



**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ**  
**ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΙΣ**

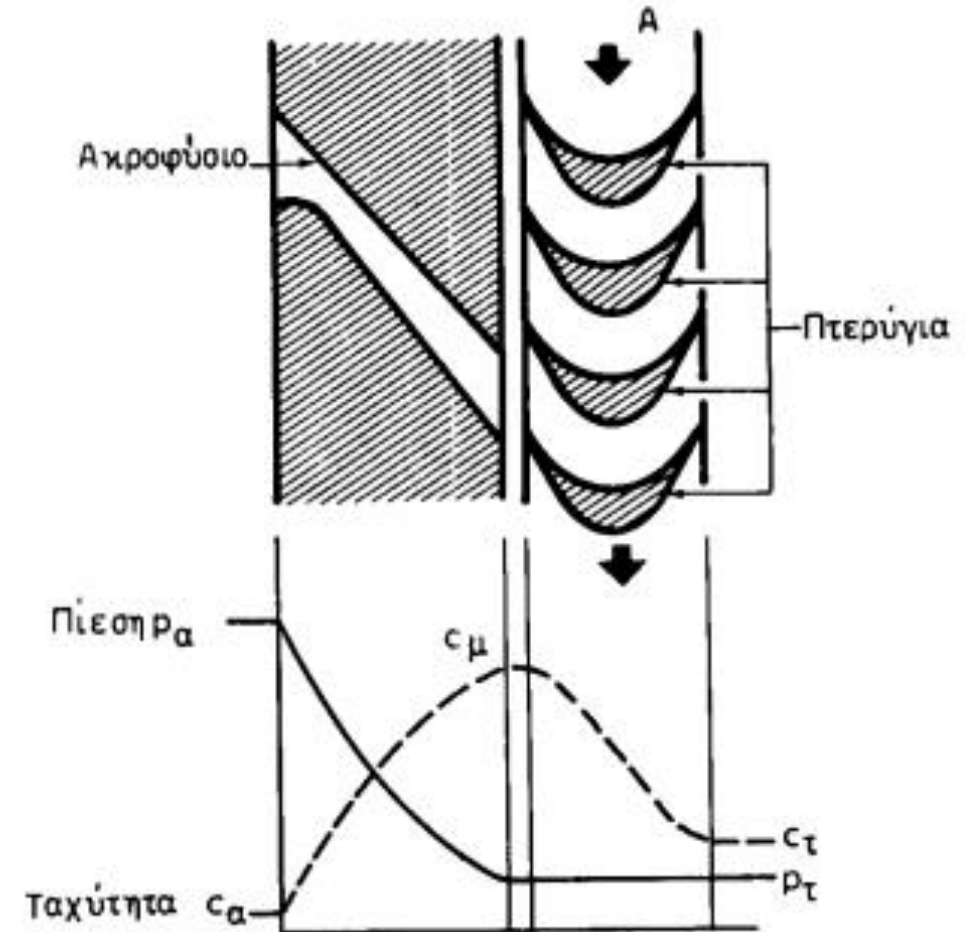
**Νίκος Μ. Κατσουλάκος**  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.



ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

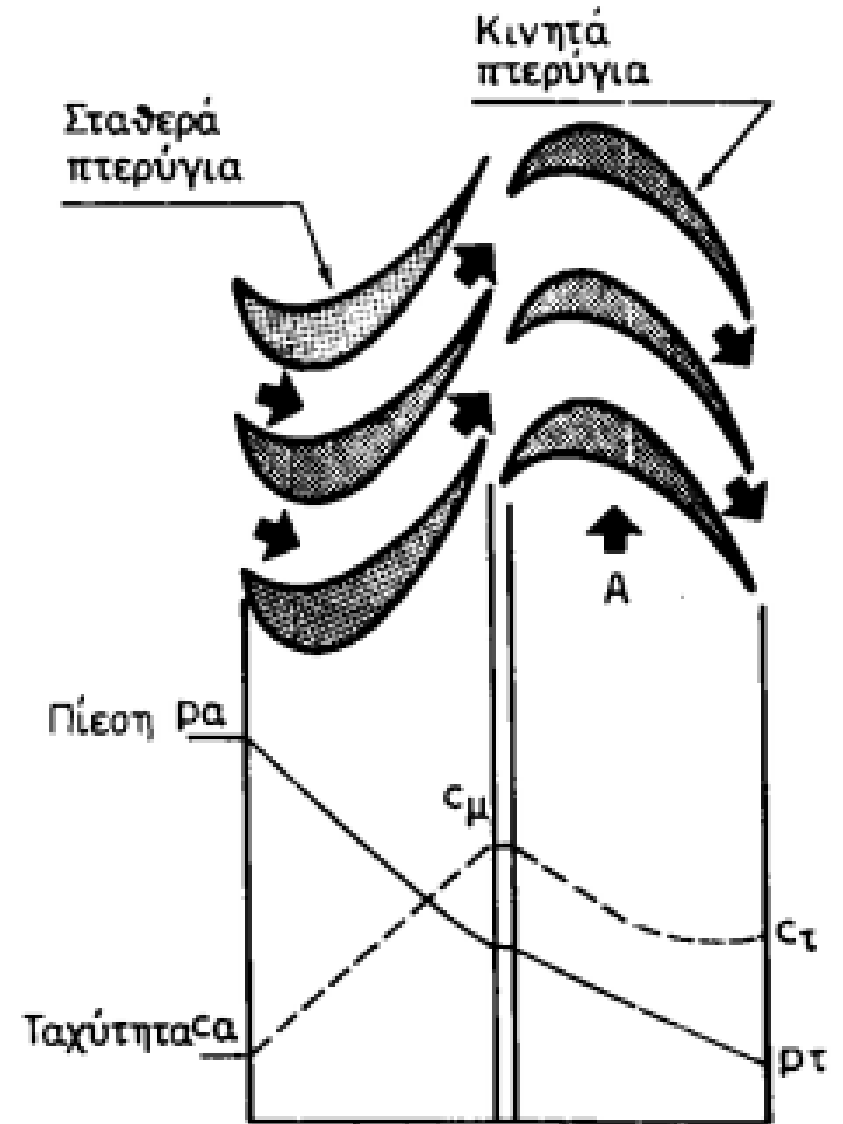
# Στρόβιλοι δράσεως

- ❑ Ο ατμός περνά πρώτα από ακροφύσια ή προφύσια, στα οποία εκτονώνεται και αυξάνει η ταχύτητά του
- ❑ Αποκτώντας μεγάλη ταχύτητα ο ατμός «δρα» με ορμή στα κινητά πτερύγια και προκαλεί την περιστροφή κατά την έννοια του βέλους A του σχήματος.
- ❑ Παράγεται έργο δράσεως κατά τη διαδικασία αυτή.

