



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of Mechanical Engineering

Lab. Of Thermal Turbomachines

Parallel CFD & Optimization Unit (PCOpt/NTUA)

Πτερυγώσεις – Τρίγωνα Ταχυτήτων

Kyriakos C. GIANNAKOGLOU, Professor NTUA

[kgianna@mail.ntua.gr](mailto:kgianna@mail.ntua.gr)

<http://velos0.ltt.mech.ntua.gr/research>



## Ύλη του Σημερινού Μαθήματος

**Διδιάστατες (2Δ) πτερυγώσεις συμπιεστών (C) και στροβίλων (T).**

**Μονοδιάστατη (1Δ) ανάλυση ροής σε πτερύγωση**

**Χωρίο μελέτης (δύο εκδοχές) σε μια 2Δ πτερύγωση – Βασική Ορολογία**

**Ο ρόλος της Μηχανικής των Ρευστών και της Θερμοδυναμικής**

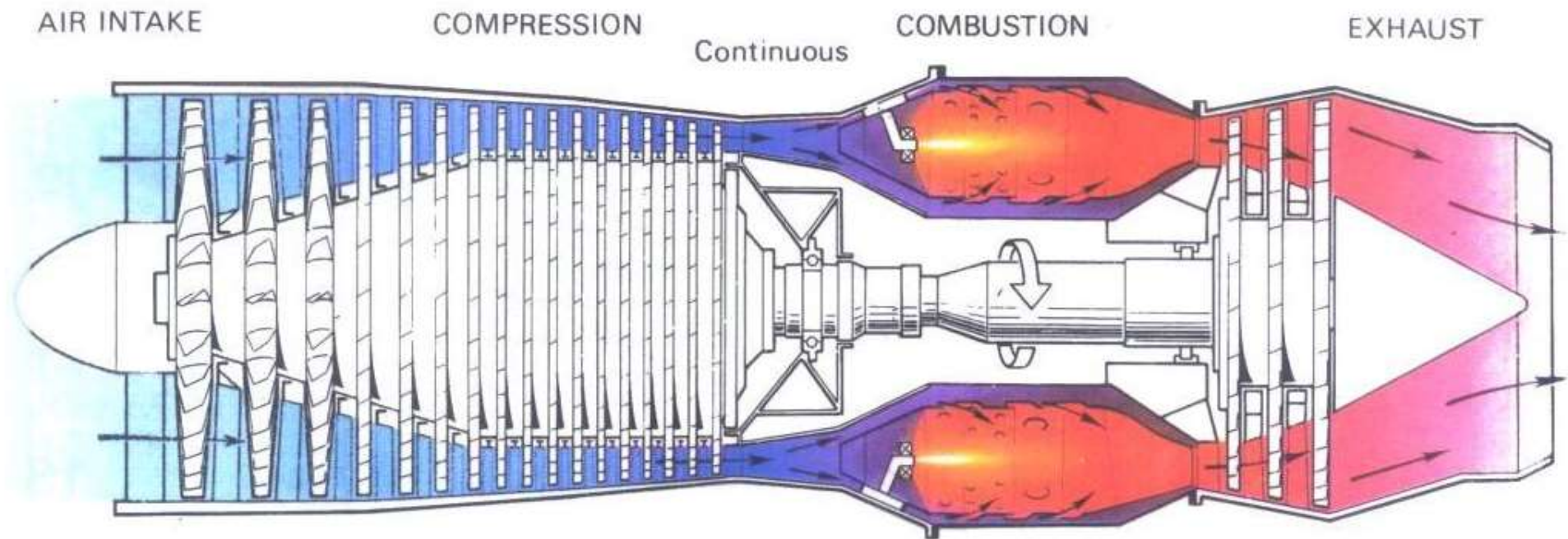
**Τρίγωνα Ταχυτήτων σε 2Δ πτερύγωση**

**Κανόνας προσήμου γωνιών ροής και περιφερειακών συνιστωσών της ταχύτητας**

**Επιβραδύνσεις-Επιταχύνσεις (& ποιών ταχυτήτων)**



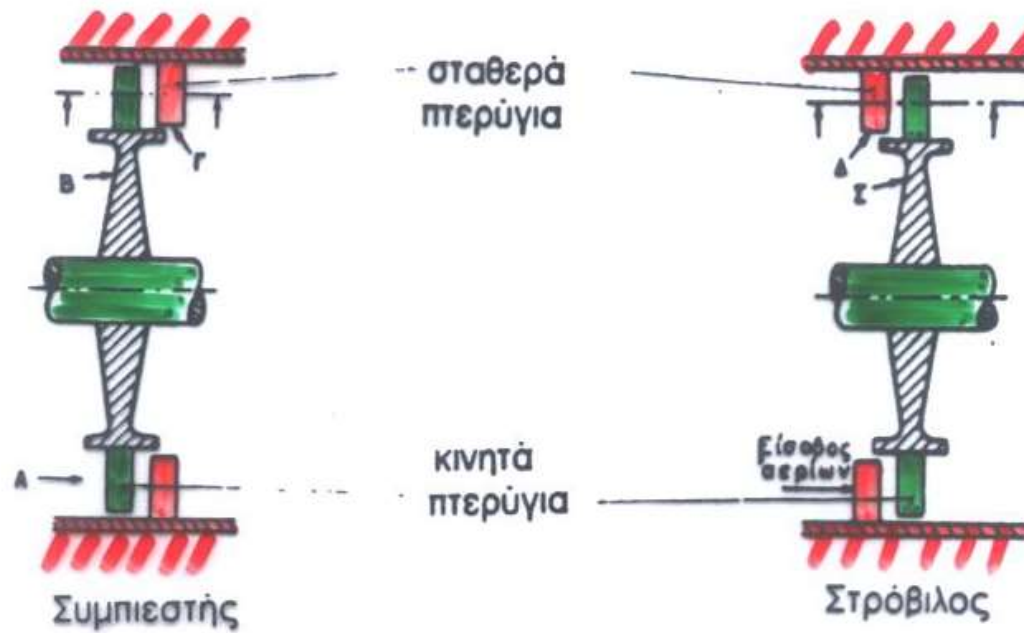
## Λ.χ. Στροβιλοαντιδραστήρας (Turbojet)







## Βαθμίδα Συμπιεστή και Στροβίλου

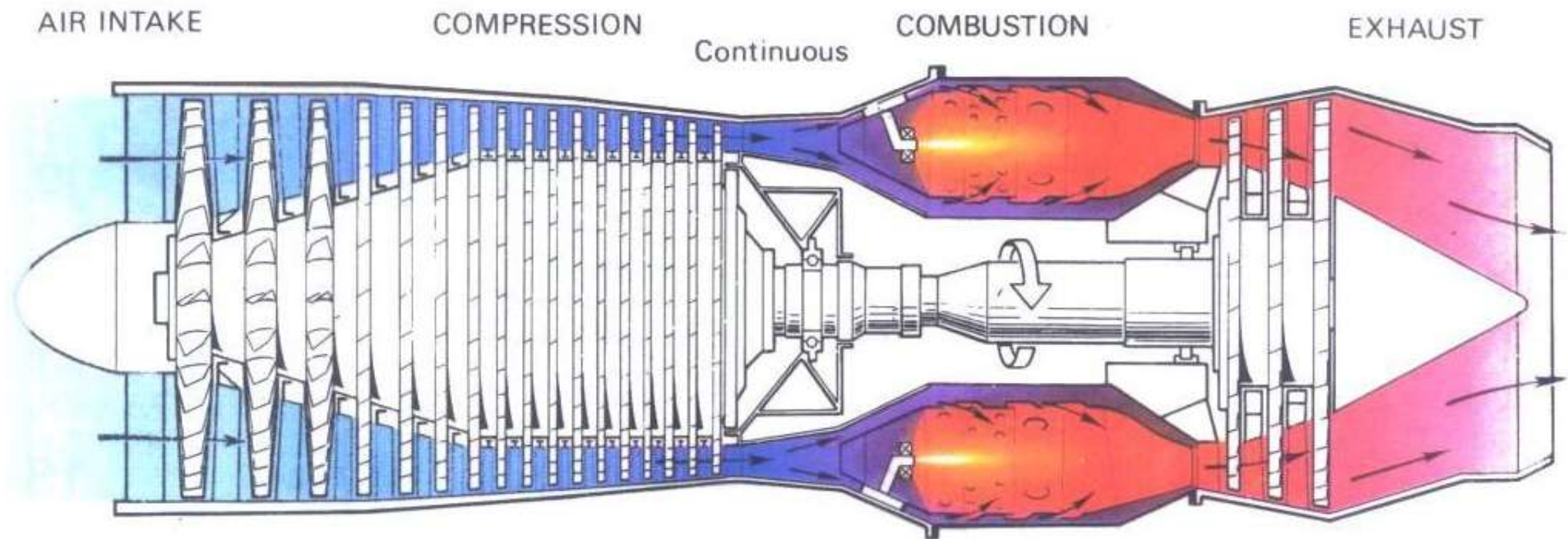


Σταθερή ή Ακίνητη Πτερύγωση (Στάτης, Stator)  
Κινητή ή Περιστρεφόμενη Πτερύγωση (Δρομέας, Rotor)



