :

$$A_1 = \pi \cdot d_1 \cdot b = 3.14 \cdot 19 \cdot 17 = 1014.22 \text{ mm}^2 = 0.001014 \text{ m}^2$$

και

$$A_2 = \pi \cdot d_2 \cdot b = 3.14 \cdot 39 \cdot 17 = 2081.82 \text{ mm}^2 = 0.002082 \text{ m}^2$$

Επομένως,

$$m = \rho_1 \cdot c_{r_1} \cdot (\pi \cdot d_1 \cdot b) = \rho_2 \cdot c_{r_2} \cdot (\pi \cdot d_2 \cdot b) \quad (2)$$

Τα ακτινικά τμήματα των ταχυτήτων στην είσοδο και την έξοδο του στροφείου εξαρτώνται από το πλάτος του σε αυτά τα τμήματα. Για μια μικρή άνοδο της στατικής πίεσης, η αλλαγή πυκνότητας στη ροή είναι αμελητέα και μπορεί να ληφθεί ότι ήταν σχεδόν ασυμπίεστη.

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho \quad (3)$$

Η επιλογή της πυκνότητας μας είναι  $\rho = 1,5 \text{ Kg/m}^3$  διότι στον αναρροφώμενο αέρα υπάρχουν μικροσωματίδια

Η εξίσωση (2) δίνει :

$$m = \rho \cdot c_r \cdot (\pi \cdot d_1 \cdot b) = \rho \cdot c_r \cdot (\pi \cdot d_2 \cdot b)$$

Επίσης:  $m = \rho \cdot Q = 1.5 \cdot 0.009 = 0,0135 \text{ Kg/sec} \quad (4)$

Η ακτινική συνισταμένη της απόλυτης ταχύτητας ( c ) θα είναι :

$$Cr_1 = Q / A1 = 0.009 / 0.001014 = 8,87 \text{ m/s}$$

$$Cr_2 = Q / A2 = 0.009 / 0.002082 = 5.28 \text{ m/s}$$

Οι περιφερειακές ταχύτητες δίνονται από τους ακόλουθους τύπους :

$$U_1 = \frac{3.14 \cdot d_1 \cdot n}{60} = \frac{3.14 \cdot 19 \cdot 8250}{60} = 8203.25 \text{ mm/s} = 8.2 \text{ m/s}$$

$$U_2 = \frac{3.14 \cdot d_2 \cdot n}{60} = \frac{3.14 \cdot 39 \cdot 8250}{60} = 16838.25 \text{ mm/s} = 16.8 \text{ m/s}$$





Εφαρμόζοντας τις προηγούμενες ταχύτητες στο σχέδιο των τριγώνων ταχυτήτων υπολογίζουμε τις υπόλοιπες ταχύτητες και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα :

$U$  = περιφερειακή ταχύτητα  
 $w$  = σχετική ταχύτητα  
 $c$  = απόλυτη ταχύτητα  
 $c_u$  = περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας  $c$   
 $c_r$  = ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας  $c$

$c_{r1}$	$U_1$	$w_1$	$\alpha_1$	$\beta_1$
m/s	m/s	m/s	°	°
8,87	8.2	8,87	47	90
$c_{r2}$	$U_2$	$w_2$	$\alpha_2$	$\beta_2$
m/s	m/s	m/s	°	°
5,28	16,8	5,28	17	90
$c_{u2}$	$c_2$	$c_{u1}$	$c_1$	
m/s	m/s	m/s	m/s	
16,8	17,61	8.2	12.08	

## 2.1 Στατικό έργο

Το στατικό έργο δίνεται από την εξίσωση του Euler

$$w_{st} = u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1} \quad (5)$$

Η εξίσωση (5) δίνει

$$w_{st} = u_2 \cdot c_2 = u_2^2 \left( \frac{c_2}{u_2} \right) = 16.8 \cdot 16.8 = 282.24 \text{ W} \quad (6)$$

Από το τρίγωνο ταχύτητας της εξόδου (σχήμα 1),

$$\begin{aligned} u_2 - c_{u2} &= c_{r2} \cdot \cot \beta_2 \\ \frac{c_{\theta 2}}{u_2} &= 1 - \frac{c_{r2}}{u_2} \cdot \cot \beta_2 \end{aligned} \quad (7)$$

Οι εξισώσεις (6) και (7) παράγουν

$$w_{st} = u_2^2 \cdot (1 - \phi \cdot \cot \beta_2) \quad (8)$$

$$\frac{c_2}{\sin \beta_2} = \frac{u_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} c_{u2} &= c_2 \cdot \cos \alpha_2 = \frac{u_2 \cdot \sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} \\ \frac{c_{u2}}{u_2} &= \frac{\sin \beta_2 \cdot \cos \alpha_2}{\sin \alpha_2 \cdot \cos \beta_2 + \cos \alpha_2 \cdot \sin \beta_2} = \frac{\tan \beta_2}{\tan \alpha_2 + \tan \beta_2} \end{aligned} \quad (10)$$

Η εξίσωση (10) όταν χρησιμοποιείται στην εξίσωση (6) δίνει το στατικό έργο

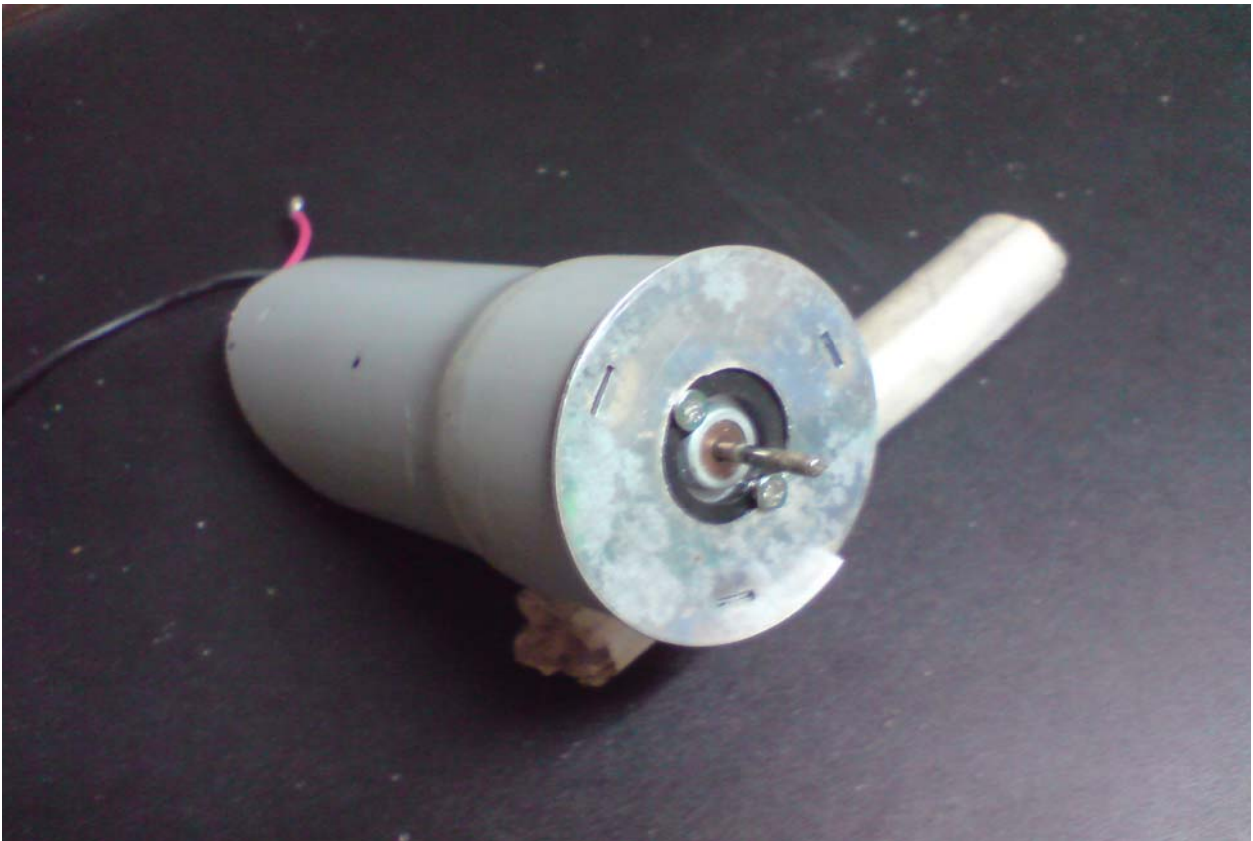
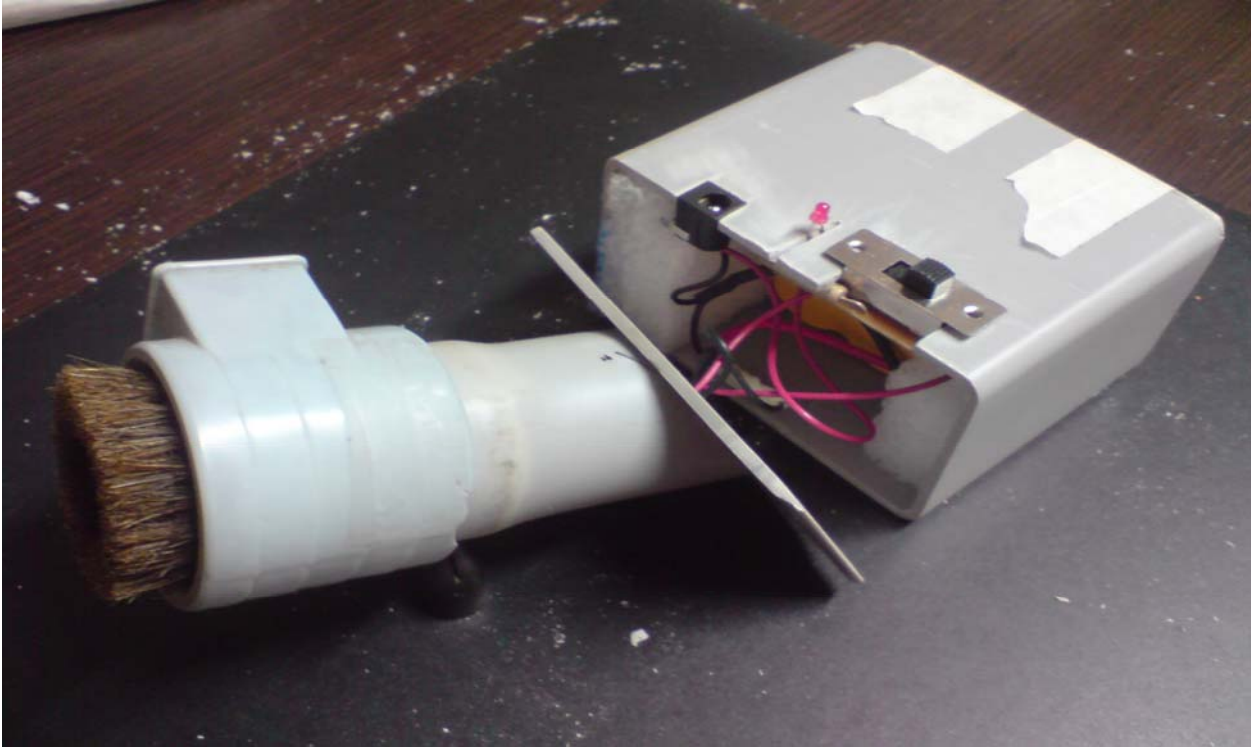
$$w_{st} = \frac{\tan \beta_2}{\tan \alpha_2 + \tan \beta_2} \cdot u_2^2 \quad (11)$$

Υποθέτοντας ότι η ροή υπακούει πλήρως στη γεωμετρία των πτερυγίων του στροφείων, η συγκεκριμένη εργασία που γίνεται αδιαβατικά δίνει

$$\Delta h_{st} = w_{st} = u_2 \cdot c_{u2} = u_2^2 \cdot (1 - \phi \cdot \cot \beta_2) \quad (12)$$

Η ισχύς που απαιτείται για να οδηγήσει τον ανεμιστήρα είναι

$$\begin{aligned} P &= m \cdot \Delta h_{st} = m \cdot c_p \cdot (\Delta T_0)_{st} = m \cdot u_2 \cdot c_{u2} = \\ &= 0.0135 \cdot 16.8 \cdot 16.8 = 3.81 \text{ W} \end{aligned} \quad (13)$$



## 2.2 Άνοδος στατικής πίεσης

Εάν υποθέσουμε ότι η διαδικασία συμπίεσης είναι αντιστρέψιμη αδιαβατική. (Ισεντροπική), τότε:

$$\Delta h_{st} = \frac{1}{\rho} \Delta p_{st} = \frac{1}{1.5} \cdot 423.36 = 282.24 \text{ Nm / kg}$$

