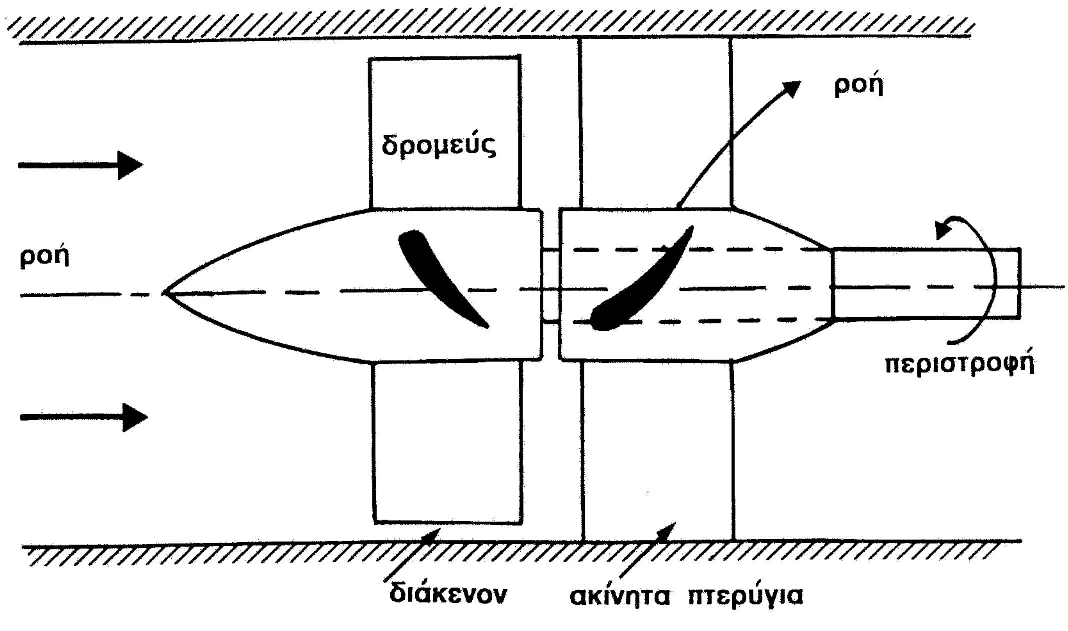
ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 5 ΑΝΤΛΙΑΙ

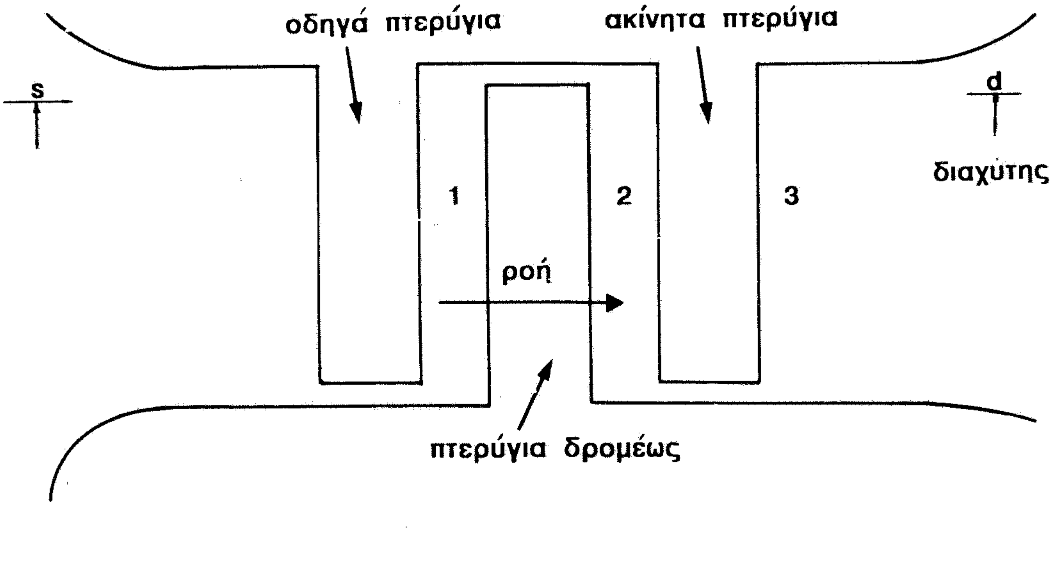
5.1 ΑΝΤΛΙΑΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Η αντλία αξονικής ροής ή τύπου έλικος είναι ανάλογος του στροβίλου αξονικής ροής και παρομοία εις την εμφάνισιν. Η ονομασία της προέρχεται εκ του γεγονότος ότι η κυρίως ροή βαίνει παραλλήλως προς τον άξονα περιστροφής (άτρακτον) της αντλίας. Εις το Σχήμα 5.1 δεικνύεται αντλία τύπου αξονικής ροής με σειρά πτερυγίων προσηρμοσμένων επί του δρομέως.



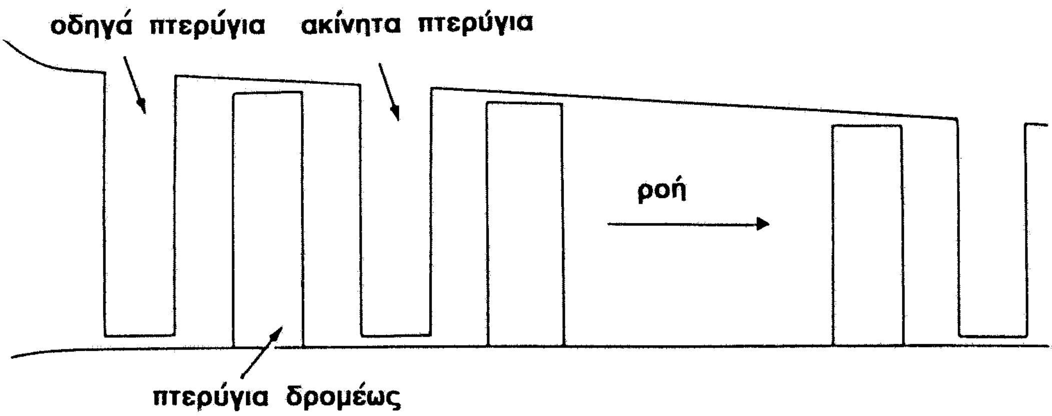
Σχήμα 5.1 Τυπική μορφή αξονικής αντλιας

ως επίσης και σειρά ακινήτων πτερυγίων. Ο δρομεύς περιστρέφεται εντός κυλινδρικού πλαισίου, ικανοποιητικού μήκους, ώστε η ροή κατά το δυνατόν να είναι ομοιόμορφος εκατέρωθεν της αντλίας. Το διάκενον μεταξύ των κορυφών των πτερυγίων και του περιβάλλοντος κελύφους είναι το κατά δύναμιν ελάχιστον. Κατάντη της εξόδου εκ του δρομέως τοποθετείται, συνήθως, μία σειρά ακινήτων πτερυγίων σκοπός των οποίων είναι η απομάκρυνσις της εφαπτομενικής συνιστώσης της ροής. Σύγχροναι αξονικαί αντλίαι δυνατόν να έχουν τα πτερύγια του δρομέως μεταβλητά, κατά την διάρκεια της λειτουργίας των, ώστε να διατηρείται υψηλή απόδοσις λειτουργίας εις ευρύ φάσμα παροχών. Ανάντη του δρομέως σπανίως τοποθετούνται οδηγά πτερύγια. Αυτό γίνεται εις ειδικάς εφαρμογάς, ιδέ Σχήμα 5.2. Η μονοβάθμιος αξονική αντλία αποτελείται από μιάν σειράν πτερυγίων του δρομέως και μιάς σειράς ακινήτων πτερυγίων. Εις μίαν



