



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Αεροδυναμική ανάλυση πτέρυγας αεροσκάφους με χρήση πεπερασμένων στοιχείων και την βοήθεια του λογισμικού Ansys Student.

Συγγραφέας/είς

ΑΓΓΕΛΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΜ: 51204167

Επιβλέπων/ουσα:

ΣΑΡΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL ENGINEERING

DEPARTMENT MECHANICAL ENGINEER

Diploma Thesis

Aerodynamic analysis of an aircraft wing using finite elements using Ansys Student software

ANGELINAS NIKOLAOS

51204167

Supervisor:

SARRIS IOANNIS

Athens, September 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αεροδυναμική ανάλυση πτέρυγας αεροσκάφους με χρήση πεπερασμένων στοιχείων και την βοήθεια του λογισμικού Ansys Student.

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΣΑΡΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ		
2	ΚΑΡΒΕΛΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ		
3	ΣΟΦΙΑΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ		

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

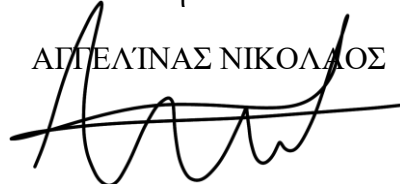
Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η **Νικόλαος Αγγελίνας** του **Κωνσταντίνου** , με αριθμό μητρώου **51204167** φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα

ΑΓΓΕΛΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ



Ευχαριστίες

Θέλω να εκφράσω τις ειλικρινές μου ευχαριστίες για τη στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου παρείχατε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Χωρίς την υποστήριξή σας, δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρώσω αυτό το σημαντικό βήμα στην εκπαίδευσή μου.

Ευχαριστώ τον καθοδηγητή μου για τη σοφία, την εμπειρία και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνάς μου. Οι συμβουλές σας και η καθοδήγησή σας με βοήθησαν να αναπτύξω τις ικανότητές μου και να επιτύχω τους στόχους μου.

Επίσης, ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου και την οικογένειά μου για την υποστήριξη και την κατανόησή τους καθώς δούλευα πάνω στην πτυχιακή μου εργασία.

Η ολοκλήρωση αυτού του ερευνητικού έργου ήταν μια σημαντική πρόκληση, αλλά με την υποστήριξή σας, κατάφερα να την υπερκεράσω. Είμαι ευγνώμος για όλα όσα έχω μάθει και ελπίζω ότι αυτή η εμπειρία θα με καθοδηγήσει στο μέλλον. Πάνω απ' όλα, ευχαριστώ για την ευκαιρία να αναπτύξω τις γνώσεις μου και να συνεισφέρω στον τομέα μου.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	10
1.2 Ιστορία των Αεροπλάνων.....	13
1.3 Εξέλιξη των Αεροπλάνων.....	15
1.4 Το Μέλλον των Αεροπλάνων	15
Κεφάλαιο 2	16
2.1 Υλικά που χρησιμοποιούνται σε αεροπλάνα	16
2.2 Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αεροσκάφος.....	17
2.3 Θόρυβος από τα αεροσκάφη	21
Κεφάλαιο 3	24
3.1 Σύντομη περιγραφή των πρώτων σχεδίων συσκευών άκρων πτέρυγας.....	24
3.2. Σχεδιασμός συσκευών άκρης πτέρυγας τρέχουσας γενιάς	26
3.3 Γεωμετρία πτέρυγας και WINGLET	28
3.4 Γεωμετρία πτέρυγας	30
3.5 Τύποι winglets.....	31
3.5.1 Ορθογώνια πτέρυγα	31
3.5.3. Ραβδωτή πτέρυγα.....	33
3.5.4 Πτερύγιο με ραβδώσεις.....	34

3.6 Βάρος	34
3.7 Wingtip Vortices - Σχηματισμός Δινών	35
3.8 Επίδραση εδάφους	39
3.9 Πτήση υψηλής ταχύτητας.....	41
3.9.1 Υποηχητική έναντι υπερηχητικής ροής	41
3.9.2 Εύρος Ταχύτητας.....	42
3.10 Αριθμός Mach έναντι ταχύτητας αέρα.....	45
3.10.1 Οριακό στρώμα.....	46
Κεφάλαιο 4 Προσομοίωση φτερού	51
4.1 1 ^η Ανάλυση Ταχύτητα 61.1 m/s	52
2 ^η Ανάλυση Ταχύτητα 216.7 m/s	57
3 ^η Ανάλυση Ταχύτητα 255.6 m/s	64
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα.....	69
Βιβλιογραφία	70

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο αεροπλάνο	19
Εικόνα 2: Roll – Ελιγμός	20
Εικόνα 3: Κυλίνδρωση (Yaw)	20
Εικόνα 4: Κλίση	21
Εικόνα 5: Ήχοι που προκαλούνται από ένα αεροσκάφος.....	23
Εικόνα 6: Θεωρία γραμμής ανύψωσης	25
Εικόνα 7: Πώς λειτουργούν τα winglets	26
Εικόνα 8: Winglets στο B737 MAX.....	27
Εικόνα 9: Sharklets στο Airbus A320.....	28
Εικόνα 10: Γεωμετρία πτέρυγας	30
Εικόνα 11: Δίνη στην άκρη της πτέρυγας	31
Εικόνα 12: Μικτή πτέρυγα.....	32
Εικόνα 13: Πτερύγιο με ραβδώσεις.....	33
Εικόνα 14: Spiroid winglet	34
Εικόνα 15: Wingtip vortices	36
Εικόνα 16: Αποφύγετε να ακολουθείτε άλλο αεροσκάφος σε υψόμετρο εντός 1.000 ποδιών.....	38
Εικόνα 17: Αποφεύγοντας τις αναταράξεις από άλλο αεροσκάφος.....	38
Εικόνα 18: Όταν οι δίνες των μεγαλύτερων αεροσκαφών βυθίζονται κοντά στο έδαφος (εντός 100 έως 200 ποδιών), τείνουν να κινούνται πλευρικά πάνω από το έδαφος με ταχύτητα 2 ή 3 κόμβων (πάνω). Ένας πλάγιος άνεμος θα μειώσει την πλευρική κίνηση της ανεμοστρόβιλου και θα αυξήσει την κίνηση της δίνης προς τα κάτω. Έτσι, ένας ελαφρύς άνεμος με συνιστώσα εγκάρσιου διαδρόμου από 1 έως 5	

κόμβους θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα η ανεμοδαρμένη δίνη να παραμείνει στη ζώνη προσγείωσης για ένα χρονικό διάστημα και να επιταχύνει την μετατόπιση της δίνης προς τα κάτω προς έναν άλλο διάδρομο (κάτω).	38
Εικόνα 19: Η επίδραση του εδάφους αλλάζει τη ροή του αέρα	39
Εικόνα 20: Η ιδιομορφία εδάφους αλλάζει τη μεταφορά και την ανύψωση.	40
Εικόνα 21: Ροή αέρα στο φτερό	42
Εικόνα 22:Κρίσιμος αριθμός Mach	43
Εικόνα 23: Οριακό στρώμα	47
Εικόνα 24: Shock waves	49
Εικόνα 25: Ποιοτικά χαρακτηριστικά πλέγματος	52
Εικόνα 26:Μοντέλο μέσα στο περιβάλλον το Ansys	52
Εικόνα 27: Σύγκλιση λύσης	52
Εικόνα 28:Wighted average της πίεσης	53
Εικόνα 29: Συντελεστής οπισθέλκουσας	53
Εικόνα 30: Συντελεστής άντωσης	54
Εικόνα 31: Στατική πίεση	54
Εικόνα 32: Συντελεστής πίεσης	54
Εικόνα 33:Δυναμική πίεση	55
Εικόνα 34: Τυρβώδης κινητική ενέργεια	55
Εικόνα 35: Ταχύτητα πάνω στο φτερό	55
Εικόνα 36: Ταχύτητα πάνω στο φτερό	56
Εικόνα 37: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας	56
Εικόνα 38: Ροϊκές γραμμές πίεσης	56
Εικόνα 39:Σύγκλιση λύσης	57
Εικόνα 40: Συντελεστής άντωσης	57
Εικόνα 41: Συντελεστής οπισθέλκουσας	58
Εικόνα 42: Wighted average της πίεσης	58
Εικόνα 43:Στατική πίεση	59
Εικόνα 44: Δυναμική πίεση	59
Εικόνα 45: Ταχύτητα πάνω στο φτερό	60
Εικόνα 46: Τυρβώδης κινητική ενέργεια	61
Εικόνα 47: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας τυρβώδους κινητικής ενέργειας	62
Εικόνα 48: Ροϊκές γραμμές πίεσης	63
Εικόνα 49: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας	63
Εικόνα 50:Σύγκλιση λύσης	64
Εικόνα 51:Στατική πίεση	64
Εικόνα 52:Συντελεστής πίεσης	65
Εικόνα 53:Δυναμική πίεση	65
Εικόνα 54:Κατανομή ταχύτητας πάνω στο φτερό	66
Εικόνα 55: Τυρβώδη κινητική ενέργεια	66
Εικόνα 56: Ροϊκές γραμμές στατικής πίεσης	67
Εικόνα 57: Ροϊκές γραμμές δυναμικής πίεσης	67
Εικόνα 58: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας	68
Εικόνα 59: Ροϊκές γραμμές τυρβώδους κινητικής ενέργειας	68

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Τα αεροπλάνα αποτελούν έναν αναπόσπαστο και θαυμαστό μέρος της σύγχρονης ζωής και κοινωνίας. Αυτά τα εντυπωσιακά μηχανοκίνητα αεροσκάφη έχουν αναπτύξει μια επίδραση που διαπλάθει την κοινωνία και την καθημερινότητά μας, επιτρέποντάς μας να καταντήσουμε πολίτες του κόσμου. Σε αυτήν την εισαγωγή, θα εξετάσουμε τον ρόλο των αεροπλάνων στη ζωή μας και την κοινωνία, από τη σημασία των αερομεταφορών και τον επιστημονικό τους πολλαπλό όφελος μέχρι τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν και την προοπτική του μέλλοντος.

Η Αεροπορία ως Συνδεδετικός Κρίκος

Η αεροπορία διαδραματίζει έναν θεμελιώδη ρόλο ως συνδεδετικός κρίκος στον παγκόσμιο χάρτη. Η δυνατότητα μετακίνησης από μια άκρη του πλανήτη στην άλλη μέσα σε λίγες ώρες έχει συμβάλει στη σύσφιξη των κοινωνιών και των οικονομιών παγκοσμίως. Αεροπλάνα όλων των ειδών - από μικρά προαστιακά αεροσκάφη μέχρι μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη και στρατιωτικά αεροσκάφη - επιτρέπουν

στους ανθρώπους να διασχίζουν χιλιόμετρα με άνεση και ταχύτητα, ανοίγοντας νέες δυνατότητες για ταξίδια, επιχειρήσεις και πολιτισμική ανταλλαγή.

Οι αεροπορικές εταιρείες διαδραματίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στη σύγχρονη οικονομία, δημιουργώντας εκατομμύρια θέσεις εργασίας και συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του τουρισμού, της εξαγωγικής δραστηριότητας και της παγκόσμιας εμπορίας. Επιπλέον, οι αερολιμένες γίνονται κέντρα διεθνούς ανταλλαγής εμπορευμάτων, επιτρέποντας τη γρήγορη και αποτελεσματική διακίνηση αγαθών σε όλον τον κόσμο.

Η Επιστήμη της Αεροπορίας

Ο ρόλος των αεροπλάνων δεν περιορίζεται μόνο στις αερομεταφορές και την οικονομία. Έχουν επίσης σημαντική επιρροή στον τομέα της επιστήμης και της τεχνολογίας. Η αεροναυπηγική και η αεροδυναμική αποτελούν πρωτεύουσες περιοχές έρευνας και ανάπτυξης, με εκατοντάδες χιλιάδες μηχανικούς, επιστήμονες και τεχνίτες να εργάζονται πάνω σε αεροναυπηγικά έργα.

Η αεροναυπηγική επιστήμη και η τεχνολογία διασχίζουν τα όρια του γνωστού, αναπτύσσοντας αεροσκάφη που μπορούν να ταξιδέψουν με υψηλές ταχύτητες, να εξερευνηθούν την ατμόσφαιρα και το διάστημα, και να λειτουργούν σε ακραίες συνθήκες. Αυτή η επιστημονική πρόοδος έχει επίσης εφαρμογές σε άλλους τομείς, όπως η αεροπορική ιατρική, η μετεωρολογία, η επιστήμη των υλικών και η αστροναυτική.

Πρόκληση και Βιώσιμη Αεροπλοΐα

Ωστόσο, η αεροπορία αντιμετωπίζει και προκλήσεις. Μία από αυτές είναι η περιβαλλοντική επίπτωση των αεροπορικών εκπομπών, όπως οι εκπομπές CO₂. Η ανάγκη για βιώσιμη αεροπλοΐα έχει οδηγήσει σε έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως τα ηλεκτρικά και υδρογονοκίνητα αεροσκάφη, με στόχο τη μείωση των εκπομπών και τη βελτίωση της αεροπορικής βιωσιμότητας.

Επιπλέον, οι αεροπορικές εταιρείες αντιμετωπίζουν προκλήσεις σχετικά με την ασφάλεια και τη διαχείριση των αερομεταφορών, καθώς η αύξηση των ταξιδιών απαιτεί ακόμη περισσότερη σύγχρονη τεχνολογία και αυστηρούς κανονισμούς.

Το Μέλλον της Αεροπορίας

Το μέλλον της αεροπορίας είναι υποσχόμενο, με προοπτικές για περαιτέρω εξελίξεις που θα επηρεάσουν τη ζωή μας και την κοινωνία. Η τεχνολογία συνεχίζει να προχωρά, με την ανάπτυξη υπερηχητικών αεροσκαφών, τα οποία θα μειώσουν τον χρόνο ταξιδιού ακόμη περισσότερο. Επιπλέον, η εξέλιξη της αεροναυπηγικής τεχνολογίας ενισχύει τις δυνατότητες εξερεύνησης του διαστήματος και της ατμόσφαιρας.

Σε πολυσύχναστες πόλεις, οι κάθε μέρα αεροπορικές μεταφορές έχουν καταστεί συνηθισμένο μέσο μετακίνησης, ενώ τα αεροσκάφη εξυπηρετούν και περιοχές που διαφορετικά θα ήταν δύσκολα προσβάσιμες. Στον τομέα της αεροπορίας αναμένονται περαιτέρω τεχνολογικές και επιστημονικές εξελίξεις που θα διαμορφώσουν το μέλλον της ανθρωπότητας και της κοινωνίας μας. Από τη μετακίνηση και το εμπόριο μέχρι την επιστήμη και την προστασία του περιβάλλοντος, τα αεροπλάνα παραμένουν αναπόσπαστο μέρος της ζωής μας, διαμορφώνοντας τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε.

1.2 Ιστορία των Αεροπλάνων

Η ιστορία των αεροπλάνων είναι μια συναρπαστική και εξελικτική αφήγηση που ξεκινά από τις πρώτες ανθρώπινες προσπάθειες να κατακτήσουν τον αέρα και φτάνει ως τις σύγχρονες τεχνολογικές και επιστημονικές επιτυχίες. Η ιστορία αυτή αναδεικνύει την ανθρώπινη διάθεση για την κατανόηση και την κυριαρχία του περιβάλλοντος και της τεχνολογίας.

Οι Πρώτες Προσπάθειες

Η επιθυμία του ανθρώπου να πετάξει όπως τα πουλιά είναι πολύ παλιά. Στην αρχαία Ελλάδα, ο Δαίδαλος και ο γιος του, Ίκαρος, σύμφωνα με τον μύθο, προσπάθησαν να πετάξουν με πτερύγια από κεριά και πούπουλα. Ωστόσο, αυτές οι πρώτες προσπάθειες αεροπλοΐας ήταν ανεπιτυχείς και συνήθως οδηγούσαν σε δυστυχή αποτελέσματα.

Στον 15ο αιώνα, οι πρώτες πρακτικές προσπάθειες είχαν ήδη αρχίσει να αναπτύσσονται. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι, ο διάσημος Ιταλός καλλιτέχνης και μηχανικός, σχεδίασε αρκετά πρωτότυπα αεροσκάφη, όπως τη μηχανική πτηνή μηχανή. Ωστόσο, αυτές οι σχεδιαστικές ιδέες δεν είχαν ακόμη την τεχνολογία που απαιτούνταν για την υλοποίησή τους.

Οι Αδελφοί Wright και η Πρώτη Επιτυχημένη Πτήση

Η αεροπλοΐα πραγματικά ξεκίνησε να εξελίσσεται στις αρχές του 20ού αιώνα, όταν οι αδελφοί Όρβιλ και Γουίλμπερτ Ράιτ από τις Ηνωμένες Πολιτείες κατάφεραν να πραγματοποιήσουν την πρώτη επιτυχημένη πτήση με ένα αεροσκάφος που κατασκεύασαν. Στις 17 Δεκεμβρίου 1903, στην παραλία του Κίτι Χοκ στη Βόρεια Καρολίνα, το Wright Flyer απογειώθηκε για μια σύντομη αλλά ιστορική πτήση. Αυτή η επιτυχία σημάδεψε την αρχή της αεροπορίας.

Οι αδελφοί Wright ανέπτυξαν την τεχνολογία των αεροσκαφών με πειράματα, μελέτες της αεροδυναμικής και την κατασκευή προηγμένων αεροσκαφών. Το έργο τους αναγνωρίστηκε και διάσημοι πιλότοι, όπως ο Charles Lindbergh, επιδοκίμασαν τη σημασία των επιτευγμάτων τους.

Ο Αεροπόρικος Πόλεμος και η Ανάπτυξη της Αεροπορίας

Κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, η αεροπορία έπαιξε σημαντικό ρόλο στον πολεμικό τομέα, με τη χρήση αεροσκαφών για αναγνώριση, βομβαρδισμούς και μάχες στον αέρα. Αυτή η εμπειρία

συνέβαλε στην ανάπτυξη των τακτικών και της τεχνολογίας της αεροπορίας και άνοιξε τον δρόμο για την ανάπτυξη πολιτικών και εμπορικών πτητικών μεταφορών.

Μετά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, η αεροναυπηγική βιομηχανία συνέχισε να εξελίσσεται, κατασκευάζοντας αεροσκάφη όπως το Boeing 747 και το Concorde, τα οποία επέτρεψαν σε περισσότερους ανθρώπους να ταξιδεύουν αεροπορικώς σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η Σύγχρονη Εποχή της Αεροπορίας

Στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογία έχει φέρει την εξέλιξη των αεροσκαφών στον ψηφιακό κόσμο. Προηγμένα συστήματα πλοήγησης, αυτοματισμοί και ψηφιακά υλικά επιτρέπουν σε αεροσκάφη να είναι πιο αποδοτικά και ασφαλή.

Επιπλέον, η αεροναυπηγική βιομηχανία συνεχίζει να αναπτύσσεται με τη χρήση νέων υλικών όπως τα ανθρακονήματα για ελαφρύτερες και ανθεκτικότερες κατασκευές. Επιπλέον, η έρευνα στον τομέα της αεροπορικής τεχνολογίας προωθεί την ανάπτυξη αεροσκαφών με χαμηλή εκπομπή CO₂ και αυτονομία πτήσης.