Επομένως,

$$\Delta p_{st} = \rho \cdot u_2 \cdot c_{u_2} = \rho \cdot u_2^2 \cdot (1 - \phi \cdot \cot \beta_2) \quad (14)$$

$$\Delta p_{st} = 1.5 \cdot 16.8 \cdot 16.8 = 423.36$$

Όπως δηλώθηκε πριν, η άνοδος της στατικής πίεσης μέσω του στροφείου οφείλεται στην φυγοκεντρική ενέργεια και τη διάχυση της σχετικής ροής. Η στατική πίεση δίνεται ακολούθως:

$$\begin{aligned} p_2 - p_1 &= \Delta p_{st} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u_2^2 - u_1^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (w_1^2 - w_2^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot (16.8^2 - 8.2^2) + \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot (8.87^2 - 5.28^2) = 199.35 \text{ N / m}^2 \end{aligned} \quad (15)$$

Η πίεση μεταφοράς είναι:

$$\begin{aligned} \Delta p_{th} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u_2^2 - u_1^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (w_1^2 - w_2^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (c_2^2 - c_1^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot (16.8^2 - 8.2^2) + \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot (8.87^2 - 5.28^2) + \frac{1}{2} \cdot 1.5 \cdot (17.61^2 - 12.08^2) = \\ &= 322.42 \text{ N / m}^2 = 32.85 \text{ mmWG} \end{aligned} \quad (16)$$

Αντικατάσταση από εξίσωση (15),

$$\begin{aligned}\Delta p_{st} &= (p_2 - p_1) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (c_2^2 - c_1^2) = p_{02} - p_{01} \\ \Delta p_{st} &= \Delta p_{th} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (c_2^2 - c_1^2)\end{aligned}\quad (17)$$

### 2.3 Συντελεστής στατικής πίεσης και συντελεστής στροφείου

Ο συντελεστής στατικής πίεσης καθορίζεται από τον τύπο

$$\psi_{st} = \frac{\Delta p_{st}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_2^2} = \frac{423.36}{0.5 \cdot 1.5 \cdot 282.24} = 2 \text{ N / m}^2$$

Από την εξίσωση (14)

$$\psi_{st} = 2 \cdot \frac{c_{u2}}{u_2} = 2 \cdot (1 - \phi \cdot \cot \beta_2) \quad (18)$$

Η εξίσωση (10) όταν χρησιμοποιείται στην εξίσωση (18) δίνει

$$\psi_{st} = \frac{2 \cdot \tan \beta_2}{\tan \alpha_2 + \tan \beta_2} \quad (19)$$

Ο συντελεστής πίεσης του στροφείου είναι

$$\psi_r = \frac{\Delta p_{th}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_2^2} = \frac{322.42}{0.5 \cdot 1.5 \cdot 282.24} = 1.52 \text{ N / m}^2 \quad (20)$$

## 2.4 Στατικός βαθμός αντίδρασης

Εξ ορισμού, ο στατικός βαθμός αντίδρασης του ανεμιστήρα είναι

$$R = \frac{\Delta p_{th}}{\Delta p_{st}} = \frac{322.42}{423.36} = 0.76$$

Αυτό μπορεί επίσης να εκφραστεί και ως ο λόγος του συντελεστή του στροφείου προς αυτόν της στατικής πίεσης.

$$R = \frac{\psi_r}{\psi_{st}} \quad (21)$$

Από το τρίγωνο ταχύτητας στην είσοδο έχουμε

$$w_1^2 - u_1^2 = c_1^2$$

Αυτό όταν τοποθετείτε στην εξίσωση (15) δίνει

$$\Delta p_{th} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u_2^2 - w_2^2 + c_1^2) \quad (22)$$

Η εξίσωση (6) όταν εφαρμόζεται στην (22) δίνει

$$\Delta p_{th} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u_2^2 - w_2^2 + c_{r2}^2) \quad (22a)$$

Από το τρίγωνο ταχύτητας της εξόδου,

$$\begin{aligned} w_2^2 - c_{r2}^2 &= (u_2 - c_{u_2})^2 \\ u_2^2 - w_2^2 + c_{r2}^2 &= u_2^2 - (u_2 - c_{u_2})^2 \\ u_2^2 - w_2^2 + c_{r2}^2 &= 2 \cdot u_2 \cdot c_{u_2} - c_{u_2}^2 \end{aligned}$$



Αυτή η έκφραση όταν τοποθετείτε στην (22α) δίνει

$$\Delta p_{th} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (2 \cdot u_2 \cdot c_{u_2} - c_{u_2}^2) \quad (23)$$

Οι εξισώσεις (14) και (23) δίνουν το βαθμό αντίδρασης

$$R = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{c_{u_2}}{u_2} \quad (24)$$

Η εξίσωση (24) δίνει το βαθμό αντίδρασης για τους τρεις τύπους στροφείων

(a) Πτερύγια οπίσθιας κλίσης ( $\beta_2 < 90^\circ$ )

Για τα πτερύγια οπίσθιας κλίσης  $\frac{c_{u_2}}{u_2} < 1$

Επομένως, ο βαθμός αντίδρασης είναι πάντα λιγότερο από την μονάδα.

(b) Ακτινικά πτερύγια ( $\beta_2 = 90^\circ$ )

Για τα ακτινικά τοποθετημένα πτερύγια  $c_{u_2} = u_2$ . Επομένως,

$$R = \frac{1}{2}$$

(c) Εμπρόσθιας κλίσης πτερύγια ( $\beta_2 > 90^\circ$ )

Για τα εμπρόσθιας κλίσης πτερύγια  $c_{u_2} > u_2$ . Αυτό δίνει

$$R < \frac{1}{2}$$

Ο συνδυασμός των (7) και (24) δίνει

$$R = \frac{1}{2} \cdot (1 + \phi \cdot \cot \beta_2) \quad (25)$$

Μια χρήσιμη σχέση μεταξύ του βαθμού αντίδρασης και του συντελεστή στατικής πίεσης μπορεί να ληφθεί.

Η εξίσωση (18) είναι

$$\frac{c_{u_2}}{u_2} = \frac{1}{2} \cdot \psi_{st}$$

Αυτό στην (24) δίνει

$$R = 1 - \frac{1}{4} \cdot \psi_{st} \quad (26)$$

$$\psi_{st} = 4 \cdot (1 - R) \quad (27)$$

Αυτό δείχνει ότι ο συντελεστής στατικής πίεσης μειώνεται με την αύξηση του βαθμού αντίδρασης.

## 2.5 Στατική απόδοση

Το πραγματικό στατικό έργο δίνεται από τη σχέση:

$$w_{st} = u_2 \cdot c_{u_2}$$

Εδώ το  $c_{\theta_2}$  είναι η πραγματική αξία που λαμβάνεται, σε έναν πραγματικό ανεμιστήρα αυτή είναι μικρότερη από την τιμή της εξίσωσης του Euler. Εξ αιτίας των στατικών απωλειών το ισεντροπικό έργο  $\frac{1}{2} \cdot (\Delta p_0)_{st} = v \cdot (\Delta p_0)_{st}$  είναι μικρότερο από το πραγματικό έργο ( $u_2 \cdot c_{\theta_2}$ ). Επομένως, η στατική απόδοση των ανεμιστήρων καθορίζεται από τον τύπο

$$\eta_{st} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot u_2 \cdot c_{u_2}} = \frac{322.42}{1.5 \cdot 16.8 \cdot 17.61} = 0.76 \quad (28)$$

### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες και οι εξαεριστήρες, σε μια μεγάλη έκταση, μπορούν να σχεδιαστούν στις ίδιες γραμμές ως ένας χαμηλής πίεσεως φυγοκεντρικός συμπιεστής. Στην εφαρμοσμένη μηχανική ανεμιστήρων ακόμη και αυτή την περίοδο πολλές εμπειρικές και κατά προσέγγιση σχέσεις χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις διάφορες παραμέτρους.

#### 3.1 Μέγεθος στροφείου

Όπως φαίνεται στις προηγούμενες θεωρητικές σχέσεις, η περιφερειακή ταχύτητα του στροφείου με μια δεδομένη γεωμετρία αποφασίζεται από την άνοδο της στατικής πίεσης. Επομένως για την επιθυμητή τιμή της περιφερειακής ταχύτητας ( $u_2$ ), υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί των διαμέτρων στροφείων και των περιστροφικών ταχυτήτων. Η διάμετρος του στροφείου και το πλάτος του είναι επίσης εξαρτώμενα από το ποσό παρεχόμενης μάζας αέρα.

Εξ αιτίας της μεγάλης ανόδου της υποπίεσης στους ανεμιστήρες, οι περιστροφικές ταχύτητές τους είναι πολύ κάτω από τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές. Οι ταχύτητες ανεμιστήρων μπορούν να ποικίλουν από 360 έως 2940 rpm για κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος 50 Hz, αν και πολύ χαμηλότερες ταχύτητες έχουν χρησιμοποιηθεί σε μερικές εφαρμογές. Με άλλες συμπλέξεις μπορεί να ληφθεί και μεγαλύτερος αριθμός στροφών.

Η αναλογία διαμέτρων ( $\frac{d_1}{d_2}$ ) από το στροφείο καθορίζει το μήκος των

πτερυγίων: όσο μικρότερη είναι αυτή η αναλογία τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του πτερυγίου. Μία γενική σχέση για την αναλογία των διαμέτρων είναι και η ακόλουθη:

$$\frac{d_1}{d_2} \approx 1.2 \cdot \phi^{\frac{1}{3}} \quad (29)$$

Με μια μικρή επιτάχυνση της ροής από το κέντρο του στροφείου στην είσοδο των λεπίδων, η ακόλουθη σχέση για το πλάτος λεπίδων προς την διάμετρο του στροφείου είναι:

$$\frac{b_1}{d_1} = 0.2 \quad (30)$$

Τα στροφεία με τα προς τα πίσω κλίσης πτερύγια είναι στενότερα, δηλ.

$$\frac{b_1}{d_1} < 0.2 .$$

### 3.2 Μορφή πτερυγίων

Τα ευθύγραμμα ή κυρτά πτερύγια από μεταλλικά φύλλα ή πλαστικό υλικό, χρησιμοποιούνται στους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες και τους εξαεριστήρες. Τα πτερύγια αυτά είναι κυκλικά ή τοξοειδή ή μιας διαφορετικής καμπύλης. Μπορούν είτε να ενωθούν στενά είτε να καρφωθούν στο δίσκο του στροφείου.

Όπως αναφέρεται πριν, οι γωνίες εξόδων των πτερυγίων εξαρτώνται από εάν είναι με προς τα πίσω ή ακτινωτός ή μπροστινής κλίσης.

Η βέλτιστη γωνία εισόδου είναι περίπου  $35^\circ$ .

Στην περίπτωση μας έχουμε πλαστικά ακτινικά πτερύγια ενσωματωμένα με τον πίσω δίσκο του δρομέα μας.

### 3.3 Αριθμός λεπίδων

Ο αριθμός λεπίδων σε έναν φυγοκεντρικό ανεμιστήρα μπορεί να ποικίλει από 2 έως 64 ανάλογα με την εφαρμογή, τον τύπο και το μέγεθος. Πολύ λίγες λεπίδες είναι ανίκανες να επιβάλουν πλήρως τη γεωμετρία τους στη ροή, ενώ πάρα πολλές περιορίζουν τη ροή και έχουμε υψηλότερες απώλειες. Οι περισσότερες προσπάθειες να καθορισθεί ο βέλτιστος αριθμός λεπίδων έχουν οδηγήσει μόνο στις εμπειρικές σχέσεις που δίνονται κατωτέρω:

Έχει προστεθεί η ακόλουθη σχέση:

$$z = \frac{2 \cdot \sin \beta_2}{1 - \frac{d_1}{d_2}} = \frac{2 \cdot \sin 90.00}{1 - \frac{19.00}{39.00}} = 3.92 \approx 4$$

Την οποία και εκλέγουμε για την εργασία μας.

Επίσης προτείνονται και οι παρακάτω σχέσεις. Για άλλου είδους απορροφήσεις:

Ο Pflieiderer έχει συστήσει:

$$z = 6.5 \cdot \left( \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \right) \cdot \sin \frac{1}{2} \cdot (\beta_1 + \beta_2) \quad (32)$$

Από τα στοιχεία που έχει συλλέξει από μεγάλο αριθμό φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, ο Stepanoff προτείνει

$$z = \frac{1}{3} \cdot \beta_2 \quad (33)$$

Για τους μικρός-ταξινομημένους ανεμιστήρες, ο αριθμός λεπίδων είναι μικρότερος από αυτό

### 3.4 Διασκορπιστές και περιβλήματα

Η στατική πίεση ανακτάται από την κινητική ενέργεια της ροής στην έξοδο στροφείων διασκορπίζοντας τη ροή με ένα διασκορπιστή. Το σπειροειδές περίβλημα ως συλλέκτης της ροής από το στροφέιο και ο διασκορπιστής είναι ένα ουσιαστικά μέρη του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα.