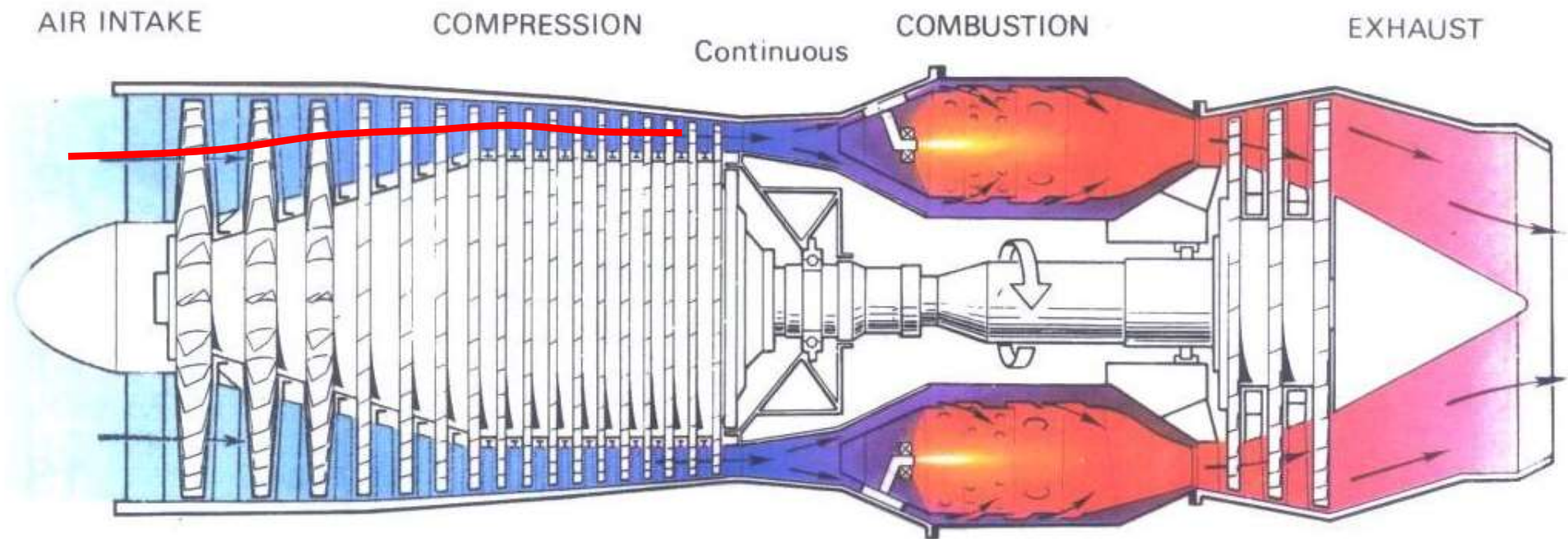


## Λ.χ. Στροβιλοαντιδραστήρας (Turbojet)



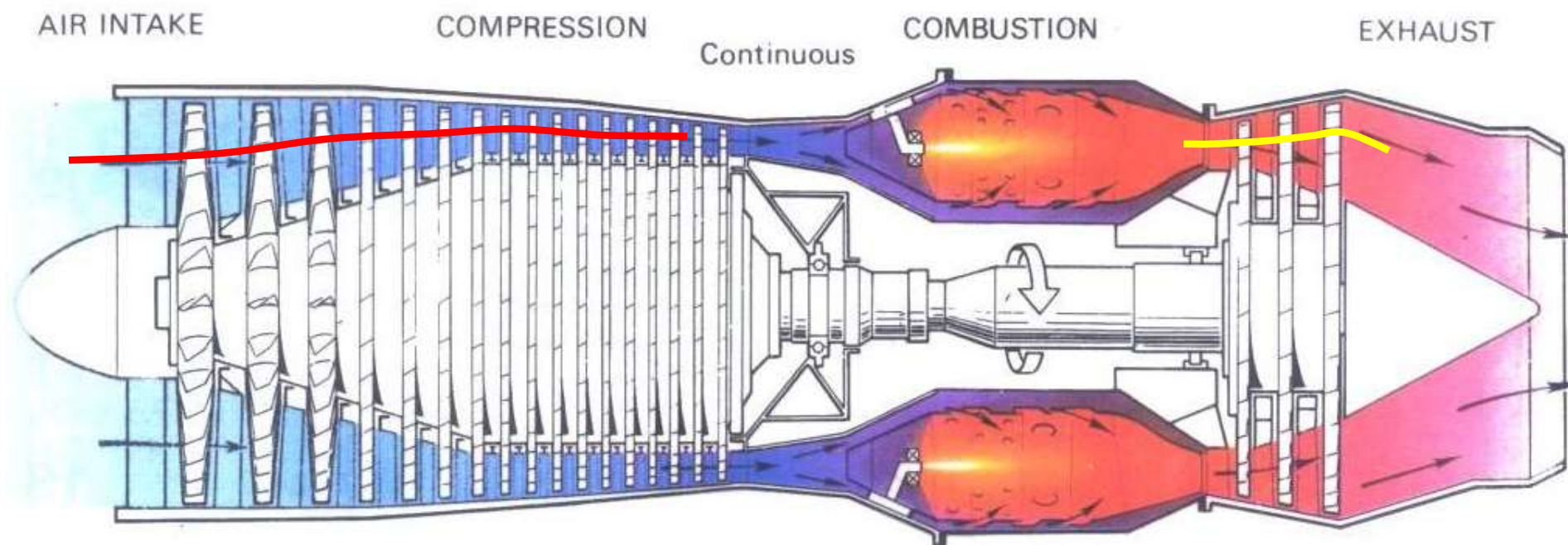


## Από το 3Δ στο 2Δ





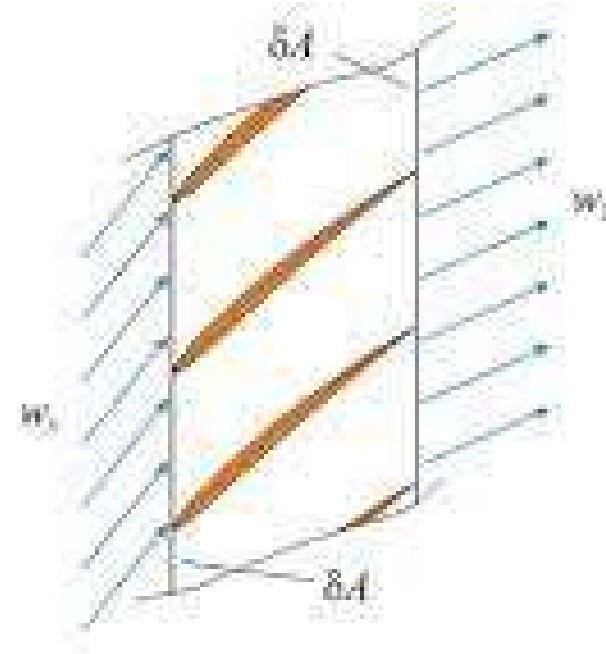
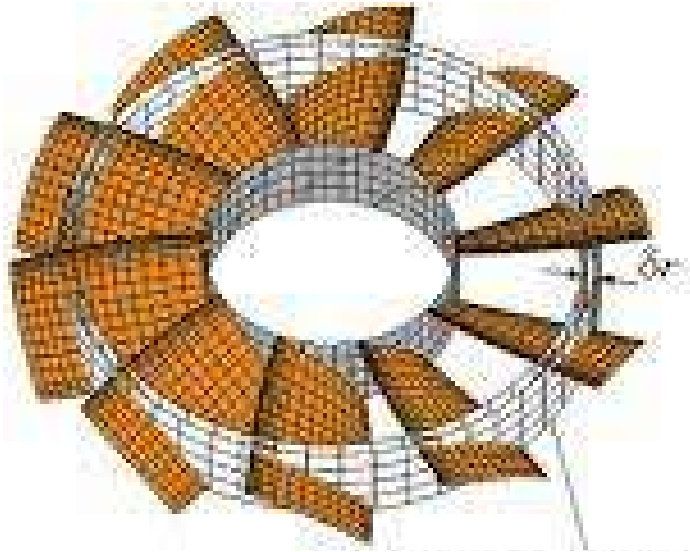
## Από το 3Δ στο 2Δ







## Απλοποίηση - Τομή με Κύλινδρο





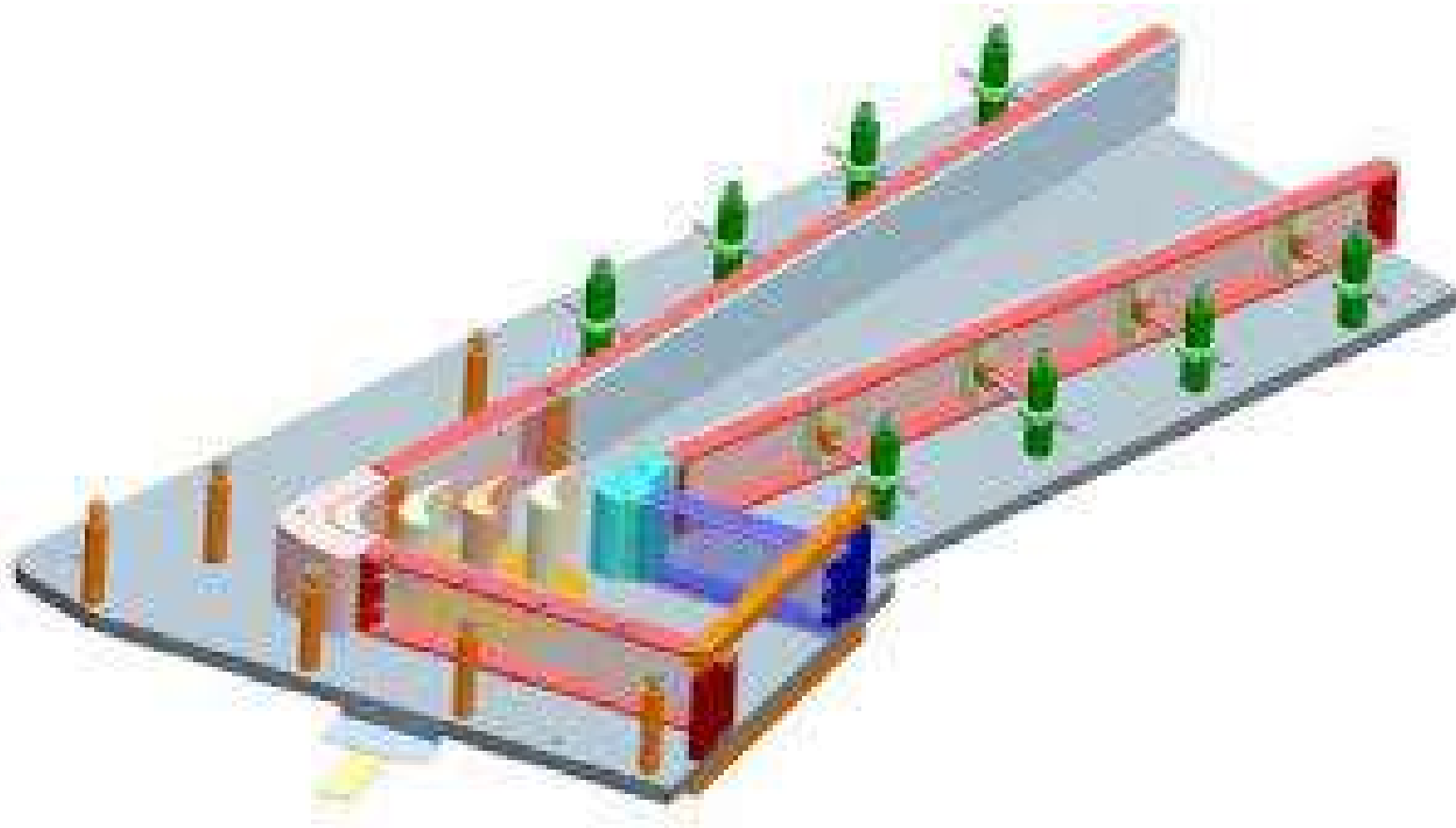
## Περιφερειακή Πτερύγωση (Peripheral Cascade) - Εδώ Συμπιεστή