Το Μέλλον των Αεροπλάνων

Το μέλλον της αεροπορίας είναι ενθαρρυντικό και ενδιαφέρον. Η τεχνολογία υπερηχητικών αεροσκαφών, όπως το X-59 QueSST της NASA, έχει τη δυνατότητα να μειώσει αισθητά τον χρόνο ταξιδιού, επιτρέποντας μας να φτάσουμε σε απομακρυσμένα μέρη του κόσμου πολύ γρηγορότερα.

Επιπλέον, η έρευνα στον τομέα της αεροναυπηγικής τεχνολογίας συμβάλλει στην ανάπτυξη αεροσκαφών που μπορούν να λειτουργούν σε υπερήχους ταχύτητες και να εξερευνήσουν την ατμόσφαιρα και το διάστημα.

Πέραν της ταχύτητας, οι επιστημονικές προσπάθειες εστιάζονται και στη βιωσιμότητα της αεροπορίας. Η ανάπτυξη ηλεκτρικών και υδρογονοκίνητων αεροσκαφών, καθώς και η χρήση βιοκαυσίμων, στοχεύει στη μείωση των εκπομπών CO₂ και την βελτίωση της βιωσιμότητας της αεροπορίας.

Η ιστορία των αεροπλάνων αποτελεί έναν συναρπαστικό ταξίδι ανθρώπινης εφευρετικότητας και τεχνολογικής εξέλιξης. Από τις πρώτες ανούσιες προσπάθειες στην πρώτη επιτυχημένη πτήση των αδελφών Wright και τη συμβολή της αεροπορίας στους πολέμους και τις καθημερινές μας ζωές, η αεροπορία έχει διαμορφώσει τον κόσμο μας.

Το μέλλον της αεροπορίας φαίνεται λαμπρό και γεμάτο προοπτικές. Νέες τεχνολογίες και προσεγγίσεις για την βελτίωση της αεροπορικής βιωσιμότητας θα καθοδηγήσουν την επόμενη εποχή της αεροπλοΐας. Αναμφίβολα, η αεροπορία θα συνεχίσει να προωθεί τα όρια της ανθρώπινης και τεχνολογικής εξέλιξης, προσφέροντας μια άπειρη γκάμα ευκαιριών για το μέλλον.

1.3 Εξέλιξη των Αεροπλάνων

Μέσα σε λίγες δεκαετίες, τα αεροπλάνα εξελίχθηκαν από ξύλινα και ύφασμα αεροσκάφη σε προηγμένα μηχανικά θαύματα που κινούνται με ραγδαίες ταχύτητες. Η δεκαετία του '40 είδε την ανάπτυξη των πρώτων προαγωγικών αεροσκαφών, όπως το Messerschmitt Me 262 και το North American P-51 Mustang, που είχαν επαναστατική επίδραση στον πολεμικό τομέα.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η αεροναυπηγική βιομηχανία συνέχισε να εξελίσσεται με την εμφάνιση αεροσκαφών όπως το Boeing 747 και το Concorde, που επέτρεψαν σε περισσότερους ανθρώπους να ταξιδεύουν αεροπορικώς σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογία έχει φέρει την εξέλιξη των αεροσκαφών στον ψηφιακό κόσμο, με προηγμένα συστήματα πλοήγησης, αυτοματισμούς και ψηφιακά υλικά.

1.4 Το Μέλλον των Αεροπλάνων

Το μέλλον της αεροπορίας είναι ενθαρρυντικό και ενδιαφέρον. Η τεχνολογία των αεροσκαφών συνεχίζει να εξελίσσεται με τη χρήση υλικών όπως τα ανθρακονήματα για ελαφρύτερες και ανθεκτικότερες κατασκευές. Επιπλέον, η έρευνα στον τομέα της αεροπορικής τεχνολογίας προωθεί την ανάπτυξη αεροσκαφών με χαμηλή εκπομπή CO₂ και αυτόνομη πτήση.

Σε πρόσφατα χρόνια, η ανάπτυξη των ηλεκτρικών και υδρογονοκίνητων αεροσκαφών έχει δώσει ώθηση στην προοπτική της πράσινης αεροπλοΐας. Επίσης, τα υπερηχητικά αεροσκάφη και η εξέλιξη των αεροδιαστημικών ταξιδιών ανοίγουν νέες διαστάσεις στην αεροπορία.

Με την ανάλυση του φτερού αεροσκαφών σε διάφορες ταχύτητες, συμβάλλετε στην προώθηση της τεχνολογικής εξέλιξης σε αυτόν τον σημαντικό τομέα. Η κατανόηση της αεροδυναμικής στο πλαίσιο διαφορετικών ταχυτήτων είναι κρίσιμη για τη σχεδίαση αεροσκαφών που θα είναι αποδοτικά, ασφαλή και φιλικά προς το περιβάλλον.

Στην πτυχιακή σας εργασία, θα μπορέσετε να εξερευνήσετε περαιτέρω την αεροδυναμική των αεροπλάνων και την επίδραση της ταχύτητας στην απόδοσή τους, προσφέροντας έτσι σημαντική συνεισφορά στον τομέα της αεροναυπηγικής τεχνολογίας και της αεροπορίας συνολικά.

Κεφάλαιο 2

2.1 Υλικά που χρησιμοποιούνται σε αεροπλάνα

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα αεροπλάνα, και ιδιαίτερα στα φτερά τους, είναι κρίσιμα για την ασφάλεια, την απόδοση και τη βιωσιμότητα των αεροσκαφών. Η εξέλιξη της αεροναυπηγικής τεχνολογίας έχει οδηγήσει στη χρήση ποικίλων υλικών, από μέταλλα και σύνθετα υλικά μέχρι νανοϋλικά, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και την ελαχιστοποίηση του βάρους και των εκπομπών. Σε αυτό το άρθρο, θα εξετάσουμε τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται στα φτερά των αεροσκαφών, τις ιδιότητές τους και τον ρόλο τους στην αεροναυπηγική βιομηχανία.

Μέταλλα

1. **Αλουμίνιο (Aluminum):** Το αλουμίνιο είναι ένα από τα κύρια μέταλλα που χρησιμοποιούνται στα αεροπλάνα, συχνά στην κατασκευή των αεροσκαφών και των φτερών τους. Είναι ελαφρύ, ανθεκτικό και αντιδρά σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Το αλουμίνιο καλύπτει συνήθως το κέλυφος των αεροσκαφών και μέρη των φτερών, όπου η ελαφρότητα και η αντοχή είναι κρίσιμες.
2. **Τιτάνιο (Titanium):** Το τιτάνιο χρησιμοποιείται για τα φτερά και άλλα κρίσιμα μέρη των αεροσκαφών λόγω της υψηλής αντοχής του σε αντοχή και της ελαφρότητάς του. Επιπλέον, αντιδρά ελάχιστα στις καιρικές συνθήκες και το υψηλό σημείο τήξης του το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας.
3. **Χάλυβας (Steel):** Παρόλο που δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά όσο το αλουμίνιο και το τιτάνιο, ο χάλυβας εξακολουθεί να είναι σημαντικός στην κατασκευή τμημάτων του αεροσκάφους που απαιτούν υψηλή αντοχή, όπως τα σκελετικά τμήματα των φτερών.

Σύνθετα Υλικά

1. **Κομπόζιτες (Composites):** Οι κομπόζιτες αποτελούνται από πολυμερή υλικά ενισχυμένα με ίνες, όπως τον γυαλίνη, τον άνθρακα ή τον κεραμικό. Χαρακτηρίζονται από την ελαφρότητα και την ανθεκτικότητα, καθιστώντας τους ιδανικούς για χρήση στα φτερά των αεροσκαφών. Τα φτερά από κομπόζιτες μπορούν να μειώσουν το βάρος του αεροσκάφους, βελτιώνοντας την απόδοση και την κατανάλωση καυσίμων.

2. **Κεραμικά Υλικά (Ceramic Composites):** Τα κεραμικά υλικά χρησιμοποιούνται σε υψηλή θερμοκρασία, όπως τα φτερά των αεροσκαφών που εκτίθενται σε υψηλή θερμότητα κατά τη διάρκεια της πτήσης. Είναι ανθεκτικά στη θερμοκρασία και την τριβή, καθιστώντας τα κατάλληλα για αεροσκάφη που πρέπει να αντέχουν σε ακραίες συνθήκες.

Νανοϋλικά

1. **Νανο-ενισχυμένα Υλικά (Nano-enhanced Materials):** Τα νανοϋλικά είναι υλικά που έχουν ενισχυθεί με νανοσωματίδια για να βελτιώσουν τις ιδιότητές τους. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ελαφριών, ανθεκτικών και αεροδυναμικών φτερών που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση και την καυσίμωση των αεροσκαφών.

Βιοδιασπώμενα Υλικά

1. **Βιοδιασπώμενα Υλικά (Biodegradable Materials):** Με την αυξανόμενη προσοχή στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, ορισμένα αεροναυπηγικά υλικά προσαρμόζονται για να είναι βιοδιασπώμενα. Αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πτερά για να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και τα απόβλητα.

Προηγμένα Υλικά

1. **Προηγμένα Υλικά (Advanced Materials):** Πέραν των προαναφερθέντων κατηγοριών υλικών, υπάρχουν και πολλά άλλα προηγμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στα φτερά των αεροσκαφών. Περιλαμβάνουν υλικά όπως ελαστομερή καουτσούκ, υλικά με μορφή μεμβράνης και ολισθητικές επικαλύψεις για βελτιωμένη αεροδυναμική.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα φτερά των αεροσκαφών εξελίσσονται συνεχώς με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας των αεροσκαφών. Η επιλογή των υλικών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος του αεροσκάφους, οι απαιτήσεις από αντοχή και ελαφρότητα, καθώς και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αεροναυπηγική βιομηχανία συνεχίζει να επενδύει στην έρευνα και ανάπτυξη νέων υλικών προκειμένου να ανταποκριθεί στις αναγκαίες καινοτομίες και να βελτιώσει την αεροπλοΐα για το μέλλον.

2.2 Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αεροσκάφος

Τα φτερά ενός αεροπλάνου είναι ένα από τα κύρια στοιχεία που επιτρέπουν την πτήση και την αεροδυναμική απόδοση του αεροσκάφους. Για να κατανοήσουμε πλήρως τις δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω στο φτερό, πρέπει να εξετάσουμε τις βασικές αρχές της αεροδυναμικής και τη συμπεριφορά του αέρα κατά την πτήση. Σε αυτό το άρθρο, θα εξετάσουμε τις δυνάμεις που επηρεάζουν τα φτερά του αεροπλάνου, συμπεριλαμβανομένης της ανύψωσης, της αντίστασης και της ελιγμού(εικόνα 1).

Ανύψωση (Lift)

Η ανύψωση είναι η δύναμη που αναπτύσσεται πάνω στα φτερά ενός αεροσκάφους και επιτρέπει την ανύψωση και την πτήση του. Η ανύψωση παράγεται από την αεροδυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του φτερού. Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη δύναμη ανύψωσης περιλαμβάνουν:

1. **Ταχύτητα Ροής:** Η ταχύτητα του αέρα που ρέει πάνω και γύρω από το φτερό είναι κρίσιμη. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ροής, τόσο αυξάνεται και η ανύψωση που παράγεται.
2. **Γωνία Επιθέσεως (Angle of Attack):** Είναι η γωνία μεταξύ της ροής του αέρα και της επιφάνειας του φτερού. Η αλλαγή της γωνίας επιθέσεως επηρεάζει την ανύψωση. Σε γενικές γραμμές, όσο αυξάνεται η γωνία επιθέσεως, τόσο αυξάνεται η ανύψωση, αλλά υπάρχει μια γωνία όπου η ροή αποκολλάται από την επιφάνεια (γραμμή στροφής), και η ανύψωση μειώνεται αισθητά.
3. **Σχήμα Και Προφίλ Φτερού:** Το σχήμα και το προφίλ του φτερού επηρεάζουν την αεροδυναμική απόδοση. Τα φτερά σχεδιάζονται με συγκεκριμένα προφίλ που βελτιστοποιούν την ανύψωση.

Αντίσταση (Drag)

Η αντίσταση είναι η δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση του αεροσκάφους μέσα στον αέρα. Προκύπτει από την αεροδυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του αεροσκάφους. Η αντίσταση επηρεάζει την ταχύτητα και την απόδοση του αεροπλάνου. Κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν τη δύναμη της αντίστασης περιλαμβάνουν :

1. **Ταχύτητα Ροής:** Όσο αυξάνεται η ταχύτητα, τόσο αυξάνεται και η αντίσταση. Η αντίσταση αυξάνεται κυρίως με το τετράγωνο της ταχύτητας, επομένως τα αεροσκάφη πρέπει να αντιμετωπίσουν αυξημένη αντίσταση κατά την ταχύτερη πτήση.

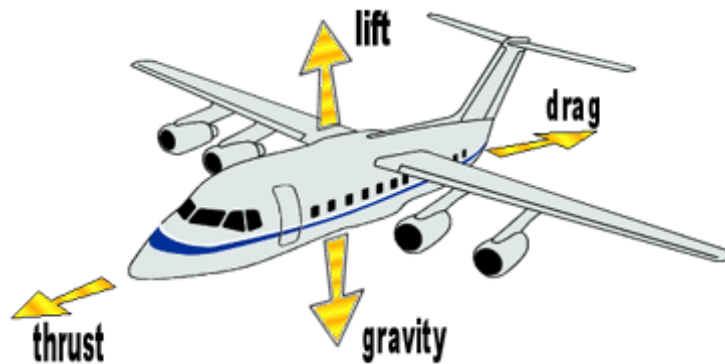
2. **Σχήμα Αεροσκάφους:** Το σχήμα του αεροσκάφους επηρεάζει την αντίσταση. Ορισμένα αεροσκάφη σχεδιάζονται με στρομμμένη πρύμνη (streamlined) για να μειώσουν την αντίσταση, ενώ άλλα μπορεί να έχουν περισσότερη αντίσταση λόγω της σχεδίασής τους για άλλες λειτουργίες.

Ελιγμός (Maneuvering)

Ο ελιγμός αναφέρεται στη δυνατότητα του αεροσκάφους να αλλάξει κατεύθυνση ή να πραγματοποιήσει κλίσεις και τροποποιήσεις στην πορεία του. Αυτή η δύναμη αναπτύσσεται με τη χρήση ελιγμών των φτερών, του ρόλου, του υψομέτρου και άλλων ελεγκτών. Οι δυνάμεις που σχετίζονται με τον ελιγμό περιλαμβάνουν (εικόνα 2):

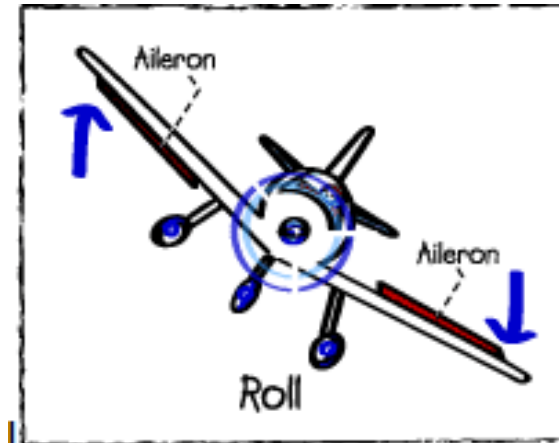
1. **Ρολός (Roll):** Ο ελιγμός περιλαμβάνει την κλίση του αεροσκάφους γύρω από τον πυρήνα του. Ο ρολός επιτρέπει στο αεροσκάφος να αλλάξει κατεύθυνση γύρω από τον άξονά του.
2. **Κλίση (Pitch):** Ο ελιγμός σε ύψος περιλαμβάνει την αλλαγή της γωνίας επιθέσεως του αεροσκάφους για ανύψωση ή καθέτως πτώση.
3. **Κυλίνδρωση (Yaw):** Ο ελιγμός γύρω από τον κάθετο άξονα του αεροσκάφους επιτρέπει την αλλαγή του κατευθυντικού του διανύσματος.

Οι παραπάνω δυνάμεις επηρεάζουν τη συνολική αεροδυναμική απόδοση του αεροσκάφους και επιτρέπουν την ασφαλή και αποτελεσματική πτήση. Κατανοώντας αυτές τις δυνάμεις και τον τρόπο που επηρεάζουν τα φτερά, οι μηχανικοί και οι πιλότοι μπορούν να διαχειριστούν την αεροδυναμική του αεροσκάφους για ασφαλή και αποδοτική πτήση.



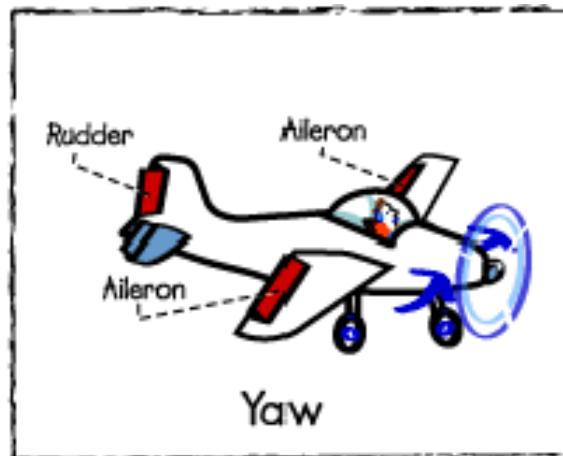
Εικόνα 1: Δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο αεροπλάνο

Πηγή: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html>



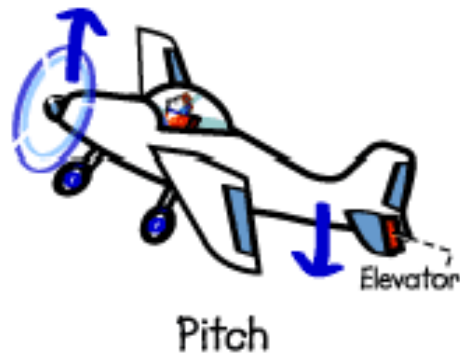
Εικόνα 2: Roll – Ελιγμός

Πηγή: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html>



Εικόνα 3: Κυλίνδρωση (Yaw)

Πηγή: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html>



Εικόνα 4: Κλίση

Πηγή: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html>

2.3 Θόρυβος από τα αεροσκάφη

Ο θόρυβος που προκαλούν τα αεροπλάνα είναι ένα σημαντικό ζήτημα που έχει επιπτώσεις στην περιβαλλοντική, ψυχολογική και υγειονομική ποιότητα της ζωής των ανθρώπων. Ο θόρυβος που προκύπτει από τα αεροσκάφη ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του αεροσκάφους, την φάση της πτήσης και τον περιβάλλοντα χώρο. Σε αυτό το άρθρο, θα εξετάσουμε τον θόρυβο των αεροπλάνων, τις πιθανές συνέπειες του και τα μέτρα που έχουν ληφθεί για την μείωσή του.

