

Δυναμική Πτήσης

Σπύρος Βουτσινάς

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Τομέας Ρευστών, Εργ. Αεροδυναμικής

2107721096 spyros@fluid.mech.ntua.gr



Περιεχόμενα

1. Επισκόπηση
2. Τυπική περιγραφή αεροσκάφους
3. Μικρή επανάληψη στην Αεροδυναμική
4. Μικρή επανάληψη στις κινήσεις
5. Οι εξισώσεις κίνησης
6. Η κίνηση & πηδαλιουχία ως δυναμικό πρόβλημα
7. Μικρή επανάληψη από τα μαθηματικά των δυναμικών συστημάτων
8. Τα αεροδυναμικά φορτία και οι παράγωγοι τους
9. Στατική Ευστάθεια
10. Δυναμική Ευστάθεια
11. Έλεγχος - πηδαλιουχία



Τι εξετάζει η «Δυναμική Πτήσης»;

Εξετάζει τη κίνηση ενός ιπταμένου συστήματος (π.χ. αεροπλάνο, ελικόπτερο, αερόστατο, διαστημικός πύραυλος)

Τι σκοπό έχει;

Τον χαρακτηρισμό των κινήσεων από μαθηματική και μηχανική άποψη

Την παραμετροποίηση των κινήσεων

Τον έλεγχο και την ασφάλεια των κινήσεων

Την βελτιστοποίηση των κινήσεων

Σε ποιες γνώσεις βασίζεται;

Μηχανική του συνεχούς μέσου

Μηχανική στερεού (παραμορφωτού ή μη) • Αεροδυναμική • Αεροελαστικότητα

Δυναμικά συστήματα

Διαφορικές εξισώσεις

Αυτόματος έλεγχος



Τυπική περιγραφή αεροσκάφους

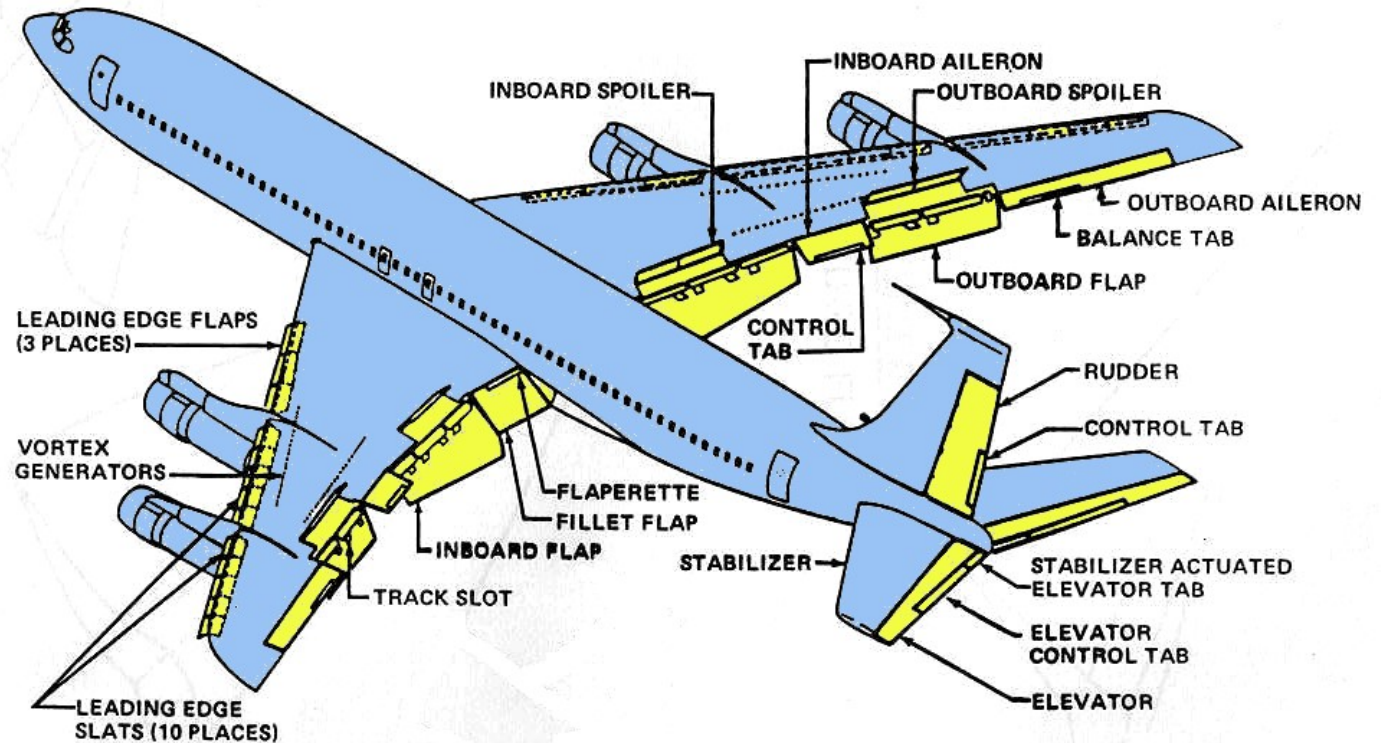
Βασικά «στοιχεία» (components):