Η παροχή ενός διασκορπιστή σε έναν ανεμιστήρα μπορεί να δώσει μια ελαφρώς υψηλότερη απόδοση από έναν ανεμιστήρα με μόνο ένα περίβλημα. Εντούτοις, για μια πλειοψηφία των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων και εξαεριστήρων, το υψηλό κόστος και το μέγεθος τους που έχουν χρησιμοποιήσει έναν διασκορπιστή ξεπερνούν τα πλεονεκτήματά του σε βάρος του. Επομένως τα περισσότερα από τα στροφέια μονής διαβάθμισης φυγοκεντρικών ανεμιστήρων μεταβιβάζουν άμεσα τον αέρα στο περίβλημα. Κάποια αποκατάσταση στατικής πίεσης μπορεί επίσης να εμφανιστεί στο περίβλημα.

Υπάρχει μικρό διάστημα μεταξύ της εξόδου στροφείων και του περιβλήματος. Η διάμετρος του κύκλου βάσεως του περιβλήματος είναι 1,1 έως 1,2 φορές η διάμετρος στροφείων. Το πλάτος του περιβλήματος είναι 1,25 έως 2,0 φορές το πλάτος στροφείων στην έξοδο. Το περίβλημα μπορεί να σχεδιαστεί για τη σταθερή πίεση ή τη σταθερή μέση ταχύτητα. Η διατομή της εξόδου του περιβλήματος μπορεί να είναι τετραγωνική, ορθογωνική, κυκλική ή τραπεζοειδής. Η επεξεργασία ενός ορθογώνιου περιβλήματος από μεταλλικά φύλλα είναι απλή, άλλες μορφές μπορούν να είναι χυτές.

Η επιλογή για την εργασία μας έγινε με πλαστικό περίβλημα τετραγωνικής διατομής εξόδου.

#### 4 Ανεμιστήρες τύπων τυμπάνων

Ο ανεμιστήρας τύπου τυμπάνου έχει έναν μεγάλο αριθμό απότομων μπροστινής-κλήσης λεπίδων. Η αναλογία ακτίνας πλάτους ενός τέτοιου στροφείου είναι κοντά στην μονάδα. Εξ αιτίας αυτού, η εσωτερική διάμετρος μπορεί να κρατηθεί μεγάλη δίνοντας μια μεγαλύτερη περιοχή ροής. Επομένως ένα τέτοιο στροφείο είναι κατάλληλο για τα σχετικά μεγάλα ποσοστά ροής.

Οι ανεμιστήρες τύπου τυμπάνου είναι επίσης γνωστοί ως ανεμιστήρες τύπου sirroco.

Εξ αιτίας του μικρού ακτινωτού βάθους των λεπίδων, ο αριθμός τους είναι μεγάλος για να είναι αποτελεσματικός. Το μεγάλο αξονικό μήκος τους εκτός από το ότι είναι καταλληλότερο για τα υψηλά ποσά ροής δίνει αεροδυναμικά ένα αποδοτικότερο στροφείο. Το επίπεδο θορύβου αυτού του τύπου ανεμιστήρα είναι σχετικά χαμηλό.

Η ροή υποτίθεται ότι εισάγεται τις λεπίδες ακτινικά σε όλες τις περιπτώσεις, δηλ. ο στρόβιλος στην είσοδο είναι μηδέν ( $c_{u_1} = 0$ ), στην περίπτωση μας όμως ( $c_{u_1} \neq 0$ ).

Για τις προς τα πίσω-κλίσης λεπίδες,  $w_1 \approx w_2$  και  $u_2$  είναι μόνο λίγο μεγαλύτερη από  $u_1$ . Επομένως, το τμήμα στροβίλου  $c_{u_2}$  στην έξοδο είναι μικρο δίνοντας μόνο μια μικρή άνοδο στατικής πίεσης

$$\Delta p_0 = \rho \cdot u_2 \cdot c_{u_2}$$

Στις ακτινωτά-τοποθετημένες λεπίδες ισχύει  $w_2 = c_{r_2}$  όπως στην μελέτη και κατασκευή μας. Εξ αιτίας της γεωμετρίας των λεπίδων, υπάρχει ιδιαίτερη επιβράδυνση της ροής ( $w_2 < w_1$ ) μέσα από ένα μικρό μήκος διαδρομής. Αυτό οδηγεί στο χωρισμό ροής και τη χαμηλότερη απόδοση.

Στις μπροστινής-κλήσεως λεπίδες, οι γωνίες των λεπίδων του στροφείου είναι σχεδόν ίσες στην είσοδο και στην έξοδο ( $\beta_1 \approx \beta_2$ ), αυτό χρησιμεύει για να αποφύγει την επιβράδυνση της ροής που οδηγεί στο χωρισμό. Εκτός από αυτές τις λεπίδες, που παρέχουν επίσης μεγάλη τιμή της  $c_{u_2}$ , δίνει μια μεγάλη άνοδο της στατικής πίεσης.

Επομένως, τα τύπου τυμπάνου στροφεία φυγοκεντρικών ανεμιστήρων χρησιμοποιούν μόνο τις μπροστινής-κλήσης λεπίδες.

Η εξίσωση στην είσοδο και την έξοδο του στροφείου δίνει

$$(\pi \cdot d_1 - z \cdot t_1) \cdot b_1 \cdot c_{r_1} = (\pi \cdot d_2 - z \cdot t_2) \cdot b_2 \cdot c_{r_2}$$

Η ροή είναι σχεδόν ασυμπιέστη. Το πάχος των λεπίδων των στροφείων, που είναι από λεπτό μέταλλο φύλλων, είναι αμελητέο και το πλάτος των λεπίδων του στροφείου είναι σταθερό ( $b_1 = b_2 = b$ ). Επομένως,

$$\frac{c_{r_1}}{c_{r_2}} = \frac{w_1 \cdot \sin \beta_1}{w_2 \cdot \sin \beta_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (34)$$

Για  $w_1 \approx w_2$ ,

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}$$

Οι λεπίδες στροφένων είναι γενικά κυκλικά τόξα με  $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ .

Επομένως,

$$\sin \beta_1 = \sin(90 - \beta_2) = \cos \beta_2 \quad (35)$$

$$\sin \beta_2 = \sin(90 - \beta_1) = \cos \beta_1 \quad (36)$$

Επομένως, από (35) και (36) όταν τίθεται στην (34) δώστε

$$\frac{d_1}{d_2} = \tan \beta_2 \quad (37)$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \tan \beta_1 \quad (38)$$

Τώρα  $c_{r_2} \cdot \cot \beta_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right) \cdot c_{r_1} \cdot \cot(90 - \beta_1)$

$$c_{r_2} \cdot \cot \beta_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right) \cdot c_{r_1} \cdot \tan \beta_1$$

Από το τρίγωνο ταχύτητας

$$c_{r_1} = u_1 \tan \beta_1$$

Επομένως,

$$c_{r_2} \cdot \cot \beta_2 = \frac{d_1}{d_2} \cdot u_1 \cdot \tan^2 \beta_1 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \cdot u_2 \cdot \tan^2 \beta_1$$

Αντικατάσταση από (38),

$$c_{r_2} \cdot \cot \beta_2 = u_2 \quad (39)$$

Από το τρίγωνο ταχύτητας εξόδου,

$$c_{u_2} = u_2 + c_{r_2} \cdot \cot \beta_2 = 2 \cdot u_2 \quad (40)$$

$$\Delta p_0 = \rho \cdot u_2 \cdot c_{u_2} = 2 \cdot \rho \cdot u_2^2 \quad (41)$$

Επομένως,

$$\psi_{st} = \frac{\Delta p_0}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_2^2} = 4 \quad (42)$$

Η άνοδος στατικής πίεσης πέρα από το στροφείο είναι

$$\begin{aligned} \Delta p_{th} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (w_1^2 - w_2^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u_2^2 - u_1^2) \\ \Delta p_{th} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (c_{r_1}^2 - c_{r_2}^2) \\ \Delta p_{th} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_{r_1}^2 \cdot \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_1^2 \cdot \tan^2 \beta_1 \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \\ \Delta p_{th} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_2^2 \cdot \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \end{aligned} \quad (43)$$

Εξισώσεις (41) και (43) δώστε το βαθμό αντίδρασης  $R = \frac{\Delta p_{th}}{(\Delta p)_0}$

$$R = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \quad (44)$$



## **5 ANEMΙΣΤΗΡΕΣ μερικής-ροής**

Η διαμόρφωση ενός φυγοκεντρικού ανεμιστήρα ή ενός εξαεριστήρα είναι τέτοια που η διαθέσιμη περιοχή στην είσοδο είναι περιορισμένη εξ αιτίας της εσωτερικής διαμέτρου του στροφείου. Η εξωτερική διάμετρος καθορίζεται λόγω των μέγιστων επιτρεπόμενων απαιτήσεων ταχύτητας και μεγέθους. Επομένως, όπως επισημάνθηκε νωρίτερα, ένας συμβατικός φυγοκεντρικός ανεμιστήρας ή ένας εξαεριστήρας είναι ακατάλληλος για τα μεγάλα ποσοστά ροής.

### **5.1 Ανεμιστήρες εξωτερικής-ροής**

Εκτός από το μειονέκτημα των χαμηλών ποσοστών ροής, το πλάτος των στροφείων σε πολλούς φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες είναι πάρα πολύ μικρό. Για ένα δεδομένο το ροής μικρότερου πλάτους στροφεία λαμβάνονται με μεγάλη διάμετρο και στενά με αποτέλεσμα να έχουν σχετικά υψηλότερες αεροδυναμικές απώλειες. Επομένως, για να αυξηθεί το πλάτος των στροφείων για την επίτευξη της υψηλότερης απόδοσης, μια μερική διαμόρφωση υιοθετείται, αυτό γίνεται αφήνοντας την ροή να εισαχθεί σ'ένα ευρύτερο στροφείο για μόνο ένα μέρος της περιφέρειάς της. Μια τέτοια διαμόρφωση έχει τα μειονεκτήματα και τις σχετικές απώλειές της, αλλά ένας βέλτιστος συνδυασμός του πλάτους στροφείων και του βαθμού αποδοχής μπορούν να βρεθεί.

Αυτός ο σχέδιασμός μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμος για τις εφαρμογές χαμηλού ποσού ροής και υψηλής πίεσης όπου το πλάτος του φυγοκεντρικού στροφείου με την πλήρη αποδοχή είναι μόνο μερικά χιλιοστά.

## 5.2 Ανεμιστήρες διασταυρούμενης ροής

Μια άλλη μέθοδος για να υπερνικήσουμε το πρόβλημα των χαμηλών ποσών ροής φυγοκεντρικών ανεμιστήρων είναι να υιοθετηθεί μια διαμόρφωση διασταυρώσεων. Μια τέτοια ρύθμιση αποτελείται από ένα συγκριτικά μακρύ στροφέιο (γενικά μιας σχετικά μικρής διαμέτρου) που κλείνουν στις δύο άκρες. Ο αέρας εισάγεται στην εξωτερική περιφέρεια του στροφείου από την μια πλευρά και φεύγει από την άλλη. Το περίβλημα του στροφείου περιορίζει τον αέρα να ρεύσει κανονικά στον άξονα. Κατά συνέπεια ο αέρας διαπερνά τις λεπίδες των στροφείων δύο φορές: στο πρώτο στάδιο διασχίζει τις λεπίδες του στροφείου προς το εσωτερικό και στο δεύτερο προς στην εξωτερική κατεύθυνση. Έχει αποδειχθεί ότι η βέλτιστη μορφή λεπίδων για έναν τέτοιο ανεμιστήρα είναι ο μπροστινής-κλήσεως τύπος όπου ο ανεμιστήρας αναπτύσσει κυρίως μια δυναμική πίεση, δηλ. επιταχύνει τη ροή από την είσοδό του στην έξοδό του. Η ροή επιβραδύνεται στο πρώτο στάδιο (1-2) και επιταχύνεται στο δεύτερο (3-4). Ένας τέτοιος ανεμιστήρας μπορεί αναπτύξει υψηλούς συντελεστές στις συγκριτικά χαμηλότερες αποδόσεις. Δεδομένου ότι η αλλαγή στατικής πίεσης στο στροφέιο είναι αμελητέα, ο βαθμός αντίδρασης είναι κοντά σε μηδέν. Δεδομένου ότι ο αέρας δεν εισάγεται μέσα από ολόκληρη την περιφέρεια του στροφείου, αυτός ο ανεμιστήρας είναι επίσης του τύπου μερικός-ροής. Ο ανεμιστήρας διασταυρώσεων αναφέρεται επίσης ως εφαιπτόμενος ανεμιστήρας επειδή σε γενικές γραμμές δεν είναι κανένας από τον αξονικό ή ακτινωτό τύπο. Οι τύποι διασταυρώσεων, εξωτερικής-ροής ανεμιστήρων μερικός-ροής είναι παραδείγματα των στροβιλομηχανών όπου η ροής δεν είναι αξονικά συμμετρική.