Σχήμα 5.2 Ανάντη του δρομέως υπάρχει μία σειρά οδηγών πτερυγίων

μηχανήν δυνατόν να υπάρχουν πέραν της μιάς βαθμίδος οπότε ομιλεί τις περί πολυβαθμίου αντλίας, ιδέ Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3 Πολυβάθμιος αντλία αξονικής ροής

ΑΝΤΛΙΑΙ

Το ρευστόν επιταχύνεται από μηδενική ή σχεδόν μηδενική κατάστασιν προς την είσοδον του δρομέως. 'Οτε δεν υπάρχουν οδηγά πτερύγια ανάντη του δρομέως, πτώσις της πιέσεως είναι αναγκαία διά την δημιουργίαν μιάς αξονικής ταχύτητος $V_1 = V_\alpha$. 'Οτε όμως υπάρχουν οδηγά πτερύγια τότε ο σκοπός των είναι να αναπτύξουν μίαν εφαπτομενικήν ταχύτηταν εισόδου V_{t1}. Κατά τον τρόπον τούτον ελέγχονται αι χαρακτηριστικαί λειτουργίαι της αντλίας. Ο δρομεύς μεταδίδει ενέργειαν εις το ρέον ρευστόν και η πίεσις κατά μήκος του δρομέως άρχεται υψουμένη. Η απόλυτος ταχύτης V_2 εις την έξοδον εκ του δρομέως είναι μεγαλυτέρα της αντιστοίχου ταχύτητος της εισόδου και η λειτουργία της σειράς των διαχυτών πτερυγίων κατάντη του δρομέως είναι να μετατρέψουν το δυνατόν μεγαλύτερον τμήμα της κινητικής ενεργείας εις περαιτέρω αύξησιν της πιέσεως. Μετά την έξοδον εκ της σειράς των σταθερών πτερυγίων το ρευστόν περιέχει ικανήν αξονικήν ταχύτητα και σκοπός των διαχυτήρων, κατάντη της σταθερής σειράς των πτερυγίων, ιδέ Σχήμα 5.2, είναι να μετατρέψη αύτην (την κινητικήν ενέργειαν) εις αύξησιν πιέσεως ώστε το ρευστόν να καταθλίπτεται με μηδενικήν, κατά το δυνατόν, ταχύτηταν.

5.1.1 Βασικαί εξισώσεις αξονικής βαθμίδος

Λαμβάνοντας ως αναφοράν μίαν τυπικήν βαθμίδαν και δι' εφαρμογής της ενεργειακής εξισώσεως 2.29 μεταξύ των σημείων s και 1, ιδέ Σχήμα 5.2, είναι,

s-1

$$z_s + \frac{p_s}{\rho g} + \frac{V_s^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{fs-1} \qquad (5.1)$$

ένθα h_{fs-1} είναι αι απώλειαι ενεργείας, ανά μονάδαν βάρους, κατά την μετακίνησιν του ρευστού εκ της θέσεως s προς την θέσιν 1. Μεταξύ των σημείων 1 και 2 είναι, 1-2

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + WI = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2} \qquad (5.2)$$

οπότε,

$$WI = (z_2 - z_1) + (\frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g}) + (\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}) + h_{f1-2} \qquad (5.3)$$

ένθα (WI) είναι το προσφερθέν έργον, ενέργεια ανά μονάδα βάρους του ρευστού, (μέτρα ύδατος). Μεταξύ των σημείων 2 και 3 είναι,

2-3

$$z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} + h_{f2-3} \qquad (5.4)$$

ενώ μεταξύ των σημείων 3 και d είναι,

3-d

$$z_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} = z_d + \frac{p_d}{\rho g} + \frac{V_d^2}{2g} + h_{f3-d} \qquad (5.5)$$

Δι' αθροίσεως των εξισώσεων 5.1, 5.2, 5.4 και 5.5 προκύπτει ότι,

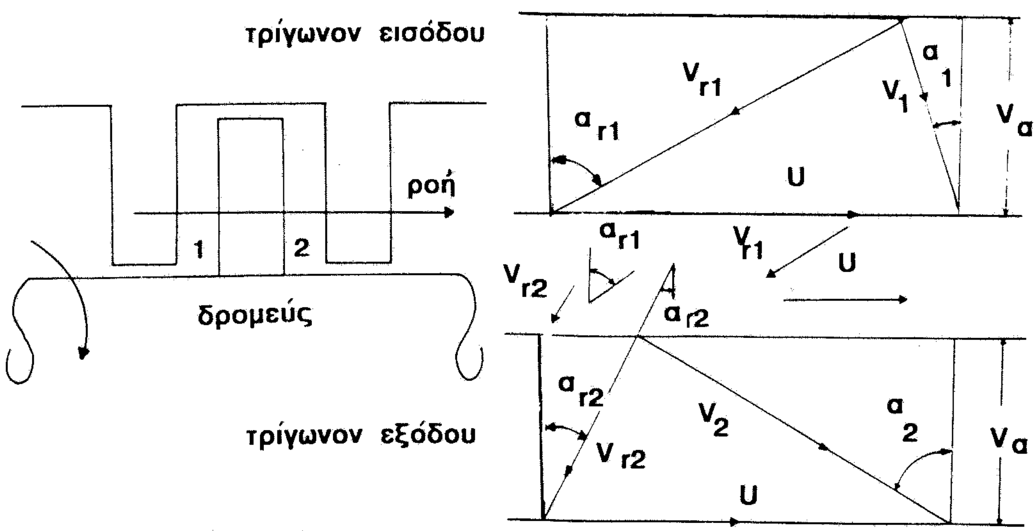
$$WI = (z_d - z_s) + (\frac{p_d}{\rho g} - \frac{p_s}{\rho g}) + (\frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}) + h_{fs-d} \qquad (5.6)$$

Η ανωτέρω σχέσις θεωρείται ως η πλέον βασική εξίσωσις των αξονικής ροής αντλιών. Ο όρος h_{fs-d} $(= h_{fs-1} + h_{f1-2} + h_{f2-3} + h_{f3-d})$ παριστά τας απωλείας ενεργείας ανά μονάδαν βάρους τας οποίας υπέστη το ύδωρ κατά τον ρουν του εκ της θέσεως s προς την θέσιν d. Εάν θεωρηθή ως ολικόν φορτίον H_o η έκφρασις, $z + p/\rho g + V^2/2g$ και ως ολική πίσεσις p_o η έκφρασις $p + \rho V^2/2$, τότε εκ των εξισώσεων 5.3 (εάν υποτεθεί ότι $z_1 = z_2$ το οποίον είναι κατά προσέγγισιν αληθές) και 5.6 είναι,

$$WI = H_{o2} - H_{o1} + h_{f1-2} = \frac{p_{o2} - p_{o1}}{\rho g} + h_{f1-2} = H_{od} - H_{os} + h_{fs-d} \qquad (5.7)$$