## Γραμμική Πτερύγωση (Linear Cascade)

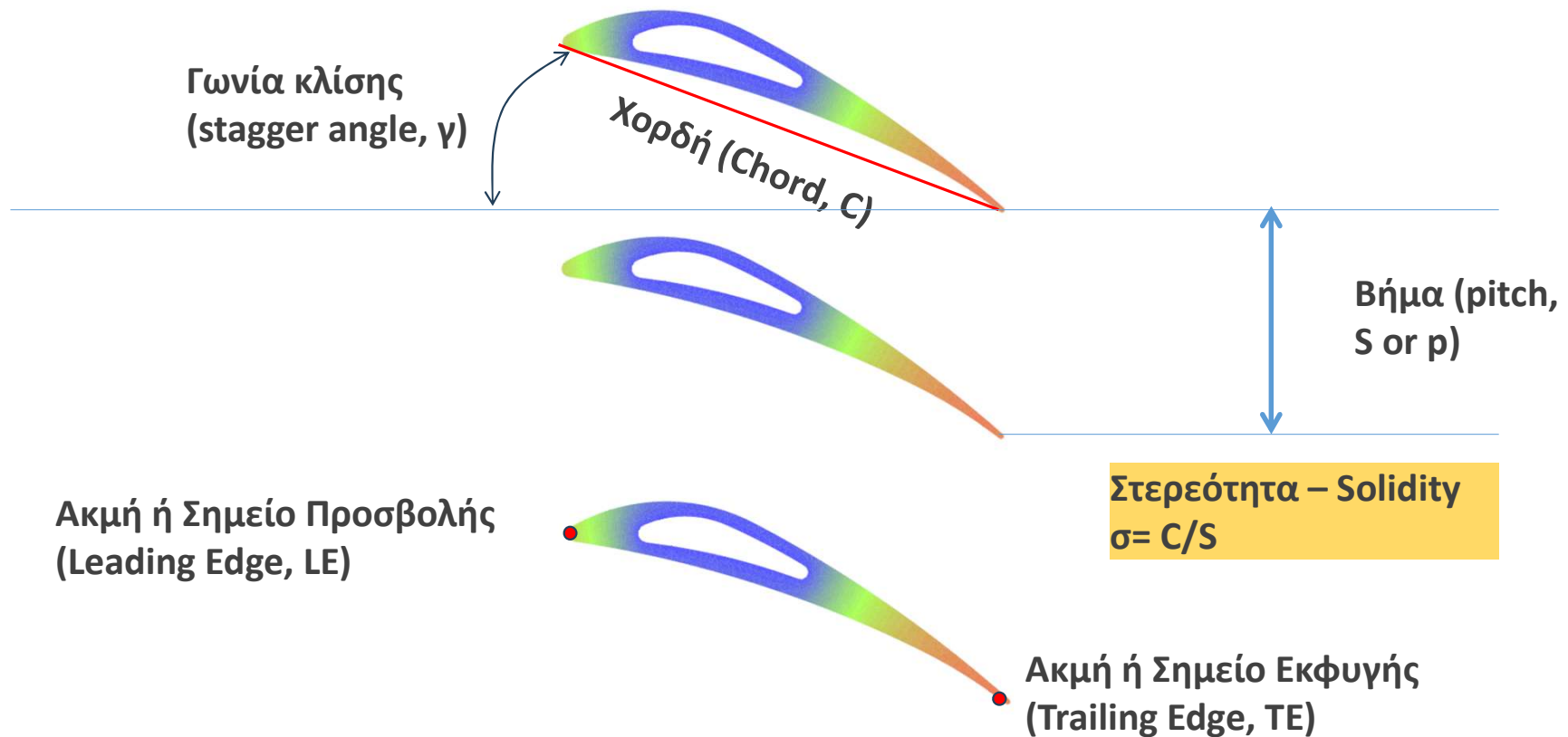








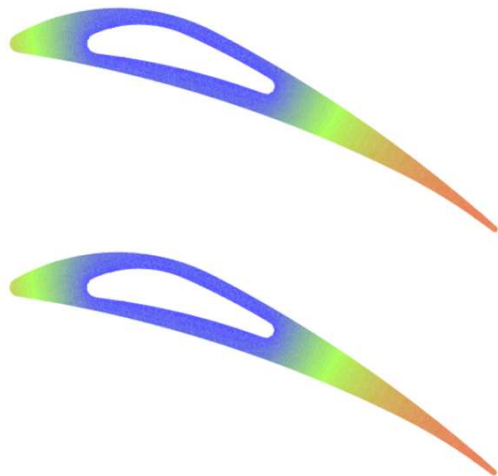
## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου (Εσωτερικά Ψυχόμενου)



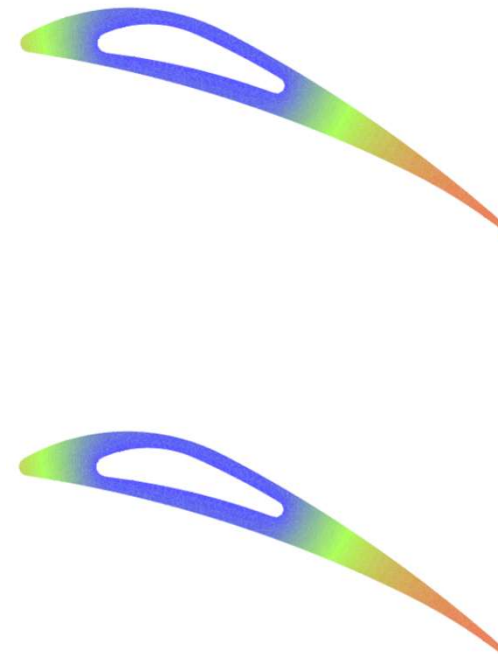


## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου μεγάλης/μικρής τιμής Στερεότητας $\sigma$

Μεγάλη Στερεότητα –  
Solidity  $\sigma = C/S$

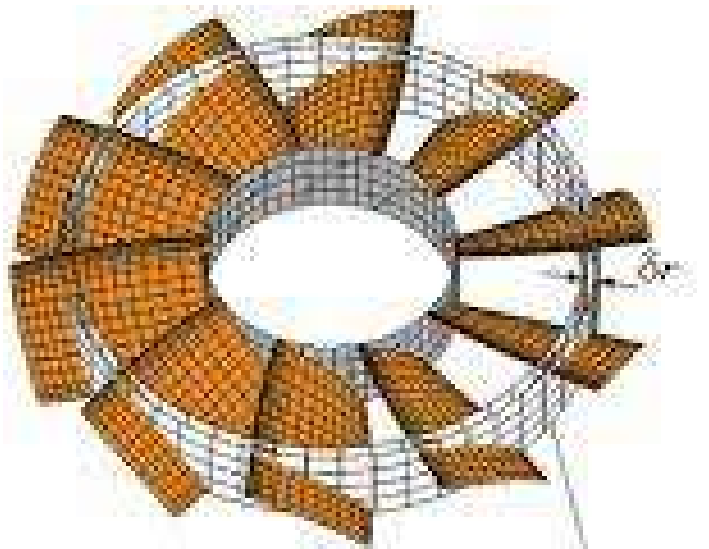


Μικρή Στερεότητα –  
Solidity  $\sigma = C/S$





## Βήμα Περιφερειακής Πτερύγωσης



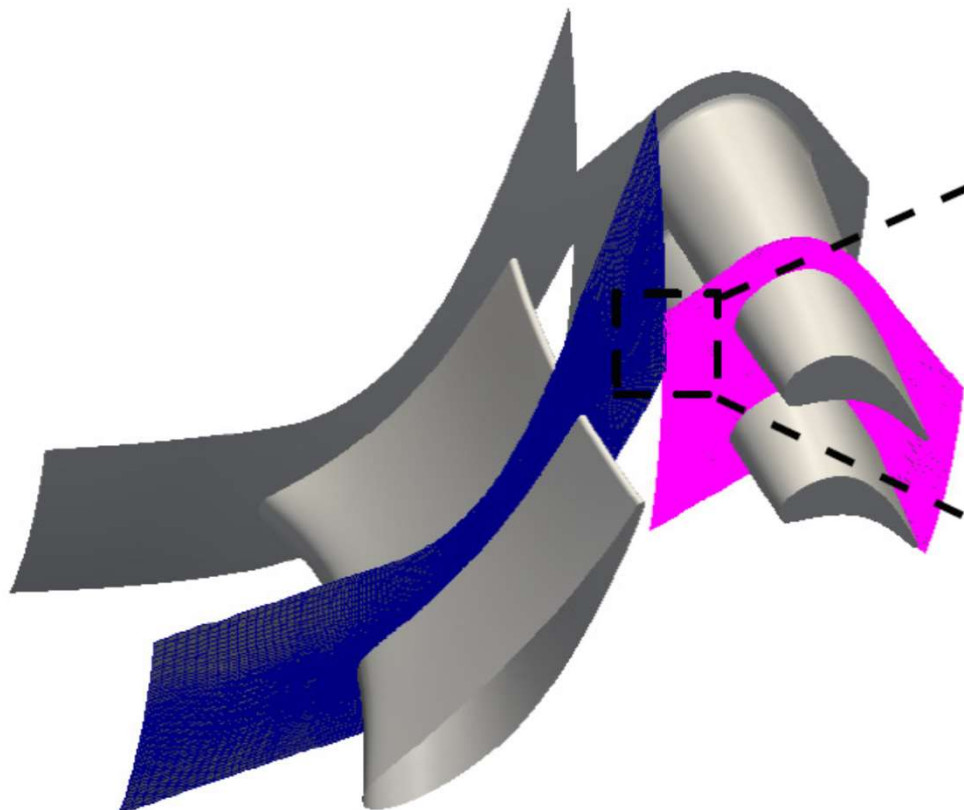
$$pitch = \frac{2\pi}{\#blades}$$

[peripheral pitch in rad (or degrees)]