Θόρυβος Αεροσκαφών: Πηγές και Χαρακτηριστικά

Ο θόρυβος που παράγουν τα αεροσκάφη προέρχεται από διάφορες πηγές κατά την πτήση τους. Οι κύριες πηγές θορύβου περιλαμβάνουν:

Κινητήρες: Οι κινητήρες αεροσκαφών, και ιδιαίτερα οι αντλιοδικτυωτές (jet engines), αποτελούν μία από τις βασικές πηγές θορύβου. Οι ροές αέρα που δημιουργούνται κατά την καύση καυσίμων, καθώς και οι υπερηχούμενες και υποηχούμενες ταχύτητες των αερομηχανικών εξαγωγέων, προκαλούν έντονο θόρυβο.

Αεροδυναμικές δυνάμεις: Κατά την απογείωση, την προσγείωση και τις αλλαγές στην πορεία της πτήσης, οι αεροσκηές και τα φτερά προκαλούν αυξημένο αεροδυναμικό θόρυβο.

Εξαρτήματα στο εξωτερικό του αεροσκάφους: Οι προεξοχές, οι ανοίγματα και άλλα εξαρτήματα στο εξωτερικό του αεροσκάφους μπορούν να προκαλέσουν τυχαίες ακουστικές διαταραχές κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Ο θόρυβος των αεροσκαφών χαρακτηρίζεται από διάφορα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της έντασης, της συχνότητας και της διάρκειας. Η ένταση του θορύβου μετριέται συνήθως σε ντεσιμπέλ (dB), ενώ η συχνότητα αναφέρεται στις διάφορες τονικότητες του θορύβου.

Επιπτώσεις του Θορύβου από τα Αεροσκάφη

Ο θόρυβος που προκαλούν τα αεροσκάφη έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κοινωνία και το περιβάλλον. Ας εξετάσουμε μερικές από τις κυριότερες επιπτώσεις:

1. Υγεία και Ψυχολογία

Ο θόρυβος από τα αεροσκάφη μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στην υγεία και την ψυχολογία των ανθρώπων. Η μακροχρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου μπορεί να οδηγήσει σε ακουστικές προβληματικές όπως η ακουστική απομόνωση, η αύξηση της πίεσης του αίματος, η αυξημένη καρδιακή συχνότητα και οι δυσκολίες ύπνου.

Επίσης, ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει στρες, ερεθισμό, αϋπνία και ανάπτυξη ψυχικών διαταραχών. Κυρίως σε περιοχές με υψηλή επίπεδα θορύβου από αεροπλάνα, οι κάτοικοι αντιμετωπίζουν συχνά αυξημένο άγχος και κατάθλιψη

2. Περιβάλλον

Ο θόρυβος από τα αεροσκάφη επηρεάζει το περιβάλλον με πολλούς τρόπους. Καταρχάς, ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει διαταραχές σε οικοσυστήματα και τη ζωή των ζώων, όπως τη μείωση της αναπαραγωγής, τη μετανάστευση και την αλλαγή συμπεριφοράς

Επιπλέον, ο θόρυβος μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και του νερού σε περιοχές κοντά σε αεροδρόμια λόγω της ρύπανσης που προκαλεί, καθώς και στα αγροκτήματα και τις περιοχές όπου καλλιεργούνται τρόφιμα.

3. Κοινωνικοοικονομικές Επιπτώσεις

Ο θόρυβος από αεροσκάφη μπορεί να έχει και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στις περιοχές που βρίσκονται κοντά σε αεροδρόμια. Η μείωση της αξίας των ακινήτων, η μείωση της ανταγωνιστικότητας

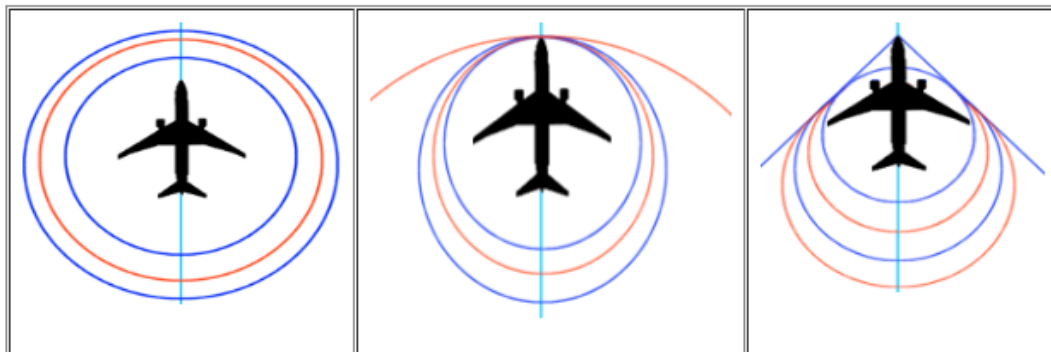
των επιχειρήσεων και η μείωση της ποιότητας ζωής μπορεί να είναι αποτελέσματα της περίσσιας θορυβορύπανσης σε αυτές τις περιοχές.

4. Νομοθεσία και Μέτρα Μείωσης του Θορύβου

Για τη μείωση του θορύβου από αεροσκάφη, έχουν ληφθεί διάφορα νομοθετικά μέτρα και τεχνολογικές βελτιώσεις. Οι αεροπορικές αρχές και οι κατασκευαστές αεροσκαφών έχουν εργαστεί για την ανάπτυξη πιο ήσυχων αεροσκαφών και την εφαρμογή τεχνολογιών μείωσης του θορύβου.

Επιπρόσθετα, έχουν θεσπιστεί όρια θορύβου για τα αεροσκάφη που εκμεταλλεύονται αεροδρόμια, καθώς και προγράμματα αντικατάστασης παλαιότερων και πιο θορυβωδών αεροσκαφών με νέα, πιο φιλικά προς το περιβάλλον μοντέλα.

Ο θόρυβος από τα αεροσκάφη είναι ένα σοβαρό θέμα που επηρεάζει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων και το περιβάλλον. Οι επιπτώσεις του εκτείνονται από την υγεία και την ψυχολογία μέχρι την ποιότητα του αέρα και τον οικονομικό τομέα. Ωστόσο, οι προσπάθειες για τη μείωση του θορύβου και η ανάπτυξη πιο φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών ανοίγουν τον δρόμο για μια πιο σίγουρη και βιώσιμη αεροπορία στο μέλλον.



Εικόνα 5:Ήχοι που προκαλούνται από ένα αεροσκάφος

Πηγή: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsofflight.html>

Κεφάλαιο 3

3.1 Σύντομη περιγραφή των πρώτων σχεδίων συσκευών άκρων πτέρυγας

F. W. Lanchester [6] ανέπτυξε διάφορα μοντέλα για να στηρίξει την υπόθεση της δίνης του για την υποστροφή, η οποία προτάθηκε για πρώτη φορά το 1892. Η θεωρία των στροβίλων αποτέλεσε το θεωρητικό θεμέλιο της σύγχρονης θεωρίας των αεροτομών και τη βάση της αεροδυναμικής. Τα δύο πιο γνωστά έργα του δημοσιεύτηκαν το 1907 και το 1908. Η δημοσίευσή του *Aerodynamics and Aerodnetics* παρείχε μια ολοκληρωμένη εξήγηση της Ανύψωσης και της Αντίστασης, των ταλαντώσεων και της έρευνας για το ακινητοποιημένο αεροπλάνο κ.ο.κ. Τα συμπεράσματα του Λάντσεστερ δεν ήταν λογικά. Την ίδια στιγμή, ένας Γερμανός επιστήμονας ονόματι Ludwig Prandtl που έλαβε στο Ηνωμένο Βασίλειο έδειξε μαθηματικά πόσο ακριβείς ήταν οι θεωρίες του.

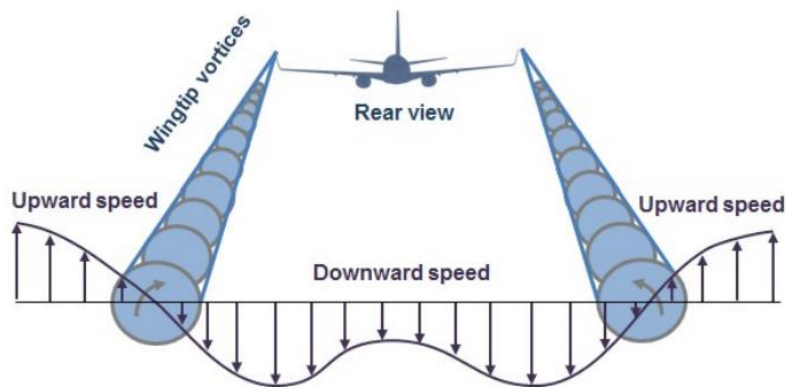
Ο Whitcomb πρωτοστάτησε στην ιδέα των winglets το 1976. Τα Winglets, σύμφωνα με τον Whitcomb, είναι μικροσκοπικές επιφάνειες κατακόρυφης επέκτασης τοποθετημένες στις άκρες των πτερύγων που παρέχουν μεγαλύτερη μείωση της επαγόμενης αντίστασης για δεδομένες συνθήκες ανύψωσης και αριθμό Mach από ό,τι οι απλές επεκτάσεις στις άκρες των πτερύγων με το ίδιο δομικό βάρος. Ανακάλυψε μείωση της επαγόμενης αντίστασης κατά 20%, καθώς και αύξηση του λόγου άντωσης προς αντίσταση της πτέρυγας κατά 9%. Ως αποτέλεσμα της τοποθέτησης των winglets, η συνολική απόδοση της πτέρυγας βελτιώθηκε σε σύγκριση με τις προεκτάσεις των άκρων των πτερύγων.

Ο Louis B. Grater, [1] εισήγαγε τα *spiroid tipped wings* - ένα φτερό με *spiroid tips* - το 1992. Τέτοιες άκρες στα άκρα των πτερύγων είχαν ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της επαγόμενης αντίστασης και επίσης κατευνασμού των επιπτώσεων θορύβου που προκαλούνταν από τα στροβιλώδη κύματα που δημιουργούνταν στις άκρες των πτερύγων. Η εξέλιξη αυτή αποσκοπούσε στη μεγιστοποίηση του λόγου μήκους της ουράς προς το άνοιγμα της πτέρυγας, ιδίως στην άκρη της πτέρυγας, όπου η μεθοδολογία αυτή είναι πιο αποτελεσματική, άρα στη μείωση της επαγόμενης αντίστασης. Ο Louis B Grater [2] έθεσε νέα πρότυπα με την πρότασή του για ολοκληρωμένες πτέρυγες.

Ο ίδιος όρισε ένα μικτό winglet ως μια λεία και αυτοσυσχετιζόμενη επιφάνεια παραγωγής ανύψωσης που συνδέεται με τις άκρες των πτερύγων και βοηθά στην επίτευξη χαμηλής επαγόμενης αντίστασης ελαχιστοποιώντας την ένταση και τη συγκέντρωση στροβιλισμού που πέφτει πίσω από τις ανυψωτικές επιφάνειες. Δήλωσε ότι η πρότασή του για ένα μικτό winglet που συνδέεται με το άκρο της πτέρυγας όχι

μόνο θα μείωνε την αντίσταση αλλά και θα διατηρούσε το δομικό βάρος σχεδόν το ίδιο. Ο La Roche [5] άντλησε την έμπνευση για το πλέγμα των πτερύγων από τη φύση, ενώ ανέλυε τον τρόπο με τον οποίο πετούν τα εγκεφαλικά επεισόδια. Μια απλή φυσική ιδέα τον παρακίνησε να την εξετάσει περαιτέρω. Κατά τη διάρκεια της έρευνάς του, παρατήρησε πολλές μεθόδους για τη μείωση της επαγόμενης αντίστασης στις πτέρυγες, συμπεριλαμβανομένων των επίπεδων ευθύγραμμων πτερύγων, των επίπεδων πτερύγων με περίγραμμα, των απλών πτερύγων με ακροπτερύγια και ακραίες πλάκες, των πτερύγων με αυλακωτές ακμές και των πτερύγων με ανεμισμένες μερικές πτέρυγες. Δεν μπόρεσε να βρει λύση για τις πολλαπλές πτέρυγες. Ως εκ τούτου, με τις γνώσεις αεροδυναμικής και στροβιλομηχανών, μοντελοποίησε επιτυχώς τα πλέγματα των πτερύγων, με αποτέλεσμα τη μείωση της επαγόμενης αντίστασης κατά 50% σε σύγκριση με μια ελλειπτική επίπεδη πτέρυγα.

Γενικά, η προσθήκη μιας συσκευής στην άκρη της πτέρυγας αυξάνει το δομικό βάρος με κάποιο τρόπο. Ο Herrick επινόησε τις High Taper Wing Tip Extensions, συχνά γνωστές ως Raked Wings [7], το έτος 2000 για να επιλύσει το συμβιβασμό μεταξύ των πλεονεκτημάτων της μείωσης της αντίστασης και των μειονεκτημάτων του υψηλότερου δομικού βάρους. Τα μπροστινά άκρα των πτερύγων raked είναι κωνικά και οι γωνίες σάρωσης είναι υψηλότερες από τις γωνίες κύριας σάρωσης. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των πτερύγων με κλίση είναι ότι το βάρος μειώνεται καθώς αυξάνεται το άνοιγμα των πτερύγων. Η θεωρία της ανυψωτικής γραμμής Prandtl είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που προβλέπει την κατανομή της άντωσης σε μια τρισδιάστατη πτέρυγα με βάση τη γεωμετρία της. Είναι επίσης γνωστή ως θεωρία των πτερύγων LanchesterPrandtl. [29]

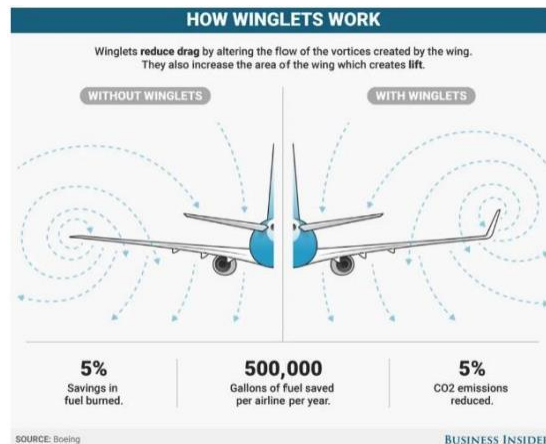


Εικόνα 6: Θεωρία γραμμής ανύψωσης

3.2. Σχεδιασμός συσκευών άκρης πτέρυγας τρέχουσας γενιάς

Αναρωτηθήκατε ποτέ γιατί τα άκρα των φτερών ορισμένων αεροσκαφών έχουν μυτερά κομμάτια; Αυτό που βλέπετε είναι τα "winglets", τα οποία θεωρούνται πλέον στάνταρ χαρακτηριστικά σε όλα τα νέα αεροπλάνα.

Τι κάνουν τα winglets;



Εικόνα 7: Πώς λειτουργούν τα winglets

"Τα Winglets βοηθούν στη μείωση της αντίστασης που συνδέεται με την παραγωγή άντωσης". Αν και αυτή είναι μια θεωρητική εξήγηση, η πρακτική αιτιολόγηση των winglets είναι πιο απλή στην κατανόηση. Τα winglets καθιστούν τις πτέρυγες πιο αποτελεσματικές στην παραγωγή άντωσης, με αποτέλεσμα το αεροσκάφος να χρειάζεται λιγότερη ισχύ κινητήρα. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων, μείωση των εκπομπών CO₂ και πιθανή μείωση των εξόδων των αεροπορικών εταιρειών. Σύμφωνα με την Boeing, η προσθήκη winglets στα αεροσκάφη 757 και 767 μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα των καυσίμων κατά 5% και τη μείωση του CO₂ έως και 5%.

Η εγκατάσταση των winglets στα διαθέσιμα αεροσκάφη B767 αναμένεται αξιόπιστα να εξοικονομήσει 500.000 γαλόνια καυσίμων ετησίως. Με την εισαγωγή των winglets, το αεροσκάφος μπορεί να μειώσει την επαγόμενη αντίσταση σε ολόκληρη την πτέρυγα και, το σημαντικότερο, να μειώσει την αντοχή των στροβίλων στην άκρη της πτέρυγας. Πιστεύεται ότι η παραγόμενη αντίσταση μειώνεται καθώς αυξάνεται το άνοιγμα των περυγών, αλλά είναι αδύνατο να αυξηθεί το άνοιγμα των περυγών σε όλες τις περιπτώσεις αεροπλάνων.

Στο εξής, η επέκταση του ανοίγματος έδωσε το έναυσμα για κάθετες προεκτάσεις που ονομάζονται winglets. Τα winglets εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά στο Boeing 747-400 και στο McDonnell Douglas MD11 και μπορούσαν να δουν έως και 2,5% έως 3% βελτιωμένη απόδοση καυσίμου σε σύγκριση με αεροσκάφη χωρίς winglets. Η βελτίωση της καύσης καυσίμου ενισχύθηκε κατά τη δεύτερη γενιά εγκατάστασης winglets με λεπτότερη καμπυλότητα. Τα αεροσκάφη B737 Max με winglets τρίτης γενιάς προσέφεραν σημαντικά αποτελέσματα σε σχέση με τη δεύτερη γενιά.



Εικόνα 8: Winglets στο B737 MAX

Με την εισαγωγή των αεροσκαφών A300 και A310, η Airbus κατέκτησε ηγετική θέση στη βιομηχανία εμπορικής αεροπορίας όσον αφορά τη χρήση συσκευών ακροπτερυγίου. Οι φράκτες άκρων πτέρυγας, κάθετες προεκτάσεις σε σχήμα βέλους που εκτείνονταν πάνω και κάτω από το άκρο της πτέρυγας, τοποθετήθηκαν σε αυτά τα αεροσκάφη μεγάλου μήκους και αποτέλεσαν πυλώνες της γκάμας προϊόντων της εταιρείας.

Οι φράκτες στην άκρη των πτερύγων και οι σημαντικότερες διατάξεις τύπου winglet ενσωματώθηκαν στα αεροσκάφη της οικογένειας A320 της Airbus με ένα διάδρομο, χρησιμοποιώντας τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από τα αεροσκάφη A300/A310, και στη συνέχεια στα αεροσκάφη A330, A340, A380 και A350 XWB. Τα Sharklets ύψους 2,4 μέτρων ήταν το επόμενο βήμα στην εξέλιξη της Airbus σχεδιάστηκαν για την οικογένεια αεροσκαφών A320 και μπορούν να εξοικονομήσουν καύσιμα έως και 4%, ενώ μειώνουν τις εκπομπές CO₂ ετησίως έως και 900 τόνους ανά αεροσκάφος [34].

Μειώνουν τους σπειροειδείς στροβίλους που σχηματίζονται στο άκρο των φτερών κατά τη διάρκεια της πτήσης, γεγονός που αυξάνει την αεροδυναμική αντίσταση, όπως και όλες οι συσκευές άκρων φτερών που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη Airbus από το αρχικό A300/A310.