5.1.2 Τρίγωνα ταχυτήτων αντλίας αξονικής ροής

Ας θεωρηθή ότι το ρευστόν προσεγγίζει τον δρομέα με απόλυτον ταχύτηταν V_1, γωνίαν προσβολής α_1 (σχηματιζομένην μεταξύ της απολύτου ταχύτητος V_1 και της αξονικής διευθύνσεως και όχι της εφαπτομενικής διευθύνσεως όπως είναι ο συμβατικός τρόπος υπολογισμών εις την θεωρίαν των υδροστροβίλων) και έστω ότι ο δρομεύς κινείται προς τα δεξιά με ταχύτηταν U, ιδέ Σχήμα 5.4. Τότε η σχετική ταχύτης, V_{r1}, δηλαδή η



Σχήμα 5.4 Τρίγωνα ταχυτήτων βαθμίδος αξονικής αντλίας

ταχύτης η οποία εκφράζεται σχετικώς με τον δρομέα, δίδεται εκ του τριγώνου εισόδου του ρευστού εις τον δρομέα,

$$\bar{V}_{r1} = \bar{V}_1 - \bar{U} \tag{5.8}$$

Το ρευστόν προσεγγίζει το κινούμενον πτερύγιον με γωνίαν a_{r1}. Μετά την διέλευσίν του εκ του χώρου του ευρισκομένου μεταξύ των δύο πτερυγίων το ύδωρ αφήνει τον δρομέα με μίαν γωνίαν a_{r2} ενώ έχει μίαν ταχύτηταν, σχετικώς προς τον δρομέαν, V_{r2}. Οι τιμές των V_{r2} και a_{r2} είναι μικρότεραι των αντιστοίχων τιμών εις την είσοδον. Το τρίγωνον των ταχυτήτων εις την έξοδον είναι,

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_{r2} + \bar{U} \tag{5.9}$$

επομένως το ρευστόν εξέρχεται με μίαν απόλυτον ταχύτηταν V_2. Το συνδυασμένον διάγραμμα των τριγώνων εισόδου-εξόδου εμφαίνεται εις το Σχήμα 5.5. Να σημειωθή ότι : α) αι γωνίαι a είναι γωνίαι του ρευστού, β) η αξονική ταχύτης διατηρείται σταθερή εντός της αξονικής βαθμίδος και γ) $V_{r2}<V_{r1}$ και $V_2>V_1$. Εκ της θεωρίας της συστροφής, Παράγραφος 2.3, είναι,

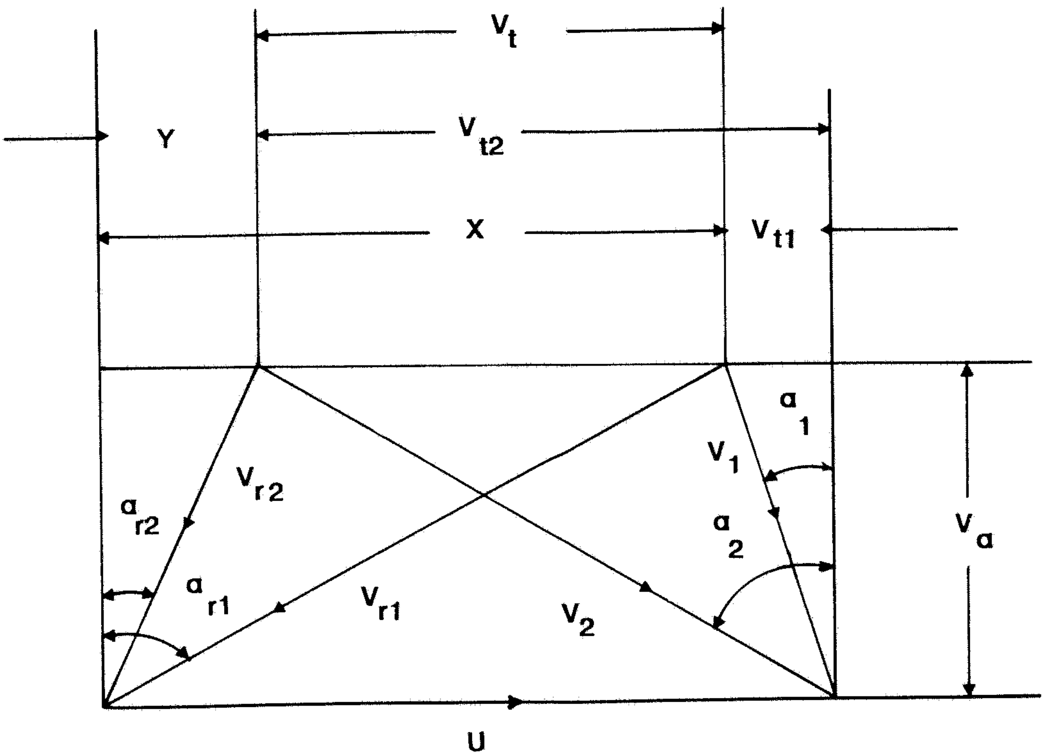
$$WI = \frac{UV_t}{g} \tag{5.10}$$

ένθα,

$$V_t = V_{t2} - V_{t1} \tag{5.11}$$

άρα,

$$WI = \frac{U\,(V_{t2} - V_{t1})}{g} \tag{5.12}$$



Σχήμα 5.5Συνδυασμένα τρίγωνα ταχυτήτων εισόδου-εξόδου του δρομέως αντλίας αξονικής ροής