Ο σχεδιασμός του περιβλήματος ενός τέτοιου ανεμιστήρα είναι κρίσιμο. Οι περισσότερες προσπάθειες να βελτιωθεί αυτός ο ανεμιστήρας ήταν στη βελτιστοποίηση της διαμόρφωσης της εισόδου, της εξόδου και της στέγασης. Ο ρόλος του διασκορπιστή στην έξοδο αυτού του ανεμιστήρα είναι πολύ σημαντικός επειδή η στατική απόδοση της εξαρτάται έντονα από αυτό.

Η έννοια των διασταυρώσεων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με ένα στροφέιο ανεμιστήρων τύπου τυμπάνου χωρίς το περίβλημα. Το ρεύμα αέρα που καθιερώνεται έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές. Το κύριο πλεονέκτημα του ανεμιστήρα διασταυρώσεων είναι ότι δεν υπάρχει σχεδόν κανένας περιορισμός στη δυνατότητά του να

χειριστεί τα ποσοστά υψηλής ροής. Για μια δεδομένη διάμετρο στροφείων, το ποσοστό ροής είναι ανάλογο προς το μήκος του. Τα στροφεία μικρότερων διαμέτρων μπορούν να τρέξουν σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες και να οδηγήσουν επίσης στη οικονομία χώρου. Αυτοί οι ανεμιστήρες έχουν κατασκευαστεί σε μικρά ( $d \approx 5cm$ ) και μεγάλα ( $d \approx 280cm$ ) μεγέθη για ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών από εσωτερικού χώρου σε βιομηχανικό επίπεδο. Οι αγωγοί με ορθογώνια έξοδος είναι κατάλληλοι για να προσαρμόσουμε ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης, όπως στεγνωτήρες μαλλιών και άλλες θερμού αέρα εφαρμογές. Η ροή είναι ιδιαίτερα ασταθής σε έναν ανεμιστήρα διασταυρώσεων εξ αιτίας της διαμόρφωσής του. Μια δίνη δημιουργείται στην εσωτερική περιφέρεια του στροφείου κοντά στην έξοδο. Ως αποτέλεσμα αυτού, η ροή στην έξοδο συγκεντρώνεται προς τη δίνη. Το ακριβές μέγεθος και η θέση της δίνης εξαρτώνται από το ποσοστό ροής. Η ροή μέσω του ανεμιστήρα εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από αυτήν την δίνη. Αυτό προκαλεί μια επανακυκλοφορία της ροής κοντά στην έξοδο των ανεμιστήρων, η οποία ευθύνεται για τις πρόσθετες απώλειες που εμφανίζονται σε αυτόν τον ανεμιστήρα. Η μορφή του περιβλήματος και η απόστασή του από το στροφείο ρυθμίζουν το μέγεθος και τη θέση της δίνης, η οποία έχει επιπτώσεις στη συνέχεια στην απόδοση ανεμιστήρων.

## 6 ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Οι απώλειες εμφανίζονται και στα στάσιμα καθώς επίσης και κινούμενα μέρη του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα. Με τον υπολογισμό των απωλειών, η πραγματική απόδοση ενός ανεμιστήρα μπορεί να προβλεφθεί θεωρητικά.

Οι διάφορες απώλειες περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.

### (a) Απώλειες εισόδων στροφείων

Αυτές οφείλονται στη ροή στο ακροφύσιο και γυρίζει από αξονική σε ακτινική κατεύθυνση. Οι απώλειες λεπίδων των στροφείων λόγω της τριβής και του χωρισμού εξ αιτίας μιας αλλαγής της επίπτωσης μπορούν επίσης να περιληφθούν σ' αυτή τη κατηγορία.

### (b) Απώλειες διαρροής

Ένα διάκενο απαιτείται μεταξύ της περιστρεφόμενης περιφέρειας του στροφείου και του περιβλήματος, στην είσοδο. Αυτό οδηγεί στη διαρροή αέρα και διαταραχή στον κύριο μέρος ροής. Εκτός από αυτό, η διαρροή εμφανίζεται επίσης και στο διάκενο μεταξύ του άξονα του ανεμιστήρα και του περιβλήματος.

### (c) Απώλειες στροφείων

Αυτές οι απώλειες προκύπτουν από την τριβή στη διαδρομή του αέρα και το χωρισμό της ροής. Εξαρτώνται από τη σχετική ταχύτητα, το ποσοστό διάχυσης και της γεωμετρίας των λεπίδων.

### (d) Απώλειες διασκορπιστή και περιβλήματος

Οι απώλειες στο διασκορπιστή εμφανίζονται επίσης λόγω της τριβής και του χωρισμού. Από τα μεγέθη αυτά, που μπορούν να προβλεφτούν από τον σχεδιασμό, υπάρχουν πρόσθετες απώλειες λόγω της επίπτωσης. Η ροή από το στροφείο ή το διασκορπιστή (εάν χρησιμοποιείται) επεκτείνεται σε μια μεγαλύτερης διατομής περιοχή στο περιβλήμα. Αυτό οδηγεί σε απώλειες λόγω του σχηματισμού στροβίλου. Οι περαιτέρω απώλειες εμφανίζονται λόγω της τριβής στις διαδρομές του αέρα στο περίβλημα και του χωρισμού ροής.

### (e) Τριβή δίσκων

Αυτό οφείλεται στην ιξώδη έλξη στην πίσω επιφάνεια του δίσκου στροφείων.

## 7 ΟΔΗΓΟΙ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

Οι απ' ευθείας μετάδοσης κίνησης είναι ιδανικοί για τις περισσότερες εφαρμογές ανεμιστήρων. Οι μικροί στροφείς ανεμιστήρων τοποθετούνται στην επέκταση του άξονα για απ' ευθείας μετάδοση κίνησης, αλλά οι μεγάλοι στροφείς ανεμιστήρων πρέπει να τοποθετηθούν σε χωριστά ρουλεμάν. Οι συζεύξεις αξόνων πρέπει κατά προτίμηση να είναι του εύκαμπτου τύπου για να φροντίσουν τις μη ευθυγραμμίσεις.

Μερικοί ανεμιστήρες και εξαεριστήρες είναι κινούμενοι με ιμάντα. Οι κίνηση με πολλούς ιμάντες χρησιμοποιείται ευρέως για τους μεγάλους ανεμιστήρες. Είναι αθόρυβοι και λειτουργούν με χαμηλή πίεση στα ρουλεμάν. Οι ενιαίες κινήσεις β-ζωνών χρησιμοποιούνται για τους μικρούς ανεμιστήρες και τους εξαεριστήρες. Αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως δυνατότητα μεταβλητής ταχύτητας με τη χρησιμοποίηση μιας τροχαλίας μεταβλητών διαμέτρων. Σε αυτήν την ρύθμιση η απόσταση μεταξύ των δύο μισών της τροχαλίας είναι μεταβλητή.

Διαφορετικοί τύποι ηλεκτρικών μηχανών και τουρμπίνων αέρα ή αερίων μπορούν να κινήσουν ανεμιστήρες και εξαεριστήρες. Οι τουρμπίνες οδηγοί είναι ιδανικοί για εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας.

Οι τριφασικές μηχανές επαγωγής χρησιμοποιούνται ευρέως για κίνηση σταθερής ταχύτητας. Εκτός από το ότι είναι φτηνοί και τραχιοί στην κατασκευή, η απουσία κινούμενων ηλεκτρικών επαφών ηλεκτρικών επαφών τους κάνει κατάλληλους για λειτουργία όταν εκτίθεται σε εύφλεκτο αέριο ή σκόνη. Διατηρούν υψηλή απόδοση και έχουν μια αρχική ροπή μιάμιση φορά της πλήρους ροπής φορτίου. Οι ταχύτητες των μηχανών επαγωγής μπορούν να ποικίλουν σε ένα περιορισμένο εύρος με την αλλαγή της συχνότητας. Μικρές μηχανές επαγωγής, από ένα κιλοβάτ έως 15 kW είναι διαθέσιμες στο μονοφασικό τύπο.

Για τις σταθερής ταχύτητας εφαρμογές, η μηχανή επαγωγής είναι προτιμητέα από τη μηχανή, αλλά για της εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας οι μηχανές συνεχούς ρεύματος είναι ανώτερες από τις μηχανές επαγωγής. Οι μηχανές με ρουλεμάν ολίσθησης χρησιμοποιούνται επίσης για μεταβλητές ταχύτητες, αλλά είναι ακριβές και υφίστανται υψηλές απώλειες.

Οι υδραυλικές συζεύξεις χρησιμοποιούνται επίσης στους μεταβλητών ταχυτήτων ανεμιστήρες και των εξαεριστήρων. Για τα μικρά φορτία η μεταβλητή ταχύτητα μπορεί να ληφθεί με τη χρησιμοποίηση μιας μαγνητικής σύζευξης μεταξύ της ηλεκτρικής μηχανής σταθερής ταχύτητας και του ανεμιστήρα

## 8 ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

Ο θόρυβος είναι ανεπιθύμητος ήχος. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων στο περιβάλλον των κατοικιών και των εργαζομένων σε εργοστάσια, ο θόρυβος έχει γίνει μια σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη λειτουργία των ανεμιστήρων και των εξαεριστήρων. Σήμερα οι ανεμιστήρες και οι εξαεριστήρες που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εγκαταστάσεις είναι σημαντικές πηγές θορύβου εργοστασίων. Η πρόληψη του θορύβου στα συστήματα εξαερισμού είναι εξίσου σημαντική.

Σε έναν ζυγостаθμισμένο και κατάλληλα εγκατεστημένο ανεμιστήρα, ο μηχανικός θόρυβος που προέρχεται από τα ρουλεμάν και τη δόνηση των διάφορων μερών δεν είναι τόσο σημαντικοί όσο ο αεροδυναμικά παραγόμενος θόρυβος. Ο τελευταίος οφείλεται στα διάφορα φαινόμενα ροής που εμφανίζονται μέσα στον ανεμιστήρα.

Ο θόρυβος σε έναν ανοικτό στροφέα ανεμιστήρα παράγεται λόγω του περιστρεφόμενου τομέα πίεσης.

Η αναρροή στις λεπίδων είναι αναπόφευκτη στις στροβιλομηχανές. Η αναταραχή λόγω του σχηματισμού αναρρόφησης συμβάλλει σημαντικά στο θόρυβο των ανεμιστήρων. Δεδομένου ότι ο βαθμός αναταραχής αυξάνεται με την ταχύτητα ροής, ένα υψηλότερο επίπεδο θορύβου παράγεται με στους ανεμιστήρες υψηλότερων ταχυτήτων. Οι ανεμιστήρες με χωρισμένες ροές παράγουν περισσότερο θόρυβο εξ αιτίας ενός υψηλότερου βαθμού αναταραχής.

Οι κύριες αιτίες του αεροδυναμικά παραγόμενου θορύβου είναι:

1. Η ροή στην είσοδο και την έξοδο του ανεμιστήρα, δηλ., θόρυβος αναρρόφησης και εξαγωγής,
2. Περιστροφή των λεπίδων μέσα στον αέρα ή στο αέριο,
3. Διαδρομή του αέρα στις λεπίδων μέσω των αναρροών,
4. Αναταραχή του αέρα,
5. Σκόρπισμα των δινών από τις λεπίδες, και
6. Χωρισμός, αστάθεια και κυματισμός.

Μερικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται το επίπεδο θορύβου που εκπέμπεται από έναν ανεμιστήρα είναι: η αεροδυναμική απόδοση των ανεμιστήρων, οι διαμορφώσεις των αγωγών στην είσοδο και την έξοδο, τη γεωμετρία του περιβλήματος, τον αριθμό των στροφών και τα μεγέθη των λεπίδων τα διάκενα, τα πάχη των λεπίδων και την ταχύτητα των ανεμιστήρων.

Οι συχνότητες και τα επίπεδα θορύβου που εμφανίζονται στους ανεμιστήρες και τους εξαεριστήρες είναι μεταξύ 65 - 8000 Hz και 60 -120 dB. Σε σύγκριση με αυτές τις τιμές τα κατά προσέγγιση επίπεδα θορύβου στις κρεβατοκάμαρες και τα γραφεία είναι 40 και 50 dB αντίστοιχα.