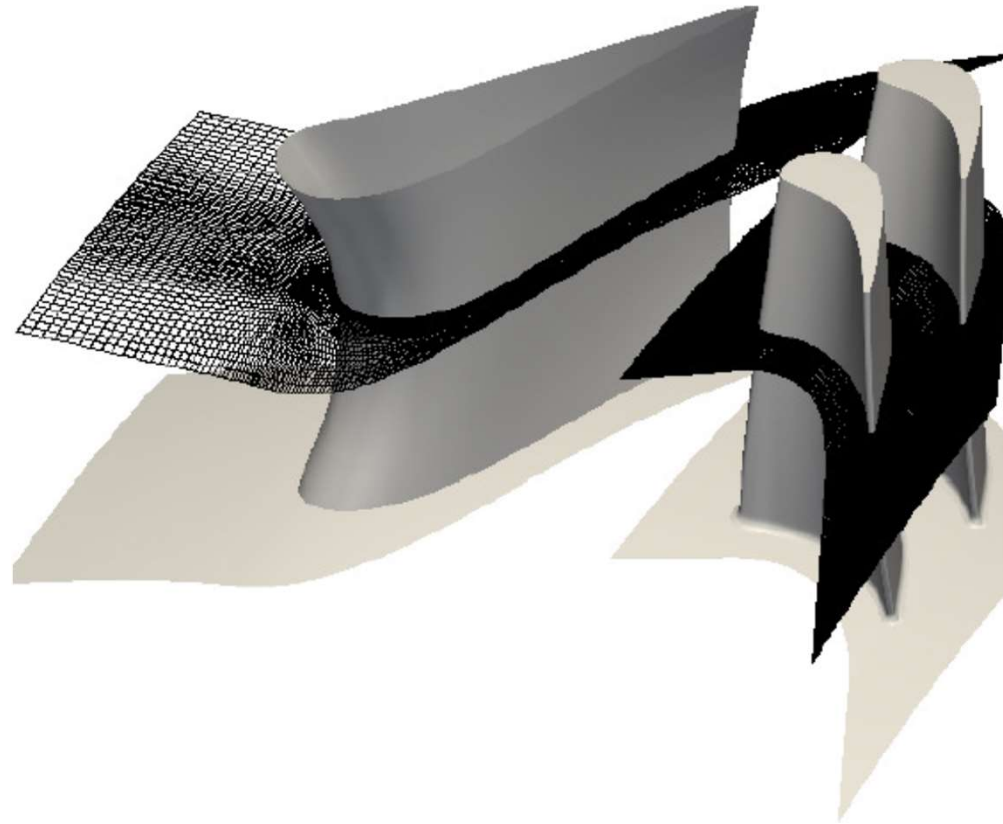


## Τομές σε αληθινές γεωμετρίες στροβιλομηχανών



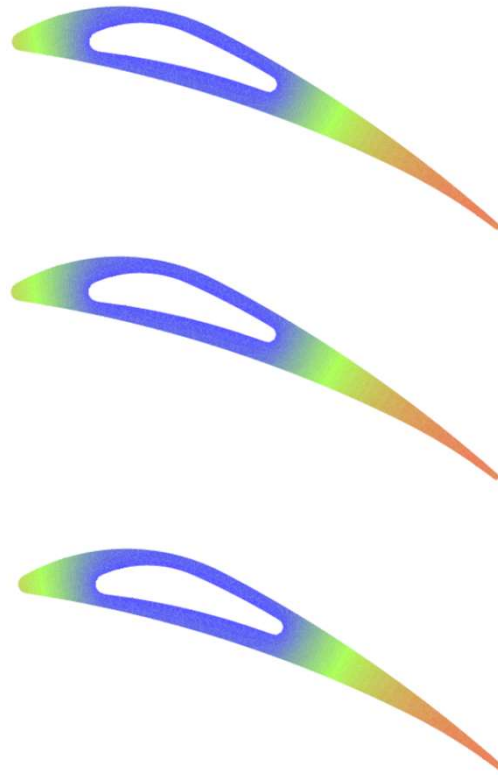


## Τομές σε αληθινές γεωμετρίες στροβιλομηχανών



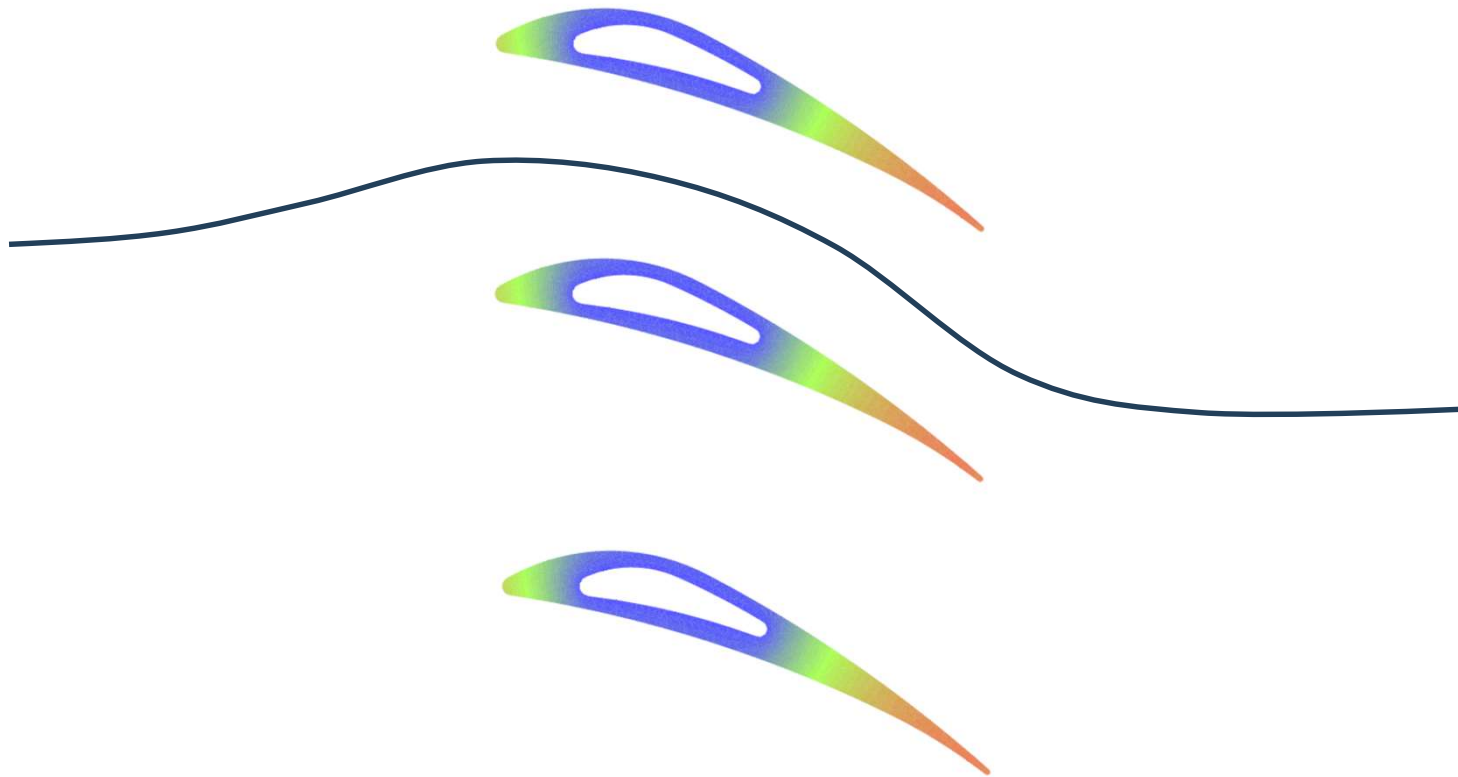


## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου – Χωρίο Μελέτης





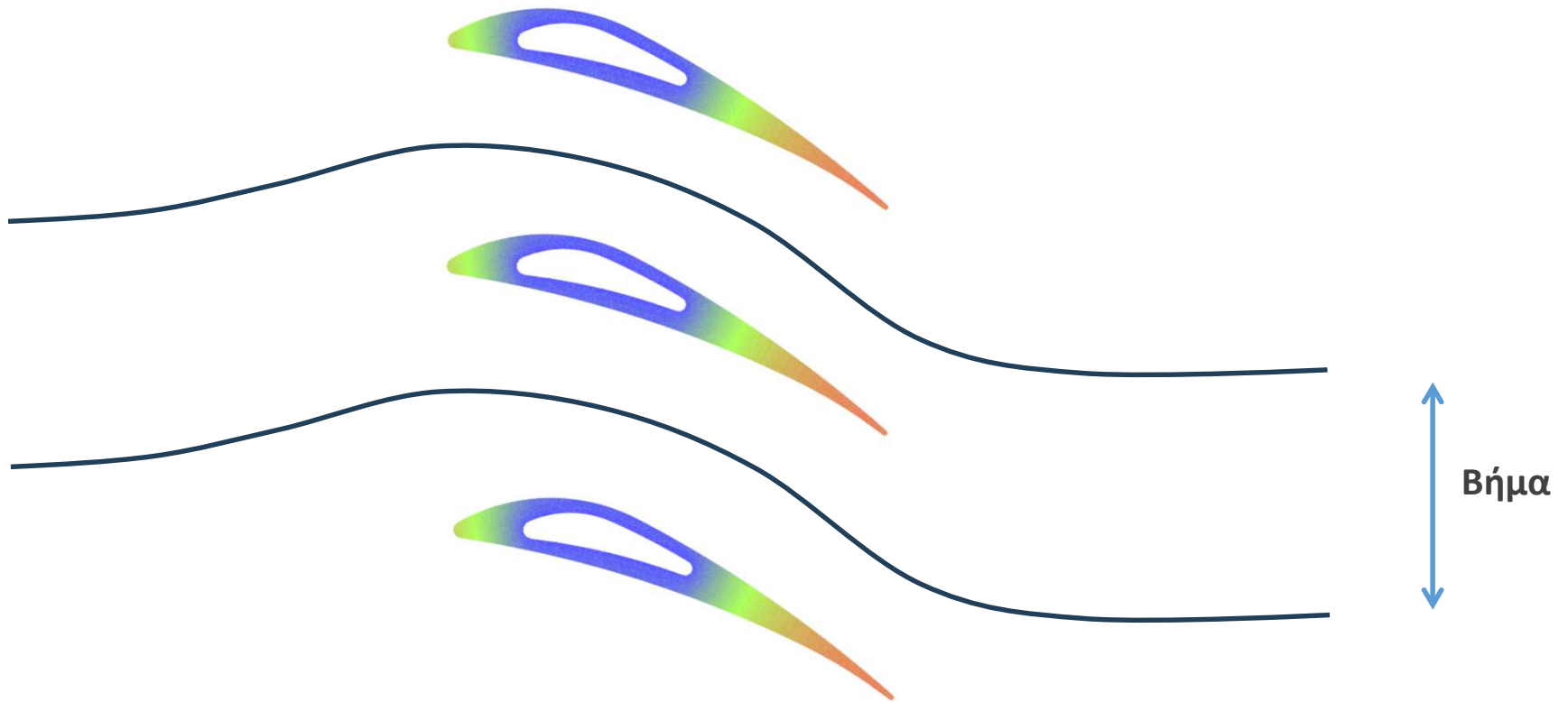
## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου – Χωρίο Μελέτης