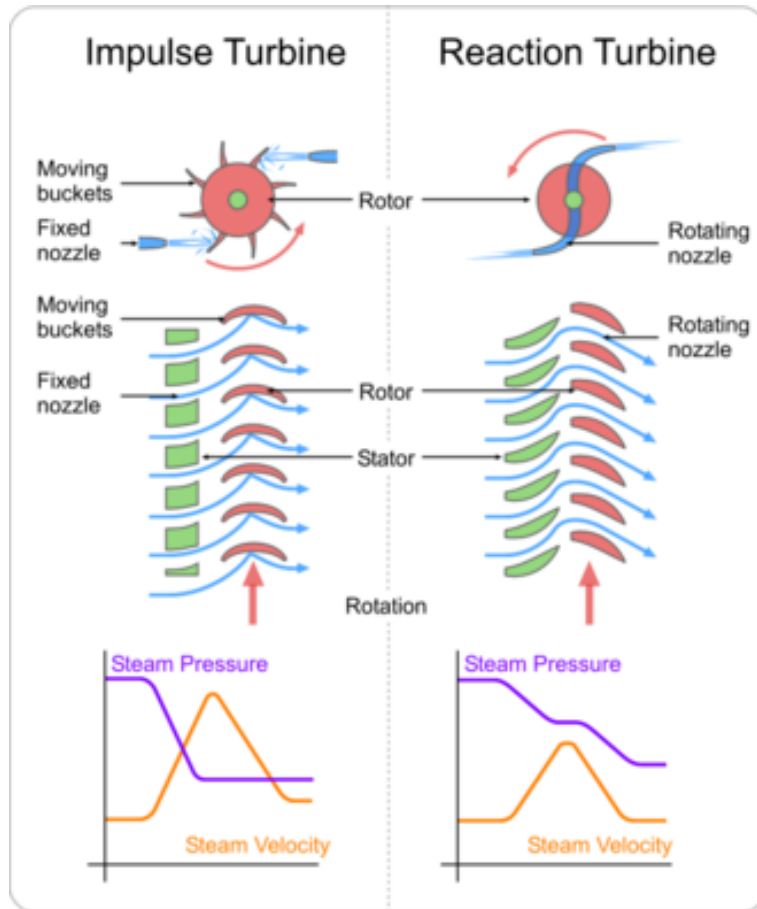


# Στρόβιλοι αντιδράσεως

- ❑ Ο ατμός περνά πρώτα από σταθερά πτερύγια. Εκεί εκτονώνεται και αυξάνει η ταχύτητά του.
- ❑ Με μεγάλη ταχύτητα εισέρχεται στα κινητά πτερύγια, όπου παράγει ένα ποσό έργου δράσεως (κατά την έννοια του βέλους A).
- ❑ Μέσα στα κινητά πτερύγια ο ατμός εκτονώνεται περαιτέρω και αυξάνει την ταχύτητά του.
- ❑ Λόγω της εκτόνωσης δημιουργείται δύναμη με αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν που εξέρχεται από τα πτερύγια.
- ❑ Αυτή είναι η δύναμη αντιδράσεως που επίσης στρέφει κατά την έννοια του βέλους A το στροφέιο. Έτσι, παράγεται έργο αντιδράσεως.



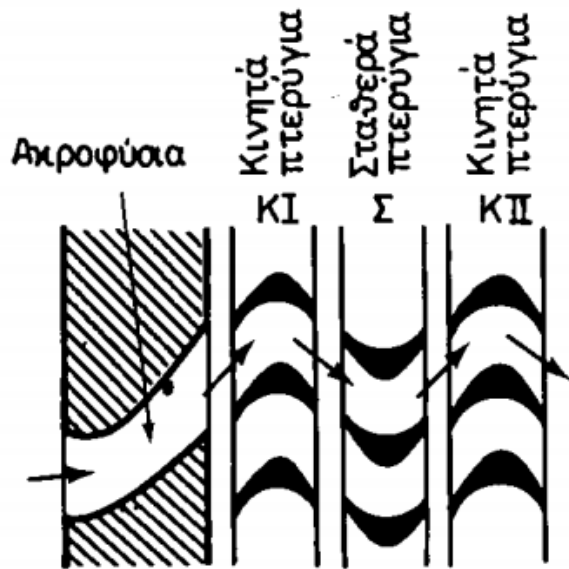
# Γενική κατηγοριοποίηση πτερυγίων (blades) στροβίλων



Τα πτερύγια των στροβίλων διακρίνονται σε σταθερά και κινητά, που τοποθετούνται με τις αύλακες τους αντίθετα μεταξύ τους και είναι είτε **δράσεως** είτε **αντιδράσεως**.

# Τα σταθερά πτερύγια δράσεως

- Τοποθετούνται στο κέλυφος (σε τόξο περιφέρειας αντίστοιχο προς το τόξο προσβολής ή εγχύσεως), μεταξύ των κινητών πτερυγίων των στροβίλων Curtis
- Δεν αλλάζουν την κατάσταση του ατμού παρά μόνο τη διεύθυνσή του
- Η αύλακα των σταθερών πτερυγίων έχει σταθερή διατομή
- Αλλιώς ονομάζονται οδηγητικά πτερύγια



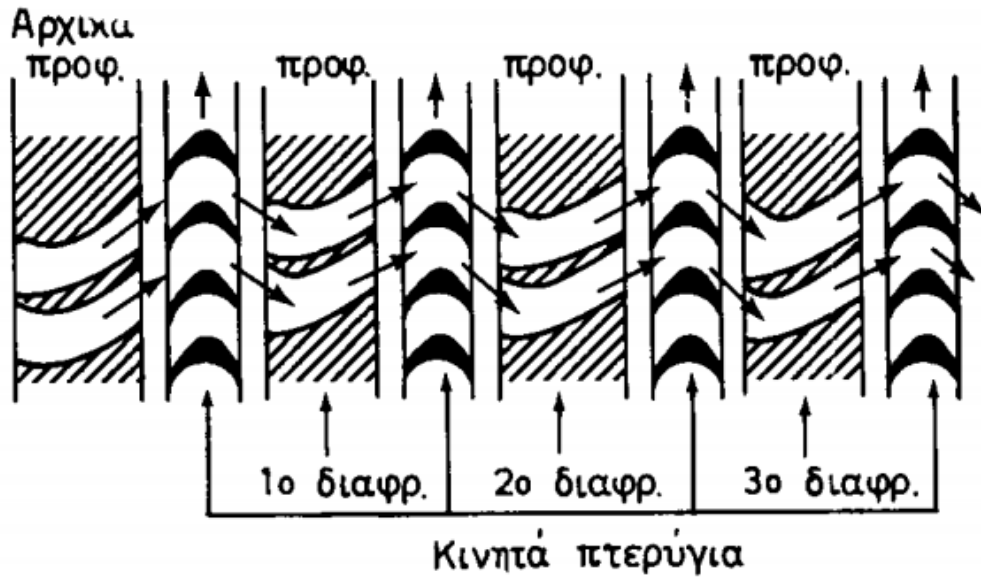
Σχ. 15.1α.

Σταθερά και κινητά πτερύγια δράσεως σε τροχό Curtis.