Εικόνα 9: Sharklets στο Airbus A320

3.3 Γεωμετρία πτέρυγας και WINGLET

Η γεωμετρία της πτέρυγας είναι ένας από τους πρωταρχικούς παράγοντες που επηρεάζουν την άνοση και την αντίσταση του αεροσκάφους. Η ονοματολογία που χρησιμοποιείται εφαρμόζεται γενικά στον κόσμο των αεροπορικών επιχειρήσεων και ήταν γνωστή κυρίως στον Orville Wright τον 19ο αιώνα. Παρά το γεγονός ότι οι πραγματικές πτέρυγες αεροσκαφών είναι πολύπλοκα τρισδιάστατα αντικείμενα, θα ξεκινήσουμε με ορισμένους βασικούς ορισμούς. Το σχήμα απεικονίζει (εικ 10) μια πτέρυγα από τρεις οπτικές γωνίες:

- Το επάνω αριστερό μέρος απεικονίζει μια άποψη από πάνω, κοιτάζοντας κατευθείαν στην πτέρυγα.
- Το κάτω αριστερό μέρος απεικονίζει μια άποψη από μπροστά, κοιτάζοντας την μπροστινή ακμή της πτέρυγας.
- Η δεξιά απεικονίζει μια πλευρική άποψη από τα αριστερά προς την κεντρική γραμμή.

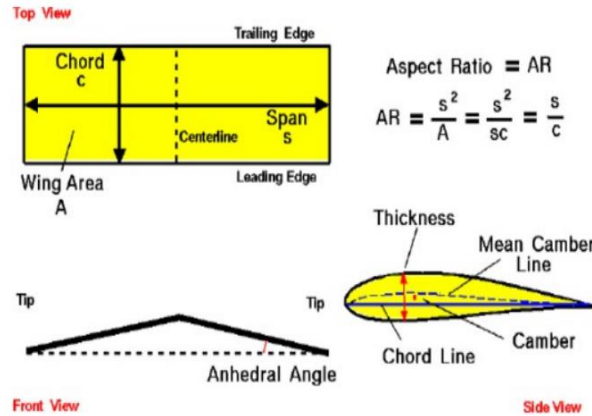
Απεικονίζεται η πλευρική όψη μιας αεροτομής με την ακμή προσβολής προς τα αριστερά. Πρόκειται για μια σύγχρονη, παχιά αεροτομή, σε αντίθεση με τις λεπτές αεροτομές που χρησιμοποιούσαν οι Wrights, οι οποίες απεικονίζονται παρακάτω. Ωστόσο, η ονοματολογία παραμένει η ίδια.

Η άνω όψη απεικονίζει τη χρήση ενός απλού ορθογώνιου σχήματος πτέρυγας από τους αδελφούς Ράιτ. Η εμπρόσθια ακμή της πτέρυγας αναφέρεται ως εμπρόσθια ακμή, ενώ η οπίσθια ακμή της πτέρυγας αναφέρεται ως οπίσθια ακμή. Η χορδή είναι η απόσταση μεταξύ της πρόσθιας και της οπίσθιας ακμής. Τα άκρα της πτέρυγας είναι τα άκρα της πτέρυγας και το άνοιγμα είναι η απόσταση από το ένα άκρο της πτέρυγας στο άλλο. Η αεροτομή είναι το σχήμα μιας πτέρυγας όπως φαίνεται από ψηλά και κοιτάζοντας προς τα κάτω.

Το μήκος χορδής μιας ορθογώνιας πτέρυγας είναι το ίδιο σε κάθε θέση κατά μήκος του ανοίγματός της. Το μήκος χορδής ποικίλλει κατά μήκος του ανοίγματος των περισσότερων εμπορικών αεροσκαφών, και οι δύο ακμές που είναι πρόσθια και οπίσθια μπορεί να είναι κεκλιμένες. Το προβαλλόμενο εμβαδόν της επίπεδης μορφής είναι το εμβαδόν της πτέρυγας, το οποίο απεικονίζεται από την πρόσθια και την οπίσθια ακμή, καθώς και από τις άκρες της πτέρυγας. Λάβετε υπόψη ότι το εμβαδόν της πτέρυγας διαφέρει από τη συνολική επιφάνεια της πτέρυγας. Τόσο η άνω όσο και η κάτω επιφάνεια αποτελούν τη συνολική επιφάνεια. Η περιοχή της πτέρυγας είναι μια προβαλλόμενη περιοχή, σχεδόν η μισή της συνολικής επιφάνειας.

Μια τομή στην πτέρυγα κάθετα στις ακμές προσβολής και ουράς θα εμφανίσει τη διατομή της πτέρυγας. Αυτή η διατομή είναι γνωστή ως αεροτομή και έχει τα δικά της γεωμετρικά κριτήρια, όπως φαίνεται στην εικόνα. Η γραμμή χορδής χαράσσεται μεταξύ της ακμής ουράς μιας αεροτομής και της ακμής προσβολής. Η γραμμή χορδής χωρίζει την αεροτομή σε μια άνω και μια κάτω επιφάνεια.

Η μέση γραμμή καμπυλότητας προκύπτει από τη χάραξη των σημείων στη μέση μεταξύ της άνω και της κάτω επιφάνειας. Η άνω επιφάνεια μιας συμμετρικής αεροτομής αντανακλά την κάτω επιφάνεια και η γραμμή χορδής θα εμπίπτει κάτω από τη μέση γραμμή καμπυλότητας. Παρόλα αυτά, στις περισσότερες περιπτώσεις, η χορδή και η μέση γραμμή καμπύλης είναι μοναδικές γραμμές. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο γραμμών ονομάζεται κύρτωση και χρησιμεύει ως μέτρο της καμπυλότητας της αεροτομής.

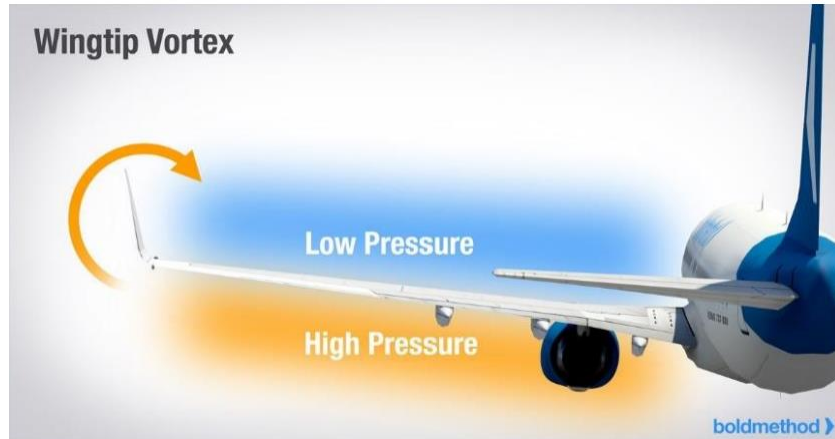


Εικόνα 10: Γεωμετρία πτέρυγας

3.4 Γεωμετρία πτέρυγας

Μια μικρή, όχι και τόσο διακριτική διαφήμιση για τη Southwest.com, τη WestJet.com ή τη Ryanair μπορεί να έπεσε στο μάτι σας σε μια πρόσφατη πτήση. Η διαφήμιση στο winglet, ένα μικρό, προς τα πάνω κεκλιμένο μίνι πτερύγιο στο τέλος της πτέρυγας. Όλα τα είδη των winglets, μερικές φορές με σημαντική καμπύλη, όπως το Airbus A350 ή το Boeing 787, τοποθετούνται στις άκρες των πτερύγων των αεροπλάνων. Στην πραγματικότητα, τα αεροσκάφη χωρίς winglet είναι όλο και πιο δύσκολο να βρεθούν. Η κατανόηση της πτέρυγας είναι το πρώτο βήμα για την κατανόηση των winglets.

Η μορφή της πτέρυγας δημιουργεί άνωση εφαρμόζοντας πίεση προς τα κάτω στη μάζα του αέρα από την οποία διέρχεται. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ των επιφανειών της άνω και της κάτω επιφάνειας της πτέρυγας. Το σχήμα (εικ.11) εξηγεί τη δίνη που δημιουργείται όταν ο αέρας κάτω από τις πτέρυγες ανεβαίνει και τυλίγεται γύρω από την κορυφή της πτέρυγας λόγω της διαφοράς πίεσης. Σύμφωνα με τη NASA, το αποτέλεσμα αυτών των στροβίλων είναι περισσότερη αντίσταση και λιγότερη άνωση, γεγονός που μειώνει την απόδοση της πτήσης και αυξάνει τις δαπάνες καυσίμων, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 11: Δίνη στην άκρη της πτέρυγας

3.5 Τύποι winglets

3.5.1 Ορθογώνια πτέρυγα

Αυτό απεικονίζει ένα μη εκλεπτυσμένο άκρο πτέρυγας. Έχει δημιουργηθεί μια τομή που είναι παράλληλη με το επίπεδο των αεροτομών. Μικρά αεροσκάφη που πετούν αργά έχουν μερικές φορές αυτή τη διάταξη. Ο σχεδιασμός αυτός εφαρμόζεται στη μελέτη μας για να παρακολουθήσουμε την τυπική συμπεριφορά της ροής, συγκεκριμένα πώς αλληλεπιδρούν οι ενδο- και εξω-διαστολές και πώς αυτό επηρεάζει την παραγωγή άντωσης.

Τα πλεονεκτήματα μιας ορθογώνιας πτέρυγας περιλαμβάνουν:

- Χαρακτηριστικά καθυστέρησης που είναι πιο ακίνδυνα. Ο έλεγχος της κύλισης θα διατηρηθεί κατά κύριο λόγο, καθώς η ακινητοποίηση εμφανίζεται στη ρίζα της πτέρυγας και τελικά μετακινείται προς τις άκρες.
- Τα κολλήματα και οι ακούσιες περιστροφές είναι λιγότερες εξαιτίας αυτού του γεγονότος.
- Φθηνότερο και απλό στην κατασκευή.
- Απαιτείται λιγότερη αεροναυτική εμπειρία στη φάση του σχεδιασμού για την απόκτηση ελαστικών με καλή πρόσφυση.

3.5.2. Blended winglet

Το Boeing 737, το πιο δημοφιλές αεροσκάφος στον κόσμο, διαθέτει μικτές πτέρυγες σε πολλές εκδόσεις του. Οι μεγαλύτερες αεροπορικές εταιρείες είναι η Southwest και η Ryanair, οι οποίες συχνά εντοπίζονται στη Βόρεια Αμερική κοντά στο τέλος των φτερών του 737 με τις WestJet, Delta και American.

Είναι γνωστά ως blended winglets επειδή έχουν μια απρόσκοπτη μετάβαση από την πτέρυγα στο winglet σε σχέση με ένα κεκλιμένο winglet ή ένα φράχτη στην άκρη της πτέρυγας, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα αυξημένες επιδόσεις.

Τα αεροσκάφη Gulfstream II απέκτησαν τα πρώτα Blended winglets. Η Airbus δοκίμασε δύο πρωτότυπα προτού καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα πλεονεκτήματά τους δεν ήταν ιδιαίτερα επιτακτικά, παρά το γεγονός ότι πρόκειται για μια από τις κύριες διαμορφώσεις για αεροσκάφη της Aviation Partners Inc. όπως η σειρά Boeing Jet και η σειρά Falcon.

Σειρά Falcon, σειρά Hawkers. Έχουν επενδύσει μεγάλη προσπάθεια σε αυτό. Ένα winglet που φαίνεται στο σχήμα αυτού του τύπου λειτουργεί ως προέκταση της πτέρυγας του αεροσκάφους προς τα πάνω. Στη μεταβατική ζώνη, συνδυάζουν μια γωνία σάρωσης με μια ομαλότερη διακύμανση της χορδής.

Αυτό θα πρέπει να μειώσει κάποια από την ιξώδη αντίσταση, ενώ θα πρέπει να εγκαταλείψει κάποια από τη δυναμική μείωση της επαγόμενης αντίστασης, σύμφωνα με ορισμένες μελέτες που έχουν γίνει από την Boeing.



Εικόνα 12: Μικτή πτέρυγα

3.5.3. Ραβδωτή πτέρυγα

Προκειμένου να αναπτυχθεί σωστά η γεωμετρία αυτού του winglet, ο σχεδιαστής των ακροπτερυγίων με κλίση πρέπει να συμπεριλάβει πρόσθετο άνοιγμα πτέρυγας. Όταν υπάρχουν περιορισμοί πύλης για συγκεκριμένες τιμές ανοίγματος φτερών, αυτό μπορεί περιστασιακά να έχει αντίκτυπο στις επιδόσεις του αεροσκάφους και να περιορίσει τα αεροδρόμια στα οποία μπορούν να πετάξουν. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι η μπροστινή ακμή του άκρου θα έχει σημαντικά μεγαλύτερη γωνία σάρωσης από την μπροστινή ακμή της κύριας πτέρυγας. Για πτήσεις εξαιρετικά μεγάλων αποστάσεων, οι κεκλιμένες πτέρυγες έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές, καθώς μεγιστοποιούν τη φάση πλεύσης, ενώ χρησιμοποιούν λιγότερα καύσιμα.



Εικόνα 13: Πτερύγιο με ραβδώσεις

3.5.4 Πτερύγιο με ραβδώσεις

Το μικτό winglet δημιουργήθηκε από την Aviation Partners Inc. (API), η οποία ανέπτυξε επίσης το spiroid winglet. Η API άρχισε τις πτητικές δοκιμές του spiroid winglet σε ένα Gulfstream II στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Ένα από τα άλλα πλεονεκτήματα της δυναμικής ικανότητας του spiroid winglet να εξαλείφει σχεδόν πλήρως τη δίνη στην άκρη της πτέρυγας θα ήταν ο έλεγχος της ροής της εναέριας κυκλοφορίας σε σημαντικά αεροδρόμια.

Όπως είναι σήμερα, απαιτείται απόσταση μεταξύ των αεροσκαφών για να επιτραπεί η διάλυση του στροβίλου πτερυγίων του επόμενου αεροσκάφους. Τα spiroid winglets θα επέτρεπαν στενότερη απόσταση μεταξύ των αεροσκαφών που ακολουθούν, μειώνοντας μέρος της συμφόρησης σε πολυσύχναστα αεροδρόμια και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της ροής.



Εικόνα 14: Spiroid winglet

3.6 Βάρος

Η βαρύτητα είναι η ελκτική δύναμη που τείνει να έλκει όλα τα σώματα στο κέντρο της γης. Το CG μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημείο στο οποίο συγκεντρώνεται όλο το βάρος του αεροσκάφους. Εάν το αεροσκάφος υποστηρίχθηκε στο ακριβές CG του, θα ισορροπούσε σε οποιαδήποτε στάση. Θα σημειωθεί ότι το CG είναι μείζονος σημασίας σε ένα αεροσκάφος, καθώς η θέση του έχει μεγάλη επίδραση στη σταθερότητα.

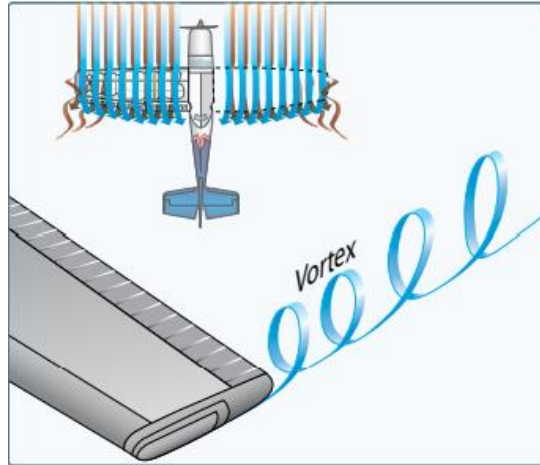
Η επιτρεπόμενη θέση του CG καθορίζεται από τη γενική σχεδίαση κάθε συγκεκριμένου αεροσκάφους. Οι σχεδιαστές καθορίζουν πόσο μακριά θα διανύσει το κέντρο πίεσης (CP).

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι το βάρος ενός αεροσκάφους συγκεντρώνεται στο CG και οι αεροδυναμικές δυνάμεις ανύψωσης εμφανίζονται στο CP. Όταν το CG βρίσκεται μπροστά από το CP, υπάρχει μια φυσική τάση για το αεροσκάφος να θέλει να ρίξει τη μύτη προς τα κάτω. Εάν το CP είναι μπροστά από το CG, δημιουργείται μια ροπή ρίψης προς τα πάνω. Επομένως, οι σχεδιαστές καθορίζουν το οπίσθιο όριο του CG προς τα εμπρός του CP για την αντίστοιχη ταχύτητα πτήσης προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία πτήσης.

Το βάρος έχει μια σαφή σχέση με την άρση. Αυτή η σχέση είναι απλή, αλλά σημαντική για την κατανόηση της αεροδυναμικής της πτήσης. Ανύψωση είναι η ανοδική δύναμη στο φτερό που ενεργεί κάθετα στον σχετικό άνεμο και κάθετα στον πλευρικό άξονα του αεροσκάφους. Απαιτείται ανύψωση για την εξουδετέρωση του βάρους του αεροσκάφους. Σε σταθεροποιημένη στάθμη πτήση, όταν η δύναμη ανύψωσης είναι ίση με τη δύναμη βάρους, το αεροσκάφος βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας και δεν επιταχύνει ούτε προς τα πάνω ούτε προς τα κάτω. Εάν η ανύψωση γίνει μικρότερη από το βάρος, η κατακόρυφη ταχύτητα θα μειωθεί. Όταν η ανύψωση είναι μεγαλύτερη από το βάρος, η κατακόρυφη ταχύτητα θα αυξηθεί.

3.7 Wingtip Vortices - Σχηματισμός Δινών

Η δράση της αεροτομής που ανυψώνει ένα αεροσκάφος προκαλεί επίσης επαγόμενη οπισθέλκουσα. Όταν μια αεροτομή πετάει σε θετικό AOA, υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ της άνω και της κάτω επιφάνειας της αεροτομής. Η πίεση πάνω από το φτερό είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση και η πίεση κάτω από το φτερό είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Δεδομένου ότι ο αέρας κινείται πάντα από την υψηλή πίεση προς τη χαμηλή πίεση και η διαδρομή της ελάχιστης αντίστασης είναι προς τις άκρες της αεροτομής, υπάρχει μια ευρεία κίνηση του αέρα από το κάτω μέρος της αεροτομής προς τα έξω από την άτρακτο γύρω από τις άκρες. Αυτή η ροή αέρα οδηγεί σε «χύσιμο» πάνω από τις άκρες, δημιουργώντας έτσι μια δίνη αέρα που ονομάζεται δίνη. [Εικόνα 11]



Εικόνα 15: Wingtip vortices

Ταυτόχρονα, ο αέρας στην επάνω επιφάνεια έχει την τάση να ρέει προς την άτρακτο και από το πίσω άκρο. Αυτό το ρεύμα αέρα σχηματίζει μια παρόμοια δίνη στο εσωτερικό τμήμα της πίσω ακμής της αεροτομής, αλλά επειδή η άτρακτος περιορίζει την προς τα μέσα ροή, η δίνη είναι ασήμαντη. Κατά συνέπεια, η απόκλιση στην κατεύθυνση ροής είναι μεγαλύτερη στα εξωτερικά άκρα όπου η απεριόριστη πλευρική ροή είναι η ισχυρότερη.