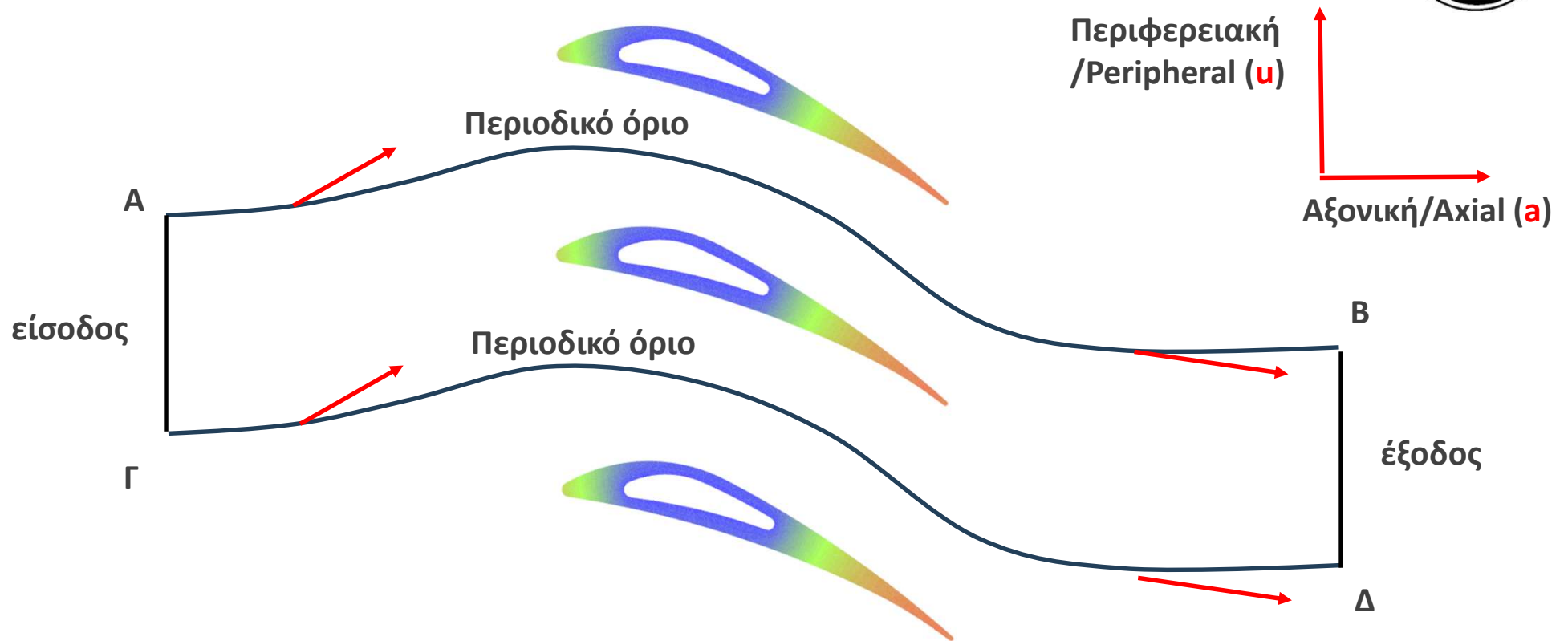
## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου – Χωρίο Μελέτης





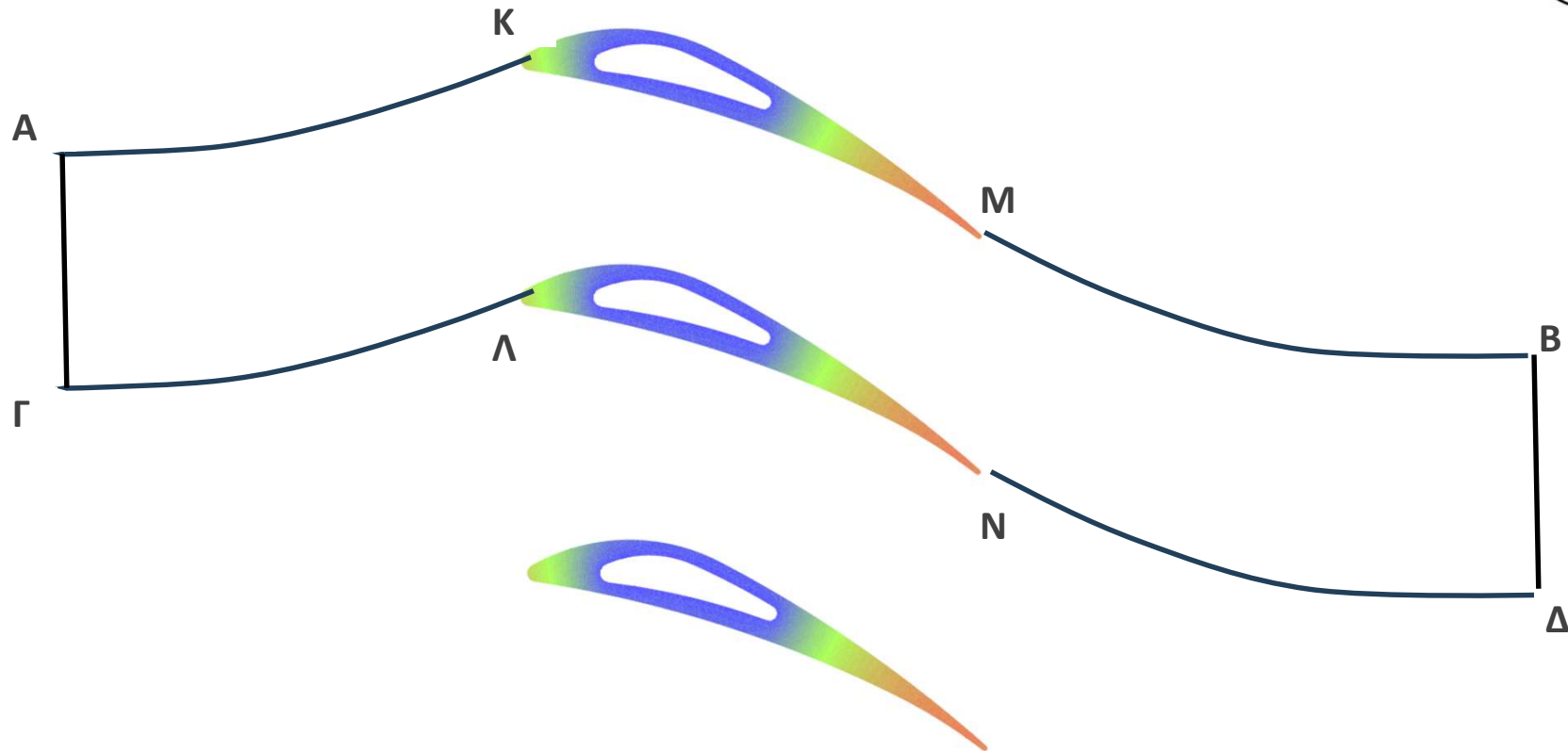


## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου – Χωρίο Μελέτης





## 2Δ Πτερύγωση Αξονικού Στροβίλου – Εναλλακτικό Χωρίο Μελέτης









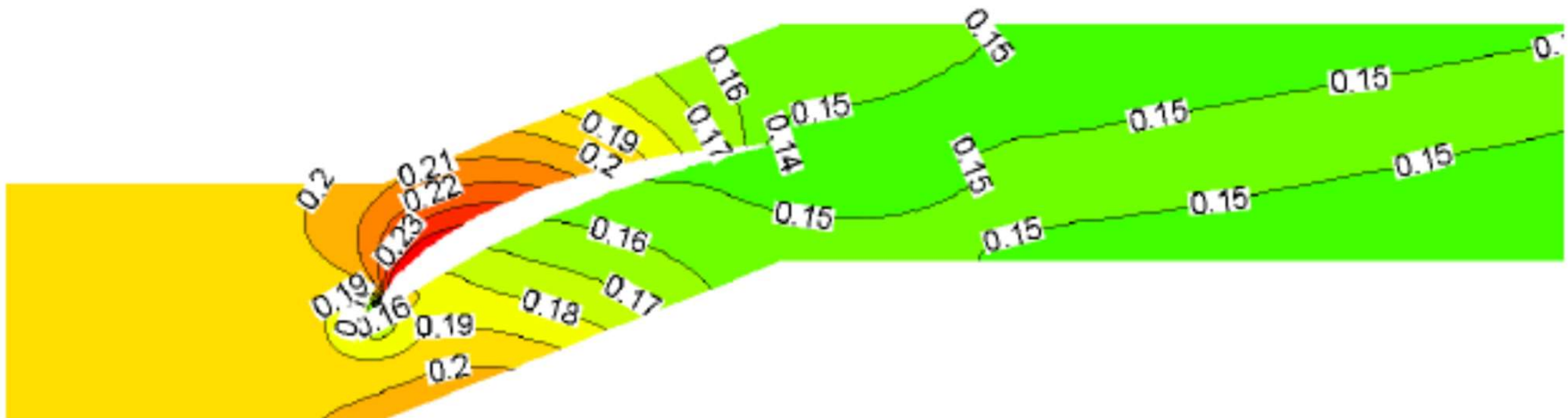
## Περί χωρίων υπολογισμού – Επόμενα (του μαθήματος) βήματα



**Πλευρά Υπερπίεσης (Pressure Side, PS), πλευρά Υποπίεσης (Suction Side, SS), Ακμή Προσβολής (Leading Edge, LE), Ακμή Εκφυγής (Trailing Edge, TE), Μέση Γραμμή Κυρτότητας της Αεροτομής (Mean Camber Line), Γωνία Στήριξης ή Θέσης της Αεροτομής (Stagger Angle), Περιοδικά Όρια (Periodic Boundaries)**



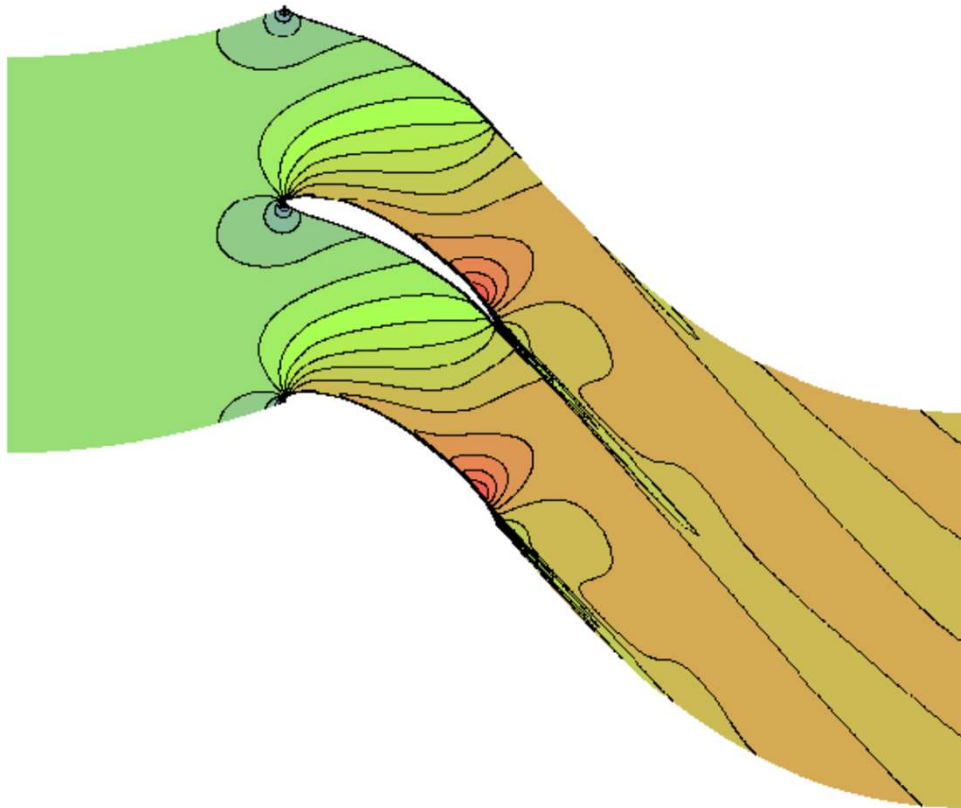
## Περί χωρίων υπολογισμού – Επόμενα (του μαθήματος) βήματα