- άτρακτος, πτέρυγα, προωστικό σύστημα
- Σύστημα προσγείωσης (τροχοί)
- Αεροδυναμικός έλεγχος (rudder, elevators, flaps, slats, ailerons, spoilers ... canards, winglets ... tabs)

Αερόπλοιο – δεν έχει πτέρυγα

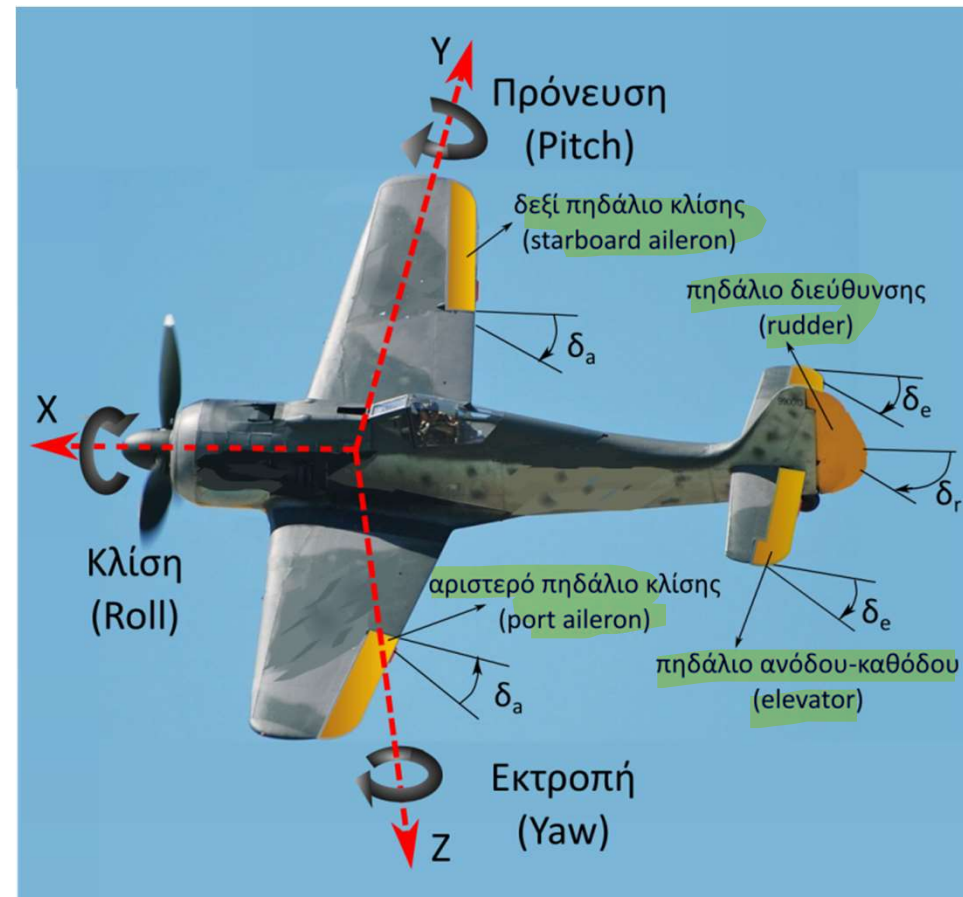
Ελικόπτερο – άνωση και πρόωση
παρέχονται από τον κύριο
δρομέα – ο έλεγχος
περιλαμβάνει τον ουραίο
δρομέα