επίσης εκ του τριγώνου **των ταχυτήτων** της εισόδου είναι,

$$V_{r1}^2 = U^2 + V_1^{\,2} - 2.0\ U\ V_{t1} \tag{5.13}$$

άρα,

$$U\ V_{t1} = \frac{U^2 + V_1^{\,2} - V_{r1}^2}{2.0} \tag{5.14}$$

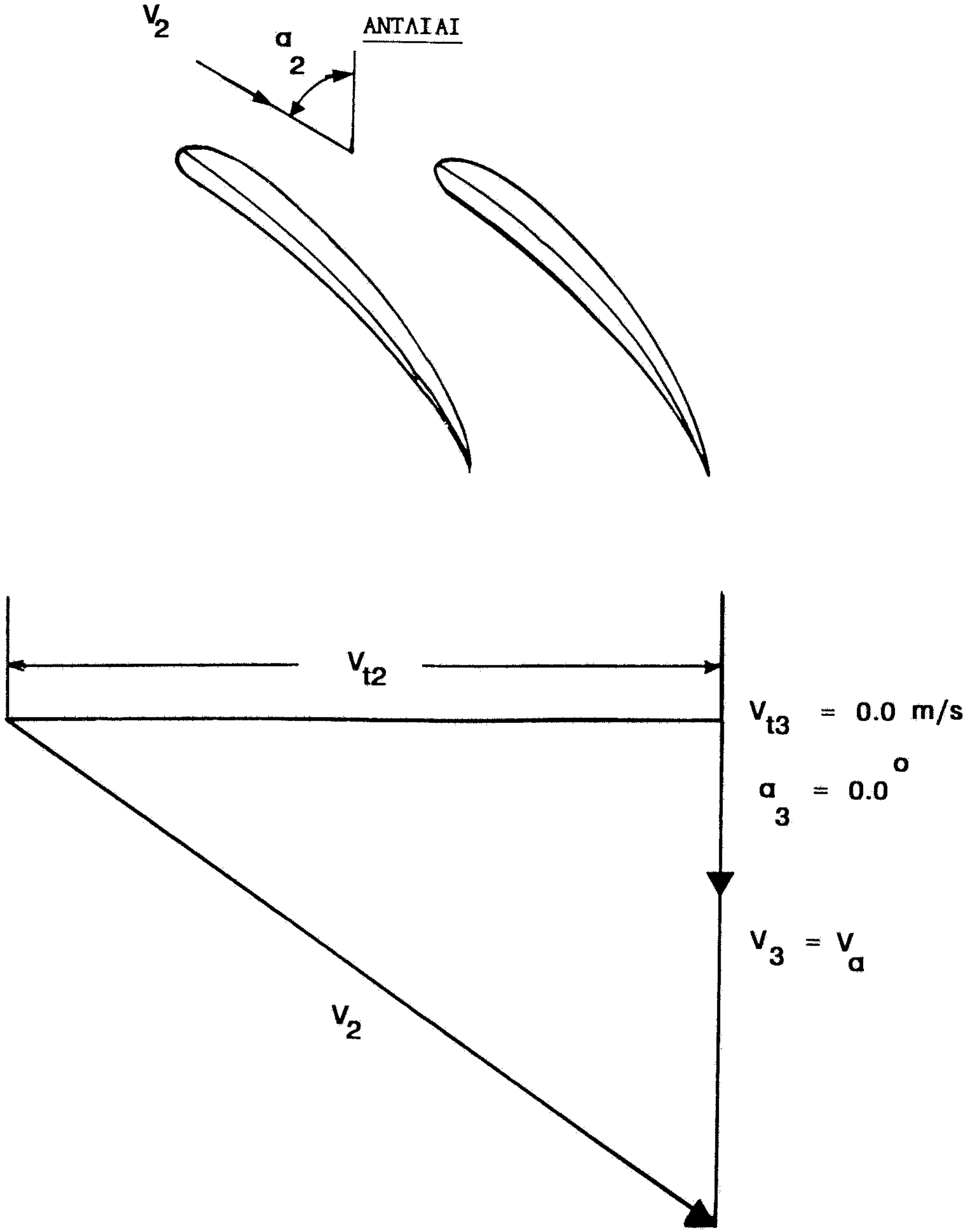
και ομοίως,

$$U\ V_{t2} = \frac{U^2 + V_2^{\,2} - V_{r2}^2}{2.0} \tag{5.15}$$

άρα η εξίσωσις 5.12 δίδει,

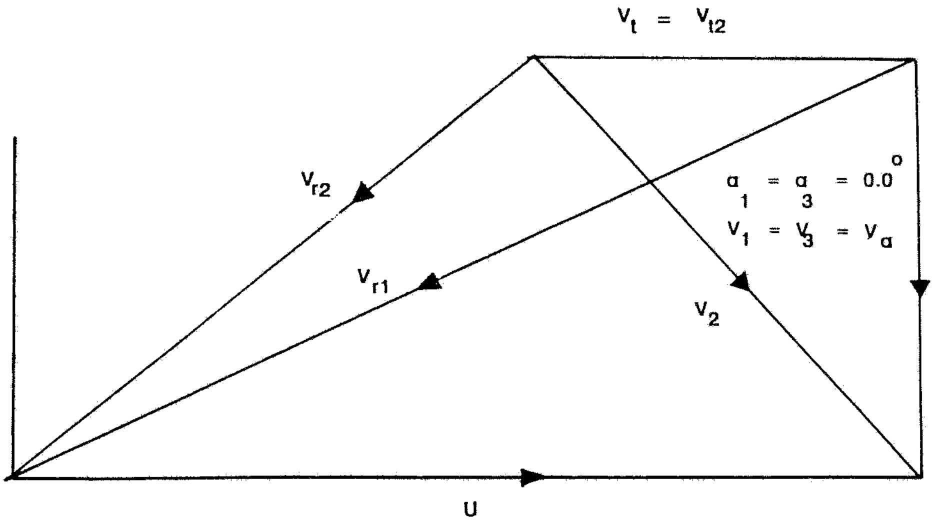
$$WI = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{V_{r1}^{\,2} - V_{r2}^2}{2\ g} \tag{5.16}$$

Μετά την έξοδόν του εκ του δρομέως το ρευστόν έχει απόλυτον ταχύτηταν V_2 με γωνίαν α_2 και εφαπτομενικήν συνιστώσα της ταχύτητος V_{t2}. Ούτως, εις την είσοδον της σειράς των σταθερών πτερυγίων η ταχύτης είναι V_2 και η γωνία α_2 κάτω υπό οιασδήποτε συνθήκας λειτουργίας της αντλίας. Η σειρά των σταθερών πτερυγίων υποβοηθεί εις το να ληφθή η μεγίστη δυνατή αύξησις της πιέσεως και διά να το πράξη τούτον απαιτείται να στρέψη το ρευστόν παραλλήλως προς την αξονικήν κατεύθυνσιν μηδενίζοντας, ούτως την εφαπτομενικήν ταχύτηταν. Πρέπει δηλαδή να είναι, $V_{t3} = 0$, $\alpha_3 = 0$ και $V_3 = V_\alpha$, ιδέ Σχήμα 5.6. 'Οταν η