Αυτό είναι το αποτέλεσμα μιας «πραγματικής 2Δ» μελέτης της ροής, επιλύοντας τις εξισώσεις ροής που μαθαίνεται στο μάθημα της Μηχανικής των Ρευστών, με κώδικες Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics), όπως κάποιες/οι θα διδαχθούν στο ομώνυμο μάθημα και στο μάθημα Υπολογιστικές Μέθοδοι στις Στροβιλομηχανές

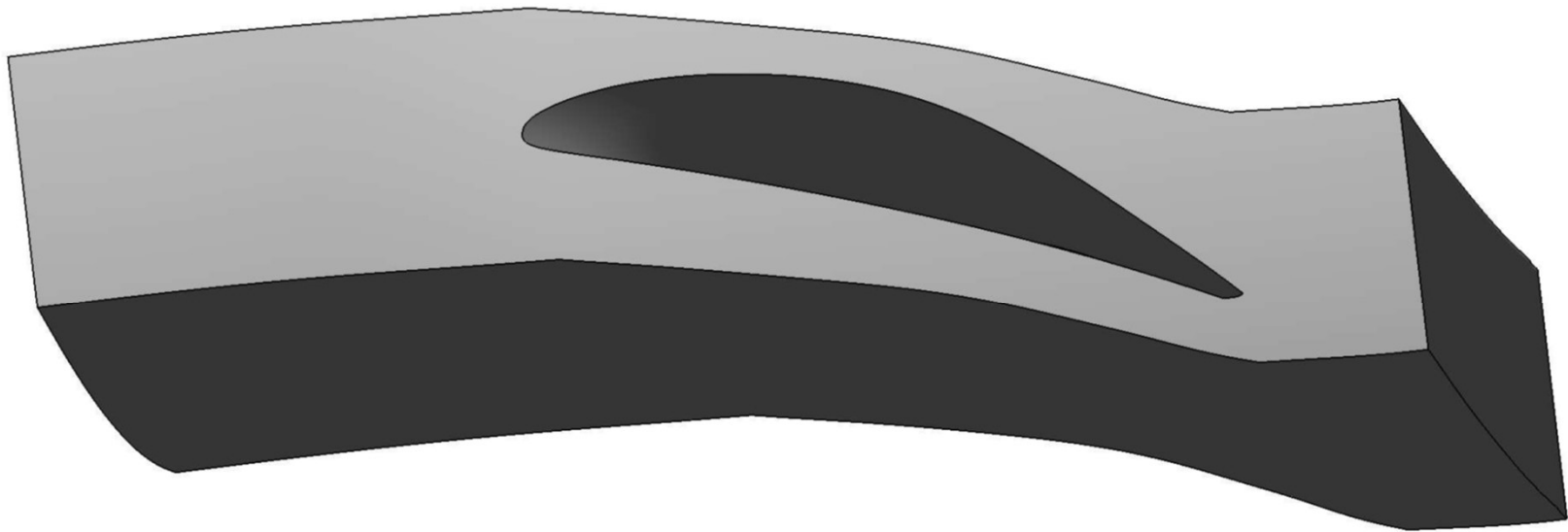


## Περί χωρίων υπολογισμού – Επόμενα (του μαθήματος) βήματα



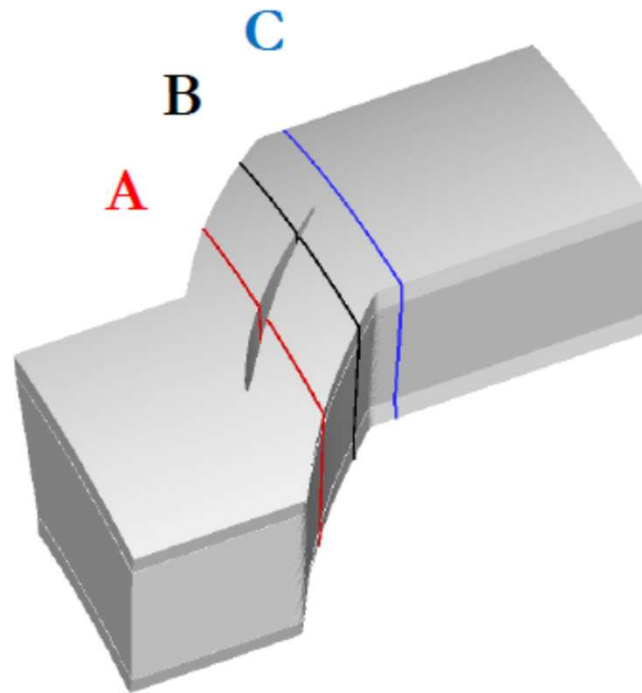


## Χωρίο (Domain) Ανάλυσης σε 3D Πτερύγωση Συμπιεστή





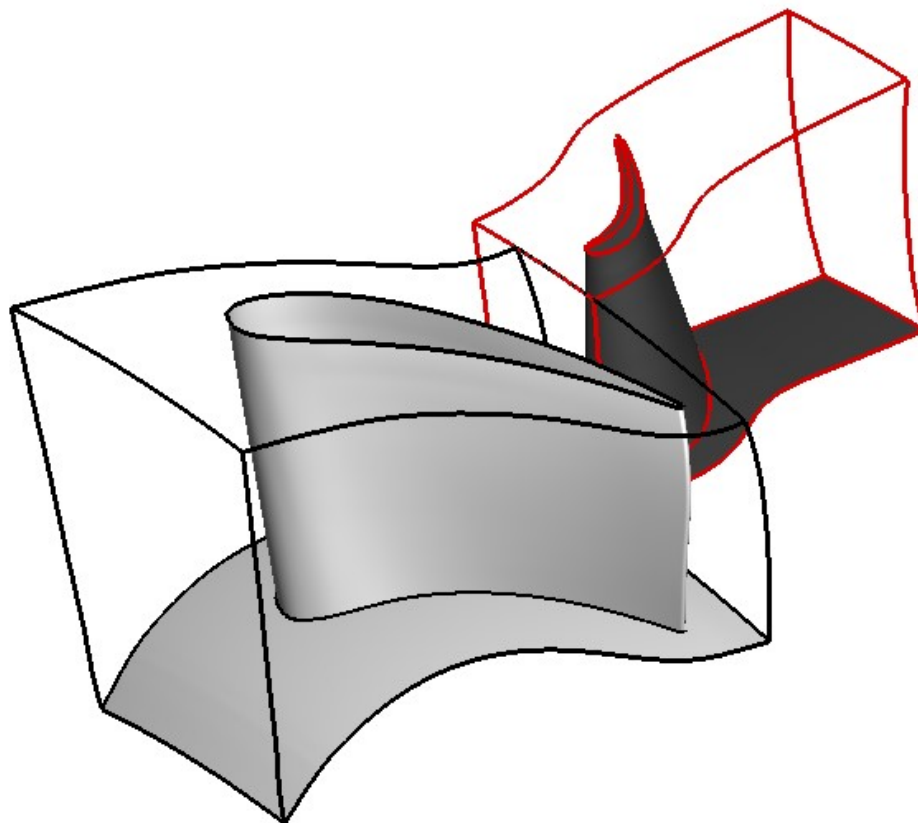
## Χωρίο (Domain) Ανάλυσης σε 3Δ Πτερύγωση Συμπιεστή