Drone – ελικόπτερο πολλών
δρομέων





- Ο έλεγχος και η ονοματολογία του





- Βασικά «γεωμετρικά» χαρακτηριστικά

Μέση αεροδυναμική χορδή (Mean Aerodynamic Chord-MAC):

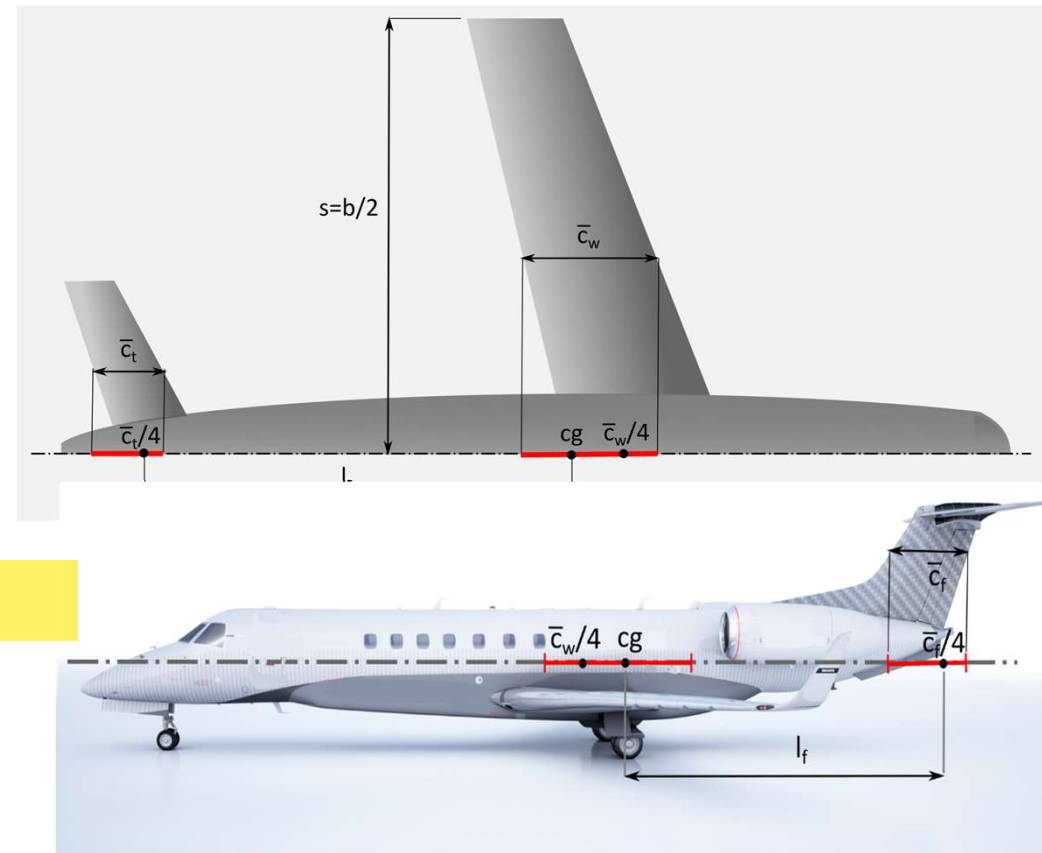
$$\bar{c} = \frac{\int_{-s}^s c_y^2 dy}{\int_{-s}^s c_y dy}$$

Κανονική μέση χορδή (Standard Mean Chord-SMC):

$$\bar{c} = \frac{\int_{-s}^s c_y dy}{\int_{-s}^s dy}$$

Λόγος όγκου ουραίου πτερυγίου (fin volume ratio) $\alpha_{\theta\epsilon\tau\omicron\upsilon}$

$$V_F = \frac{S_f l_f}{S b}$$





Μικρή επανάληψη στην Αεροδυναμική

Αεροδυναμική = Άνωση (+ Αντίσταση + Ροπή)