Μερικές μέθοδοι για την μείωση του θορύβου των ανεμιστήρων είναι:

1. Λειτουργία των ανεμιστήρων στις μέγιστες αποδόσεις τους,
2. Χρήση των ανεμιστήρων με λίγες στροφές και χαμηλής πίεσης,
3. Χρήση της ομοιόμορφης ροής στους αγωγούς,
4. Χρήση του εύκαμπτου μονταρίσματος των ανεμιστήρων,
5. Η χρήση ηχαπορροφητικών τοιχίων αγωγών,
6. Χρήση των σιγαστήρων στην αναρρόφηση και την εξαγωγή,
7. Ενίσχυση του περιβλήματος των ανεμιστήρων,
8. Χρήση ενός μεγαλύτερου διάκενου μεταξύ του περιβλήματος και του στροφέα στους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες, το ίδιο πράγμα ισχύει για τα διάκενα μεταξύ των λεπίδων των στροφών και των οδηγών, και
9. Να εσωκλείσει τον ανεμιστήρα σε ένα ηχαπορροφητικό περίβλημα, η εσωτερική επιφάνεια του περιβλήματος πρέπει να επενδυθεί με ένα ηχαπορροφητικό υλικό.

## **9 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ**

Μια δευτερεύουσας σημασίας διάβρωση των μερών των ανεμιστήρων λόγω της παρουσίας σκόνης είναι αρκετά κοινή. Εντούτοις, σε μερικές εφαρμογές η διάβρωση των λεπίδων των ανεμιστήρων και των περιβλημάτων λόγω του φορτωμένου με σκόνη αέρα είναι πολύ σοβαρή. Αυτό είναι μια από τις αιτίες της αποτυχίας των ανεμιστήρων στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι ατμοπαραγωγοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος δεν μπορούν πάντα να κάψουν την ιδανική ποιότητα άνθρακα. Το περιεχόμενο τέφρας είναι μερικές φορές υψηλότερο από 40 τοις εκατό. Εκτός από αυτό ο εξοπλισμός αφαίρεσης σκόνης μπορεί να επιτρέψει μια αξιόλογη ποσότητα στερεών μορίων στη διαφυγή μέσα στον

ανεμιστήρα. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στις χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια η αρχή "η πρόληψη είναι καλύτερη από τη θεραπεία" δεν μπορεί να εφαρμοστεί ουσιαστικά εδώ.

Όταν τα μόρια σκόνης χτυπούν άμεσα στις κινούμενες λεπίδες, προκαλούν το ράγισμα των λεπίδων, ενώ η ροή της σκόνης μέσω των διαδρομών του αέρα προκαλεί δράση διάλυση που οδηγεί στη διάβρωση της επιφάνειας. Μερικές πτυχές της διάβρωσης λόγω της σκόνης δίνονται κατωτέρω.

(a) Οι καταπονημένες επιφάνειες των λεπίδων αλλάζουν τη γεωμετρία της ροής κατά πολύ από τον αρχικό σχεδιασμό. Αυτό απεικονίζεται στην κακή απόδοση των ανεμιστήρων.

(b) Εάν ιδιαίτερη η διάβρωση εμφανιστεί στις ιδιαίτερα κρίσιμες περιοχές το επηρεασθέν μέρος μπορεί ξαφνικά να αποτύχει μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

(c) Η επιφάνεια του στροφέα λόγω της διάβρωσης από τη σκόνη δεν είναι αξονικά συμμετρική. Αυτό οδηγεί σε μια δυσαναλογία του στροφέα και αυξάνει το φορτίο στα ρουλεμάν.

(d) Η δυσαναλογία και η προκύπτουσα δόνηση αυξάνονται περαιτέρω λόγω της συλλογής της σκόνης στις ανωμαλίες τις επιφάνειας που δημιουργούνται από τη διάβρωση σκόνης.

Τα μόρια σκόνης συλλέγονται στις ασταθείς περιοχές του ανεμιστήρα όπου διαβρώνουν την επιφάνεια μετά από μια δράση άλεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα διάβρωσης, η επιλογή του σωστού τύπου ανεμιστήρα είναι σημαντική. Εντούτοις ένας ανεμιστήρας, που υποφέρει ο λιγότερο λόγω της διάβρωσης, μπορεί να μην είναι πάντα η καλύτερη επιλογή για μια δεδομένη εφαρμογή. Η διάβρωση σκόνης έχει βρεθεί να είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το συντελεστή πίεσης. Οι φυγοκεντρικοί τύποι έχουν βρεθεί γενικά να λειτουργούν χωρίς σοβαρά προβλήματα διάβρωσης σκόνης πέντε φορές περισσότερο χρονικά από τον αξονικό τύπο.

Έχει διαπιστωθεί ότι η διάβρωση είναι σοβαρότερη στους αξονικούς ανεμιστήρες έναντι του φυγοκεντρικού τύπου. Αυτό οφείλεται στη γεωμετρική διαμόρφωση και τις χαμηλότερες ταχύτητες αερίου στο φυγοκεντρικό τύπο.

Η διάβρωση σκόνης μπορεί να ελαχιστοποιηθεί όταν:

1. Χρησιμοποιούνται αποδοτικότερα μηχανήματα που αφαιρούν τη σκόνη,
2. Ρυθμίζοντας τις ταχύτητες των ανεμιστήρων για επί μέρους φορτία,
3. Μείωση της στρωματοποίησης,
4. Χρησιμοποίηση των μεγάλων και αργόστροφων ανεμιστήρων, και
5. Χρησιμοποίηση των ασπίδων διάβρωσης στις λεπίδες.





## ΓΕΝΙΚΑ

### 10 ΚΑΤΑΤΑΞΗ

- Κατάταξη ανάλογα με την πίεση:

Ανεμιστήρες χαμηλής πίεσης, για πίεση περίπου N/m <sup>2</sup>	0	έως	720
Ανεμιστήρες μέσης πίεσης, για πίεση περίπου N/m <sup>2</sup>	720	έως	3.600
Ανεμιστήρες υψηλής πίεσης, για πίεση περίπου N/m <sup>2</sup>	3.600	έως	30.000

και μεγαλύτερες.

- Κατάταξη ανάλογα με την διάταξη των πτερυγίων:

Τυμπανοειδείς πτερωτές με πολλά πτερύγια στην περιφέρεια του  
δρομέα όπως σ' ένα τύμπανο,  
Πτερωτές αντλιών με λίγα πτερύγια επεκτεινόμενα αξονικά ,  
παρόμοια με τις πτερωτές των αντλιών.

- Κατάταξη ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας:

Ανεμιστήρες αερίου υψηλής θερμοκρασίας, εξαεριστήρας  
μεταφοράς, εξαεριστήρας οροφής κτλ.

Ένας ιδιαίτερος τύπος κατασκευής είναι οι τριχοειδείς φυσητήρες  
συστήματος de Fries, όπου η πτερωτή έχει αντικατασταθεί από ένα  
δρομέα από συρμάτινο λεπτό πλέγμα ή από παρόμοια ινώδη κατασκευή.  
Σχετικά με τη συμπεριφορά των φίλτρων και την μεταφορά θερμότητα.  
Δείκτης πίεσης  $\psi \sim 0.5 \dots 0.6$ .

Τα τρίγωνα ταχυτήτων και οι περιφερειακές ταχύτητες παριστάνουν  
γραφικά τις ταχύτητες στην είσοδο και στην έξοδο των πτερυγίων. Τα  
τρίγωνα ταχυτήτων εισόδου είναι συνήθως ορθογώνια, επειδή ο αέρας  
γενικά πέφτει επάνω στα πτερύγια κάθετα στον άξονα και είναι ίδια και  
για τους τρεις τύπους πτερυγίων. Τα τρίγωνα ταχυτήτων εξόδου  
αντιθέτως είναι ορθογώνια μόνο στη περίπτωση των πτερυγίων με  
ευθεία απόληξη, ενώ στις άλλες περιπτώσεις δεν είναι ορθογώνια, και η  
απόλυτη ταχύτητα του αέρα στρέφεται στην κατεύθυνση της  
περιφερειακής ταχύτητας λόγω των περιστρεφόμενων πτερυγίων.

## 11 ΠΙΕΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Θεωρητική ολική διαφορά πίεσης (πίεση μεταφοράς):

$$\Delta p_{th} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u_2^2 - u_1^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (w_1^2 - w_2^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (c_2^2 - c_1^2) \text{ σε N/m}^2 \text{ (1}_{\eta} \text{ μορφή της εξίσωσης πίεσης)}$$

$$\Delta p_{th} = \frac{\rho}{2} \cdot (u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}) \text{ σε N/m}^2 \text{ (2}_{\eta} \text{ μορφή της εξίσωσης πίεσης)}$$

ή για  $c_{1u}=0$ :

$$\Delta p_{th} = \rho \cdot u_2 \cdot c_{2u}$$

U = περιφερειακή ταχύτητα σε m/s

w = σχετική ταχύτητα σε m/s

c = απόλυτη ταχύτητα σε m/s

$c_u$  = περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας c σε m/s

$c_r$  = ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας c σε m/s

$\rho$  = πυκνότητα σε kg/m<sup>3</sup>

Οι δύο εξισώσεις μπορούν να αναχθούν η μια στην άλλη.

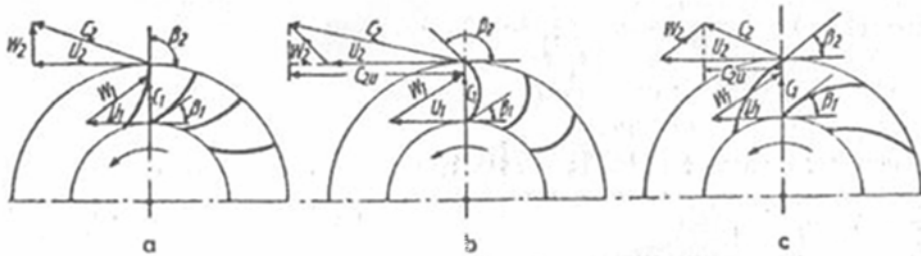
Από την τελευταία εξίσωση συμπεραίνουμε ότι η ολική διαφορά πίεσης για ίση περιφερειακή ταχύτητα  $u_2$  είναι η μεγαλύτερη για πτερύγια με καμπυλότητα προς τα εμπρός και μικρότερη για πτερύγια με καμπυλότητα προς τα πίσω.

Η σχέση στατική πίεση  $\Delta p_{st}$  /  $\Delta p_{ges}$  ολική πίεση ονομάζεται *βαθμός αντίδρασης*.

## 12 ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ

Λόγω των πολλών απωλειών, δεν μπορεί να επιτευχθεί σε πραγματικούς ανεμιστήρες η θεωρητική διαφορά πίεσης και η θεωρητική διαφορά πίεσης και η θεωρητική παροχή (μεταφερόμενη ροή όγκου).

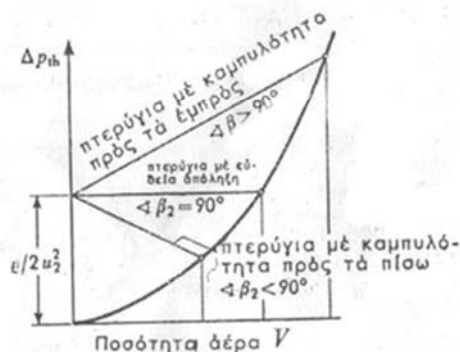
Απαίτηση ισχύος  $P = P_{th} / \eta$



Σχ. 331 - 8. Τρίγωνα ταχυτήτων για διαφορετικές μορφές πτερυγίων.  
 α) πτερόγιο με εθεία απόληξη, β) πτερόγιο με καμπυλότητα προς τὰ εμπρός, γ) πτερόγιο με καμπυλότητα προς τὰ πίσω

Οι βασικές απώλειες είναι:

1. Απώλεια πίεσης  $\Delta p_1$  λόγω του περατού αριθμού πτερυγίου.
2. Απώλεια καλύμματος  $\Delta p_2$  κατά τη μετατροπή της υψηλότερης ταχύτητας αέρα εξόδου  $c_2$  στο σπινάλ σε μικρότερη ταχύτητα  $c_3$  κατά την έξοδο του αέρα από το στόμιο εξόδου.
3. Απώλεια πίεσης  $\Delta p_3$  στη πτερωτή λόγω των τριβών και της αποκόλλησης της ροής από το τοίχωμα.
4. Απώλεια πίεσης  $\Delta p_4$  (απώλεια κρούσης) κατά την είσοδο του αέρα στην πτερωτή.
5. Απώλεια διάκενου σε αέρα  $V_{ver1}$  λόγω του διάκενου μεταξύ πτερωτής και καλύμματος και στα περάσματα του άξονα.
6. Μηχανική απώλεια  $P_m$  λόγω της τριβής της πτερωτής με τον αέρα και του άξονα με τα έδρανα.



Σχ. 331 - 30. Θεωρητική πίεση λειτουργίας σε φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες

Τότε ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta_{ges} = \frac{V \cdot \Delta p_{ges}}{(V + V_{ver1}) \cdot \Delta p + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + P_m}$$

Απαιτήση ισχύος  $P = \frac{V \cdot \Delta p_{ges}}{3600 \cdot \eta}$  σε W (Nm/s)

$V$ =παροχή σε  $m^3/h$ ,  $V_{ver1}$  = απώλεια παροχής,  $\Delta p_{ges}$  = ολική πίεση Pa,  $\eta_{ges}$  = ολικός βαθμός απόδοσης = 0.6...0.8 για μεγάλους ανεμιστήρες = 0.5...0.6 για μέτριους ανεμιστήρες, = 0.3...0.5 για μικρούς ανεμιστήρες

Εμπειρικός τύπος με  $\eta_{ges} = 0.55$  :  $P = \frac{V \cdot \Delta p_{ges}}{2.000.000}$  σε kW

ανύψωση της θερμοκρασίας ανά 1000 Pa πίεση περίπου  $1^\circ C$ .