Καθώς ο αέρας καμπυλώνει προς τα πάνω γύρω από το άκρο, συνδυάζεται με το κατέβασμα για να σχηματίσει μια συρόμενη δίνη που περιστρέφεται γρήγορα. Αυτές οι δίνες αυξάνουν την οπισθέλκουσα λόγω της ενέργειας που δαπανάται για την παραγωγή των αναταράξεων. Κάθε φορά που μια αεροτομή παράγει ανύψωση, εμφανίζεται επαγόμενη έλξη και δημιουργούνται δίνες στο άκρο των πτερυγίων.

Ακριβώς όπως η ανύψωση αυξάνεται με την αύξηση του AOA, αυξάνεται επίσης η επαγόμενη οπισθέλκουσα. Αυτό συμβαίνει επειδή καθώς αυξάνεται το AOA, υπάρχει μεγαλύτερη διαφορά πίεσης μεταξύ του πάνω και του κάτω μέρους της αεροτομής και μεγαλύτερη πλευρική ροή αέρα. Κατά συνέπεια, αυτό προκαλεί τη δημιουργία περισσότερων βίαιων στροβίλων, με αποτέλεσμα περισσότερες αναταράξεις και μεγαλύτερη επαγόμενη οπισθέλκουσα.

Στην εικόνα 15, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ο σχηματισμός στροβιλισμών στο άκρο των φτερών. Η ένταση ή η ισχύς των στροβίλων είναι ευθέως ανάλογη με το βάρος του αεροσκάφους και αντιστρόφως ανάλογη με το άνοιγμα των φτερών και την ταχύτητα του αεροσκάφους. Όσο πιο βαρύ και πιο αργό είναι το αεροσκάφος, τόσο μεγαλύτερο είναι το AOA και τόσο ισχυρότεροι είναι οι στροβιλισμοί στο άκρο των φτερών. Έτσι, ένα αεροσκάφος θα δημιουργήσει στροβίλους στο άκρο των πτερυγίων με τη μέγιστη

αντοχή που εμφανίζεται κατά τις φάσεις απογείωσης, αναρρίχησης και προσγείωσης της πτήσης. Αυτές οι δίνες οδηγούν σε έναν ιδιαίτερα επικίνδυνο κίνδυνο για την πτήση.

Αποφυγή ταραχών

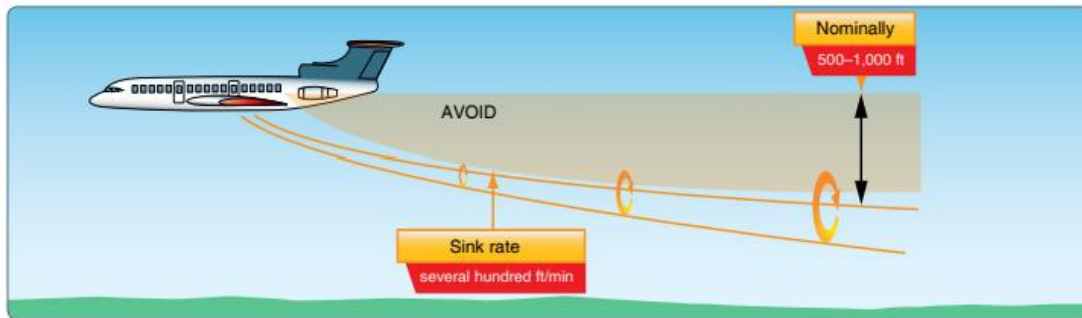
Οι δίνες στην άκρη των φτερών είναι μεγαλύτερες όταν το αεροσκάφος παραγωγής είναι «βαρύ, καθαρό και αργό». Αυτή η κατάσταση συναντάται συχνότερα κατά τις προσεγγίσεις ή τις αναχωρήσεις, επειδή το ΑΟΑ ενός αεροσκάφους είναι στο υψηλότερο επίπεδο για να παράγει την ανύψωση που απαιτείται για την προσγείωση ή την απογείωση. Για να ελαχιστοποιήσετε τις πιθανότητες να πετάξετε μέσα από τις αναταράξεις ενός αεροσκάφους:

- Αποφύγετε να πετάτε μέσω της διαδρομής πτήσης άλλου αεροσκάφους.
- Περιστρέψτε πριν από το σημείο στο οποίο περιστράφηκε το προηγούμενο αεροσκάφος κατά την απογείωση πίσω από άλλο αεροσκάφος.
- Αποφύγετε να ακολουθείτε άλλο αεροσκάφος σε παρόμοια διαδρομή πτήσης σε υψόμετρο εντός 1.000 ποδιών. [Εικόνα 16]
- Πλησιάστε το διάδρομο πάνω από τη διαδρομή ενός προηγούμενου αεροσκάφους όταν προσγειωθείτε πίσω από άλλο αεροσκάφος και αγγίξτε το μετά το σημείο στο οποίο οι τροχοί του άλλου αεροσκάφους ήρθαν σε επαφή με τον διάδρομο. [Εικόνα 17]

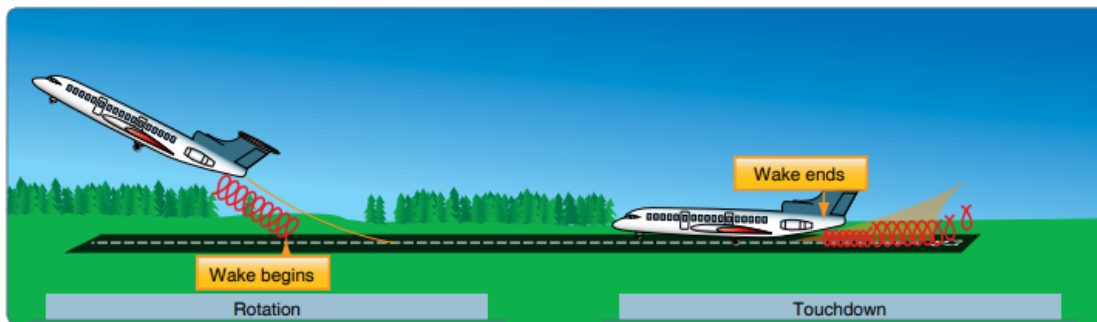
Ένα ελικόπτερο που αιωρείται δημιουργεί ένα κύμα πλύσης από τους κύριους ρότορες του, παρόμοιο με τους στρόβιλους ενός αεροπλάνου. Οι πιλότοι μικρών αεροσκαφών θα πρέπει να αποφεύγουν ένα ελικόπτερο που αιωρείται με τουλάχιστον τρεις διαμέτρους δίσκου ρότορα για να αποφεύγουν τις επιπτώσεις αυτής της πλύσης. Κατά την πτήση προς τα εμπρός, αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε ένα ζεύγος ισχυρών, υψηλής ταχύτητας συρόμενων στροβίλων παρόμοιων με τις δίνες στην άκρη των φτερών μεγαλύτερων αεροσκαφών σταθερών πτερυγίων. Οι δίνες των ελικοπτέρων θα πρέπει να αποφεύγονται επειδή οι ταχύτερες πτήσεις προς τα εμπρός ελικοπτέρων είναι συχνά πολύ αργές και μπορούν να δημιουργήσουν εξαιρετικά ισχυρές αναταράξεις.

Ο άνεμος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αποφυγή των αναταράξεων από την εγρήγορση, επειδή οι δίνες της άκρης των φτερών παρασύρονται με τον άνεμο με την ταχύτητα του ανέμου. Για παράδειγμα, μια ταχύτητα ανέμου 10 κόμβων αναγκάζει τις δίνες να παρασύρονται σε περίπου 1.000 πόδια σε ένα λεπτό προς την κατεύθυνση του ανέμου. Όταν ακολουθεί άλλο αεροσκάφος, ένας πιλότος

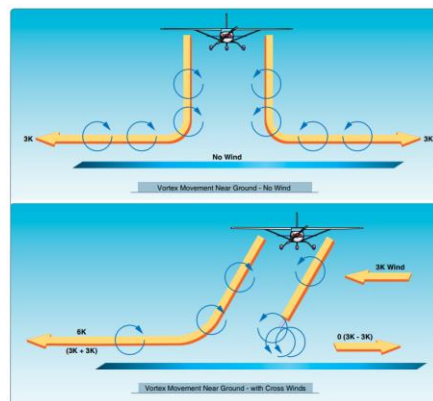
Θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου όταν επιλέγει ένα επιδιωκόμενο σημείο απογείωσης ή προσγείωσης[Εικόνα 18].



Εικόνα 16: Αποφύγετε να ακολουθείτε άλλο αεροσκάφος σε υψόμετρο εντός 1.000 ποδιών.



Εικόνα 17: Αποφεύγοντας τις αναταράξεις από άλλο αεροσκάφος



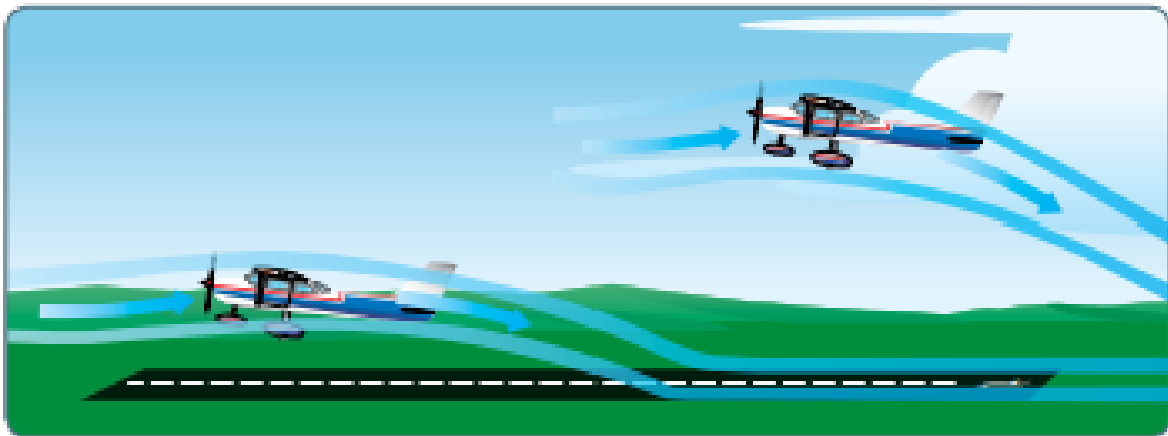
Εικόνα 18: Όταν οι δίνες των μεγαλύτερων αεροσκαφών βυθίζονται κοντά στο έδαφος (εντός 100 έως 200 ποδιών), τείνουν να κινούνται πλευρικά πάνω από το έδαφος με ταχύτητα 2 ή 3 κόμβων (πάνω). Ένας πλάγιος άνεμος θα μειώσει την πλευρική κίνηση της ανεμοστρόβιλου και θα αυξήσει την κίνηση της δίνης προς τα κάτω. Έτσι, ένας ελαφρύς άνεμος με συνιστώσα εγκάρσιου διαδρόμου από 1 έως 5 κόμβους θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα η ανεμοδαρμένη δίνη να παραμείνει στη ζώνη προσγείωσης για ένα χρονικό διάστημα και να επιταχύνει την μετατόπιση της δίνης προς τα κάτω προς έναν άλλο διάδρομο (κάτω).

3.8 Επίδραση εδάφους

Από την αρχή της επανδρωμένης πτήσης, οι πιλότοι συνειδητοποίησαν ότι λίγο πριν την προσγείωση θα ένιωθαν ξαφνικά ότι το αεροσκάφος δεν ήθελε να κατέβει χαμηλότερα, και θα ήθελε απλώς να συνεχίσει και να συνεχίσει. Αυτό οφείλεται στον αέρα που είναι παγιδευμένος ανάμεσα στο φτερό και την επιφάνεια προσγείωσης, σαν να υπήρχε ένα μαξιλάρι αέρα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται φαινόμενο εδάφους.

Όταν ένα αεροσκάφος σε πτήση βρίσκεται σε απόσταση λίγων μέτρων από την επιφάνεια, το έδαφος ή το νερό, συμβαίνει μια αλλαγή στο τρισδιάστατο μοτίβο ροής γύρω από το αεροσκάφος επειδή η κατακόρυφη συνιστώσα της ροής αέρα γύρω από το φτερό περιορίζεται από την επιφάνεια. Αυτό μεταβάλλει τις δίνες άνω και κάτω πλύσης και άκρης φτερού του φτερού. [Εικόνα 19]

Το φαινόμενο εδάφους, λοιπόν, οφείλεται στην παρεμβολή της επιφάνειας του εδάφους (ή του νερού) με τα μοτίβα ροής αέρα γύρω από το αεροσκάφος κατά την πτήση. Ενώ τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά των επιφανειών της ουράς και της ατράκτου μεταβάλλονται από το φαινόμενο του εδάφους, τα κύρια αποτελέσματα λόγω της εγγύτητας του εδάφους είναι οι αλλαγές στα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του πτερυγίου. Καθώς το φτερό συναντά το φαινόμενο του εδάφους και διατηρείται σε σταθερό ΑΟΑ, υπάρχει επακόλουθη μείωση στις δίνες ανόδου, καθόδου και κορυφής πτερυγίου.

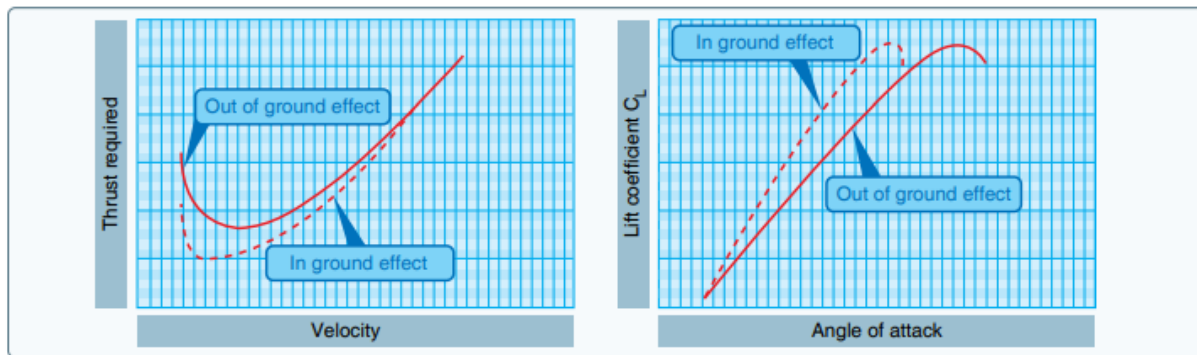


Εικόνα 19: Η επίδραση του εδάφους αλλάζει τη ροή του αέρα

Η επαγόμενη οπισθέλκουσα είναι αποτέλεσμα της εργασίας της αεροτομής για τη στήριξη του αεροσκάφους και ένα φτερό ή ρότορας ανυψώνει το αεροσκάφος απλώς επιταχύνοντας μια μάζα αέρα προς τα κάτω. Είναι αλήθεια ότι η μειωμένη πίεση στην κορυφή μιας αεροτομής είναι απαραίτητη για την ανύψωση, αλλά αυτό είναι μόνο ένα από τα πράγματα που συμβάλλουν στη συνολική επίδραση της

ώθησης μιας μάζας αέρα προς τα κάτω. Όσο περισσότερο το downwash υπάρχει, τόσο πιο σκληρά το φτερό σπρώχνει τη μάζα του αέρα προς τα κάτω. Σε υψηλές γωνίες προσβολής, η ποσότητα της επαγόμενης οπισθέλκουσας είναι υψηλή. Δεδομένου ότι αυτό αντιστοιχεί σε χαμηλότερες ταχύτητες αέρα στην πραγματική πτήση, μπορεί να ειπωθεί ότι η επαγόμενη αντίσταση κυριαρχεί στη χαμηλή ταχύτητα.

Ωστόσο, η μείωση των στροβιλισμών του άκρου του πτερυγίου λόγω της επίδρασης του εδάφους αλλάζει την κατανομή ανύψωσης και μειώνει την επαγόμενη AOA και την επαγόμενη οπισθέλκουσα. Επομένως, η πτέρυγα θα απαιτήσει χαμηλότερο AOA σε αποτέλεσμα εδάφους για να παράγει το ίδιο CL. Εάν διατηρηθεί ένα σταθερό AOA, προκύπτει αύξηση του CL. [Εικόνα 20].



Εικόνα 20: Η ιδιομορφία εδάφους αλλάζει τη μεταφορά και την ανύψωση.

Το φαινόμενο εδάφους μεταβάλλει επίσης την απαιτούμενη ώθηση σε σχέση με την ταχύτητα. Εφόσον η επαγόμενη έλξη κυριαρχεί σε χαμηλές ταχύτητες, η μείωση της επαγόμενης οπισθέλκουσας λόγω της επίδρασης του εδάφους θα προκαλέσει σημαντική μείωση της απαιτούμενης ώθησης (παράσιτο συν επαγόμενη οπισθέλκουσα) σε χαμηλές ταχύτητες. Λόγω της αλλαγής στους στρόβιλους upwash, downwash και wingtip, ενδέχεται να υπάρχει σφάλμα αλλαγής θέσης (εγκατάστασης) του συστήματος ταχύτητας αέρα που σχετίζεται με το φαινόμενο εδάφους. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, το φαινόμενο εδάφους προκαλεί αύξηση της τοπικής πίεσης στη στατική πηγή και παράγει χαμηλότερη ένδειξη ταχύτητας αέρα και υψόμετρου. Έτσι, ένα αεροσκάφος μπορεί να μεταφερθεί στον αέρα με ενδεικνυόμενη ταχύτητα αέρα μικρότερη από αυτή που απαιτείται συνήθως.

Για να είναι σημαντικό το φαινόμενο του εδάφους, το φτερό πρέπει να βρίσκεται αρκετά κοντά στο έδαφος. Ένα από τα άμεσα αποτελέσματα της επίδρασης του εδάφους είναι η μεταβολή της επαγόμενης οπισθέλκουσας με ύψος πτερυγίων πάνω από το έδαφος σε σταθερή CL. Όταν το φτερό βρίσκεται σε ύψος ίσο με το άνοιγμα του, η μείωση της επαγόμενης οπισθέλκουσας είναι μόνο 1,4 τοις εκατό. Ωστόσο,

όταν το φτερό βρίσκεται σε ύψος ίσο με το ένα τέταρτο του ανοίγματός του, η μείωση της επαγόμενης οπισθέλκουσας είναι 23,5 τοις εκατό και, όταν το φτερό βρίσκεται σε ύψος ίσο με το ένα δέκατο του ανοίγματος του, η μείωση στην επαγόμενη οπισθέλκουσα είναι 47,6 τοις εκατό. Έτσι, μια μεγάλη μείωση της επαγόμενης οπισθέλκουσας λαμβάνει χώρα μόνο όταν το φτερό είναι πολύ κοντά στο έδαφος. Λόγω αυτής της διακύμανσης, το φαινόμενο εδάφους αναγνωρίζεται συνήθως κατά την απογείωση για απογείωση ή λίγο πριν από την προσγείωση κατά την προσγείωση.