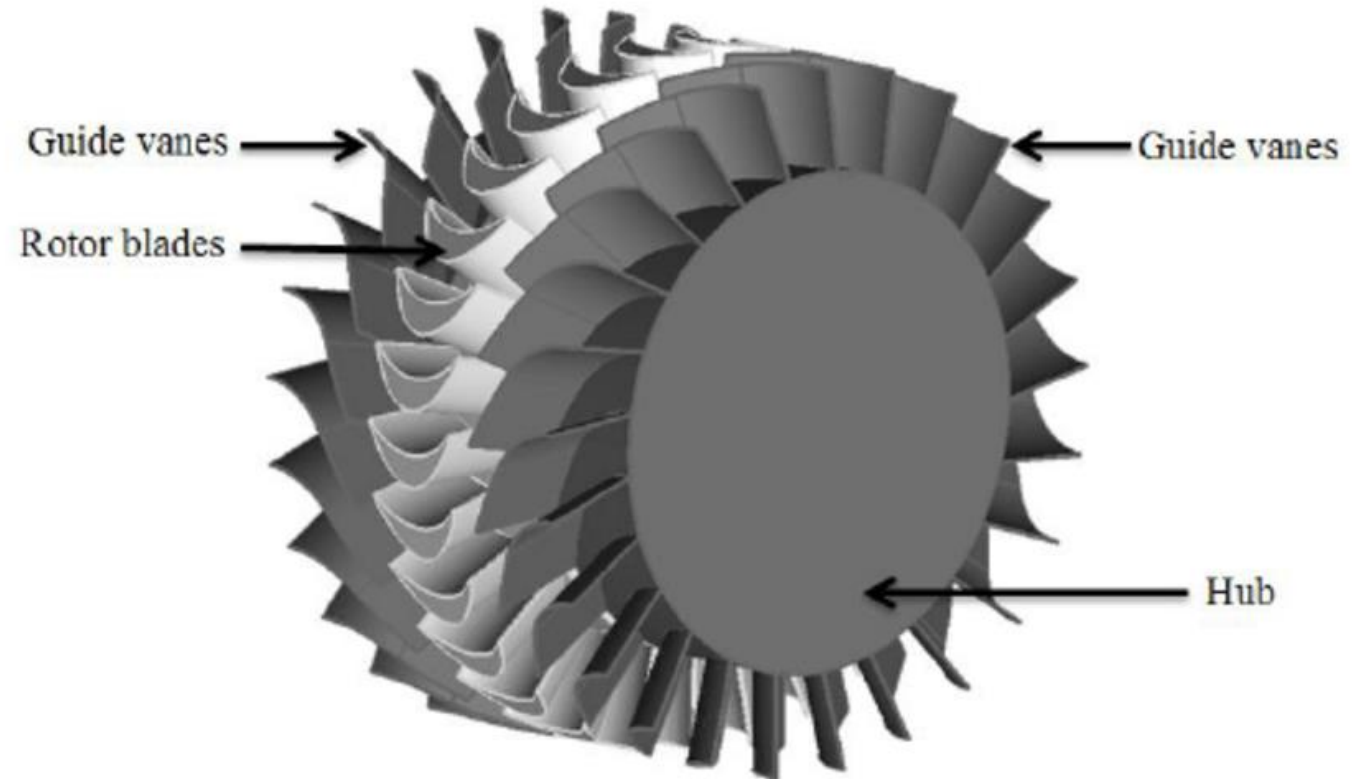
# Τα κινητά πτερύγια δράσεως

- Χρησιμοποιούνται σε στροβίλους Curtis, Rateau κλπ.
- Όπως και τα σταθερά πτερύγια, έχουν αύλακα με σταθερή διατομή
- Όταν ο ατμός διέρχεται από τα κινητά πτερύγια, παράγεται έργο δράσεως, άρα η ταχύτητά του μειώνεται
- Η πίεση του ατμού μένει σταθερή κατά τη διέλευση από τα κινητά πτερύγια



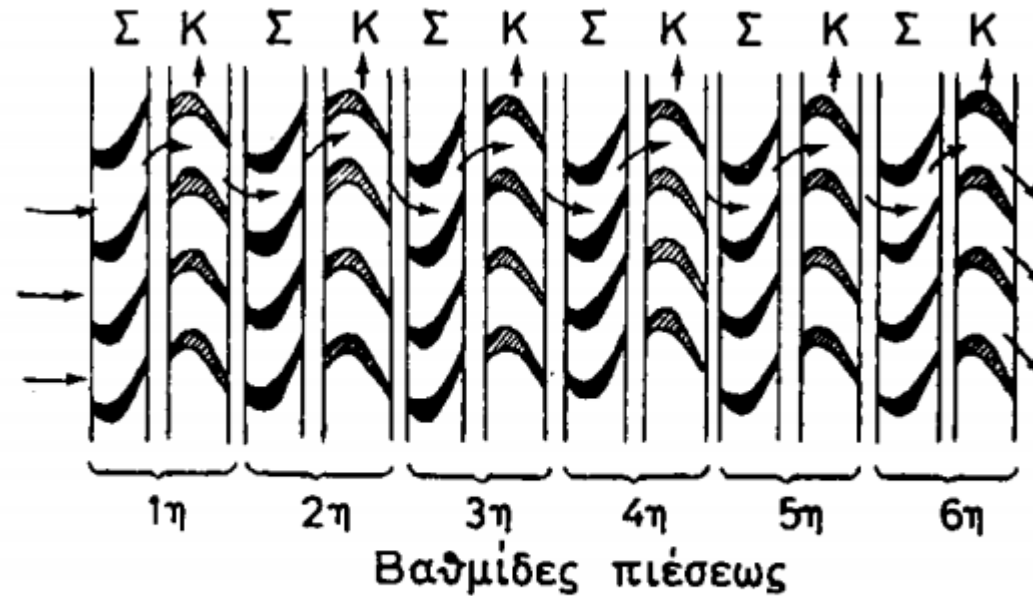
Σχ. 15.1β.

Πτερύγια δράσεως σε στρόβιλο Rateau.



# Τα σταθερά πτερύγια αντιδράσεως

- Προσαρμόζονται σε όλη την περιφέρεια του κελύφους
- Ενεργούν ως προφύσια και είναι εκτονωτικά
- Ο ατμός αποκτά εντός αυτών υψηλή ταχύτητα και την κατάλληλη κατεύθυνση
- Οι αύλακές τους έχουν την μορφή συγκλίνοντος προφυσίου και έτσι ο ατμός δεν υπερβαίνει την τιμή της κρίσιμης ταχύτητας
- Σε κάθε σειρά σταθερών πτερυγίων αντιστοιχεί μία σειρά κινητών πτερυγίων αντιδράσεως



Σχ. 15.1γ.

σταθερά και κινητά πτερύγια αντιδράσεως.



# Τα κινητά πτερύγια αντιδράσεως

- Είναι όμοια με τα σταθερά, έχοντας μορφή συγκλίνοντος προφυσίου
- Τοποθετούνται σε περιφερειακές σειρές επάνω στο τύμπανο, σε αντιστοιχία με τις σταθερές πτερυγώσεις
- Μέσα σε αυτά ο ατμός παράγει έργο δράσεως, ενεργεί με την ταχύτητά του
- Ταυτόχρονα εκτονώνεται και παράγει έργο αντιδράσεως και αποκτά πάλι μεγάλη ταχύτητα, ώστε να εισέλθει στα σταθερά πτερύγια που ακολουθούν
- Ο βαθμός αντιδράσεως είναι, συνήθως,  $r = 50\%$ : ο λόγος του έργου αντιδράσεως προς το συνολικό έργο της πτερύγωσης

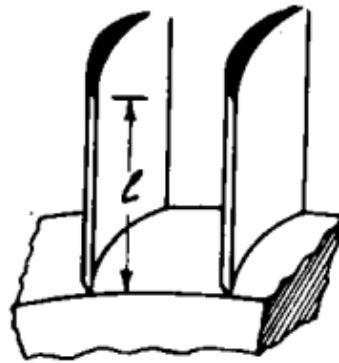


# Ορολογία

- **Απλή πτερύγωση / Σειρά πτερυγίων:** Το σύνολο των πτερυγίων της ίδιας κατηγορίας που προσαρμόζονται στην ίδια περιφέρεια του κελύφους ή του στροφείου
- **Συνολική πτερύγωση:** Το σύνολο των πτερυγίων του στροφείου ή του κελύφους
- **Ολική πτερύγωση:** Όταν τα πτερύγια τοποθετούνται σε όλη την περιφέρεια του κελύφους (πάντα η πτερύγωση του στροφείου είναι ολική)
- **Μερική πτερύγωση:** Όταν τα πτερύγια τοποθετούνται σε ένα τόξο της μόνο