Ο βαθμός απόδοσης  $\eta_{ges}$  αναφέρεται στην περίπτωση αυτή στην ανύψωση της πίεσης μεταξύ εισόδου ανεμιστήρα και εξόδου ανεμιστήρα, περιέχει δηλ. και τη δυναμική πίεση στο άνοιγμα εξόδου. Σε περίπτωση που θεωρήσουμε την πίεση αυτή σαν απώλεια όπως π.χ. στους ανεμιστήρες με ελεύθερη εμφύσηση, είναι φυσικά ο βαθμός απόδοσης μικρότερος.

Λαμβάνοντας υπόψη τις γνώσεις επί της τεχνικής ροής, μπορούν να κατασκευαστούν ανεμιστήρες με βαθμούς απόδοσης από 85% και άνω (ανεμιστήρες υψηλής ισχύος). Είναι συχνά προτιμητέοι, παρ' όλη την υψηλή τιμή τους, ιδίως για μεγάλες ισχύες και μακρούς χρόνους λειτουργίας.

Ανεμιστήρες με πτερύγια με καμπύλη προς τα εμπρός έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης απ' ό,τι ανεμιστήρες με πτερύγια με καμπυλότητα προς τα πίσω, επειδή η μετατροπή της υψηλής ταχύτητας του αέρα  $c_2$  σε στατική πίεση είναι πάντοτε συνδυασμένη με σημαντικές απώλειες.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της πίεσης μεταφοράς και της απαιτήσης ισχύος ανεμιστήρων, απαιτούνται γενικά δοκιμές σε ειδικές δοκιμαστικές τράπεζες ανεμιστήρων. Για τον σκοπό αυτό είναι δυνατές πολλές διατάξεις δοκιμών.

Σημαίνουν :  $p_{st}$  = στατική πίεση σε Pa

$p_d$  = δυναμική πίεση =  $\rho/2 \cdot w^2$  σε Pa

$p_{ges}$  = ολική πίεση =  $p_{st} + p_d$  σε Pa

$\Delta p_{st}$  = στατική διαφορά πίεσης σε Pa

$\Delta p_d$  = δυναμική διαφορά πίεσης σε Pa

$\Delta p_{ges}$  = ολική διαφορά πίεσης σε P

1. Λειτουργία από πλευρά αναρρόφησης (Σχ.12.3 ). Ο ανεμιστήρας έχει να υπερνικήσει αντίσταση μόνο στην πλευρά αναρρόφησης και αποβάλλει ελεύθερα αέρα προς τα έξω.

$$\text{Ολική ανύψωση της πίεσης } \Delta p_{ges} = \Delta p_{st1} + ( p_{d2} - p_{d1} ).$$

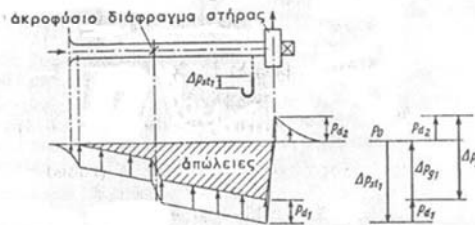
2. Λειτουργία από πλευρά κατάθλιψης (Σχ.12.4). Ο ανεμιστήρας έχει να υπερνικήσει αντίσταση μόνο στην πλευρά κατάθλιψης και αναρροφά ελεύθερα μέσω ενός ακροφυσίου.

$$\text{Ολική ανύψωση της πίεσης } \Delta p_{ges} = \Delta p_{st2} + p_{d2} .$$

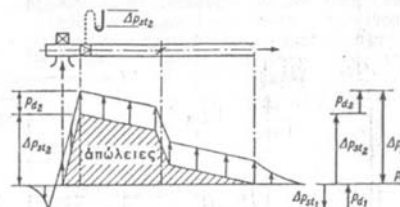
3. Λειτουργία από πλευρά αναρρόφησης και κατάθλιψης (Σχ.12-5 ).

$$\text{Ολική ανύψωση της πίεσης } \Delta p_{ges} = \Delta p_{st1} + \Delta p_{st2} + ( p_{d2} - p_{d1} ) .$$

Αυτές οι τρεις δοκιμές δεν δίνουν πάντοτε το ίδιο αποτέλεσμα με κατά τα άλλα ίδιες συνθήκες. Διαφορές στην πίεση  $\pm 2 \%$ , στον όγκο  $\pm 5 \%$ , είναι δυνατές. Είναι προγραμματισμένη από την Eurovent και την ISO/TC 117 η εγκαταστημένη τυποποιημένων δοκιμαστικών τραπεζών.



Σχ. 331 - 40. Κατανομή πίεσης σε ανεμιστήρα με ελεύθερη απόβολή αέρα και άγωγό αναρρόφησης



Σχ. 331 - 41. Κατανομή πίεσης ανεμιστήρα με ελεύθερη αναρρόφηση με άγωγό κατάθλιψης

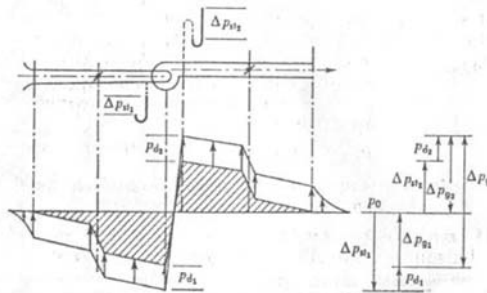
Εάν η διατομή αναρρόφησης και η αποβολή του αέρα είναι ίσες, τότε

$$p_{d2} = p_{d1} \text{ και } \Delta p_d = 0.$$

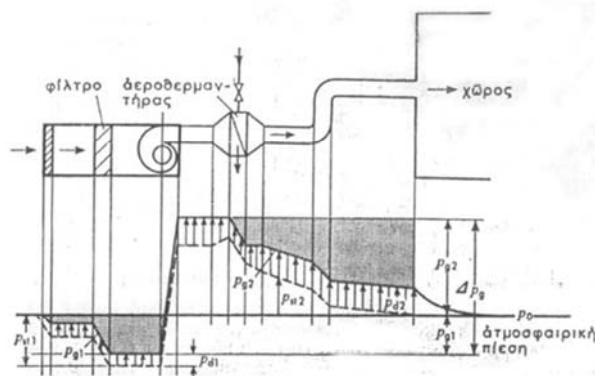
Η ολική διαφορά πίεσης  $\Delta p_{ges}$  μπορεί να είναι ακόμη και μικρότερη από την στατική διαφορά πίεσης  $\Delta p_{st}$ , εάν είναι δηλαδή  $\Delta p_d < 0$ .

Για την απαίτηση ισχύος στον άξονα, συνηθίζονται δύο μέθοδοι μέτρησης, η μέτρηση με κινητήρα ταλάντωσης και η ηλεκτρική μέτρηση, κατά VDE 0530.

Στο σχήμα 12.6 φαίνεται η τυπική κατανομή πίεσης κατά μήκος της διαδρομής του αέρα σε μια απλή εγκατάσταση αερισμού.



Σχ. 331 - 42. Κατανομή πίεσης σε έναν ανεμιστήρα με άγωγο άναρρόφησης και κατάθλιψης



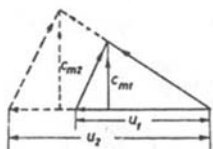
(Σχ. 331 - 45. Κατανομή πίεσης σε μία εγκατάσταση αερισμού

## 13 ΝΟΜΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ

Παρατηρώντας τα τρίγωνα ταχυτήτων εξόδου αέρα κατά την αλλαγή της ποσότητας του αέρα σχ. 13.7 , παίρνουμε για έναν ορισμένο ανεμιστήρα τους παρακάτω νόμους:

- Η ποσότητα του αέρα είναι ανάλογη του αριθμού των στροφών.
- Η πίεση είναι ανάλογη του τετραγώνου του αριθμού των στροφών.
- Η απαίτηση ισχύος είναι ανάλογη του κύβου του αριθμού στροφών.

Οι νόμοι αυτοί, που ουσιαστικά ισχύουν μόνο θεωρητικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στους πραγματικούς ανεμιστήρες με ικανοποιητική ακρίβεια.



Σχ. 331 - 50. Μεταβολή του τριγώνου ταχυτήτων εξόδου του αέρα με τη μεταβολή της παροχής

## 14 ΝΟΜΟΙ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ

Σε ανεμιστήρες όμοιους μεταξύ τους διαφορετικού όμως μεγέθους, ισχύει για τον ίδιο αριθμό στροφών :

- Η ροή του όγκου είναι ανάλογη της  $3^{\text{ης}}$  δύναμης της διαμέτρου ή άλλων μεγεθών σύγκρισης.
- Η πίεση είναι ανάλογη της  $2^{\text{ης}}$  δύναμης των μεγεθών σύγκρισης.
- Η απαίτηση ισχύος είναι ανάλογη της  $5^{\text{ης}}$  δύναμης των μεγεθών σύγκρισης.

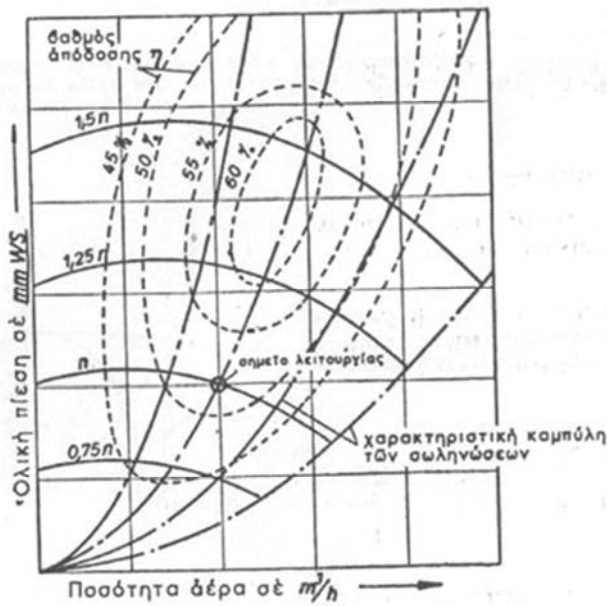
Η λειτουργική συμπεριφορά των ανεμιστήρων παριστάνεται με καμπύλες όγκου και πίεσης που ονομάζονται και χαρακτηριστικές καμπύλες. Στον οριζόντιο άξονα είναι η παροχή, στον κατακόρυφο άξονα η πίεση μεταφοράς. Σε ροή χωρίς απώλειες φαίνονται οι χαρακτηριστικές στο διάγραμμα όγκου πίεσης σαν ευθείες γραμμές, δηλ. η πίεση μεταφοράς του ανεμιστήρα μεταβάλλεται γραμμικά με μεταβαλλόμενη ποσότητα μεταφοράς. Οι διάφορες απώλειες επενεργούν όμως στην πραγματική ροή μια σημαντική διαφορά των ευθειών σε μια καμπύλη όπως φαίνεται στο σχ. 14.8 . Για έναν ορισμένο ανεμιστήρα παίρνουμε για κάθε αριθμό στροφών  $n$ , μια καμπύλη που προσδιορίζεται με τις δοκιμές.





Σχ. 331 - 60. Μεταβολή της χαρακτηριστικής καμπύλης του ανεμιστήρα χωρίς απώλειες, εξαιτίας της απώλειας πίεσης

Για διαφορετικό αριθμό στροφών είναι οι καμπύλες στραγγαλισμού γεωμετρικά όμοιες καμπύλες με σημείο κορυφής πάνω σε μια παραβολή που περνά από το μηδέν (σχ. 14.9). Η αντίσταση του δικτύου σωληνώσεων συμπεριλαμβανομένων και των συσκευών που είναι εγκατεστημένες σ' αυτό, παριστάνεται στη μορφή μιας παραβολής που περνά από το μηδέν.



Σχ. 331 - 61. Πεδίο χαρακτηριστικών καμπύλων ενός φυγοκεντρικού ανεμιστήρα

Αυτό ανάγεται στο ότι η πίεση μεταφοράς είναι ανάλογη του τετραγώνου της μεταφερόμενης ποσότητας αέρα, δηλ.  $\Delta p = \text{σταθερά} \cdot V_2$ . Το εκάστοτε σημείο λειτουργίας ενός ανεμιστήρα βρίσκεται στην τομή μιας καμπύλης στροφών η και της χαρακτηριστικής καμπύλης του δικτύου σωληνώσεων.