3.9 Πτήση υψηλής ταχύτητας

3.9.1 Υποηχητική έναντι υπερηχητικής ροής

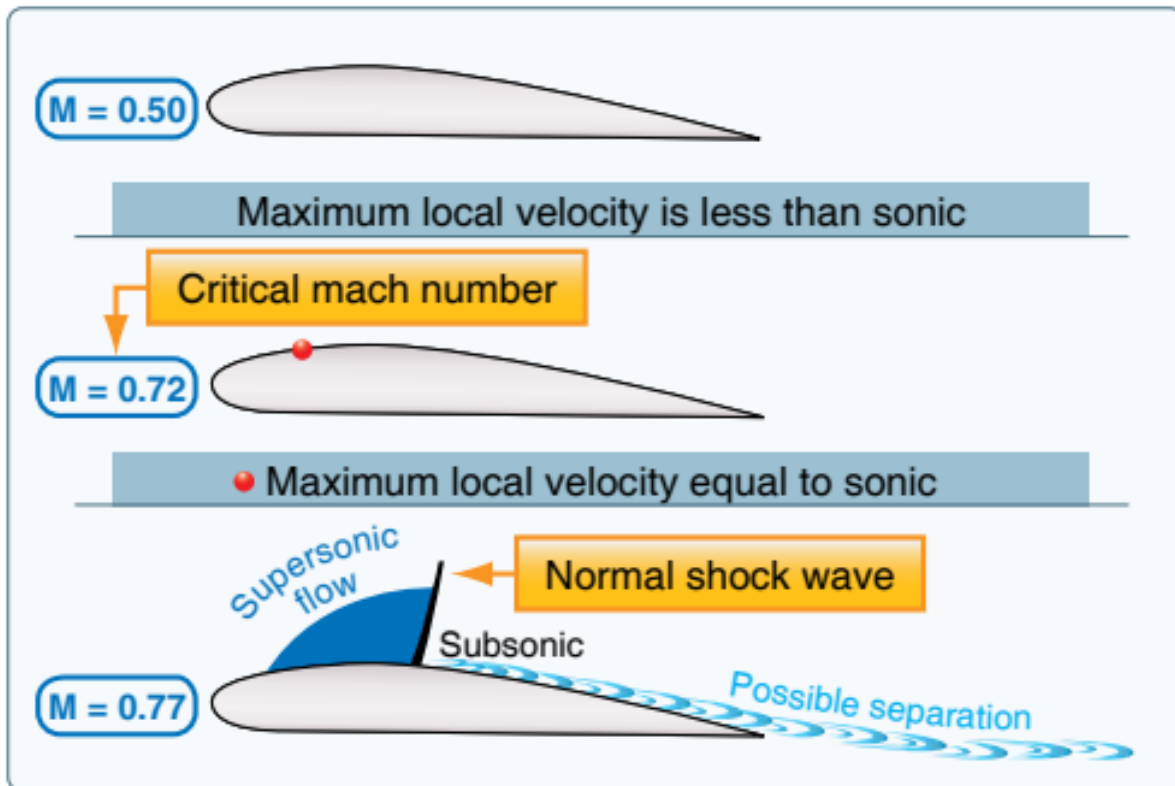
Στην υποηχητική αεροδυναμική, η θεωρία της ανύψωσης βασίζεται στις δυνάμεις που δημιουργούνται σε ένα σώμα και σε ένα κινούμενο αέριο (αέρας) στο οποίο είναι βυθισμένο. Σε ταχύτητες περίπου 260 κόμβων ή λιγότερο, ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ασυμπίεστος καθώς, σε σταθερό υψόμετρο, η πυκνότητά του παραμένει σχεδόν σταθερή ενώ η πίεσή του ποικίλλει. Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση, ο αέρας δρα το ίδιο με το νερό και ταξινομείται ως ρευστό. Η υποηχητική αεροδυναμική θεωρία υποθέτει επίσης ότι τα αποτελέσματα του ιξώδους (η ιδιότητα ενός ρευστού που τείνει να εμποδίζει την κίνηση ενός μέρους του ρευστού σε σχέση με ένα άλλο) είναι αμελητέα και ταξινομεί τον αέρα ως ιδανικό ρευστό σύμφωνα με τις αρχές της αεροδυναμικής ιδανικού ρευστού όπως π. ως συνέχεια, αρχή Bernoulli και κυκλοφορία.

Στην πραγματικότητα, ο αέρας είναι συμπίεστος και παχύρρευστος. Ενώ τα αποτελέσματα αυτών των ιδιοτήτων είναι αμελητέα σε χαμηλές ταχύτητες, ιδιαίτερα τα αποτελέσματα συμπίεστικότητας γίνονται όλο και πιο σημαντικά καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Η συμπίεστικότητα (και σε μικρότερο βαθμό το ιξώδες) είναι υψίστης σημασίας σε ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του ήχου. Σε αυτές τις περιοχές ταχύτητας, η συμπίεστικότητα προκαλεί μια αλλαγή στην πυκνότητα του αέρα γύρω από ένα αεροσκάφος.

Κατά τη διάρκεια της πτήσης, ένα φτερό παράγει ανύψωση επιταχύνοντας τη ροή αέρα πάνω από την άνω επιφάνεια. Αυτός ο επιταχυνόμενος αέρας μπορεί, και φτάνει, να φτάσει σε ηχητικές ταχύτητες, παρόλο που το ίδιο το αεροσκάφος μπορεί να πετάει υποηχητικά. Σε ορισμένα ακραία AOA, σε ορισμένα αεροσκάφη, η ταχύτητα του αέρα πάνω από την επάνω επιφάνεια της πτέρυγας μπορεί να είναι διπλάσια από την ταχύτητα του αεροσκάφους.

Επομένως, είναι απολύτως δυνατό να υπάρχει ταυτόχρονα υπερηχητική και υποηχητική ροή αέρα σε ένα αεροσκάφος. Όταν οι ταχύτητες ροής φθάνουν σε ηχητικές ταχύτητες σε κάποια τοποθεσία ενός

αεροσκάφους (όπως η περιοχή της μέγιστης κάμπερς στο φτερό), η περαιτέρω επιτάχυνση έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων συμπίεσότητας, όπως σχηματισμός κρουστικού κύματος, αύξηση οπισθέλκουσας, σμίκρυνση, σταθερότητα και έλεγχος δυσκολίες. Οι αρχές υποηχητικής ροής δεν είναι έγκυρες σε όλες τις ταχύτητες πάνω από αυτό το σημείο. [Εικόνα 21]



Εικόνα 21: Ροή αέρα στο φτερό

3.9.2 Εύρος Ταχύτητας

Η ταχύτητα του ήχου ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία. Υπό τυπικές συνθήκες θερμοκρασίας 15 °C, η ταχύτητα του ήχου στο επίπεδο της θάλασσας είναι 661 κόμβοι. Στα 40.000 πόδια, όπου η θερμοκρασία είναι -55 °C, η ταχύτητα του ήχου μειώνεται στους 574 κόμβους.

Σε πτήση υψηλής ταχύτητας και/ή πτήση σε μεγάλο ύψος, η μέτρηση της ταχύτητας εκφράζεται ως «αριθμός Mach»—ο λόγος της πραγματικής ταχύτητας αέρα του αεροσκάφους προς την ταχύτητα του ήχου στις ίδιες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ένα αεροσκάφος που ταξιδεύει με την ταχύτητα του ήχου ταξιδεύει με ταχύτητα 1,0 Mach.

Οι ταχύτητες αεροσκαφών ορίζονται περίπου ως εξής:

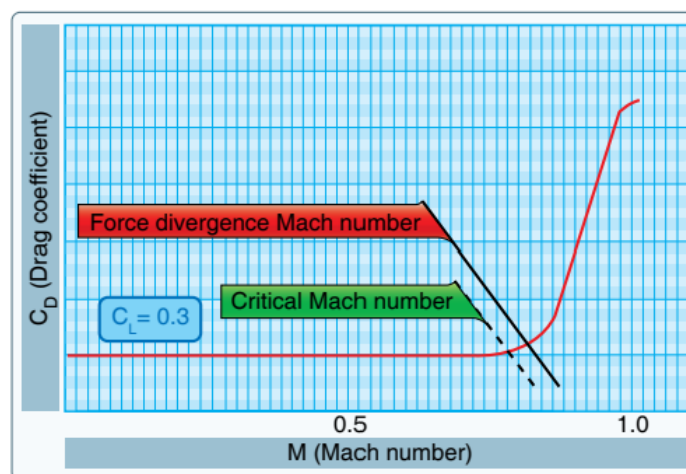
- ✚ Subsonic—Αριθμοί Mach κάτω από 0,75

- ✚ Transonic—Αριθμοί Mach από 0,75 έως 1,20
- ✚ Υπερηχητικός—Αριθμοί Mach από 1,20 έως 5,00
- ✚ Υπερηχητικό—Αριθμοί Mach πάνω από 5,00

Ενώ οι πτήσεις στην υπερηχητική περιοχή είναι σύνηθες φαινόμενο για στρατιωτικά αεροσκάφη, τα πολιτικά αεριωθούμενα αεροσκάφη συνήθως λειτουργούν σε εύρος ταχύτητας κρουαζιέρας από 0,7 Mach έως 0,90 Mach.

Η ταχύτητα ενός αεροσκάφους στο οποίο η ροή αέρα πάνω από οποιοδήποτε μέρος του υπό εξέταση αεροσκάφους ή δομής φτάνει πρώτα (αλλά δεν υπερβαίνει) το 1,0 Mach ονομάζεται "κρίσιμος αριθμός Mach" ή "Mach Crit". Έτσι, ο κρίσιμος αριθμός Mach είναι το όριο μεταξύ υποηχητικής και υπερηχητικής πτήσης και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σχεδίαση πτερυγίων και αεροτομής.

Ο κρίσιμος αριθμός Mach είναι ένα σημαντικό σημείο στην υπερηχητική πτήση. Όταν σχηματίζονται κρουστικά κύματα στο αεροσκάφος, μπορεί να προκύψουν διαχωρισμός ροής αέρα ακολουθούμενο από μπουφέ και δυσκολίες ελέγχου του αεροσκάφους. Τα κρουστικά κύματα, ο μπουφές και ο διαχωρισμός ροής αέρα λαμβάνουν χώρα πάνω από τον κρίσιμο αριθμό Mach. Ένα αεριωθούμενο αεροσκάφος είναι συνήθως πιο αποτελεσματικό όταν ταξιδεύει με ή κοντά στον κρίσιμο αριθμό Mach του. Σε ταχύτητες 5–10 τοις εκατό πάνω από τον κρίσιμο αριθμό Mach, αρχίζουν τα εφέ συμπίεσότητας. Το Drag αρχίζει να αυξάνεται απότομα. Σχετίζονται με την "ανύψωση οπισθέλκουσας" είναι αλλαγές μπουφέ, επένδυσης και σταθερότητας και μείωση της αποτελεσματικότητας της επιφάνειας ελέγχου. Αυτό είναι το σημείο της «απόκλισης έλξης». [Εικόνα 22]



Εικόνα 22:Κρίσιμος αριθμός Mach

Το V_{MO}/M_{MO} ορίζεται ως το μέγιστο όριο ταχύτητας λειτουργίας. Το V_{MO} εκφράζεται σε κόμβους βαθμονομημένη ταχύτητα αέρα (KCAS), ενώ το M_{MO} εκφράζεται σε αριθμό Mach. Το όριο VMO συνήθως σχετίζεται με λειτουργίες σε χαμηλότερα υψόμετρα και ασχολείται με δομικά φορτία και πτερυγισμό. Το όριο M_{MO} σχετίζεται με λειτουργίες σε μεγαλύτερα υψόμετρα και συνήθως αφορά περισσότερο τα φαινόμενα συμπίεσότητας και το φτερούγισμα. Σε χαμηλότερα υψόμετρα, τα δομικά φορτία και το πτερυγισμό προκαλούν ανησυχία. σε μεγαλύτερα υψόμετρα, τα φαινόμενα συμπίεσότητας και το φτερούγισμα προκαλούν ανησυχία.

Η τήρηση αυτών των ταχυτήτων αποτρέπει δομικά προβλήματα λόγω δυναμικής πίεσης ή πτερυγισμού, υποβάθμισης της απόκρισης ελέγχου του αεροσκάφους λόγω συμπίεσότητας (π.χ. Mach Tuck, αναστροφή του αεροπλάνου ή βουητό) και διαχωρισμένη ροή αέρα λόγω κρουστικών κυμάτων που έχουν ως αποτέλεσμα απώλεια ανύψωσης ή κραδασμούς και μπουφέ. Οποιοδήποτε από αυτά τα φαινόμενα θα μπορούσε να εμποδίσει τον πιλότο να μπορέσει να ελέγξει επαρκώς το αεροσκάφος.

Για παράδειγμα, ένα πρώιμο πολιτικό αεριωθούμενο αεροσκάφος είχε όριο VMO 306 KCAS έως περίπου FL 310 (σε μια τυπική ημέρα). Σε αυτό το υψόμετρο (FL 310), ένα MMO 0,82 ήταν περίπου ίσο με 306 KCAS. Πάνω από αυτό το υψόμετρο, ένα MMO 0,82 ισοδυναμούσε πάντα με ένα KCAS μικρότερο από 306 KCAS και, έτσι, έγινε το όριο λειτουργίας καθώς δεν θα μπορούσατε να φτάσετε το όριο VMO χωρίς να φτάσετε πρώτα το όριο MMO. Για παράδειγμα, στο FL 380, ένα MMO 0,82 είναι ίσο με 261 KCAS.

3.10 Αριθμός Mach έναντι ταχύτητας αέρα

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πώς η ταχύτητα αέρα ποικίλλει ανάλογα με τον αριθμό Mach. Για παράδειγμα, εξετάστε πώς η ταχύτητα ακινητοποίησης ενός αεροσκάφους μεταφοράς τζετ ποικίλλει ανάλογα με την αύξηση του υψομέτρου. Η αύξηση του υψομέτρου οδηγεί σε αντίστοιχη πτώση της πυκνότητας του αέρα και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Ας υποθέσουμε ότι αυτή η μεταφορά με τζετ είναι στην καθαρή διαμόρφωση (γρανάζι και πτερύγια επάνω) και ζυγίζει 550.000 λίβρες. Το αεροσκάφος μπορεί να σταματήσει σε περίπου 152 KCAS στο επίπεδο της θάλασσας. Αυτό ισούται με (σε μια τυπική ημέρα) μια πραγματική ταχύτητα 152 KTAS και έναν αριθμό Mach 0,23. Στο FL 380, το αεροσκάφος θα εξακολουθεί να είναι στάσιμο σε περίπου 152 KCAS, αλλά η πραγματική ταχύτητα είναι περίπου 287 KTAS με αριθμό Mach 0,50.

Αν και η ταχύτητα ακινητοποίησης παρέμεινε η ίδια για τους σκοπούς μας, τόσο ο αριθμός Mach όσο και το TAS έχουν αυξηθεί. Με την αύξηση του υψομέτρου, η πυκνότητα του αέρα έχει μειωθεί. Αυτό απαιτεί μεγαλύτερη πραγματική ταχύτητα αέρα για να έχουμε την ίδια πίεση που ανιχνεύεται από τον σωλήνα pitot για το ίδιο KCAS ή KIAS (για τους σκοπούς μας, το KCAS και το KIAS είναι σχετικά κοντά το ένα στο άλλο). Η δυναμική πίεση που βιώνει η πτέρυγα στο FL 380 στα 287 KTAS είναι η ίδια όπως στο επίπεδο της θάλασσας στα 152 KTAS. Ωστόσο, πετά με μεγαλύτερο αριθμό Mach.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να λάβετε υπόψη είναι η ταχύτητα του ήχου. Η μείωση της θερμοκρασίας σε ένα αέριο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας του ήχου. Έτσι, καθώς το αεροσκάφος ανεβαίνει σε ύψος με την εξωτερική θερμοκρασία να πέφτει, η ταχύτητα του ήχου πέφτει. Στο επίπεδο της θάλασσας, η ταχύτητα του ήχου είναι περίπου 661 KCAS, ενώ στο FL 380 είναι 574 KCAS. Έτσι, για τα αεροσκάφη μεταφοράς αεριωθούμενων αεροσκαφών μας, η ταχύτητα ακινητοποίησης (στο KTAS) έχει μειωθεί από 152 στο επίπεδο της θάλασσας σε 287 σε 380 FL.

Ταυτόχρονα, η ταχύτητα του ήχου (σε KCAS) μειώθηκε από 661 σε 574 και ο αριθμός Mach αυξήθηκε από 0,23 (152 KTAS διαιρούμενο με 661 KTAS) σε 0,50 (287 KTAS διαιρούμενο με 574 KTAS). Όλο αυτό το διάστημα, το KCAS για στάβλο παρέμεινε σταθερό στα 152. Αυτό περιγράφει τι συμβαίνει όταν το αεροσκάφος βρίσκεται σε σταθερό KCAS με αυξανόμενο ύψος, αλλά τι συμβαίνει όταν ο πιλότος κρατά σταθερό το Mach κατά την ανάβαση; Σε κανονικές πτήσεις αεριωθουμένων, η ανάβαση είναι στα 250 KIAS (ή υψηλότερα (π.χ. βαριά)) έως τα 10.000 πόδια και στη συνέχεια σε μια καθορισμένη ταχύτητα αναρρίχησης κατά τη διαδρομή (περίπου 330 εάν είναι DC10) μέχρι να φτάσει σε υψόμετρο στα «μέσα

της δεκαετίας του '20». όπου ο πιλότος ανεβαίνει στη συνέχεια με σταθερό αριθμό Mach στο ύψος της κρουαζιέρας.

Υποθέτοντας για λόγους απεικόνισης ότι ο πιλότος ανεβαίνει σε MMO 0,82 από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι το FL 380. Το KCAS πηγαίνει από το 543 στο 261. Το KIAS σε κάθε υψόμετρο θα ακολουθούσε την ίδια συμπεριφορά και θα διαφέρει μόνο κατά μερικούς κόμβους. Θυμηθείτε από την προηγούμενη συζήτηση ότι η ταχύτητα του ήχου μειώνεται με την πτώση της θερμοκρασίας καθώς το αεροσκάφος ανεβαίνει. Ο αριθμός Mach είναι απλώς ο λόγος της πραγματικής ταχύτητας αέρα προς την ταχύτητα του ήχου σε συνθήκες πτήσης. Η σημασία αυτού είναι ότι σε μια σταθερή άνοδο αριθμού Mach, το KCAS (και το KTAS ή το KIAS επίσης) πέφτει.

Εάν το αεροσκάφος ανέβαινε αρκετά ψηλά σε αυτό το σταθερό MMO με μειωμένα KIAS, KCAS και KTAS, θα άρχιζε να πλησιάζει την ταχύτητα ακινητοποίησης του. Σε κάποιο σημείο, η ταχύτητα ακινητοποίησης του αεροσκάφους σε αριθμό Mach θα μπορούσε να ισούται με το MMO του αεροσκάφους και ο πιλότος δεν μπορούσε ούτε να επιβραδύνει (χωρίς να σταματήσει) ούτε να επιταχύνει (χωρίς να υπερβεί τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του αεροσκάφους). Αυτό έχει ονομαστεί "η γωνία του φέρετρου".