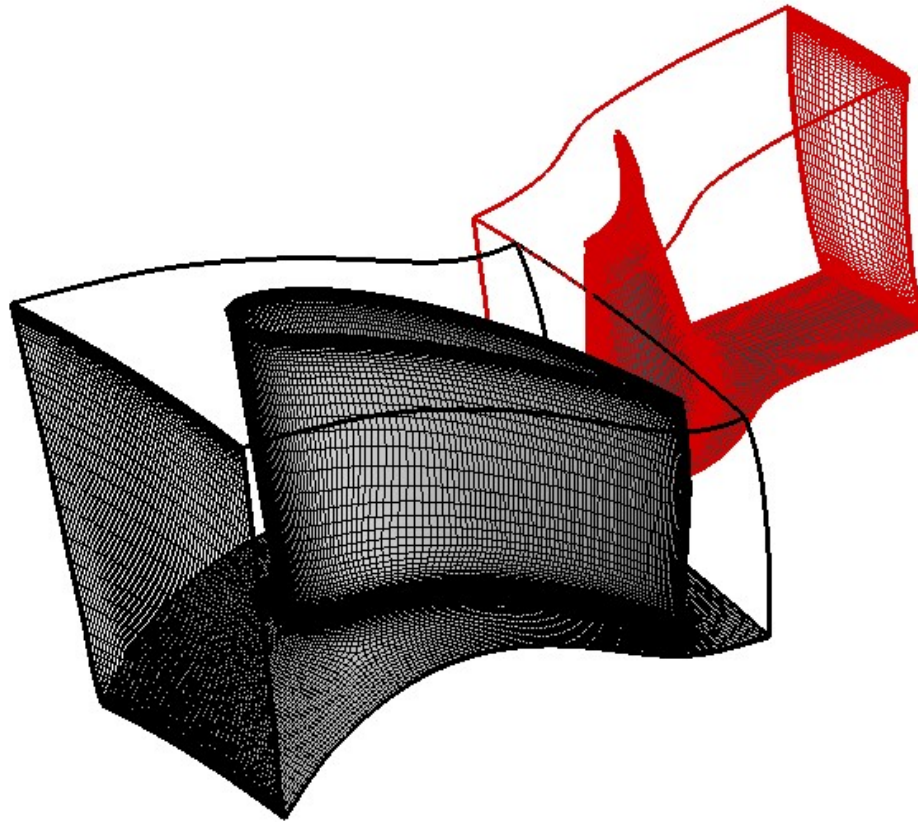




## Βαθμίδα Στροβίλου

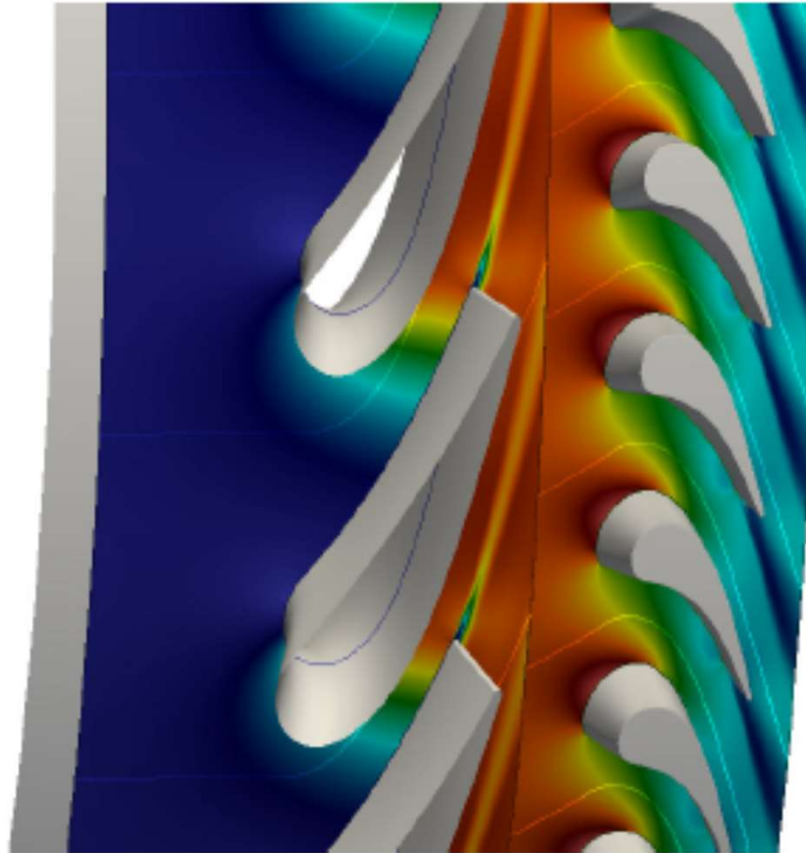


## Βαθμίδα Στροβίλου



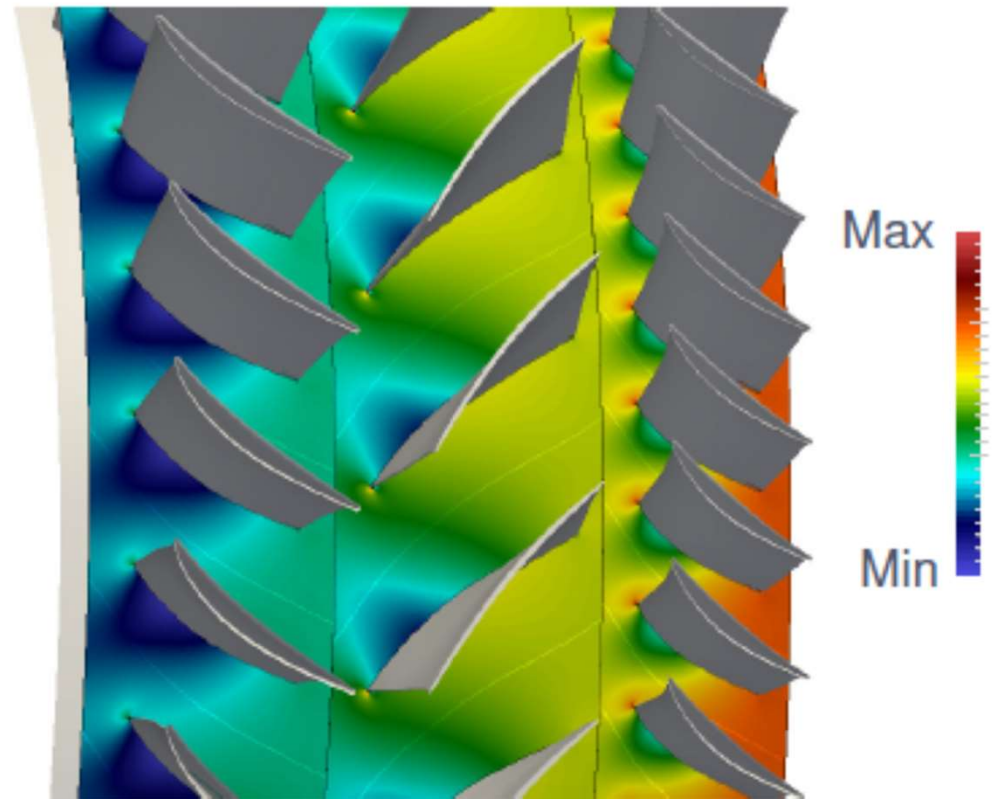
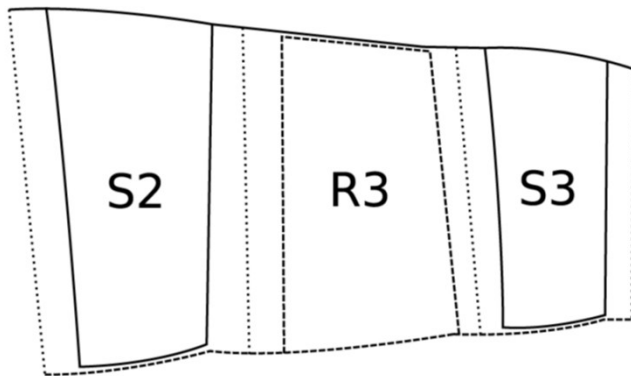


## Βαθμίδα Στροβίλου





## 1.5 Βαθμίδα Συμπιεστή

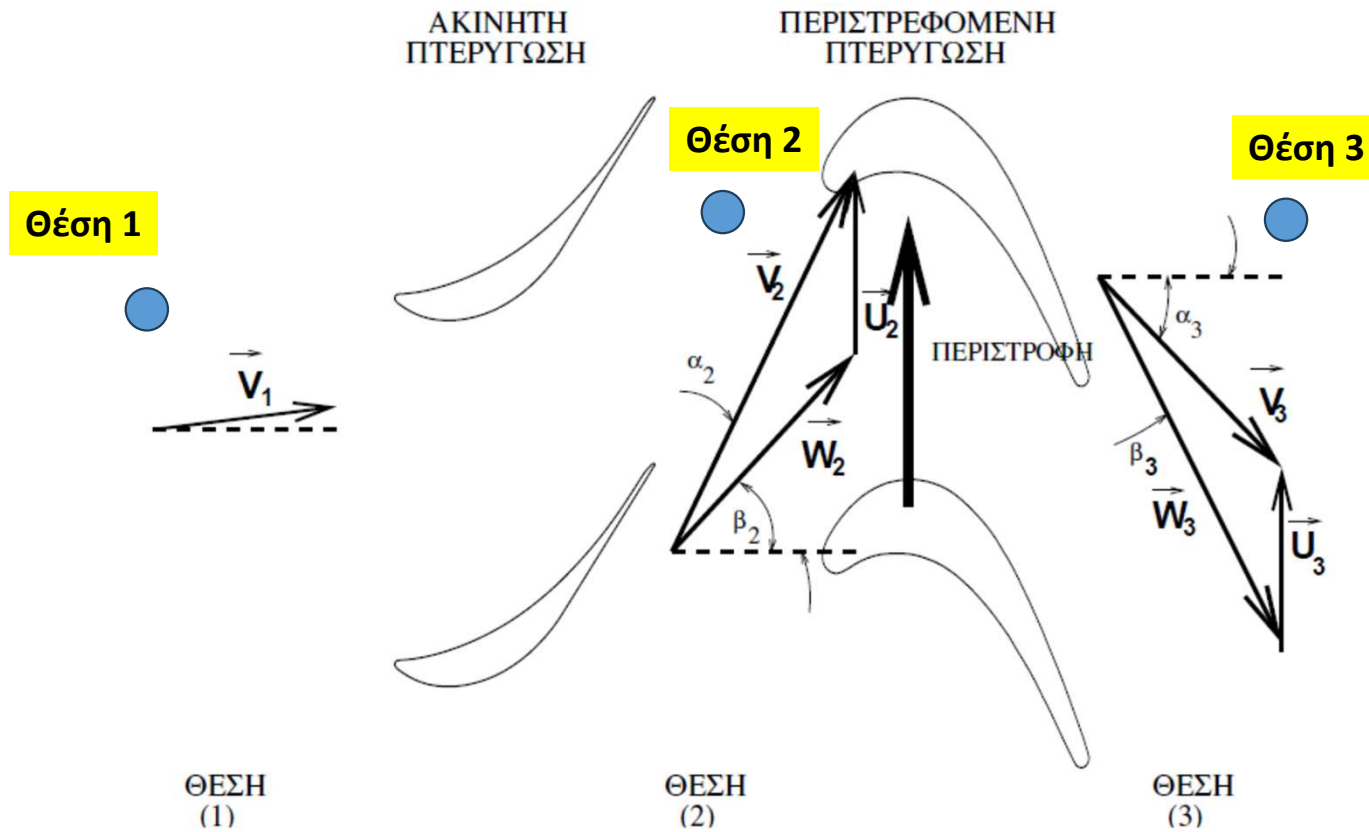




ΔΙΑΔΕΙΜΜΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ



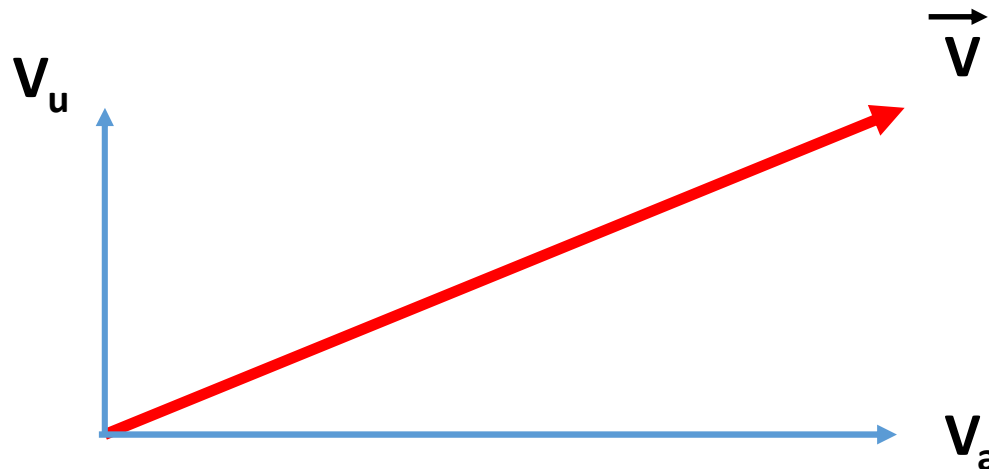
# 1Δ Ανάλυση Θερμικών Στροβιλομηχανών (Το Δικό μας Μάθημα!)







## Ανάλυση Διανύσματος Ταχύτητας σε συνιστώσες



Αξονική (axial) και περιφερειακή (peripheral) συνιστώσα της ταχύτητας.

Λείπει μόνο ένας δείκτης ακόμη (1, 2 ή 3) που δείχνει τη θέση.

Η  $V_a$  σχετίζεται με την **παροχή**, η  $V_u$  (η μεταβολή του  $V_u$ ) με το **συναλλασσόμενο έργο** (σε μια περιστρεφόμενη πτερύγωση) ή με τη **στροφή της ροής** (flow turning, σε μια σταθερή πτερύγωση).



## Γραμμική Ταχύτητα Περιστροφής (U, σε m/sec)

**Ορολογία:**

• **Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής ( $\omega$ )**

angular speed (1/sec)

$\omega = 2\pi N/60$ , N=στροφές/λεπτό ή RPM (revolutions per minute)

**Προσέξτε:**

Αν οι στροφές δίνονται ανά δευτερόλεπτο, τότε:

$\omega = 2\pi N$  (σκέτο!)