Την αντίσταση του δικτύου σωληνώσεων μπορούμε να φανταστούμε αντικατεστημένη από ένα ακροφύσιο στην πλευρά κατάθλιψης του ανεμιστήρα. (Συνηθίζεται σε ανεμιστήρες υπογείων). Η ισοδύναμη διατομή ακροφυσίου  $F_g$  λαμβάνεται από την εξίσωση

$$V = F_g \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad \text{και} \quad F_g = \frac{V}{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}} \approx \frac{V}{1.5 \cdot \sqrt{\Delta p}} \quad \text{σε} \quad \text{m}^2$$

$\Delta p$  σε Pa

$\rho = 1,5 \text{ Kg/m}^3$

Οι βαθμοί απόδοσης φαίνονται στο διάγραμμα πίεσης και όγκου σαν κλειστές επιμήκεις καμπύλες, οι λεγόμενες ωειδείς καμπύλες ή καμπύλες μορφής αχιβάδας.

Μια περισσότερο παραστατική απεικόνιση δίνει η παράσταση των χαρακτηριστικών καμπυλών σε διπλό λογαριθμικό διάγραμμα, βλέπε (διαγρ. 15.10). Οι χαρακτηριστικές καμπύλες του δικτύου σωληνώσεων, είναι ευθείες, κεκλιμένες κατά μια ορισμένη γωνία ως προς τον οριζόντιο άξονα. Επειδή οι καμπύλες βαθμού απόδοσης είναι και αυτές παραβολικής μορφής στις συνηθισμένες περιοχές λειτουργίας, παριστάνονται στο διπλολογαριθμικό σύστημα με ευθείες γραμμές. Όλα τα σημαντικά στοιχεία όπως παροχή, αριθμός στροφών, περιφερική ταχύτητα στατική ή δυναμική πίεση, ταχύτητα αναρρόφησης και αριθμός στροφών, μπορούν να αναγνωρισθούν αμέσως από το διάγραμμα, πολλές φορές ακόμη και η ένταση θορύβου. Το διάγραμμα ισχύει για όλα τα μεγέθη μιας ορισμένης σειράς κατασκευής.

Την παράλληλη λειτουργία περισσότερων ανεμιστήρων παίρνουμε σαν συνισταμένη χαρακτηριστική καμπύλη από το άθροισμα των παροχών στις εκάστοτε πιέσεις (σχήμα 15.11). Το σημείο λειτουργίας είναι η τομή με την χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου.

Πρέπει όμως να προσέξουμε ώστε το σημείο τομής να βρίσκεται στο τμήμα πτώσης της χαρακτηριστικής καμπύλης του ανεμιστήρα Α, γιατί διαφορετικά η αύξηση της ροή με την βοήθεια του δεύτερου και τρίτου ανεμιστήρα είναι πολύ μικρή.

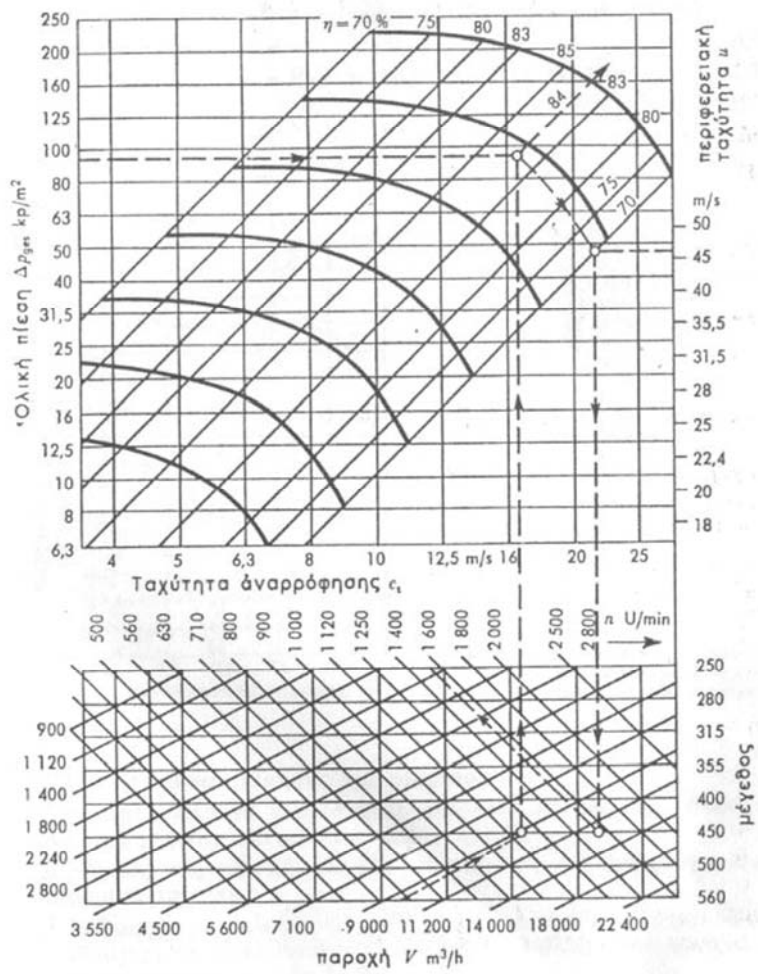
## 15 ΑΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Η παροχή και ο όγκος συσχετίζονται με κατασκευαστικά μεγέθη του ανεμιστήρα. Γι' αυτό είναι κατάλληλη η εξωτερική διάμετρος του τροχού  $d$  και η περιφερειακή του ταχύτητα  $u$ .

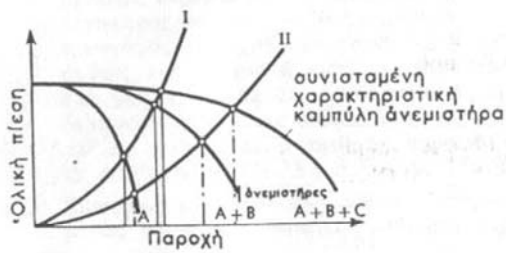
Στον κατακόρυφο άξονα δεν αναγράφεται πια η πίεση αλλά η σχέση της πίεσης προς την στατική πίεση της περιμετρική ταχύτητας, στον οριζόντιο άξονα μπαίνει η σχέση της πραγματικής ποσότητας αέρα προς την υποθετική ποσότητα του αέρα.

Ορίζουμε σαν

συντελεστή παροχής  $\phi = \frac{V}{\pi \cdot d^2 / 4 \cdot u} = \frac{V}{F \cdot u}$   $F = \text{επιφάνεια της εξωτερικής}$   
διαμέτρου και παίρνουμε  
 $V = F \cdot u \cdot \phi$  σε  $\text{m}^3/\text{s}$



Διάγρ. 331-62. Τυπικό πεδίο χαρακτηριστικών καμπύλων ενός φυγοκεντρικού ανεμιστήρα με πτερό-  
 για με κλίση προς τα εμπρός στο διπλολογαριθμικό διάγραμμα (Schaile, σειρά κατασκευής 3-231)  
 $1 \text{ kPa} = 9,81 \text{ Pa} \approx 10 \text{ Pa}$



Σχ. 331 - 65. Παράλληλη λειτουργία  
 τριών ανεμιστήρων. Η χαρακτηρι-  
 στική του δικτύου I είναι δυσμενής

Μπορούμε στην θέση του F να βάλουμε και την επιφάνεια αναρρόφησης, οπότε παίρνουμε

$$\phi = \frac{c_3}{u}, \text{ πράγμα που είναι πιο λογικό.}$$

$$\text{συντελεστής πίεσης } \psi = \frac{\Delta p_{ges}}{\frac{\rho}{2} \cdot u^2} = \frac{\text{ολική διαφορά πίεσης}}{\text{δυναμική πίεση της περιφερειακής ταχύτητας}}$$

όπου

$$\Delta p = \psi \cdot (\rho/2) \cdot u^2$$

Ακόμη ισχύει

$$\text{συντελεστής ισχύος } \lambda = \frac{V \cdot \Delta p_{ges}}{n \cdot F u \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2} = \frac{\phi \cdot \psi}{n},$$

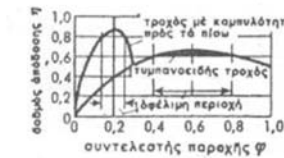
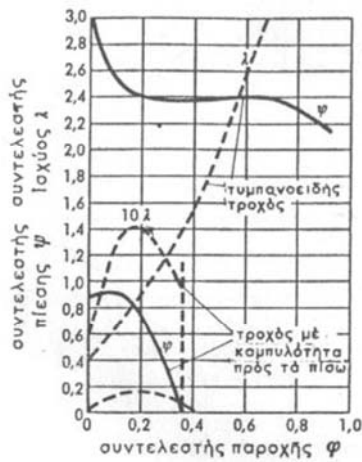
$$\text{όπου } P = \lambda \cdot F u \cdot (\rho/2) \cdot u^2 \text{ σε W}$$

(kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>)

Το σχ. 15.12 δείχνει τις αδιάστατες χαρακτηριστικές καμπύλες για διάφορους τύπους κατασκευής ανεμιστήρων στην τεχνική αερισμού. Από τη σύγκριση αυτών των καμπυλών καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα :

1. Με τον ίδιο αριθμό στροφών έχουν τροχοί με πτερύγια με καμπυλότητα προς τα εμπρός μεγαλύτερη ισχύ μεταφοράς απ' ότι με πτερύγια με καμπυλότητα προς τα πίσω, δηλαδή παράγουν για την ίδια ποσότητα του αέρα μεγαλύτερη πίεση ή μεταφέρουν για την ίδια πίεση μεγαλύτερη ποσότητα αέρα.
2. Για ανερχόμενη μεταφερόμενη ποσότητα ανέρχεται η απαίτηση ισχύος ( καμπύλη των λ) των τροχών με πτερύγια με καμπυλότητα προς τα πίσω σχετικά λίγο, ενώ η αντίστοιχη για τους τροχούς με καμπυλότητα προς τα μπρος ανέρχεται σημαντικά. Σ' αυτούς τους τελευταίους ανεμιστήρες πρέπει να γίνεται ο προσδιορισμός της αντίστασης με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιμέλεια, γιατί διαφορετικά μπορεί ο κινητήρας να υπερφορτωθεί.
3. Ο βαθμός απόδοσης είναι σε πτερύγια με καμπυλότητα προς τα πίσω σημαντικά ψηλότερα απ' ότι σε πτερύγια με καμπυλότητα προς τα μπρος, αλλά όμως σε μια μικρή περιοχή.
4. Με ανερχόμενη αντίδραση της εγκατάστασης μεταβάλλεται η παροχή σε τυμπανοειδείς τροχούς περισσότερο απ' ότι σε τροχούς με καμπυλότητα προς τα πίσω.

Οι αδιάστατες χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύουν με μεγάλη ακρίβεια για μέσα μεγέθη ανεμιστήρων και ανοίγματα αναρρόφησης από 400 ως 500 mm διάμετρο. Για μικρότερους και μεγαλύτερους ανεμιστήρες εμφανίζονται μικρές αποκλίσεις, επειδή οι ροές δεν είναι πια μεταξύ τους όμοιες. Σε ανεμιστήρες με 200 ως 1000 mm άνοιγμα αναρρόφησης διατηρούνται όμως οι αποκλίσεις σε πολύ μικρά όρια. Προϋπόθεση για τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των καμπυλών είναι φυσικά ότι διάφορα μεγέθη των διάφορων τύπων ανεμιστήρων πρέπει να έχουν ανάλογες διαστάσεις. Εάν όπως συμβαίνει συχνά, αλλάξουν κάποιες διαστάσεις σε μεγαλύτερους ανεμιστήρες, π.χ. αριθμός πτερυγίων ή γωνία πτερυγίων, τότε αλλάζουν και οι χαρακτηριστικές καμπύλες. Μέσοι βαθμοί απόδοσης δίνονται στο διάγρ. 15.13.



Διάγρ. 331 - 71. Βαθμοί ἀπόδοσης ἀνεμιστήρων

Διάγρ. 331 - 70. Τυπικές χαρακτηριστικές αδιάστατες καμπύλες φυγοκεντρικών ἀνεμιστήρων τοῦ ἀέρισμοῦ

## 16 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

Στη πράξη, ὅλοι οι ανεμιστήρες παίρνουν κίνηση ἀπὸ ηλεκτροκινητήρες. Οι διάφοροι μέθοδοι φαίνονται στο σχ. 16.14.