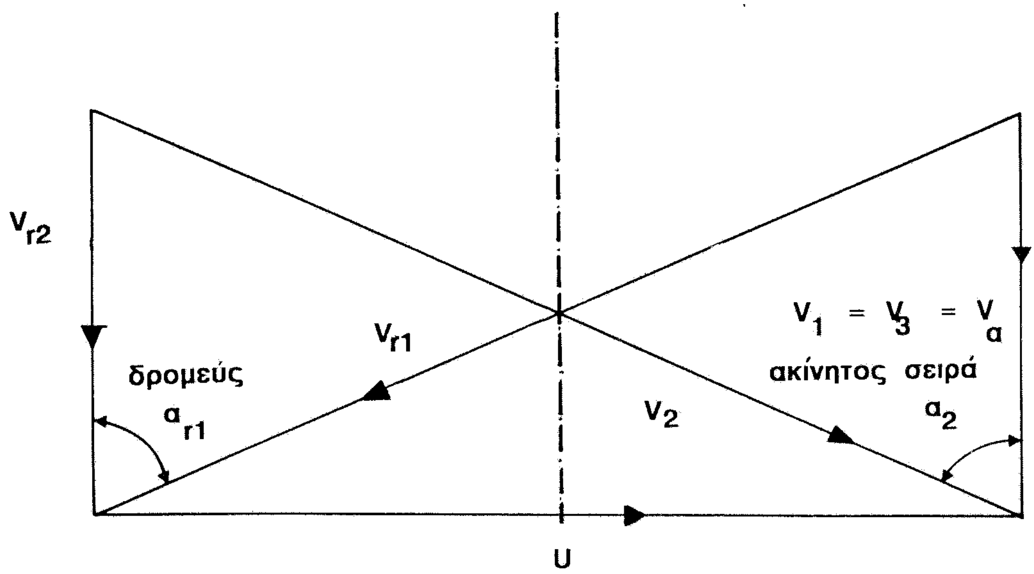


Σχήμα 5.6 Σχηματισμός της σταθερής σειράς των πτερυγίων

αντλία δεν έχει οδηγά πτερύγια εις τον ανάντη του δρομέως χώρον τα διαγράμματα της ταχύτητος είναι όπως εις το Σχήμα 5.7. Τα διανύσματα των ταχυτήτων V_1 και V_2 είναι τα ίδια και διά την ακίνητην σειράν των πτερυγίων την ευρισκομένην κατάντη του δρομέως. Ούτως, $V_{t1} = V_{t3} = 0$ και $V_t = V_{t2}$ με ${}^oR = 1 - V_t/(2.0\ U)$· διά τιμήν αντιδράσεως βαθμίδος ${}^oR = 0.5$, ιδέ Παράγραφον 5.1.3, είναι $V_t = U$ και το τρίγωνον των ταχυτήτων δεικνύεται εις το Σχήμα 5.8.



Σχήμα 5.7 Τρίγωνα ταχυτήτων διά την περίπτωσιν ένθα η αντλία δεν είναι εφοδιασμένη με οδηγά πτερύγια



Σχήμα 5.8 Τυπικόν διάγραμμα τριγώνων ταχυτήτων με $^oR = 0.5$ και $V_{t1} = V_{t3} = 0.0$ m/s

5.1.3 Βαθμός αντιδράσεως βαθμίδος

Ο βαθμός αντιδράσεως βαθμίδος εννοείται ως ο λόγος της αυξήσεως της πιέσεως (πραγματική ροή) κατά μήκος του δρομέως προς το προσφερθέν έργον εις τον δρομέα, είναι, (με $z_2 = z_1$),

$$°R = \frac{\frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} + h_{f1-2}}{H_{o2} - H_{o1} + h_{f1-2}} \tag{5.17}$$

λόγω της διατηρήσεως της ενεργείας εντός του δρομέως είναι,

$$°R = \frac{\frac{V_{r1}^2}{2g} - \frac{V_{r2}^2}{2g}}{H_{o2} - H_{o1} + h_{f1-2}} \tag{5.18}$$

Εκ της ανωτέρω εξισώσεως και εκ των κάτωθι εξισώσεων, ιδέ Σχήμα 5.4,

$$V_2^{\,2} = V_\alpha^{\,2} + V_{t2}^{\,2} \tag{5.19}$$

$$V_1^{\,2} = V_\alpha^{\,2} + V_{t1}^{\,2} \tag{5.20}$$

και κατόπιν ολίγων αριθμητικών πράξεων είναι,

$$°R = \frac{1.0 - (V_{t1} + V_{t2})}{2.0\ U} \tag{5.21}$$

Επίσης, εκ των τριγώνων ταχυτήτων είναι,

$$V_{t1} = V_\alpha\ \varepsilon\varphi\alpha_1 \quad , \qquad V_{t2} = V_\alpha\ \varepsilon\varphi\alpha_2 \tag{5.22}$$

$$X = V_\alpha \, \varepsilon\varphi\alpha_{r1} \qquad Y = V_\alpha \, \varepsilon\varphi\alpha_{r2} \tag{5.23}$$

$$V_t = V_{t2} - V_{t1} = X - Y \tag{5.24}$$

$$U = X + V_{t1} = Y + V_{t2} \tag{5.25}$$

και

$$^{o}R = \frac{1.0 - (\varepsilon\varphi\alpha_1 + \varepsilon\varphi\alpha_2)\, V_\alpha}{2.0\ U} \tag{5.26}$$

ή

$$^{o}R = \frac{(\varepsilon\varphi\alpha_{r1} + \varepsilon\varphi\alpha_{r2})\, V_\alpha}{2.0\ U} \tag{5.27}$$

Η εξίσωσις 5.17 λόγω της εξισώσεως 5.6, εις την περίπτωσιν ένθα $V_d = V_s$, με πλήρην ανυπαρξίαν εσωτερικών τριβών και με $p_d = p_s =$ ατμοσφαιρικήν πίεσιν (= 0.0 κατά συνθήκην) δίδει,

$$^{o}R = \frac{\frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} + h_{f1-2}}{z_d - z_s} \qquad \text{(μηδενικαί απώλειαι)} \tag{5.28}$$

δηλαδή ο βαθμός αντιδράσεως είναι ίσος με τον λόγον της αυξήσεως του φορτίου εις τον δρομέαν προς την ύψωσιν του φορτίου κατά μήκος της αντλίας. Εις την πλέον πραγματικήν αντιμετώπισιν αι απώλειαι δέον μη θεωρηθώσιν ως μηδενικαί. Τότε ο βαθμός αντιδράσεως είναι,

$$°_R = \frac{\frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} + h_{f1-2}}{z_d - z_s + h_{fs-d}} \qquad \text{(απώλειαι)} \quad (5.29)$$

Δι' οιανδήποτε αντλίαν αξονικής ροής ισχύει ότι,

$$\text{εφ}\alpha_{r1} - \text{εφ}\alpha_{r2} = \text{εφ}\alpha_2 - \text{εφ}\alpha_1 \qquad (5.30)$$

'Οταν ο βαθμός αντιδράσεως της βαθμίδος είναι 0.5 τότε ισχύει,

$$\text{εφ}\alpha_{r1} + \text{εφ}\alpha_{r2} = \text{εφ}\alpha_2 + \text{εφ}\alpha_1 \qquad (5.31)$$

Εκ των εξισώσεων 5.30 και 5.31 είναι,

$$\alpha_{r1} = \alpha_2 \quad \text{και} \quad \alpha_{r2} = \alpha_1 \qquad (5.32)$$

Δηλαδή όταν ο βαθμός αντιδράσεως της βαθμίδος είναι 0.5 τότε τα τρίγωνα λειτουργίας είναι συμμετρικά πέριξ κατακορύφου άξονος διά μέσου του κέντρου του διανύσματος της γραμμικής ταχύτητος όπως δεικνύεται εις το Σχήμα 5.8.