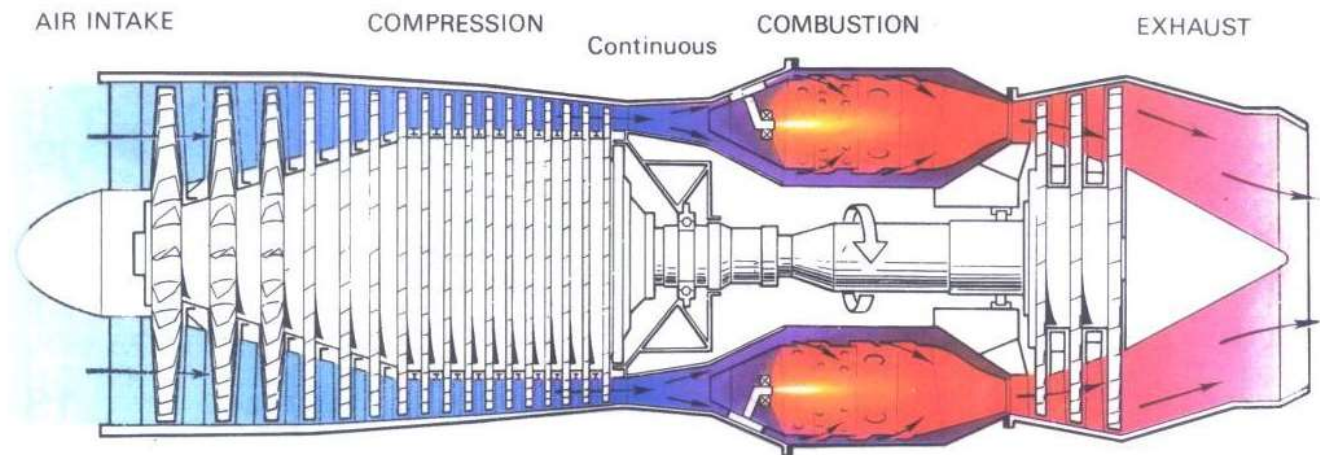
• **Γραμμική ταχύτητα περιστροφής σε ακτίνα R (σε μέτρα)**

$U = \omega R = 2\pi N(\text{RPM})R/60$  (m/sec)



## Αξονική Συνιστώσα της Ταχύτητας

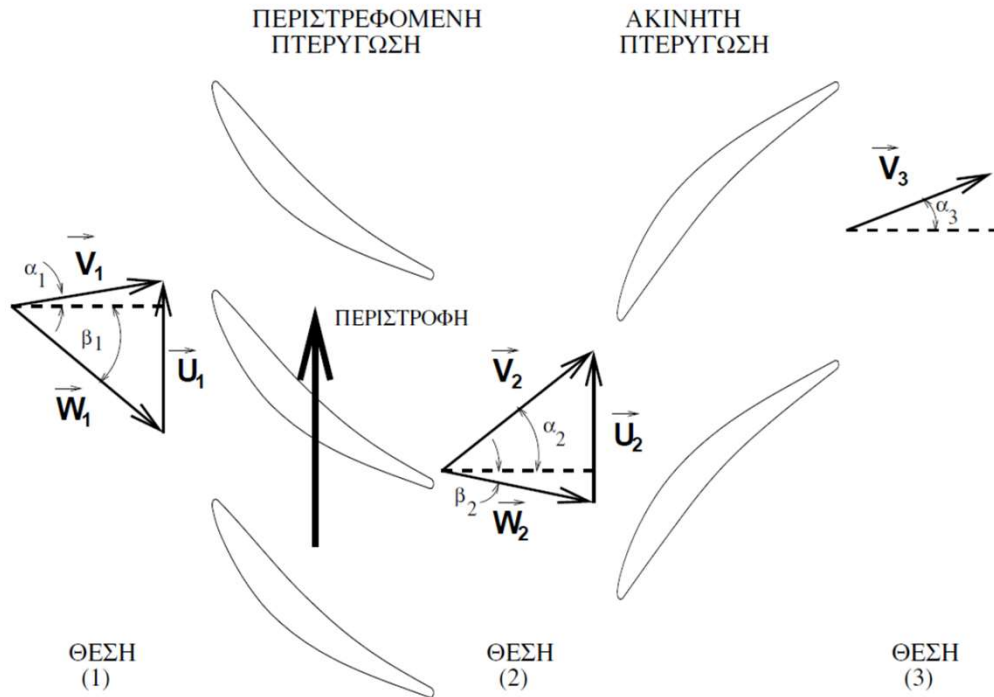
$$\dot{m} = A\rho V_a$$



Το ότι συχνά βλέπετε σε ασκήσεις ότι η  $V_a$  είναι σταθερή σε κάθε θέση (1-2-3) είναι μια παραδοχή. Μην την χρησιμοποιείτε σε ασκήσεις αν δεν καθορίζεται.



## Βαθμίδα Αξονικού Συμπιεστή



$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{U}$$

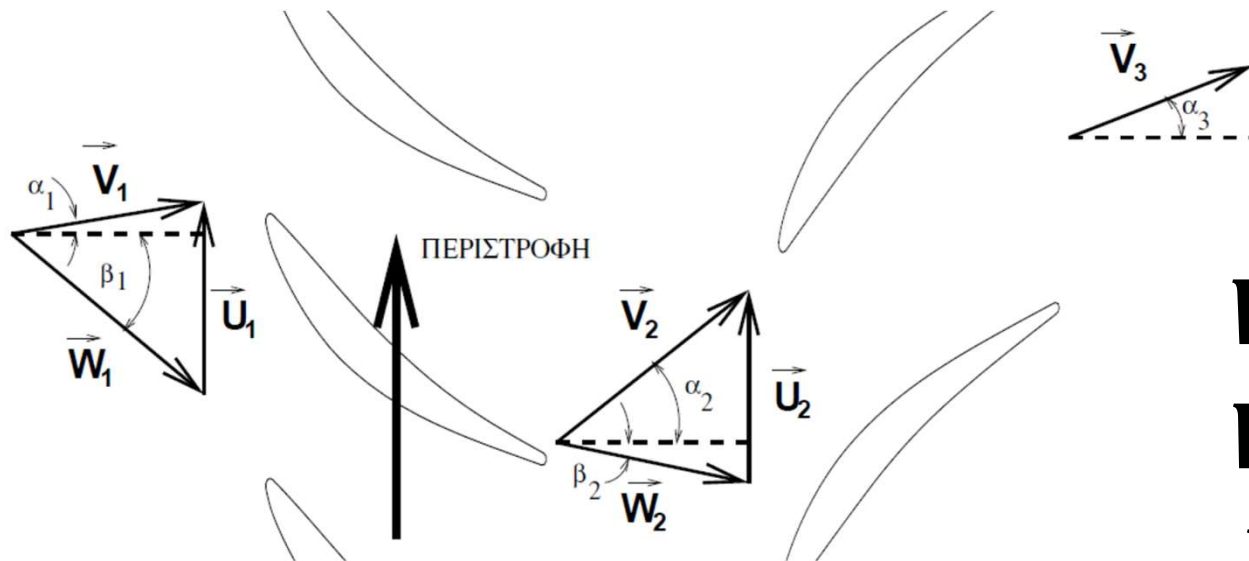
Απόλυτη (absolute)=Σχετική (relative) και Γραμμική ταχύτητα περιστροφής

$$V_a = W_a$$

$$V_u = W_u + U$$



## Βαθμίδα Αξονικού Συμπιεστή



Οι απόλυτες ( $\alpha$ ) και οι σχετικές ( $\beta$ ) γωνίες της ροής είναι θετικές όταν «δείχνουν» προς την κατεύθυνση περιστροφής της περιστρεφόμενης πτερύγωσης (διάνυσμα  $U$ )

$$V_a = |V| \cos \alpha$$

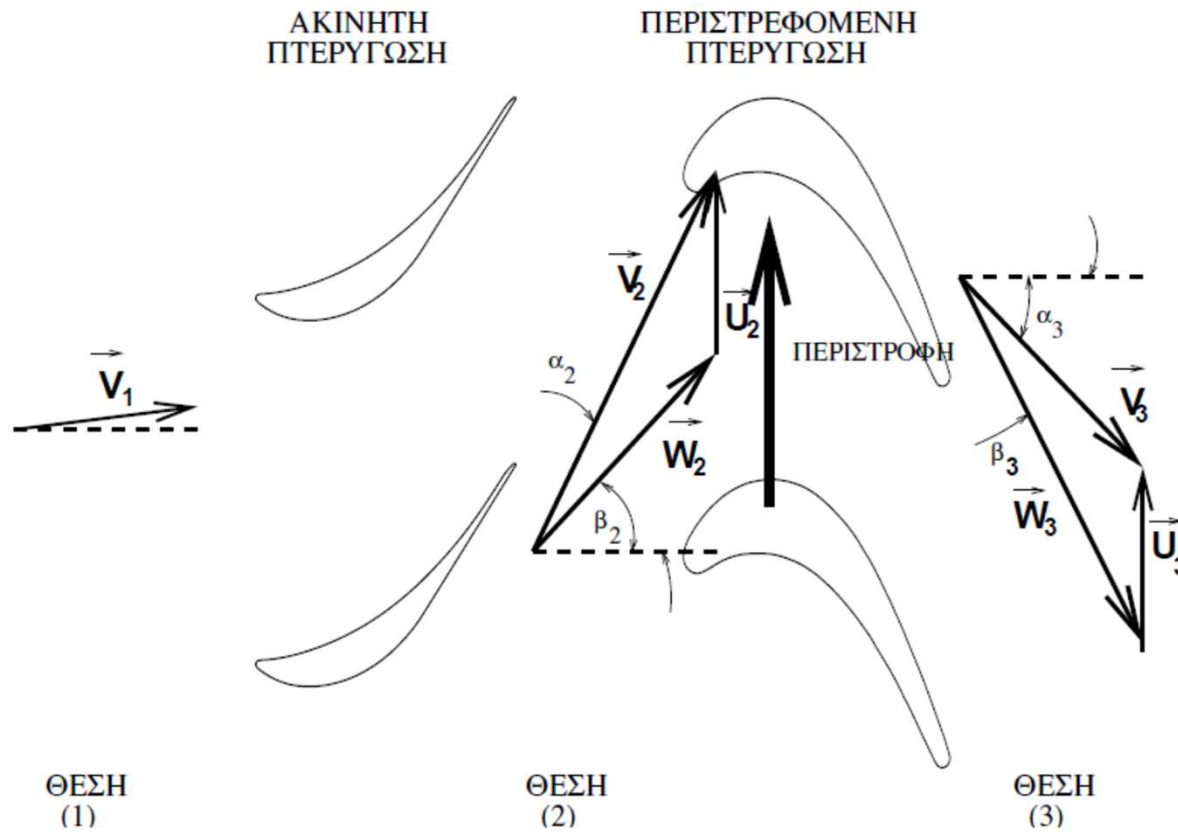
$$W_a = |W| \cos \beta$$

$$V_u = |V| \sin \alpha$$

$$W_u = |W| \sin \beta$$



## Βαθμίδα Αξονικού Στροβίλου



# Επίλογος