Η ρύθμιση παροχής για την προσαρμογή στις απαιτήσεις είναι δυνατή κατὰ διάφορους τρόπους:

- Ρύθμιση στραγγαλισμοῦ με μετατιθέμενη δικλείδα για σταθερό αριθμό στροφών, ιδιαίτερα σε τυμπανοειδείς τροχούς. Φθινή και αντιοικονομικοί. Περιοχή ρύθμισης περίπου 100 ως 85 %.
- Ρύθμιση στροφορμής για σταθερό αριθμό στροφών, ὅπου το ρεύμα ἀέρα πριν ἀπὸ την εἴσοδο στην πτερωτή με τη βοήθεια ρυθμιζόμενων πτερυγίων παίρνει μια αρχική περιστροφική κίνηση στην κατεύθυνση της πορείας του. Ιδιαίτερα για μεγάλες ισχύες. Περιοχή ρύθμισης περίπου 100 ως 65 %.

c) Ρύθμιση αριθμού στροφών με τη βοήθεια των διάφορων ηλεκτρικών μεθόδων μετάδοσης κίνησης, όπως δρομέας περιστροφικού δακτυλίου με ρυθμιζόμενη αντίσταση, κινητήρας συλλέκτου με μετατιθέμενες ψύκτρες, κινητήρας συνεχούς ρεύματος με μαγνήτη σε διακλάδωση ακόμη και μηχανικά κιβώτια ταχυτήτων ρύθμισης (Simpla-Belt κ.α.)

Για μικρές ισχύες έως 5kW περίπου, κυρίως χρησιμοποιούνται κινητήρες με δισκοειδή μαγνητικό σπλισμό, στους οποίους με την αλλαγή της τάσης στις κλέμες ρυθμίζεται ο αριθμός στροφών μέσω μετασχηματισμού τάσης από 0 ως 100 % (Εικ. και διάγρ, ).

d) Κινητήρες με μεταλλαγή πόλων. Βαθμωτή αλλαγή αριθμού στοφών, ενδεχομένως με συμπληρωματική ρύθμιση στραγγαλισμού. Η ρύθμιση του αριθμού στροφών είναι σε κάθε περίπτωση η πιο ευνοϊκή στη λειτουργία ακόμη και σχετικά με τη δημιουργία θορύβων, εφόσον δεν απαιτείται στο δίκτυο διατήρηση σταθερής πίεσης.

e) Παράλληλη λειτουργία περισσότερων μικρών ανεμιστήρων αντί μιας μεγάλης μονάδας, όπου ο ένας ρυθμίζεται με στραγγαλισμό ενώ οι άλλοι ανάλογα με το φορτίο τίθενται σε κίνηση ή παύουν τη λειτουργία.

Τύπος άνεμιστήρα	άξονικός	φυγοκεντρικός	
		με μονό- πλευρη άναρρόφηση	με άμφι- πλευρη άναρρόφηση
άμευθείας μετάδοση κίνησης από τον άξονα του κινητήρα			
μετάδοση κίνησης με μη ελαστικό συμπλέκτη ή συμπλέκτη δίσκωσης			
μετάδοση κίνησης με Ιμόντα			
άμευθείας μετάδοση κίνησης με έξωτερικό κινητήρα			

Στο διάγραμμα 16.15 φαίνεται η σχετική αλλαγή της απαίτησης ισχύος  $P$  με τη μείωση της παροχής  $V$  έναντι της ωφέλιμης κατάστασης λειτουργίας  $V_0$ . η θεωρητικά ευνοϊκότερη λειτουργία δίνεται σύμφωνα με τους νόμους αναλογίας από την παραβολή  $(V/V_0)^3$ . Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος εγκατάστασης για τη μετάδοση κίνησης, το οποίο είναι πολλές φορές αρκετά υψηλό.

Διάγρ. 331 - 73. Σχετική απαίτηση ισχύος φυγοκεντρικών άνεμιστήρων για διαφορετικές ρυθμιστικές μεθόδους (χωρίς απώλειες του κινητήρα). Η καμπύλη της ρύθμισης του αριθμού στροφών ισχύει και για τη ρύθμιση των κινητών πτερυγίων σε άξονικούς άνεμιστήρες  
 $\Gamma$  = με καμπυλότητα προς τα πίσω  
 $\nu$  = με καμπυλότητα προς τα εμπρός (τυμpanοειδής τροχός)





## 17 ΕΚΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

Για μια ορισμένη ισχύ ανεμιστήρα, είναι κατάλληλα περισσότερα μεγέθη. Η εκλογή γίνεται με κριτήρια τον θόρυβο, την τιμή, την απαίτηση χώρου, την απαίτηση χώρου, τη μορφή των χαρακτηριστικών καμπυλών, κατάσταση τοποθέτησης, ασφάλεια λειτουργίας, βαθμό απόδοσης. Στη πράξη, για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους προσφέρουν οι προμηθευτές πίνακες ισχύων και διαστάσεων.

Ένα σημαντικό κριτήριο είναι σε εγκαταστάσεις αερισμού το θέμα των θορύβων

Οι θόρυβοι μεγαλώνουν με την πίεση μεταφοράς  $\Delta p$

μικρές πιέσεις	0 ως 20	mmWS	(0 ως 200 Pa)
μέσες πιέσεις	20 ως 100	mmWS	(200 ως 1000 Pa)
υψηλές πιέσεις	> 100	mmWS	( > 1000 Pa)

Μικρή ταχύτητα αναρρόφησης δεν σημαίνει οπωσδήποτε και λίγους θορύβους

μικρή ταχύτητα αναρρόφησης	$c_s = <10$ m/s
μέση ταχύτητα αναρρόφησης	$c_s = 10$ ως 15 m/s
μικρή ταχύτητα αναρρόφησης	$c_s = >15$ m/s

Είναι σημαντικό για να πάρουμε ανεμιστήρες με όσο το δυνατόν λιγότερους θορύβους, να δουλεύουμε με μικρές πιέσεις μεταφοράς και συνεπώς με μικρές περιφερειακές ταχύτητες, έτσι όμως γίνονται οι ανεμιστήρες ακριβοί. Σε πολλές περιπτώσεις είναι σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε μικρότερους και γρηγορότερους φθηνούς ανεμιστήρες και να μειώνουμε τους θορύβους του ανεμιστήρα με ηχοαποσβεστήρες.

Το κόστος απόκτησης της εγκατάστασης είναι για την περιοχή μικρών πιέσεων το μικρότερο για τυμπανοειδής τροχούς, για την περιοχή υψηλότερων πιέσεων βρίσκεται σε ανεμιστήρες με πτερύγια με καμπυλότητα προς τα πίσω. Χρησιμοποιούμε τυμπανοειδείς τροχούς μόνον σε πιέσεις μέχρι 600...650 Pa, γιατί διαφορετικά γίνεται η καταπόνηση σε κάμψη πολύ μεγάλη. Σχεδόν επίπεδες χαρακτηριστικές καμπύλες. Ο βαθμός απόδοσης στους ανεμιστήρες που χρησιμοποιούμε στον αερισμό δεν είναι πάντοτε πρωταρχικής σημασίας, αλλά μόνον όταν πρόκειται για μεγάλες ποσότητες αέρα, υψηλές πιέσεις και μεγάλη διάρκεια λειτουργίας. Τότε πρέπει να εκλέγουμε ανεμιστήρες υψηλής ισχύος με πτερύγια καμπυλωμένα προς τα πίσω.

Μέγιστος βαθμός απόδοσης για πτερύγια προς τα πίσω  $\approx 85\%$  για πτερύγια με καμπυλότητα προς τα εμπρός  $\approx 60\%$ .

Μια ελάχιστη αλλαγή πίεσης (π.χ. ρύπανση του φίλτρου), συνεπάγεται στις επίπεδες χαρακτηριστικές καμπύλες (τυμπανοειδείς τροχού), μεγάλη αλλαγή της ποσότητας του αέρα, για χαρακτηριστικές καμπύλες με μεγάλη κλίση (ανεμιστήρες υψηλής ισχύος) συνεπάγεται αντιθέτως μόνον ελάχιστη μεταβολή της ποσότητας του αέρα.

Πρέπει ακόμη να δοθεί προσοχή στο ότι τυμπανοειδής τροχοί έχουν πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση ισχύος με αυξανόμενη ποσότητα αέρα, έτσι που να υπερφορτίζονται εύκολα οι κινητήρες.

Ανεμιστήρες με μετάδοση κίνησης τραπεζοειδών ιμάντων πρέπει να προτιμώνται σε πολλές περιπτώσεις ακόμη και για μικρές ισχύες, γιατί η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση των κινητήρων είναι ευκολότερη και μια αργότερη μεταβολή της ισχύος σε αέρα ή της πίεσης μεταφοράς να είναι δυνατή με την αλλαγή της σχέσης μετάδοσης του ιμάντα.

Κατά τη μεταφορά δραστικών αερίων ή ατμών, χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες κατασκευασμένοι από πλαστικό ή ευγενή χάλυβα. Η πίεση μεταφοράς είναι περιορισμένη. Κυρίως χρησιμοποιούνται συνθετικές ύλες όπως χλωρίδιο του πολυβινυλίου (PVC), πολυαιθυλένιο (PP) πολυστυρόλη, πολυαμίδη και ρητίνες πολυεστέρα με ενίσχυση υάλινων ινών. Η επιτρεπόμενη θερμοκρασία δεν είναι σε καμιά περίπτωση πάνω από  $100^{\circ}\text{C}$ .

Η παραλαβή και οι δοκιμές ισχύος γίνονται σύμφωνα με τις οδηγίες VDI 2044.

Έχει αρχίσει μια διεθνής συνεργασία για τη σύνταξη προδιαγραφών για ανεμιστήρες «δοκιμαστηρίων» από την ISO και την Eurovent.

## 18 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από μετρήσεις που λάβαμε στο εργαστήριο μετρώντας την ταχύτητα του αέρα σε διάφορες μετρήσεις της εξόδου του φουσητήρα σχηματίσαμε τον ακόλουθο πίνακα:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
17,85	14,85	17,15	16	16,8	14,62	14,13	15,9	20,1	17,06

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
18,94	21,38	21,9	16,9	21,1	21	19,85	19,45	22,15	22,87

Η μέση τιμή της ταχύτητας που προκύπτει είναι:

$$v = 18,5 \text{ m/s}$$

Έπειτα βρίσκουμε την πραγματική παροχή πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα με την διατομή του φουσητήρα στην έξοδο:

$$Q_{\text{πραγ.}} = 18,5 \text{ m/s} \cdot 0,000504 \text{ m}^2 = 0,009 \text{ m}^3/\text{s}$$

Η πραγματική πίεση στην έξοδο του φουσητήρα είναι, ύστερα από μέτρηση στο εργαστήριο :

$$\Delta p_{\text{πραγ.}} = 12,86 \text{ mm WG} = 126,028 \text{ Pa}$$

Αν διαιρέσουμε την πραγματική πίεση με την θεωρητική πίεση βλέπουμε ότι:

$$n = \frac{\Delta p_{\text{πραγ.}}}{\Delta p_{\text{θεωρ.}}} = \frac{126,028}{322,42} = 0,39 \text{ ή } = 39 \%$$

Αυτή η διαφορά υφίσταται λόγω των απωλειών παροχής και λόγω της απόστασης μεταξύ του στροφείου και της εξόδου του φουσητήρα, όπου μειώνεται η πίεση.



## Σημειώσεις

$A$	Διατομές
$b$	Μήκος λεπίδων ή πλάτος στροφείων
$c$	Απόλυτη ταχύτητα ρευστού
$d, D$	Διάμετρος
$g$	Επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας
$h$	Ενθαλπία
$\Delta h$	Αλλαγή στην ενθαλπία
$m$	Ροή μάζας
$N$	Στροφές κινητήρα σε rpm
$p$	Πίεση
$\Delta p$	Αλλαγή πίεσης
$P$	Δύναμη
$Q$	Παροχή ροής
$R$	Βαθμός αντίδρασης, σταθερά αερίου
$t$	Πάχος λεπίδων, θερμοκρασία
$T$	Απόλυτη θερμοκρασία
$u$	Εφαπτόμενη ταχύτητα
$v$	Συγκεκριμένος όγκος
$w$	Σχετική ταχύτητα ή συγκεκριμένο έργο
$z$	Αριθμός λεπίδων στροφών

## Ελληνικά σύμβολα

$\alpha$	Κατεύθυνση της απόλυτης ταχύτητας
$\beta$	Κατεύθυνση της σχετικής ταχύτητας
$\eta$	Απόδοση
$\rho$	Ρευστή πυκνότητα
$\phi$	Συντελεστής ροής
$\psi$	Συντελεστής πίεσης
$\omega$	Περιστροφική ταχύτητα σε $\frac{rad}{sec}$

## Υπογεγραμμένοι

0	Συνολικά
1	Είσοδος στροφείων
2	Έξοδος στροφείων
$f$	Ανεμιστήρας
$i$	Ιδανικό
$r$	Στροφέας ή στροφείο, ακτινωτός
$st$	Στάδιο
$\theta$	Εφαπτόμενος

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Turbines, Compressors and Fans
2. Αερισμός και κλιματισμός
3. Γεώργιος Στοίλας Υδροδυναμικές μηχανές
4. Δρ. Στ. Α. Μαυρομάτης Μηχανολογικό Σχέδιο