5.1.4 Απώλειαι ενεργείας και απόδοσις λειτουργίας αντλίας αξονικής ροής

Εις την Παράγραφον 5.1.1 εισήχθη η έννοια του ολικού φορτίου H_o. Παράλληλος με την έννοιαν του ολικού φορτίου είναι και η έννοια της ολικής πιέσεως p_o,

$$p_o = p + \frac{\rho V^2}{2} \tag{5.33}$$

Σχετικώς με τον δρομέανη ολική πίεσις λαμβάνει την ονομασίαν σχετική ολική πίεσις, p_{or}, και είναι,

$$p_{or} = p + \frac{\rho V_r^2}{2} \tag{5.34}$$

Εντός λοιπόν του δρομέως αι απώλειαι ολικής πιέσεως, $h_{f\delta\rho}$, ορίζονται ως,

$$h_{f\delta\rho} = \frac{p_{o1r}}{\rho g} - \frac{p_{o2r}}{\rho g} \tag{5.35}$$

και ο συντελεστής απωλειών ολικού φορτίου εντός του δρομέως ορίζεται ως

$$y_{\delta\rho} = \frac{h_{f\delta\rho}}{V_{r1}^2/2g} = \frac{\frac{p_{o1r}}{\rho g} - \frac{p_{o2r}}{\rho g}}{V_{r1}^2/2g} \tag{5.36}$$

Εις την ακίνητον σειράν πτερυγίων αι απώλειαι ολικής πιέσεως ορίζονται ως,

$$h_{f\alpha\kappa} = \frac{p_{o2}}{\rho g} - \frac{p_{o3}}{\rho g} \tag{5.37}$$

και ο συντελεστής απωλειών ολικού φορτίου εντός της σταθεράς σειράς πτερυγίων, είναι,

$$y_{ακ} = \frac{h_{fακ}}{V_2^2/2g} = \frac{\frac{p_{o2}}{\rho g} - \frac{p_{o3}}{\rho g}}{V_2{}^2/2g} \qquad (5.38)$$

Εκ της εξισώσεως 5.7 το προσφερθέν έργον εις την βαθμίδαν είναι (WI) και ισούται με $H_{o3} - H_{o1} + h_{f1-3}$. Δι' ολόκληρον λοιπόν την βαθμίδαν η απόδοσις λειτουργίας θα είναι,

$$n = 1.0 - \frac{y_{δρ}\,(V_{r1}^2/2g) + y_{ακ}\,(V_2^2/2g)}{H_{o3} - H_{o1} + h_{f1-3}} \qquad (5.39)$$

ένθα $y_{δρ}$ είναι ο συντελεστής απωλειών του φορτίου εντός του δρομέως και $y_{ακ}$ είναι ο συντελεστής απωλειών του φορτίου εντός της ακινήτου σειράς των πτερυγίων. Εις τινάς περιπτώσεις απαιτείται η γνώσις της αποδόσεως του δρομέως της αντλίας, n_R, τότε,

$$n_R = 1.0 - \frac{y_{δρ}\,(V_{r1}^2/2g)}{H_{o3} - H_{o1} + h_{f1-3}} \qquad (5.40)$$

και λόγω της εξισώσεως 5.7,

$$n_R = 1.0 - \frac{y_{δρ}\,(V_{r1}^2/2g)}{H_{o2} - H_{o1} + h_{f1-2}} \qquad (5.41)$$

ή

$$n_R = \frac{H_{o2} - H_{o1}}{H_{o2} - H_{o1} + h_{f1-2}} \qquad (5.42)$$

Παράδειγμα : Η εσωτερική διάμετρος $D_{εσ}$ των πτερυγίων αντλίας αξονικής ροής είναι ίση προς 250.0 mm, ενώ η αντίστοιχος εξωτερική $D_{εξ}$ είναι ίση προς 500.0 mm. Η αντλία έχει σχεδιασθεί να λειτουργή υπό 1800.0 στροφάς ανά λεπτόν. Εις το μέσον του ύψους των πτερυγίων η σχετική γωνία $α_{r1}$ του ρευστού εις την είσοδον της ροής είναι ίση προς 75.5^{o} ενώ η αντίστοιχος τιμή εις την έξοδον, $α_{r2}$, είναι ίση προς 22.0^{o}. Δεν υπάρχει εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητος εις την είσοδον του δρομέως (V_{t1} = 0.0 m/s). Ζητείται να υπολογισθούν: α) η παροχή της αντλίας, β) το αναπτυσσόμενον θεωρητικόν ύψος WI (m) της αντλίας, γ) εάν θεωρηθή ότι ο βαθμός αποδόσεως του δρομέως n_R είναι 0.85 να υπολογισθή το πραγματικώς αποδιδόμενον φορτίον (H_{o2} - H_{o1}) υπό της αντλίας (μανομετρικόν φορτίον H_m), και δ) η ισχύς του κινητήρος με τον οποίον πρέπει να εφοδιασθή η αντλία προκειμένου να ανταπεξέλθη προς το ανωτέρω έργον όταν η ολική απόδοσις n είναι ίση προς 0.78.

Λύσις : α) Εις το Σχήμα 5.5 δίδονται τα συνδυασμένα τρίγωνα ταχυτήτων της αναφερομένης αντλίας, προφανώς η $α_1$ ισούται με μηδέν και η μορφή των τριγώνων είναι ανάλογος, ιδέ και Σχήμα 5.7. Η μέση διάμετρος $D_{μέση}$ της αντλίας είναι,

$$D_{μέση} = \frac{D_{εσ} + D_{εξ}}{2.0} = \frac{250.0 + 500.0}{2.0} = 375.0 \text{ mm} = 0.375 \text{ m}$$

Η γραμμική ταχύτης του δρομέως εις το μέσον του ύψους είναι,

$$U_{μέση} = ω\, r_{μέση} = \frac{2\,π\,N\,r_{μέση}}{60.0} = \frac{π\,N\,D_{μέση}}{60.0} = \frac{π \times 1800.0 \times 0.375}{60.0} =$$

$$= 35.343 \text{ m/s}$$

Είναι,

$$V_{α1} = V_{α2} = U_{μέση}\, σφα_{r1} = 35.343 \times σφ75.5 = 9.14 \text{ m/s}$$

Η παροχή Q δίδεται εκ της εξισώσεως,

$$Q = \pi \frac{(D^2_{\varepsilon\xi} - D^2_{\varepsilon\sigma})}{4.0} V_{\alpha 1} = 3.14 \times \frac{0.5^2 - 0.25^2}{4.0} \times 9.14 = 1.345 \ m^3/s$$

β) Το ύψος, WI λόγω της εξισώσεως 5.12, είναι,

$$WI = \frac{U\ (V_{t2} - V_{t1})}{g} = \frac{U\ V_{t2}}{g} \quad \text{διότι } V_{t1} = 0.0 \ m/s \text{ (εκ της εκφωνήσεως)}$$

Εκ του Σχήματος 5.5 ή 5.7 θα είναι,

$$V_{t2} = U - V_{\alpha 2}\ \varepsilon\varphi\alpha_{r2} = 35.343 - 9.14 \times \varepsilon\varphi 22.0 = 31.65 \ m/s$$

'Αρα,

$$WI = \frac{35.343 \times 31.65}{9.81} = 114.03 \ m$$

γ) Εκ των εξισώσεων 5.7 και 5.42 είναι,

$$n_R = \frac{H_{o2} - H_{o1}}{WI} \quad \text{επομένως, } H_{o2} - H_{o1} = n_R\ (WI) = 0.85 \times 114.03 = 96.924 \ m$$

δ) Η ισχύς του κινητήρος της αντλίας δίδεται εκ της εξισώσεως,

$$I = \frac{\rho\ g\ Q\ (H_{o2} - H_{o1})}{n} = \frac{1000.0 \times 9.81 \times 1.345 \times 96.924}{0.78} = 1639.5 \ KW$$