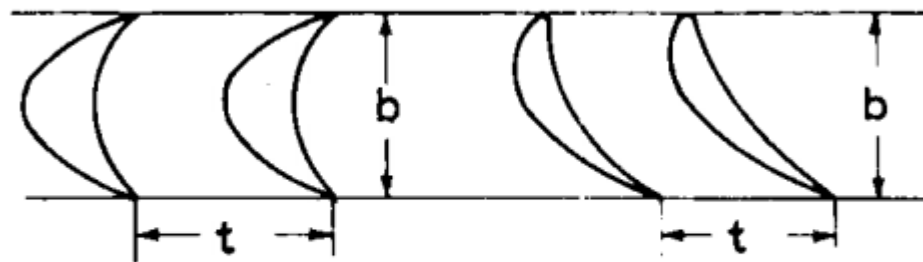
**Το ύψος ή μήκος (L)**



Η απόσταση από τη βάση μέχρι την κορυφή του

**Τι προσδιορίζει ένα πτερύγιο;**

**Το πλάτος (b)**

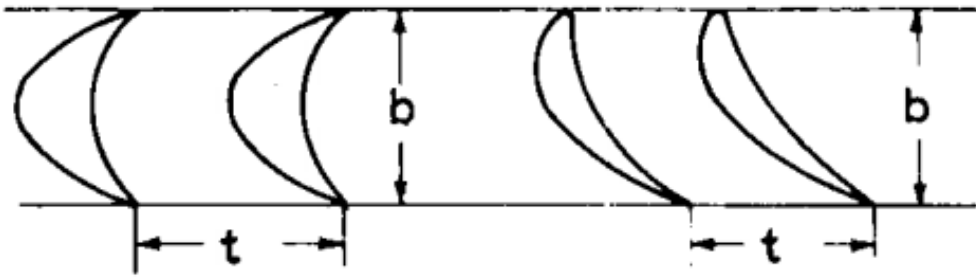


Η απόσταση από τη μία μέχρι την άλλη κόψη του, στη διεύθυνση του άξονα του στροβίλου

**Σχ. 15.1ε.**

Βήμα και πλάτος πτερυγίου.

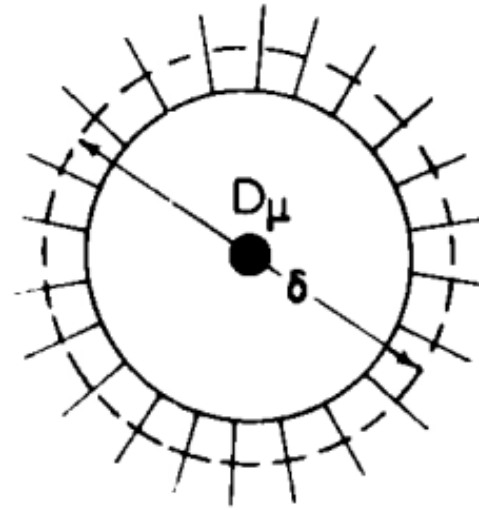
# Το βήμα της πτερύγωσης



**Σχ. 15.1ε.**  
Βήμα και πλάτος πτερυγίου.

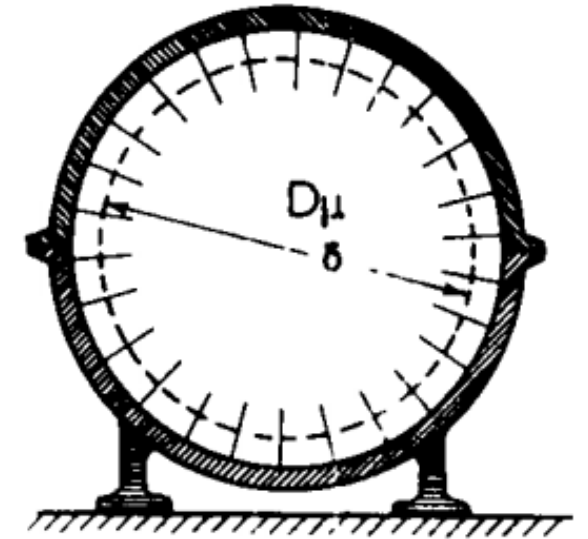
Το **βήμα (t)** μίας σειρά πτερυγίων είναι **σταθερό** και μετρείται στη μέση διάμετρο της πτερύγωσης.

Είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πτερυγίων.



**Σχ. 15.1στ.**  
Μέση διάμετρος  
κινητής πτερυγώσεως.

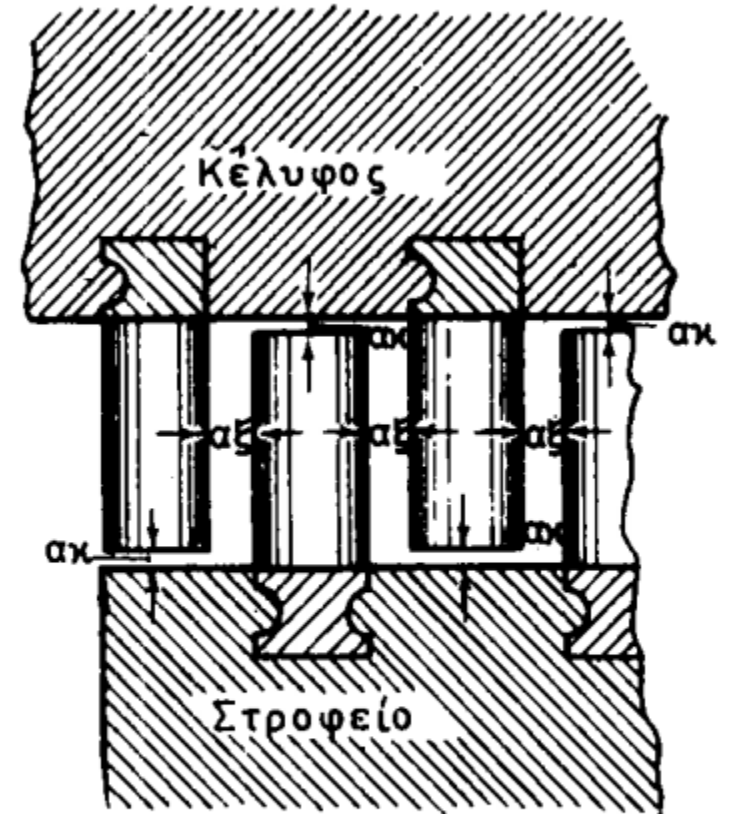
**Μέση διάμετρος** πτερυγώσεως ονομάζεται η διάμετρος της περιφέρειας που διέρχεται από το μέσο ύψος των πτερυγίων.



**Σχ. 15.1ζ.**  
Μέση διάμετρος  
σταθερής πτερυγώσεως.


# Διάκενα (clearances) πτερυγίων

- Μεταξύ σταθερών και κινητών πτερυγίων υπάρχουν πάντοτε ελευθερίες ή διάκενα, στη διεύθυνση του άξονα του στροβίλου. Αυτά ονομάζονται **αξονικά διάκενα**.
- Η ύπαρξη αξονικών διακένων συμβάλει στο να μη συγκρούονται τα κινητά με τα σταθερά πτερύγια.
- Μεταξύ των κινητών πτερυγίων και του κελύφους καθώς και μεταξύ των σταθερών πτερυγίων και του στροφείου, υπάρχουν επίσης κενά. Τα διάκενα αυτά ονομάζονται **ακτινικά**.
- Η ύπαρξη των ακτινικών διακένων συμβάλει ώστε να μη συγκρούονται οι κορυφές των πτερυγίων είτε με το κέλυφος είτε με το στροφείο.
- Η διατήρηση των διακένων επιτυγχάνεται με τον **τριβέα ισορροπήσεως** (για τα αξονικά) και τους **τριβείς εδράσεως** (για τα ακτινικά).
- Τριβείς - Bearings



Σχ. 15.1η.

Αξονικά και ακτινικά διάκενα πτερυγώσεων.