Η αεροδυναμική:

- Αφορά κυρίως σε εξωτερικές ροές
- Αναφέρεται σε αεροδυναμικά σώματα = αεροτομές, πτέρυγες, πτερύγια
- Βασίζεται στη συσχέτιση / αναλογία: **«γωνία πρόσπτωσης -> άνωση + ...»**
- Εστιάζει στις «γραμμικές» συμπεριφορές = μικρές γωνίες, ΟΧΙ αποκόλληση, ΟΧΙ κύματα κρούσης

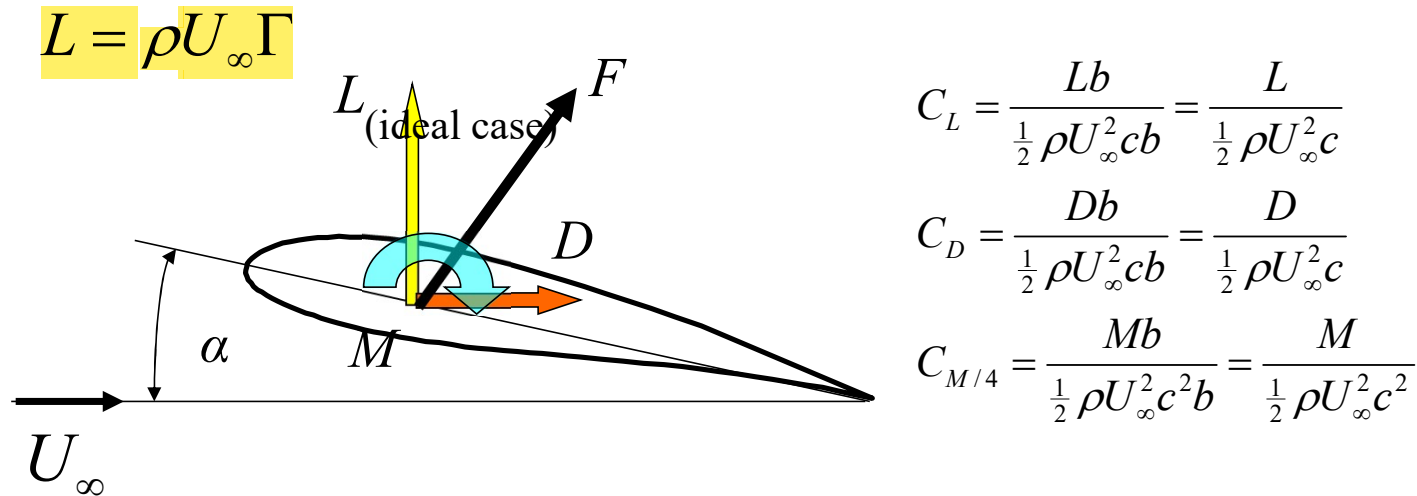
Στην αεροδυναμική

- Κρίσιμο (αρνητικό) συστατικό αποτελεί η δημιουργία ομόρρου η επίδραση του οποίου ανάγεται στην **«επαγόμενη ταχύτητα και γωνία»**
- Τα φορτία σχετίζονται είτε άμεσα είτε έμμεσα με την άνωση



Τα φορτία προκύπτουν με ολοκλήρωση των πιέσεων (οι τριβές παίζουν μικρότερο ρόλο όταν δεν ευθύνονται για την αποκόλληση της ροής)