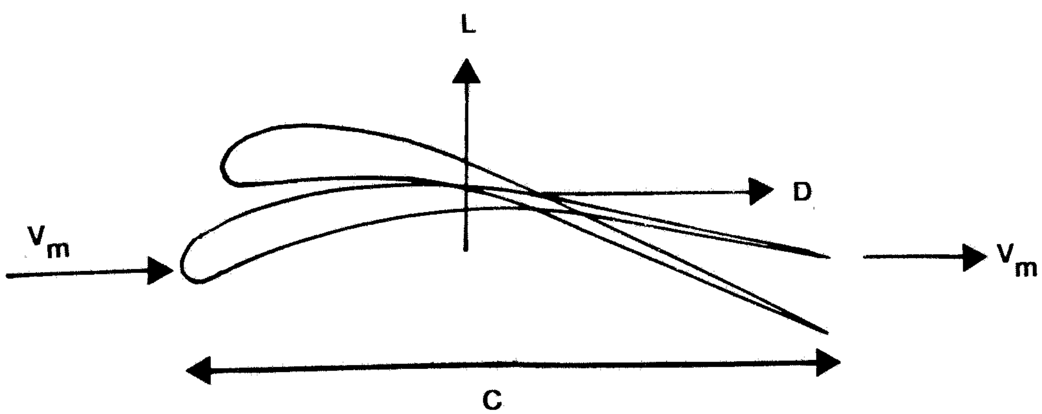
5.1.5 Δυναμική άνωσις και δύναμις αντιστάσεως

Η ανάλυσις της αποδόσεως της λειτουργίας των πτερυγίων μιάς αντλίας (ρευστόν υψηλής πυκνότητος π.χ. ύδωρ) αξονικής ροής ακολουθεί την ανάλογον ανάλυσιν της λειτουργίας πτερυγίων αεροσυμπιεστού (ρευστόν χαμηλής πυκνότητος π.χ. αέριον) αξονικής ροής. Θεωρείται ότι η αξονική ταχύτητα παραμένει σταθερά. Ας θεωρηθή το μεμονωμένον πτερύγιον του Σχήματος 5.9, τότε η δυναμική άνωσις L και η δύναμις αντιστάσεως D, ανά μονάδα μήκους του πτερυγίου, ορίζονται ως,

$$L = C_l \; C \; \rho \; g \, \frac{V_m^2}{2g} \tag{5.43}$$

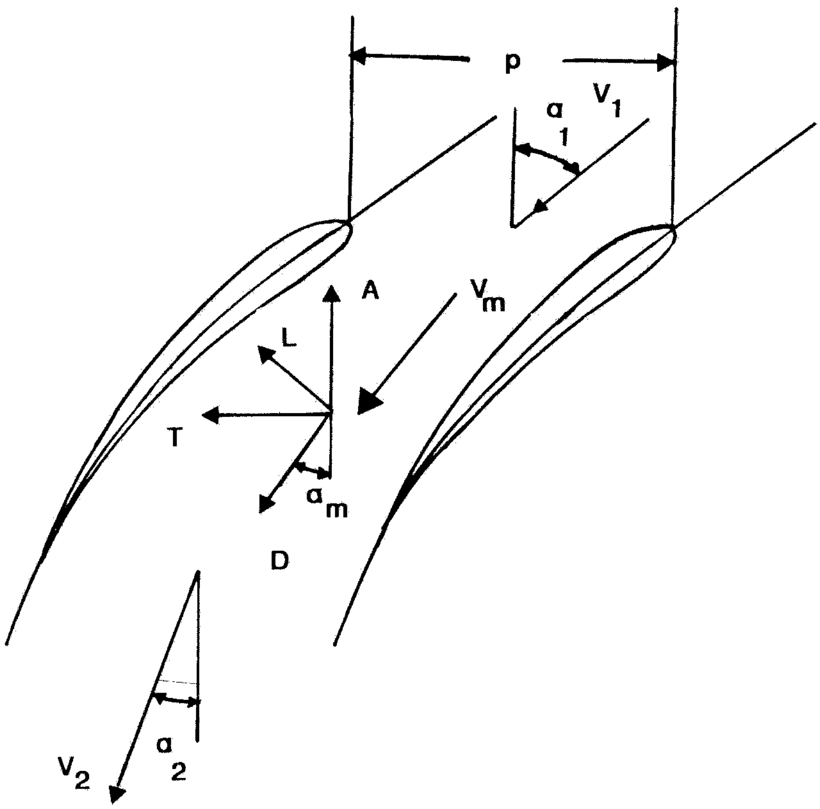
$$D = C_d \; C \; \rho \; g \, \frac{V_m^2}{2g} \tag{5.44}$$

ένθα C_l και C_d είναι οι συντελεσταί ανώσεως και αντιστάσεως αντιστοίχως, C είναι το μήκος της χορδής του πτερυγίου, ιδέ Σχήμα 5.9,



Σχήμα 5.9 Πτερύγιον αντλίας αξονικής ροής

και V_m είναι η ταχύτης κατά μήκος της διευθύνσεως της ροής, ιδέ Σχήμα 10. Αι δυνάμεις L και D μετρώνται καθέτως και κατά μήκος της μέσης ροής



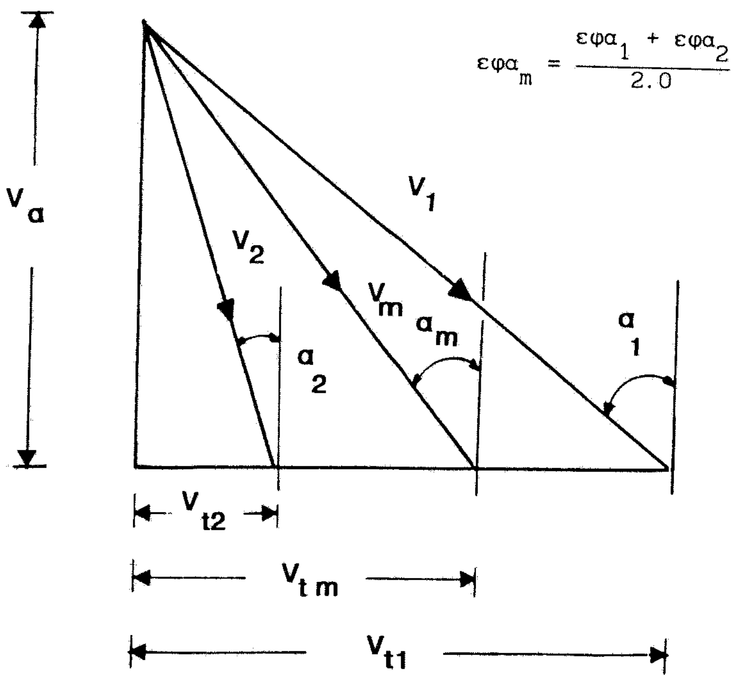
Σχήμα 5.10 Μέση ταχύτης V_m αντλίας αξονικής ροής