3.10.1 Οριακό στρώμα

Η ιξώδης φύση της ροής αέρα μειώνει τις τοπικές ταχύτητες σε μια επιφάνεια και είναι υπεύθυνη για την τριβή του δέρματος. Όπως συζητήθηκε νωρίτερα στο κεφάλαιο, το στρώμα αέρα πάνω από την επιφάνεια του πτερυγίου που επιβραδύνεται ή σταματά λόγω του ιξώδους είναι το οριακό στρώμα. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι ροής οριακού στρώματος στρωτή και τυρβώδης.

3.10.1.1 Ροή στρωτού οριακού στρώματος

Το στρωτό οριακό στρώμα είναι μια πολύ ομαλή ροή, ενώ το τυρβώδες οριακό στρώμα περιέχει στροβιλισμούς ή δίνες. Η στρωτή ροή δημιουργεί λιγότερη αντίσταση τριβής του δέρματος από την τυρβώδη ροή, αλλά είναι λιγότερο σταθερή. Η ροή του οριακού στρώματος πάνω από μια επιφάνεια πτερυγίου ξεκινά ως ομαλή στρωτή ροή. Καθώς η ροή συνεχίζεται προς τα πίσω από την πρόσθια ακμή, το στρωτό οριακό στρώμα αυξάνεται σε πάχος.

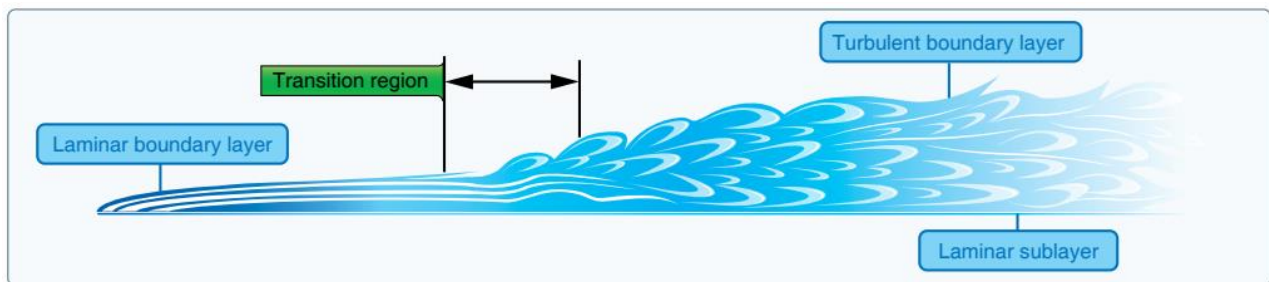
3.10.1.2 Ροή τυρβώδους οριακής στρώσης

Σε κάποια απόσταση πίσω από το πρόσθιο άκρο, η ομαλή στρωτή ροή διασπάται και μεταβαίνει σε τυρβώδη ροή. Από την άποψη της οπισθέλκουσας, είναι σκόπιμο να γίνεται η μετάβαση από τη στρωτή σε τυρβώδη ροή όσο το δυνατόν πιο πίσω στο φτερό ή να υπάρχει μεγάλη ποσότητα της επιφάνειας του

περυγίου εντός του στρωτού τμήματος του οριακού στρώματος. Η χαμηλής ενέργειας στρωτή ροή, ωστόσο, τείνει να σπάσει πιο ξαφνικά από το τυρβώδες στρώμα.

Διαχωρισμός οριακών στιβάδων

Ένα άλλο φαινόμενο που σχετίζεται με την παχύρρευστη ροή είναι ο διαχωρισμός. Ο διαχωρισμός συμβαίνει όταν η ροή αέρα αποσπάται από μια αεροτομή. Η φυσική εξέλιξη είναι από το στρωτό οριακό στρώμα στο τυρβώδες οριακό στρώμα και στη συνέχεια στον διαχωρισμό της ροής αέρα. Ο διαχωρισμός ροής αέρα παράγει υψηλή οπισθέλκουσα και τελικά καταστρέφει την ανύψωση. Το σημείο διαχωρισμού του οριακού στρώματος κινείται προς τα εμπρός στο φτερό καθώς αυξάνεται το ΑΟΑ. [Εικόνα 23]



Εικόνα 23: Οριακό στρώμα

Οι γεννήτριες στροβιλισμού χρησιμοποιούνται για να καθυστερήσουν ή να αποτρέψουν τον επαγόμενο από κρουστικό κύμα διαχωρισμό οριακών στιβάδων που συναντάται σε υπερηχητική πτήση. Είναι μικρές αεροτομές χαμηλού λόγου διαστάσεων τοποθετημένες σε 12° έως 15° ΑΟΑ προς το ρεύμα αέρα. Συνήθως σε απόσταση λίγων ιντσών μεταξύ τους κατά μήκος της πτέρυγας μπροστά από τα πτερύγια ή άλλες επιφάνειες ελέγχου, οι γεννήτριες στροβιλισμού δημιουργούν μια δίνη που αναμιγνύει την οριακή ροή αέρα με τη ροή αέρα υψηλής ενέργειας ακριβώς πάνω από την επιφάνεια. Αυτό παράγει υψηλότερες επιφανειακές ταχύτητες και αυξάνει την ενέργεια του οριακού στρώματος. Επομένως, ένα ισχυρότερο κρουστικό κύμα είναι απαραίτητο για την παραγωγή διαχωρισμού ροής αέρα.

Shock wave

Όταν ένα αεροπλάνο πετά με υποηχητικές ταχύτητες, ο αέρας μπροστά «προειδοποιείται» για τον ερχομό του αεροπλάνου από μια αλλαγή πίεσης που μεταδίδεται μπροστά από το αεροπλάνο με την ταχύτητα του ήχου. Εξαιτίας αυτής της προειδοποίησης, ο αέρας αρχίζει να παραμερίζεται πριν φτάσει το αεροπλάνο και είναι έτοιμος να τον αφήσει να περάσει εύκολα. Όταν η ταχύτητα του αεροπλάνου φτάσει την ταχύτητα του ήχου, η αλλαγή πίεσης δεν μπορεί πλέον να προειδοποιεί τον αέρα που βρίσκεται μπροστά, επειδή το αεροπλάνο συμβαδίζει με τα δικά του κύματα πίεσης. Αντίθετα, τα

σωματίδια του αέρα συσσωρεύονται μπροστά από το αεροπλάνο προκαλώντας απότομη μείωση της ταχύτητας ροής ακριβώς μπροστά από το αεροπλάνο με αντίστοιχη αύξηση στην πίεση και την πυκνότητα του αέρα.

Καθώς η ταχύτητα του αεροπλάνου αυξάνεται πέρα από την ταχύτητα του ήχου, η πίεση και η πυκνότητα του πεπιεσμένου αέρα μπροστά του αυξάνονται, η περιοχή συμπίεσης εκτείνεται σε κάποια απόσταση μπροστά από το αεροπλάνο. Σε κάποιο σημείο στο ρεύμα αέρα, τα σωματίδια του αέρα είναι εντελώς ανενόχλητα, χωρίς προηγμένη προειδοποίηση για την προσέγγιση του αεροπλάνου, και την επόμενη στιγμή τα ίδια σωματίδια αέρα αναγκάζονται να υποστούν ξαφνικές και δραστικές αλλαγές στη θερμοκρασία, την πίεση, την πυκνότητα και την ταχύτητα .

Το όριο μεταξύ του αδιατάρακτου αέρα και της περιοχής του πεπιεσμένου αέρα ονομάζεται κρουστικό κύμα ή κύμα «συμπίεσης». Αυτός ο ίδιος τύπος κύματος σχηματίζεται κάθε φορά που ένα υπερηχητικό ρεύμα αέρα επιβραδύνεται σε υποηχητικό χωρίς αλλαγή κατεύθυνσης, όπως όταν το ρεύμα αέρα επιταχύνεται στην ηχητική ταχύτητα πάνω από το κυρτό τμήμα μιας πτέρυγας και στη συνέχεια επιβραδύνεται σε υποηχητική ταχύτητα ως το εμβαδόν της μέγιστης πέρασε το κάμπερ. Ένα κρουστικό κύμα σχηματίζεται ως όριο μεταξύ του υπερηχητικού και του υποηχητικού εύρους.

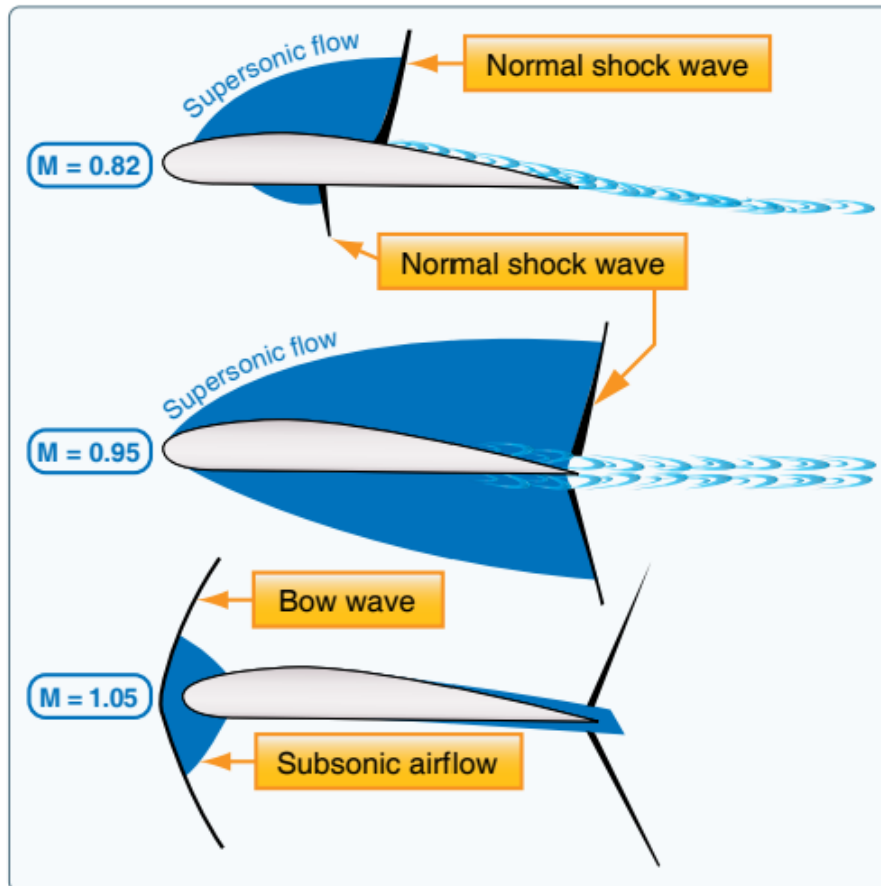
Κάθε φορά που ένα κρουστικό κύμα σχηματίζεται κάθετα στη ροή αέρα, ονομάζεται «κανονικό» κρουστικό κύμα και η ροή αμέσως πίσω από το κύμα είναι υποηχητική. Ένα υπερηχητικό ρεύμα αέρα που διέρχεται από ένα κανονικό κρουστικό κύμα βιώνει αυτές τις αλλαγές:

- ✚ Η ροή του αέρα επιβραδύνεται σε υποηχητικό.
- ✚ Η ροή αέρα αμέσως πίσω από το κρουστικό κύμα δεν αλλάζει κατεύθυνση.
- ✚ Η στατική πίεση και η πυκνότητα του ρεύματος αέρα πίσω από το κύμα είναι πολύ αυξημένη.
- ✚ Η ενέργεια του ρεύματος αέρα (που υποδεικνύεται από την ολική πίεση—δυναμική συν στατική) μειώνεται σημαντικά.

Ο σχηματισμός κρουστικών κυμάτων προκαλεί αύξηση της οπισθέλκουσας. Ένα από τα κύρια αποτελέσματα ενός κρουστικού κύματος είναι ο σχηματισμός μιας πυκνής περιοχής υψηλής πίεσης ακριβώς πίσω από το κύμα. Η αστάθεια της περιοχής υψηλής πίεσης και το γεγονός ότι μέρος της ενέργειας της ταχύτητας του ρεύματος αέρα μετατρέπεται σε θερμότητα καθώς ρέει μέσα από το κύμα, είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει στην αύξηση της οπισθέλκουσας, αλλά η αντίσταση που προκύπτει από το διαχωρισμό της ροής αέρα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Εάν το κρουστικό κύμα είναι ισχυρό, το οριακό στρώμα μπορεί να μην έχει επαρκή κινητική ενέργεια για να αντέξει τον διαχωρισμό της ροής αέρα. Η οπισθέλκουσα που προκαλείται στην υπερηχητική περιοχή λόγω του σχηματισμού κρουστικών κυμάτων και του διαχωρισμού της ροής αέρα είναι γνωστή ως "αντίσταση κυμάτων". Όταν η ταχύτητα υπερβαίνει τον κρίσιμο αριθμό Mach κατά περίπου 10 τοις εκατό, η αντίσταση κυμάτων αυξάνεται απότομα. Απαιτείται σημαντική αύξηση στην ώθηση (ισχύς) για να αυξηθεί η ταχύτητα πτήσης πέρα από αυτό το σημείο στην υπερηχητική περιοχή όπου, ανάλογα με το σχήμα της αεροτομής και το AOA, το οριακό στρώμα μπορεί να επανασυνδεθεί.

Τα κανονικά κρουστικά κύματα σχηματίζονται στην επάνω επιφάνεια του πτερυγίου και σχηματίζουν μια πρόσθετη περιοχή υπερηχητικής ροής και ένα κανονικό κρουστικό κύμα στην κάτω επιφάνεια. Καθώς η ταχύτητα πτήσης πλησιάζει την ταχύτητα του ήχου, οι περιοχές της υπερηχητικής ροής μεγαλώνουν και τα ωστικά κύματα πλησιάζουν την τελική άκρη. [Εικόνα 24]



Εικόνα 24: Shock waves

Σχετίζονται με την "ανύψωση οπισθέλκουσας" είναι ο μπουφές (γνωστός ως μπουφές Mach), οι αλλαγές περιποίησης και σταθερότητας και η μείωση της αποτελεσματικότητας της δύναμης ελέγχου. Η απώλεια ανύψωσης λόγω διαχωρισμού της ροής αέρα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της κατάρρευσης και την αλλαγή της θέσης της κεντρικής πίεσης στο φτερό.

Ο διαχωρισμός της ροής αέρα παράγει μια ταραχώδη αφύπνιση πίσω από το φτερό, η οποία αναγκάζει τις επιφάνειες της ουράς να μπουφέ (δόνηση). Ο έλεγχος βήματος πάνω και μύτη προς τα κάτω που παρέχεται από την οριζόντια ουρά εξαρτάται από το κατέβασμα πίσω από το φτερό. Έτσι, μια αύξηση στο downwash μειώνει την αποτελεσματικότητα ελέγχου του βήματος της οριζόντιας ουράς, καθώς αυξάνει αποτελεσματικά το AOA που βλέπει η επιφάνεια της ουράς. Η κίνηση του CP του πτερυγίου επηρεάζει τη ροπή του πτερυγίου.

Εάν το CP κινείται προς τα πίσω, δημιουργείται μια καταδυτική στιγμή που αναφέρεται ως "Mach tuck" ή "tuck under" και εάν κινείται προς τα εμπρός, δημιουργείται μια ροπή προς τα πάνω. Αυτός είναι ο πρωταρχικός λόγος για την ανάπτυξη της διαμόρφωσης T-tail σε πολλά αεροσκάφη που κινούνται με στροβίλους, η οποία τοποθετεί τον οριζόντιο σταθεροποιητή όσο το δυνατόν πιο μακριά από τις αναταράξεις των φτερών.

Κεφάλαιο 4 Προσομοίωση φτερού

Στο πλαίσιο αυτού του κεφαλαίου, έχουμε προγραμματίσει να πραγματοποιήσουμε μια σειρά προσομοιώσεων πάνω σε μια πτέρυγα ενός επιβατικού αεροσκάφους, λαμβάνοντας υπόψη πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Συγκεκριμένα, έχουμε προγραμματίσει τρεις διαφορετικές προσομοιώσεις, καθεμιά από τις οποίες αφορά διαφορετικές ταχύτητες του αεροσκάφους:

1. Πρώτη προσομοίωση: Αυτή η προσομοίωση αφορά τη μέση ταχύτητα απογείωσης του αεροσκάφους. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσομοίωσης, θα εξετάσουμε όλες τις σχετικές παραμέτρους, όπως οι πιέσεις, οι ταχύτητες, οι δυνάμεις άντωσης, οι δυνάμεις οπισθέλκουσας, οι τριβές και άλλες. Σκοπός είναι να αξιολογήσουμε τη συμπεριφορά της πτέρυγας κατά τη διάρκεια της απογείωσης.
2. Δεύτερη προσομοίωση: Σε αυτήν την προσομοίωση, εστιάζουμε στη μέση ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσομοίωσης, παρακολουθούμε τη συμπεριφορά της πτέρυγας σε συνθήκες πτήσης, εξετάζοντας τις αντίστοιχες παραμέτρους.
3. Τρίτη προσομοίωση: Στην τρίτη προσομοίωση, επικεντρωνόμαστε στη μέση ταχύτητα προσγείωσης του αεροσκάφους. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσομοίωσης, αναλύουμε την απόκριση της πτέρυγας όταν το αεροσκάφος προετοιμάζεται για την προσγείωση.

Σκοπός όλων αυτών των προσομοιώσεων είναι να συγκριθούν και να αξιολογηθούν όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν την αεροδυναμική συμπεριφορά της πτέρυγας κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων της πτήσης, δηλαδή της απογείωσης, της πτήσης και της προσγείωσης. Για την εκτέλεση αυτών των προσομοιώσεων, θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό Ansys Students, το οποίο είναι διαθέσιμο ελεύθερα για τους φοιτητές. Αυτό το λογισμικό μας επιτρέπει να διεξάγουμε λεπτομερείς προσομοιώσεις και να αξιολογήσουμε τη συμπεριφορά του αεροσκάφους υπό διάφορες συνθήκες.