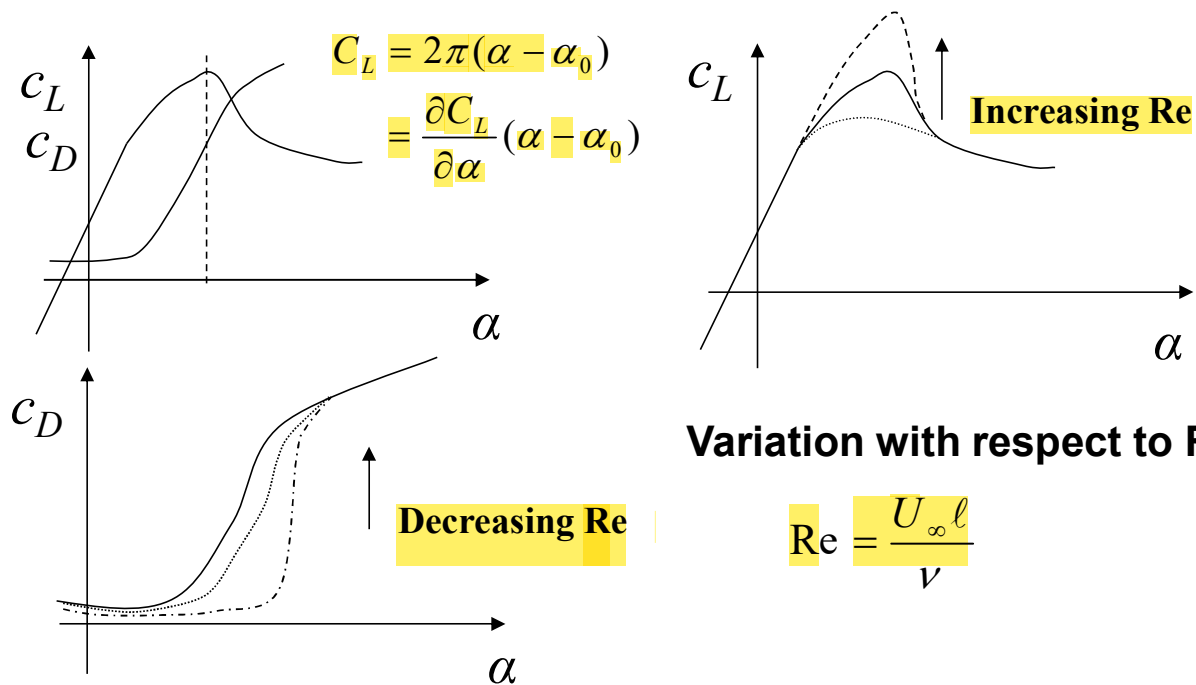
Κατά σύμβαση τα φορτία σε μια αεροτομή αναφέρονται στα $c/4$





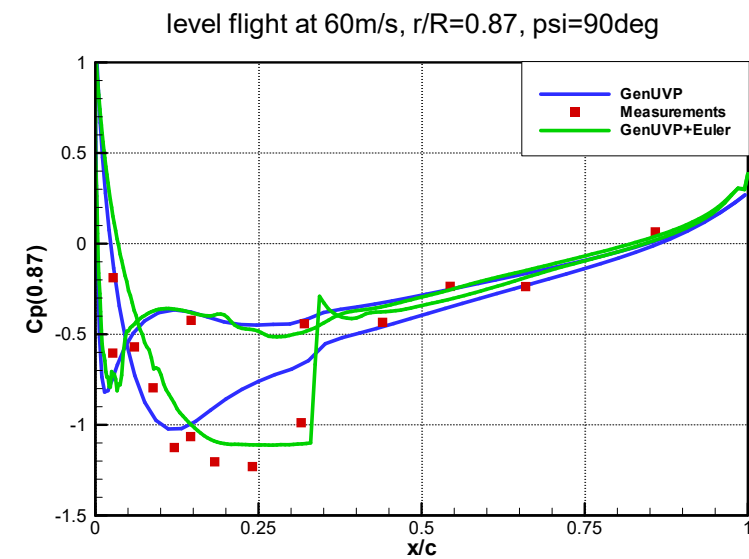
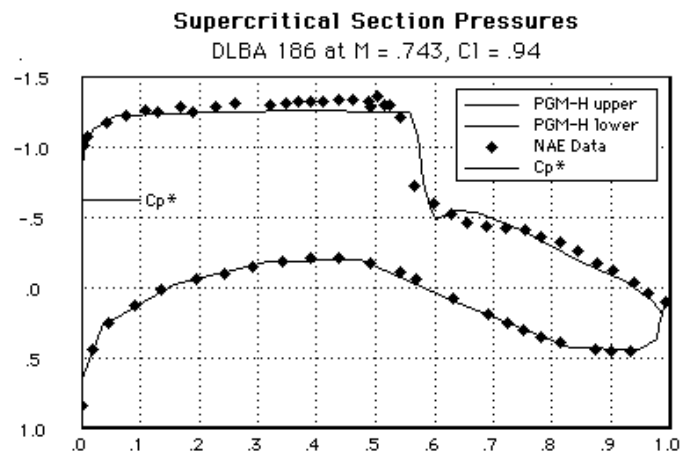
Τα φορτία παραμετροποιούνται με