δηλαδή της V_m Τα πτερύγια ευρίσκονται μεταξύ των εις απόστασιν p (pitch). Το ρευστόν εισέρχεται εντός της σειράς με ταχύτηταν V_1 και γωνίαν α_1 και εξέρχεται με ταχύτηταν V_2 και γωνίαν α_2. Είναι, ιδέ Σχήμα 5.11,

$$\varepsilon\varphi\alpha_m = \frac{\varepsilon\varphi\alpha_1 + \varepsilon\varphi\alpha_2}{2.0} \tag{5.45}$$

Εάν T είναι η δύναμις ανά πτερύγιον εις την εφαπτομενικήν διεύθυνσιν και A η δύναμις ανά πτερύγιον εις την αξονικήν διεύθυνσιν, τότε,

$$T = \rho\ q\ (V_{t1} - V_{t2}) \tag{5.46}$$



Σχήμα 5.11 Διάταξις ακινήτου σειράς πτερυγίων εμφαίνουσα την γωνίαν α_m

ένθα q είναι η διερχομένη παροχή ανά πτερύγιον και ανά μονάδαν μήκους του πτερυγίου. Η ανωτέρω σχέσις γράφεται,

$$T = p\ \rho\ V_\alpha\ (V_{t1} - V_{t2}) \tag{5.47}$$

ή

$$T = p\ \rho\ g\ 2.0\ (\varepsilon\varphi\alpha_1 - \varepsilon\varphi\alpha_2)\ \frac{V_\alpha^2}{2g} \tag{5.48}$$

Ο συντελεστής εφαπτομενικής δυνάμεως C_t ορίζεται ως,

$$C_t = \frac{T}{p\ \rho\ g\ V_\alpha^2/2g} \tag{5.49}$$

και επομένως η εξίσωσις 5.49 γράφεται ως,

$$C_t = 2.0\ (\varepsilon\varphi\alpha_1 - \varepsilon\varphi\alpha_2) \tag{5.50}$$

Η ολική αξονική δύναμις, ανά μονάδαν μήκους του πτερυγίου, η δρώσα επί των πτερυγίων και κατά την διεύθυνσιν την εμφανιζομένην εις το Σχήμα 5.10 είναι, $A + (p_1 - p_2)\ p$. Επειδή δεν υπάρχει μεταβολή της αξονικής ταχύτητος τότε η ολική αξονική δύναμις θα πρέπη να ισούται με μηδέν οπότε,

$$A = (p_2 - p_1)\ p \tag{5.51}$$

ΑΝΤΛΙΑΙ

Ο συντελεστής πιέσεως αξονικής σειράς πτερυγίων ορίζεται ως

$$C_p = \frac{A}{p\ \rho\ g\ V_\alpha^2/2g} \tag{5.52}$$

Λόγω δε της σχέσεως 5.51 είναι,

$$C_p = \frac{\dfrac{p_2}{\rho g} - \dfrac{p_1}{\rho g}}{V_\alpha^2/2g} \tag{5.53}$$

Ο συντελεστής απωλειών αξονικής σειράς πτερυγίων ορίζεται ως,

$$C_f = \frac{\dfrac{p_{o1}}{\rho g} - \dfrac{p_{o2}}{\rho g}}{V_\alpha^2/2g} \tag{5.54}$$

Διά χρήσεως της αναλύσεως των δυνάμεων και του Σχήματος 5.10 είναι,

$$T = L\ \text{συν}\alpha_m + D\ \text{ημ}\alpha_m = (C_l\ \text{συν}\alpha_m + C_d\ \text{ημ}\alpha_m)\ C\ \rho\ g\ \frac{V_m^2}{2g} \tag{5.55}$$

$$A = L\ \text{ημ}\alpha_m - D\ \text{συν}\alpha_m = (C_l\ \text{ημ}\alpha_m - C_d\ \text{συν}\alpha_m)\ C\ \rho\ g\ \frac{V_m^2}{2g} \tag{5.56}$$

και λόγω των εξισώσεων 5.50 και 5.55 είναι,

$$C_l \; \sigma\upsilon\nu\alpha_m + C_d \; \eta\mu\alpha_m = 2.0 \; \frac{p}{C} \; (V_{t1} - V_{t2}) \; \frac{\sigma\upsilon\nu\alpha_m}{V_m} \qquad (5.57)$$

άρα,

$$C_l = 2.0 \; \frac{p}{C} \; (\varepsilon\varphi\alpha_1 - \varepsilon\varphi\alpha_2) \; \sigma\upsilon\nu\alpha_m - C_d \; \varepsilon\varphi\alpha_m \qquad (5.58)$$

και ομοίως λόγω των εξισώσεων 5.51 και 5.56 θα είναι,

$$C_d = \frac{p}{C} \; \frac{\dfrac{p_{o1}}{\rho g} - \dfrac{p_{o2}}{\rho g}}{V_1^2/2g} \; \frac{\sigma\upsilon\nu^3\alpha_m}{\sigma\upsilon\nu^2\alpha_1} \qquad (5.59)$$

και επομένως,

$$C_d = \frac{p}{C} \; C_f \; \sigma\upsilon\nu^3\alpha_m \qquad (5.60)$$

Αι εφαρμογαί των ανωτέρω εξισώσεων επί των περιπτώσεων του δρομέως ή επί της ακινήτου σειράς απαιτούν την προσαρμογήν των αντιστοίχων γωνιών.

5.1.6 Απόδοσις βαθμίδος εις όρους δυνάμεως αντιστάσεως

Αι απώλειαι ενεργείας βαθμίδος είναι το άθροισμα των επί μέρους απωλειών εις τον δρομέα και τα ακίνητα πτερύγια. Είναι δηλαδή,

$$\text{απώλειαι βαθμίδος} = h_{f1-2} + h_{f2-3} = h_{f\delta\rho} + h_{f\alpha\kappa}$$

$$= y_{\delta\rho}\,\frac{V_{r1}^2}{2g} + y_{\alpha\kappa}\,\frac{V_2^2}{2g}$$

$$= \frac{p_{o1r}}{\rho g} - \frac{p_{o2r}}{\rho g} + \frac{p_{o2}}{\rho g} - \frac{p_{o3}}{\rho g} \qquad (5.61)$$

Διά προσαρμογής της εξισώσεως 5.59 είναι,

$$\text{απώλειαι βαθμίδος} = C_{d_{\delta\rho}}\ \text{συν}^2\alpha_{r1}\ \frac{\rho\ g\ \dfrac{V_{r1}^2}{2g}}{(p/C\ \text{συν}^3\alpha_m)_{\delta\rho}}$$

$$+\ C_{d_{\alpha\kappa}}\ \text{συν}^2\alpha_2\ \frac{\rho\ g\ \dfrac{V_2^2}{2g}}{(p/C\ \text{συν}\ \alpha_m^3)_{\alpha\kappa}} \qquad (5.62)$$

'Αρα, η απόδοσις της βαθμίδος είναι, $n = 1.0 -$ (απώλειαι βαθμίδος) /(WI). Η ανωτέρω έκφρασις της αποδόσεως βαθμίδος δύναται να προσαρμοσθή διά τας περιπτώσεις:

α) $V_{t1} = V_{t3}$, $\alpha_1 = \alpha_3$ και τυχαία τιμή διά τον βαθμόν αντιδράσεως ^oR