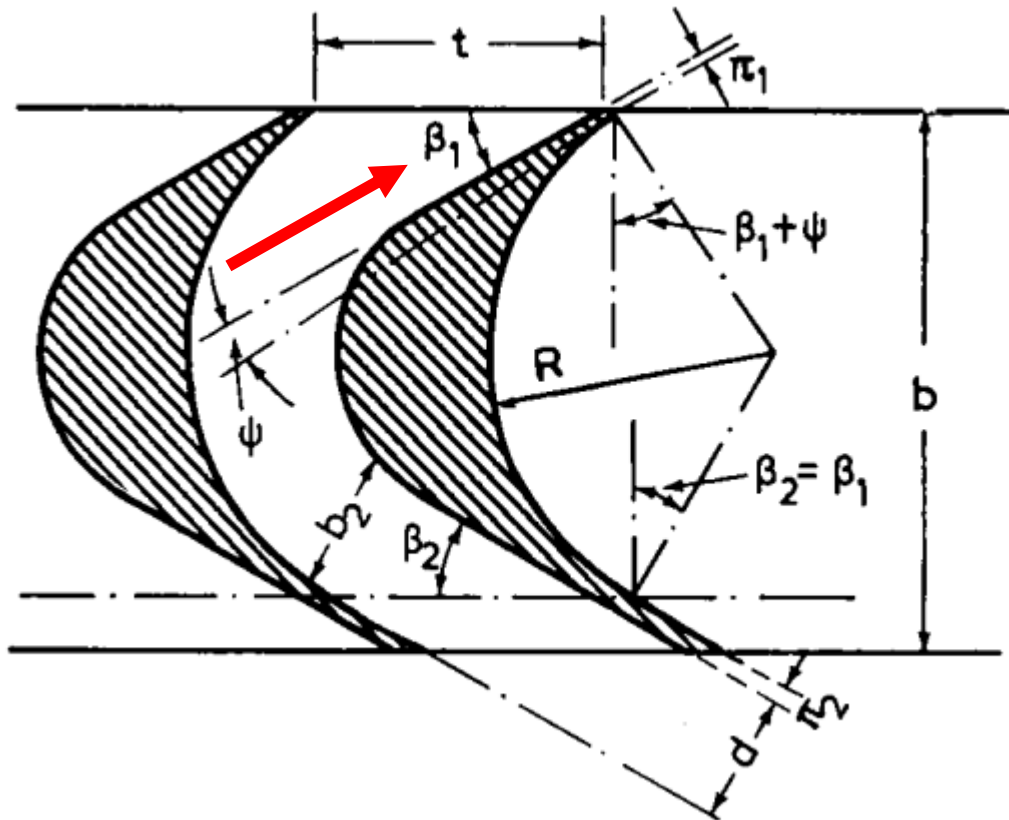
# Προσδιορισμός μεγέθους πτερυγώσεων

Τα πτερύγια πρέπει να αντέχουν στις δυνάμεις που εξασκούνται σε αυτά και να έχουν τέτοια μορφή, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή απόδοση, να περιορίζονται δηλαδή οι απώλειες. Έτσι, πρέπει να προσδιορίζεται μία σειρά στοιχείων που χαρακτηρίζουν τις πτερυγώσεις.

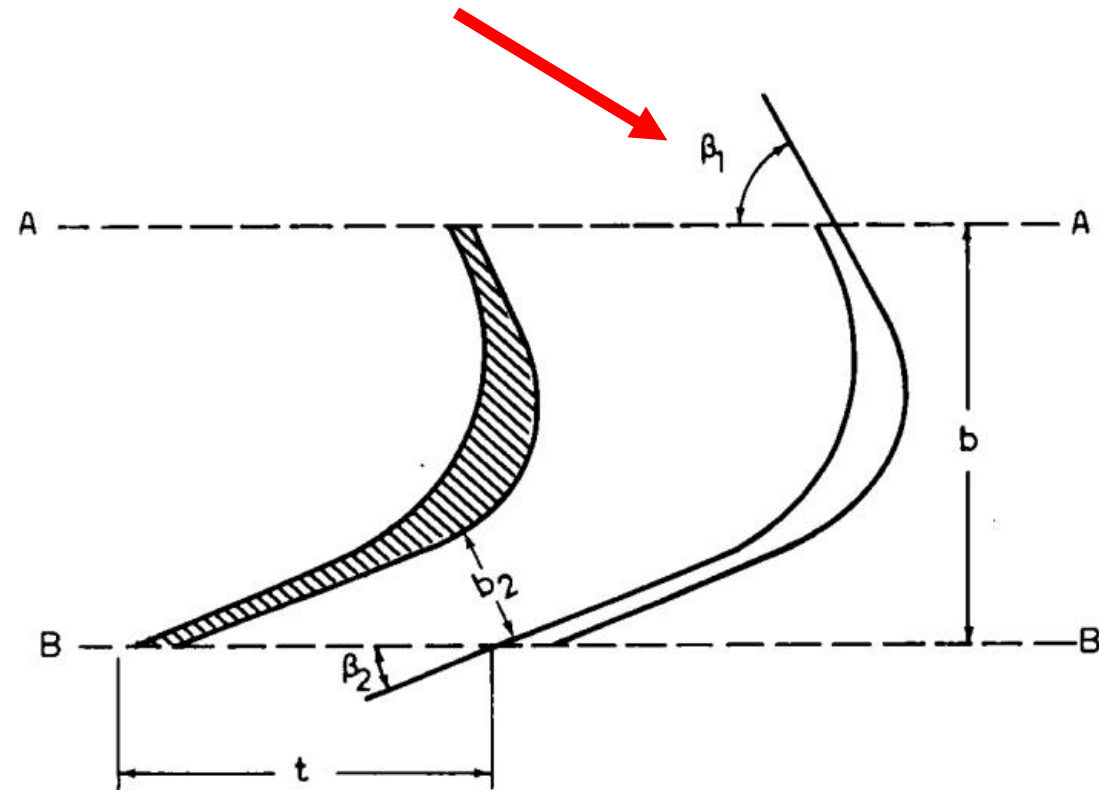
# Γωνία εισόδου $\beta_1$ (εισοχής)

- Είναι η γωνία που αντιστοιχεί στο κυρτό μέρος του πτερυγίου / στην είσοδο του ατμού
- Η γωνία αυτή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο εισερχόμενος στο κινούμενο πτερύγιο ατμός να μένει μεν στα πτερύγια, αλλά να ακολουθεί - όσο γίνεται - εφαπτόμενη προς τις πλευρές πορεία (αποφυγή απωλειών έργου λόγω κρούσεων)
- Οι τιμές της γωνίας είναι γενικώς μικρές. Όμως, υπάρχουν πτερύγια δράσεως, στα οποία οι γωνίες είναι  $25^\circ$  έως και  $40^\circ$

## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΔΡΑΣΕΩΣ



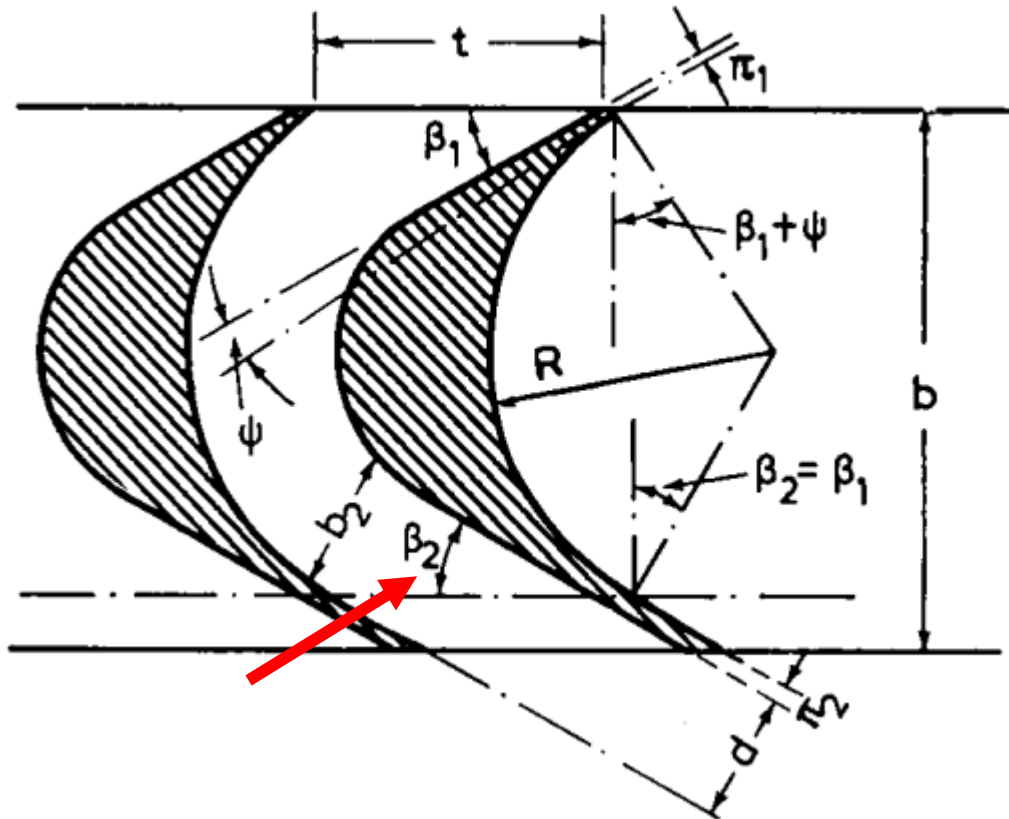
## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ



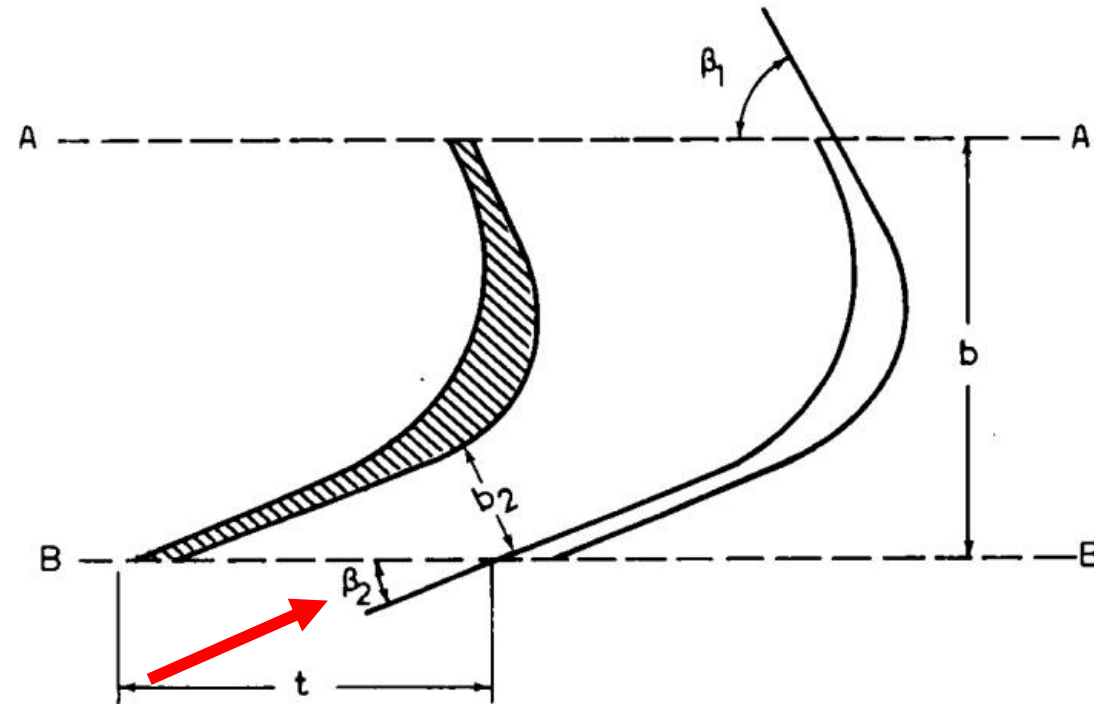
# Γωνία εξόδου $\beta_2$ (εκροής)

- Είναι η γωνία που σχηματίζει το πτερύγιο στην πλευρά εξόδου του ατμού
- Η οικονομική/ αποδοτική λειτουργία απαιτεί όσο το δυνατόν μικρότερες γωνίες εκροής, αυτό όμως σημαίνει μεγάλα μήκη πτερυγίων
- **Οι τιμές της γωνίας ποικίλουν:**  $15^\circ$ - $30^\circ$  σε στροβίλους δράσεως, έως  $40^\circ$  σε στροβίλους χαμηλής πίεσης,  $15^\circ$  –  $25^\circ$  σε στροβίλους αντιδράσεως με μεγαλύτερες γωνίες στις τελευταίες βαθμίδες

## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΔΡΑΣΕΩΣ



## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ





# Βήμα πτερυγώσεως

- Όπως αναφέρθηκε είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πτερυγίων

➤ Εμπειρικός τύπος προσδιορισμού βήματος:  $t = b \cdot (1 - \sin\beta_2)$

➤ Τύπος του Brilling για τον προσδιορισμό του βήματος:  $t = \frac{b}{2 \cdot \sin(2\beta_2)}$

(b: πλάτος πτερυγώσεως)

- Μεγάλος αριθμός πτερυγίων στην ίδια σειρά αυξάνει τις τριβές
- Ως γενικός εμπειρικός κανόνας θεωρείται το ότι το βήμα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 10 mm και μεγαλύτερο από 25,4 mm.
- Για τους στροβίλους δράσεων χρησιμοποιείται συνήθως βήμα 10-17,5 mm
- Για τους στροβίλους αντιδράσεως χρησιμοποιείται συνήθως βήμα 8-15 mm

# Πλάτος πτερυγίων

- Το πλάτος προκύπτει από τη σχεδίαση των πτερυγίων και, συγκεκριμένα, από τις απαιτήσεις αντοχής τους σε κόπωση
- Πτερύγια μεγάλα σε μήκος, απαιτούν και μεγαλύτερο πλάτος. Μήκος (ή ύψος) και πλάτος έχουν μεταξύ τους σύνδεση.
- Συνήθεις τιμές:
  - Στρόβιλοι δράσεως: 22 – 38 mm
  - Στρόβιλοι αντιδράσεως: 10 – 29 mm
- Συνήθως ο λόγος μήκους / πλάτους είναι έως 12 για στροβίλους δράσεως και μεταξύ 10 και 15 για στροβίλους αντιδράσεως