- τη γωνία πρόσπτωσης α («γεωμετρία» της ροής),
- τη ταχύτητα μέσω του Re και τις συνθήκες περιβάλλοντος μέσω του Ma



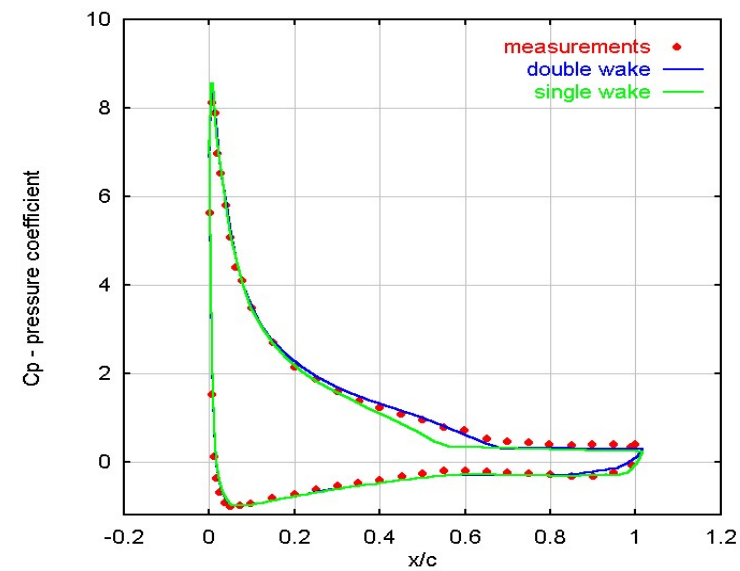
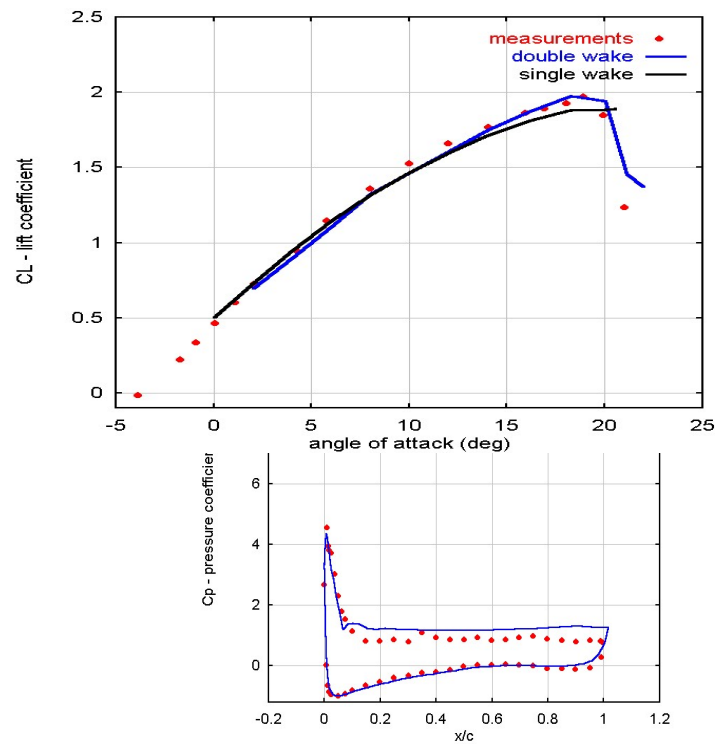


- Τι θα θέλαμε να αποφύγουμε:





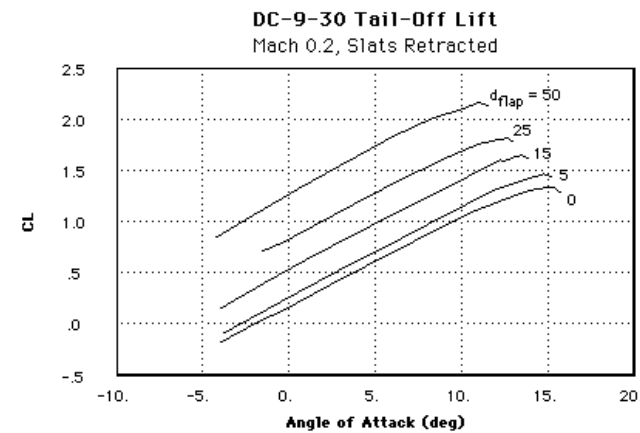
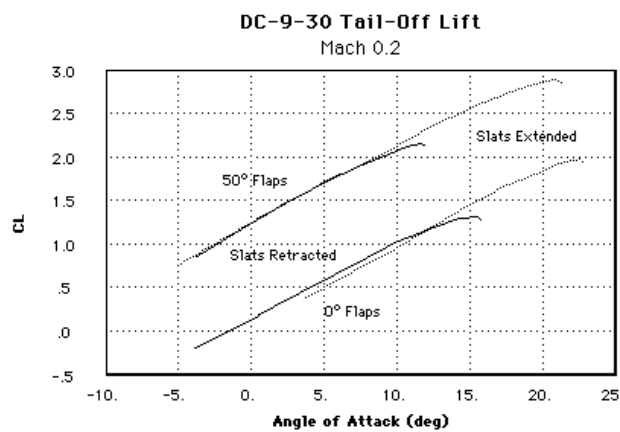
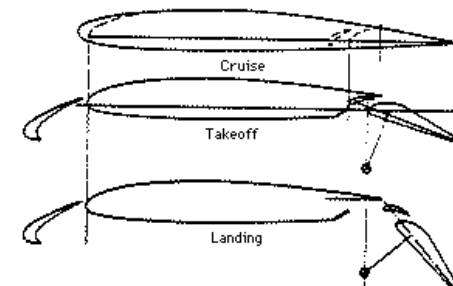
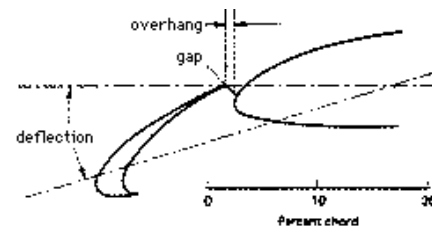
- Τι θα θέλαμε να αποφύγουμε:



$\alpha = 18.25^\circ$



- Εκτός από απλές αεροτομές έχουμε «υπ' όψη» και ορισμένες περιπλοκές





Καλή και απαραίτητη η «αεροτομή» αλλά δεν είναι η πραγματικότητα -> **πτέρυγα**

Θυμόμαστε την αλληλουχία:

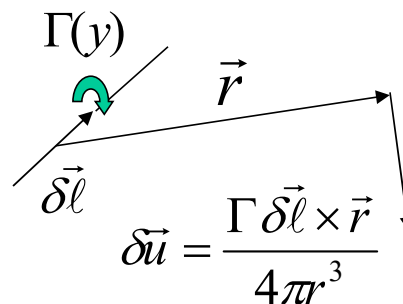
άνωση – κυκλοφορία – γωνία πρόσπτωσης

Διαπιστώνουμε:

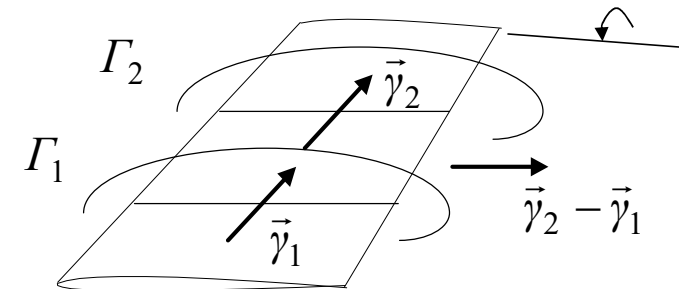
τη μεταβολή της κυκλοφορίας κατά γ

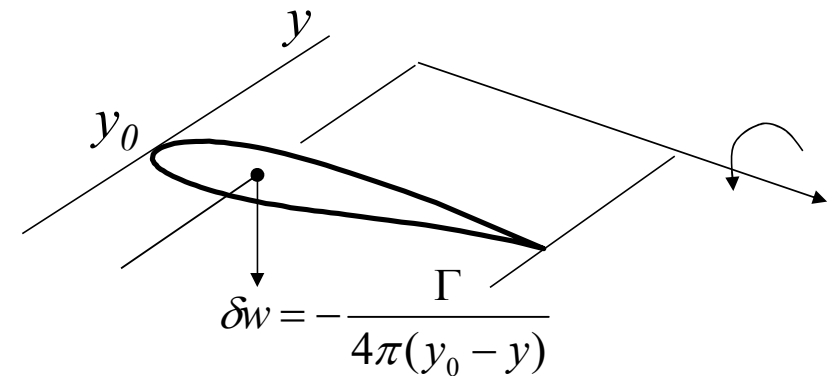
την ανάγκη αποβολής στροβιλότητας ομόρρου

Προκύπτει το επαγόμενο κατώρευμα,



$$\delta \vec{u} = \frac{\Gamma \delta \vec{\ell} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$





$$\delta w = -\frac{\Gamma}{4\pi(y_0 - y)}$$



Καλή και απαραίτητη η «αεροτομή» αλλά δεν είναι η πραγματικότητα -> **πτέρυγα**

Θυμόμαστε την αλληλουχία:

άνωση – κυκλοφορία – γωνία πρόσπτωσης

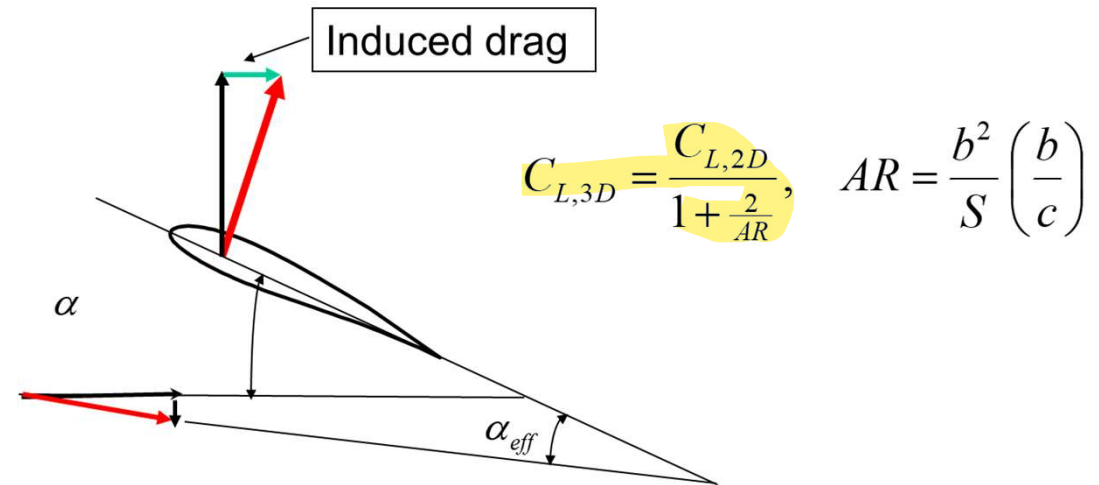
Διαπιστώνουμε:

τη μεταβολή της κυκλοφορίας κατά γ
την ανάγκη αποβολής στροβιλότητας ομόρρου

Προκύπτει το επαγόμενο κατώρευμα

η επαγόμενη γωνία

η επαγόμενη αντίσταση



$$a_{eff} = \alpha - a_w \quad U_{eff}^2 = U_{\infty}^2 + w^2$$

$$a_w = -\frac{1}{4\pi} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{d\Gamma}{(y_0 - y)}$$