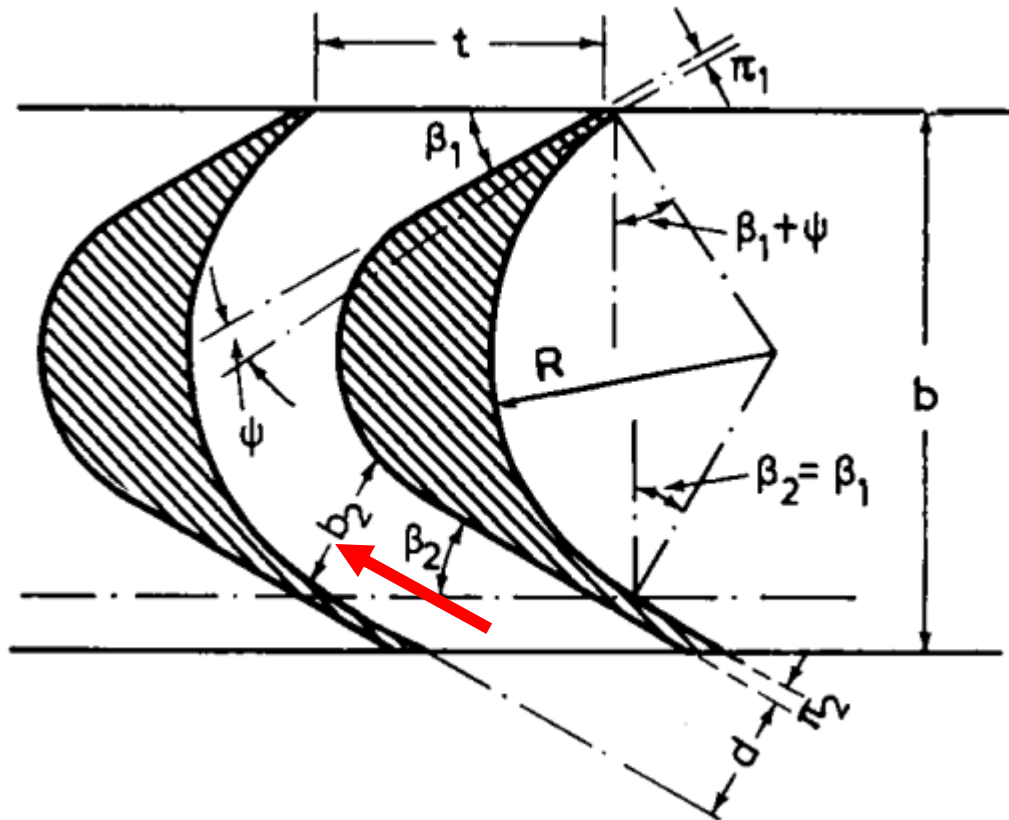
# Μήκος ή ύψος πτερυγίων

- Υπάρχουν όρια επιτρεπόμενου μέγιστου και ελάχιστου μήκους
- Λαμβάνεται υπ' όψιν η αναλογία μήκους/βήματος για την κανονική ροή ατμού και η αναλογία διαμέτρου στροφείου και μήκους για την αντοχή του πτερυγίου
- Συνήθεις τιμές:
  - Στρόβιλοι δράσεως μικρού μεγέθους: min 10 mm
  - Στρόβιλοι δράσεως μεγαλύτερου μεγέθους: 25 – 35 mm
- Σε σύγκριση με τη μέση διάμετρο πτερυγώσεως το ελάχιστο μήκος δεν πρέπει να υπολείπεται του 3%
- Σε στροβίλους αντιδράσεως το αντίστοιχο ελάχιστο ποσοστό είναι 4%
- Πέρα από τους εμπειρικούς αυτούς κανόνες, το ακριβές μήκος πτερυγίων καθορίζεται από το θερμικό υπολογισμό του στροβίλου

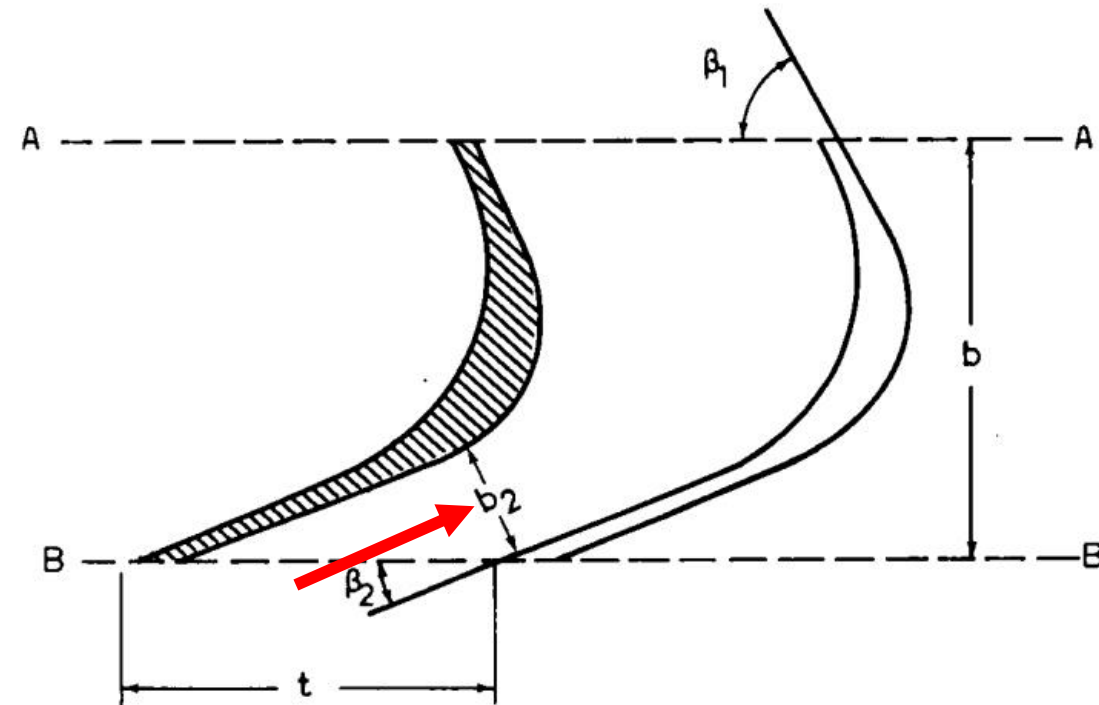
# Πλάτος αύλακας (b2)

- Το πλάτος αύλακας είναι η απόσταση μεταξύ των πλευρών δύο διαδοχικών πτερυγίων κατά την κάθετη διεύθυνση στη γραμμή ροής του ατμού. Για τα πτερύγια δράσεως το πλάτος αυτό είναι σταθερό, με κάποιες εξαιρέσεις, που το πλάτος αυτό είναι στην αρχή λίγο μεγαλύτερο για λόγους περιορισμού των απωλειών.
- Στους στροβίλους αντιδράσεως ως πλάτος αύλακας θεωρείται η απόσταση μεταξύ των πλευρών στο τμήμα εξόδου του ατμού που είναι και η ελάχιστη της όλης αύλακας

## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΔΡΑΣΕΩΣ



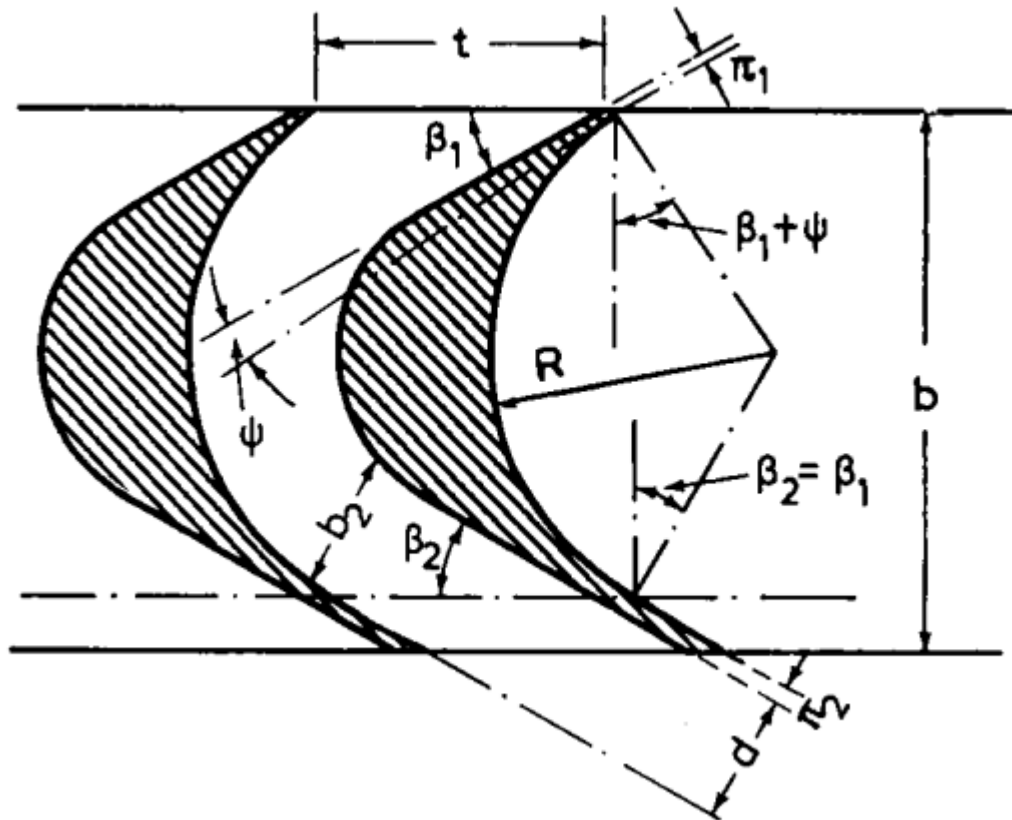
## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ



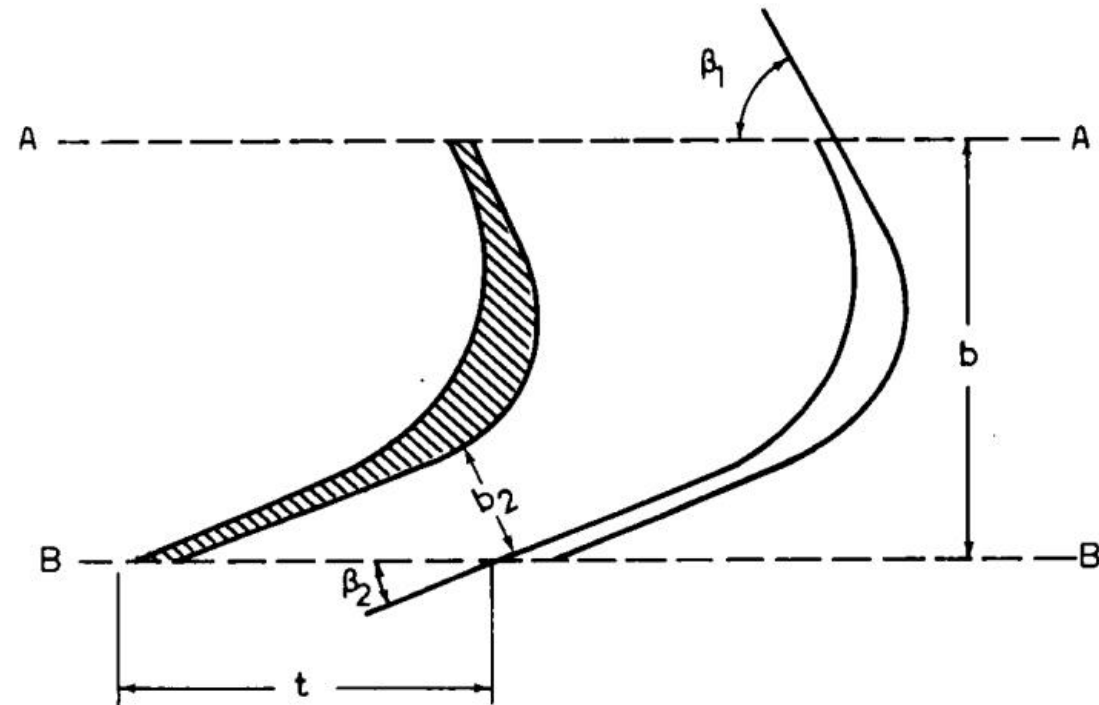
# Αναλογία αύλακας προς βήμα ( $b_2/t$ )

- Ο λόγος πλάτους αύλακας προς βήμα περυγώσεως είναι σημαντικός κατά τους υπολογισμούς ατμοστροβίλων.
- Αυτό συμβαίνει διότι η αναλογία αυτή επηρεάζει τον προσδιορισμό του μήκους περυγίου, αφού πρέπει να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια εξόδου του ατμού.

## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΔΡΑΣΕΩΣ



## ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ

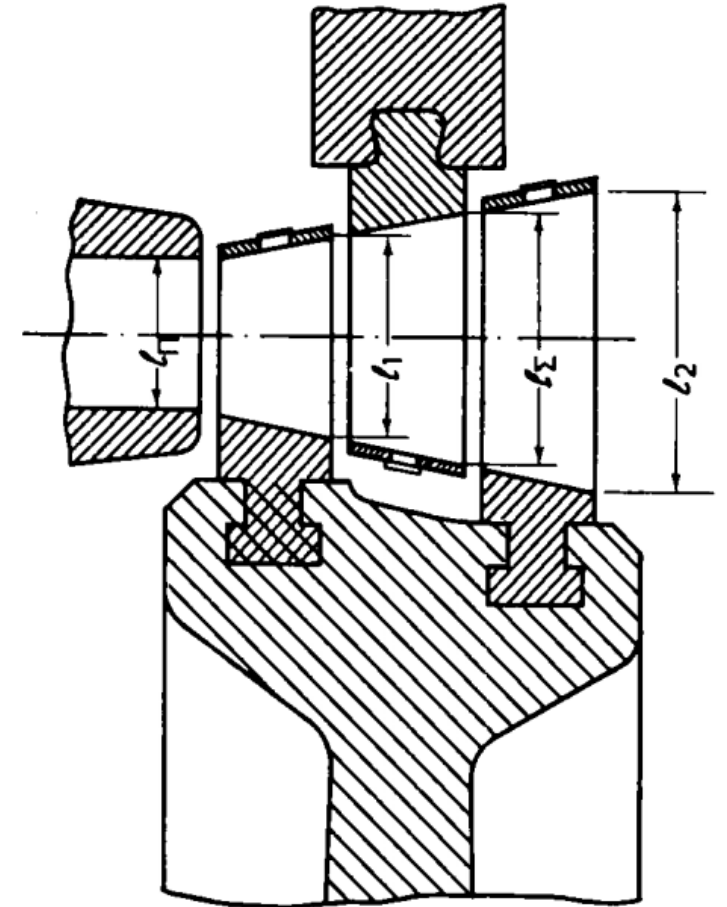


# Υπολογισμοί (I)

## ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΔΡΑΣΕΩΣ ΜΕ ΔΥΟ ΣΕΙΡΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

### ΜΕΓΕΘΗ

- $\dot{m}$  η παροχή μάζας ατμού που ρέει μέσα από τα προφύσια και τα πτερύγια
- $l_{\Pi}, l_1, l_{\Sigma}, l_2$  τα μήκη των
  - Προφυσίων στην πλευρά εξόδου του ατμού
  - Πτερυγίων πρώτης σειράς
  - Σταθερών πτερυγίων
  - Πτερυγίων δεύτερης σειράς
- $u$  ο ειδικός όγκος του ατμού που παραμένει σταθερός σε όλη τη διαδρομή
- $\lambda$  το μήκος τόξου ροής (εγχύσεως ή προσβολής) του ατμού
- $\alpha$  η γωνία προφυσίου



# Υπολογισμοί (II)

$$\dot{m} \cdot u = A \cdot c \text{ (εξίσωση συνέχειας)}$$

$$\dot{m} \cdot u = \lambda \cdot l_{\Pi} \cdot \sin \alpha \cdot c_{1I} \longrightarrow \text{Ταχύτητα εισόδου πρώτης βαθμίδας}$$

$$\dot{m} \cdot u = w_{1I} \cdot \frac{\lambda}{t_1} \cdot l_1 \cdot (t_1 \cdot \sin \beta_2 - \pi_1)$$

↓  
Σχετική ταχύτητα εισόδου πρώτης βαθμίδας

↓  
Βήμα πρώτης κινητής πτερύγωσης

↓  
Πάχος ακμής εξόδου πτερυγίων πρώτης σειράς