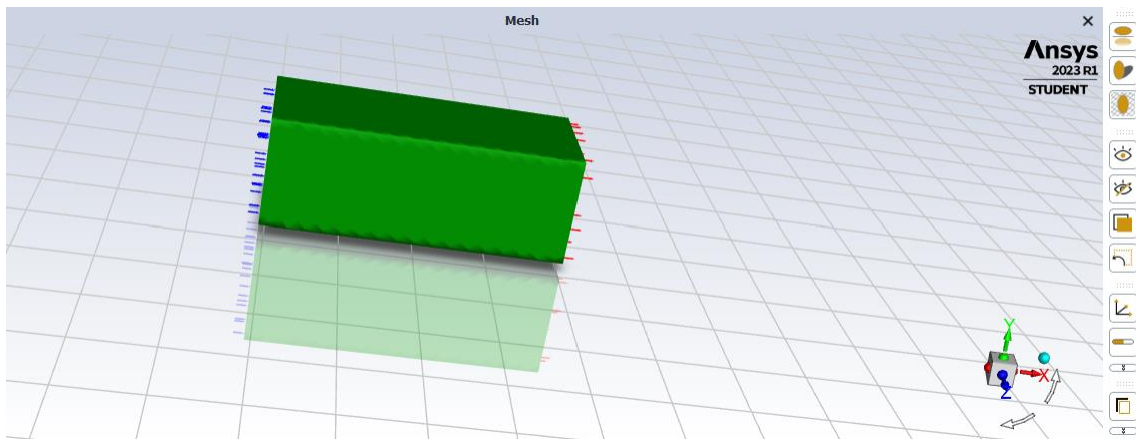
Με αυτόν τον τρόπο, θα αποκτήσουμε σημαντική ενότητα στο κεφάλαιό μας που θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε και να αξιολογήσουμε την αεροδυναμική της πτέρυγας ενός αεροσκάφους σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Αυτή η ανάλυση θα μας παράσχει σημαντική πληροφορία και κατανόηση για την αεροδυναμική απόκριση του αεροσκάφους σε διάφορες καταστάσεις πτήσης, και θα μας βοηθήσει να προχωρήσουμε στην εξέταση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων μας.

4.1 1^η Ανάλυση Ταχύτητα 61.1 m/s

Σε αυτή την ενότητα, θα πραγματοποιηθεί η πρώτη φάση προσομοίωσης της συμπεριφοράς του φτερού του αεροπλάνου κατά την απογείωση, στην προοπτική ενός μέσου επιλεγμένου χρήστη υπολογιστικού μοντέλου. Αυτή η προσομοίωση θα διεξαχθεί σε μία μέση ταχύτητα απογείωσης, που έχει καθοριστεί στα 61.1 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, βάσει των αναφερόμενων τιμών στην διεθνή βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης για ανάλυση και αξιολόγηση.

```
Mesh Quality:  
Minimum Orthogonal Quality = 2.50900e-01 cell 93770 on zone 116 (ID: 123798 on partition: 2) at location ( 8.46108e-01, -7.42729e-02, 9.10339e-01)  
Maximum Aspect Ratio = 3.90470e+01 cell 58509 on zone 116 (ID: 186361 on partition: 1) at location ( 1.74080e+00, -1.67758e-01, 1.79662e+00)
```

Εικόνα 25: Ποιοτικά χαρακτηριστικά πλέγματος



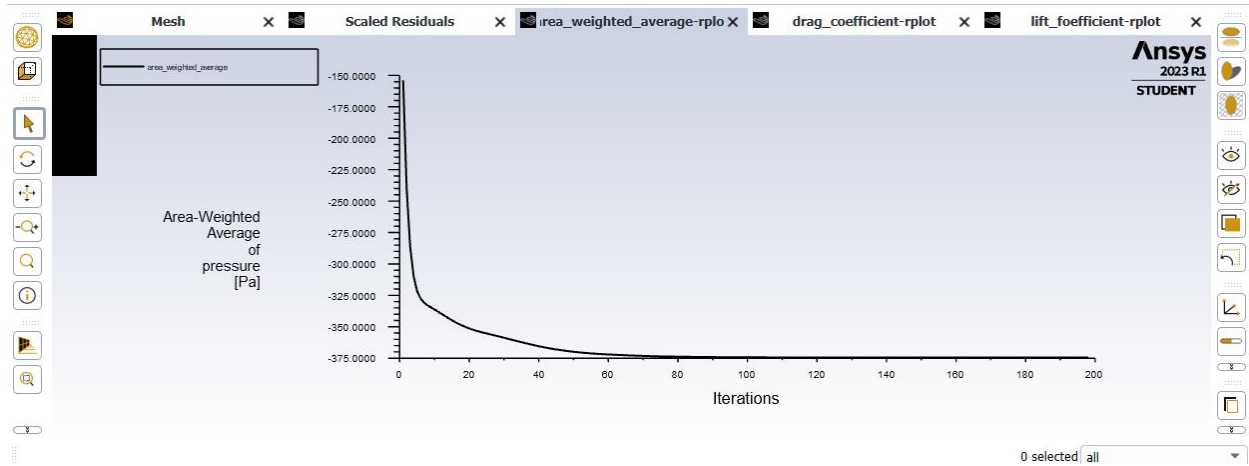
Εικόνα 26: Μοντέλο μέσα στο περιβάλλον του Ansys

Στην εικόνα 26 παρουσιάζεται το μοντέλο όπως αυτό είναι μέσα στο περιβάλλον τους Ansys.

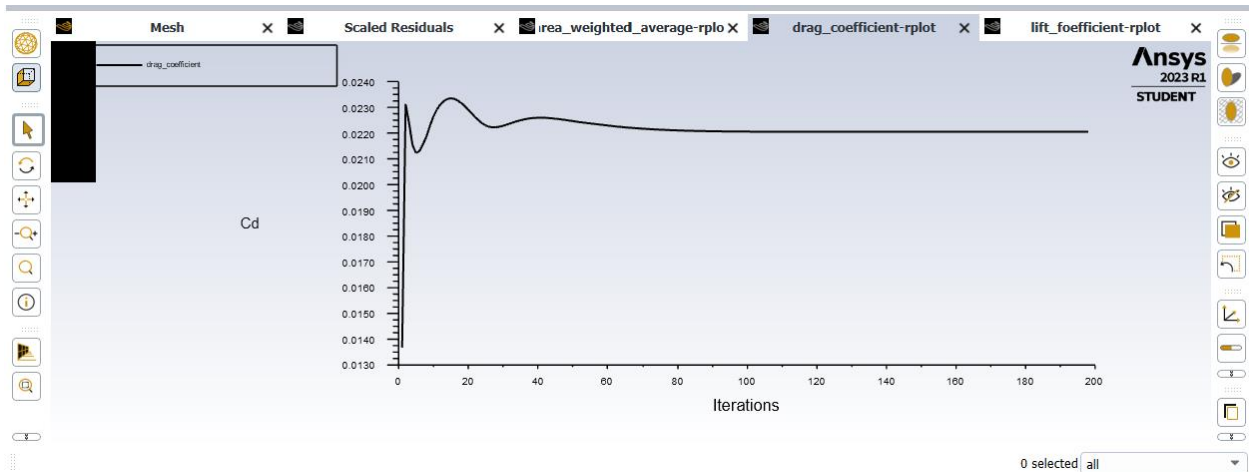
Παρατηρούμε με μπλε χρώμα η είσοδος του ρευστού και με κόκκινο η έξοδος του.

```
196 1.0593e-05 5.5050e-05 1.0400e-07 6.9618e-05 8.0330e-07 3.9139e-05 4.4614e-01 2.2046e-02 -3.7442e+02 0.0000e+00 1.0625e+03 1.1162e+03  
5.5160e+01 0:16:37 204  
197 1.0359e-03 7.5312e-08 9.7658e-08 6.5284e-08 7.4505e-07 3.6902e-08 4.4614e-01 2.2046e-02 -3.7442e+02 0.0000e+00 1.0625e+03 1.1162e+03  
5.5160e+01 0:16:37 203  
198 9.7628e-04 7.0470e-08 9.1041e-08 6.1215e-08 6.9105e-07 3.4849e-08 4.4614e-01 2.2046e-02 -3.7442e+02 0.0000e+00 1.0625e+03 1.1162e+03  
5.5160e+01 0:16:35 202  
! 198 solution is converged  
Registering ReportDefFiles, ("C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\drag_force-rfile.out" "C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\lift_force-rfile.out" "C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\moment-rfile.out" "C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\mass_flow_rate-rfile.out" "C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\area_weighted_average-rfile.out" "C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\drag_coefficient-rfile.out" "C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\WB_armpe_8928_2\wbnew_files\dp0\FFF\Fluent\.\lift_coefficient-rfile.out")  
Writing " | gzip -2cf > SolutionMonitor.gz"...  
Writing temporary file C:\Users\armpe\AppData\Local\Temp\flintg-183322 ...  
Done.
```

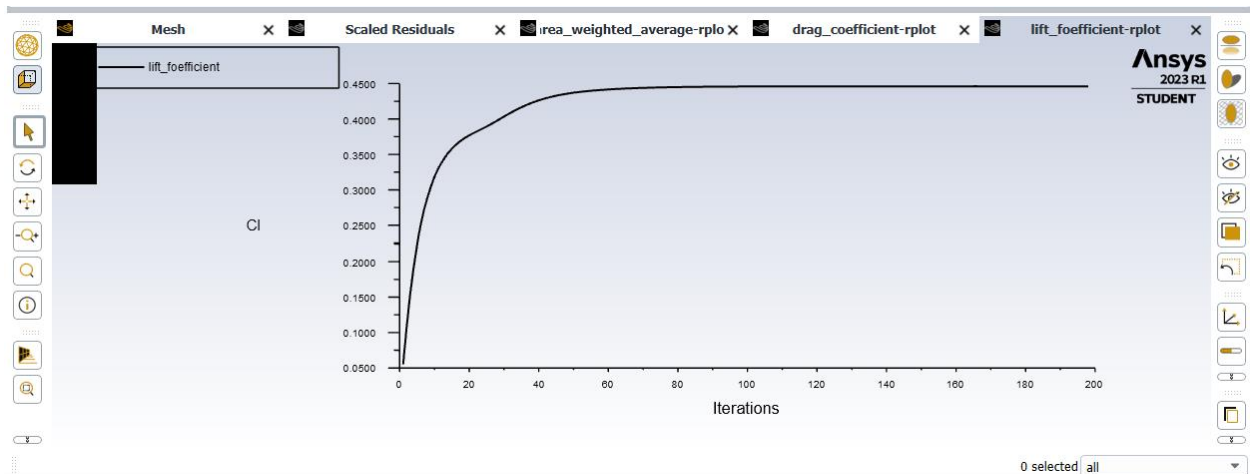
Εικόνα 27: Σύγκλιση λύσης



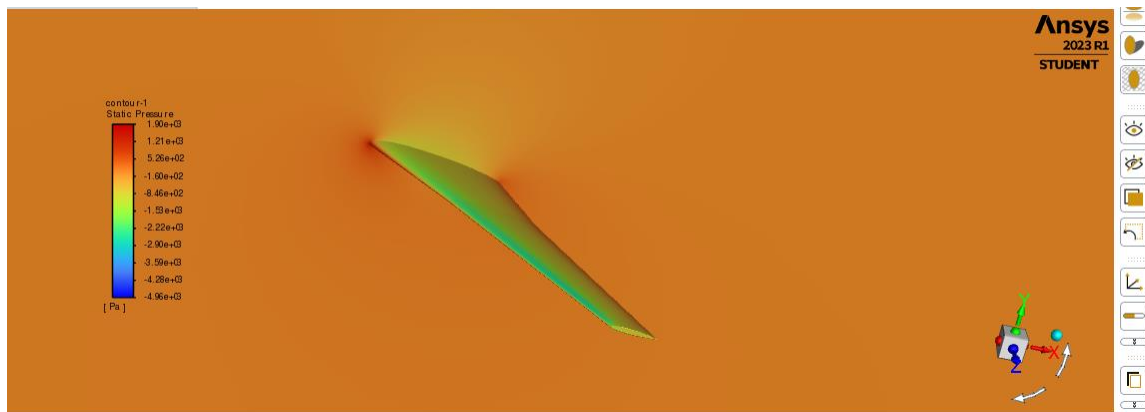
Εικόνα 28: Wighted average της πίεσης



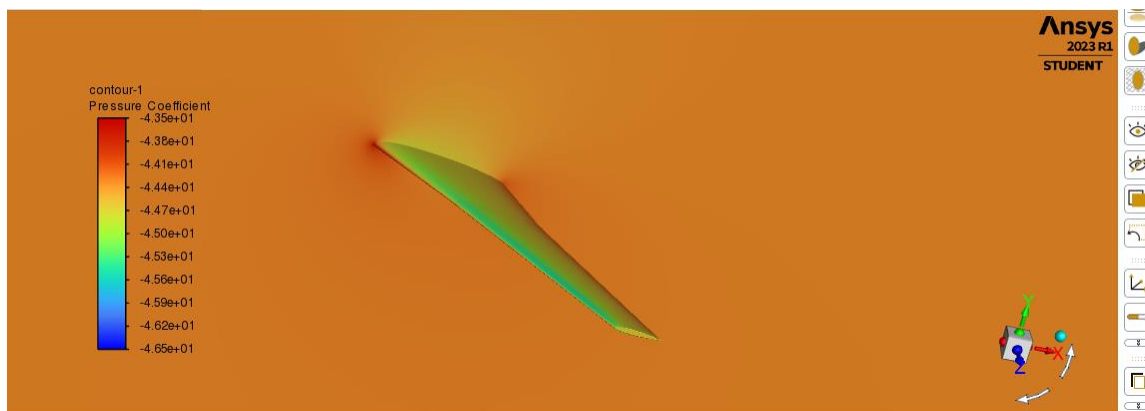
Εικόνα 29: Συντελεστής οπισθέλκουσας



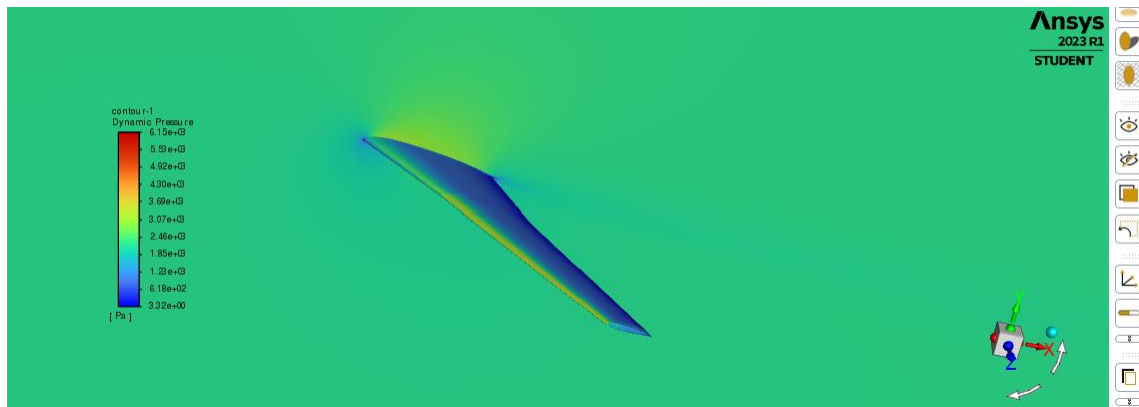
Εικόνα 30: Συντελεστής άντωσης



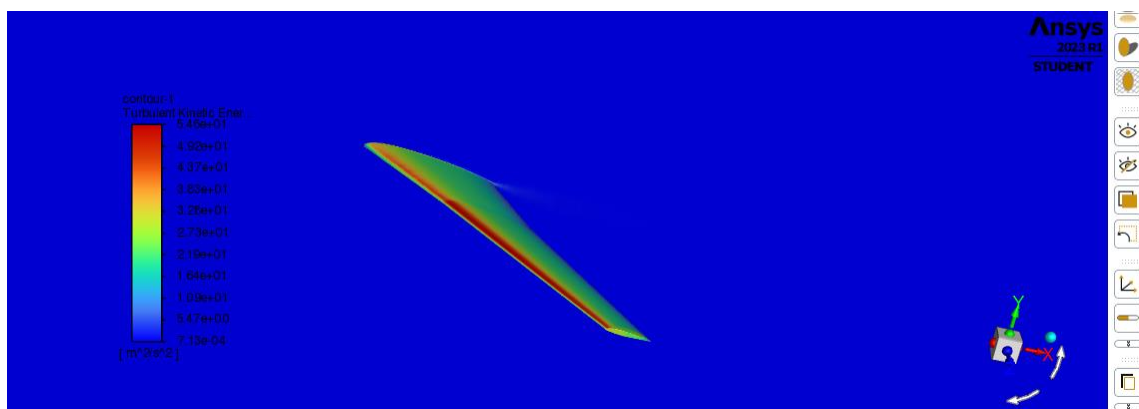
Εικόνα 31: Στατική πίεση



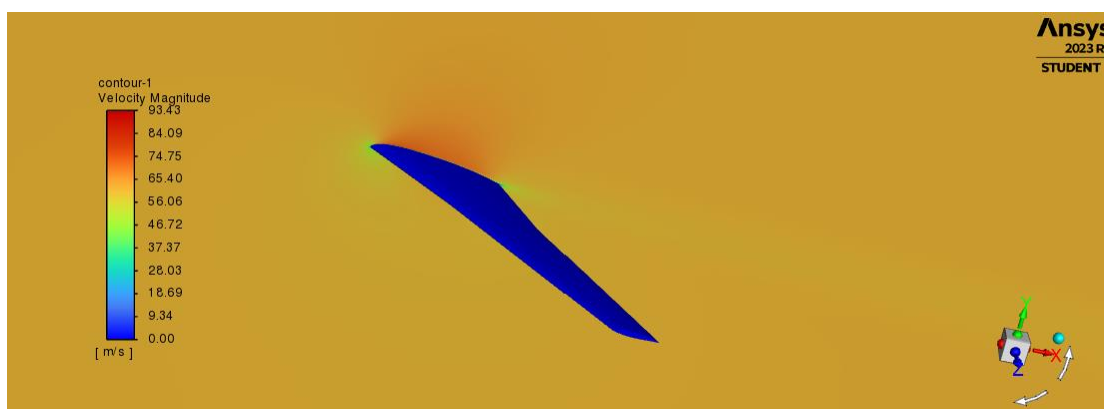
Εικόνα 32: Συντελεστής πίεσης



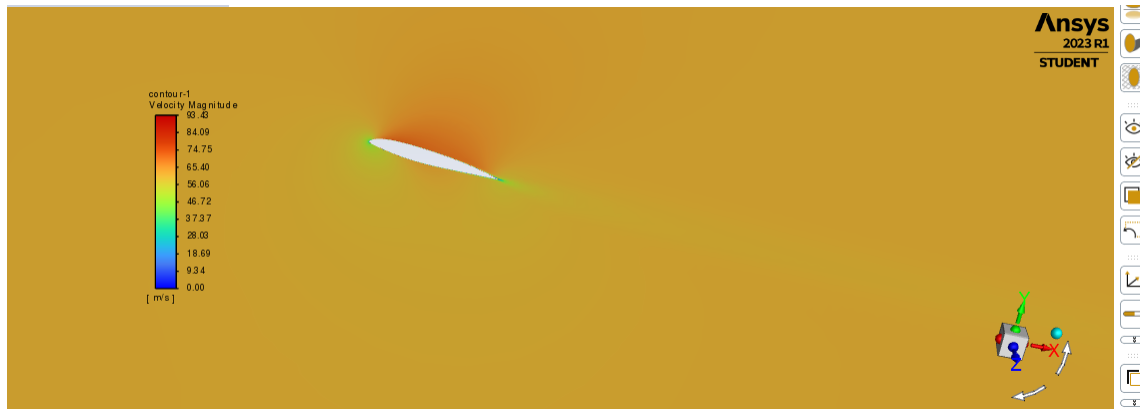
Εικόνα 33: Δυναμική πίεση



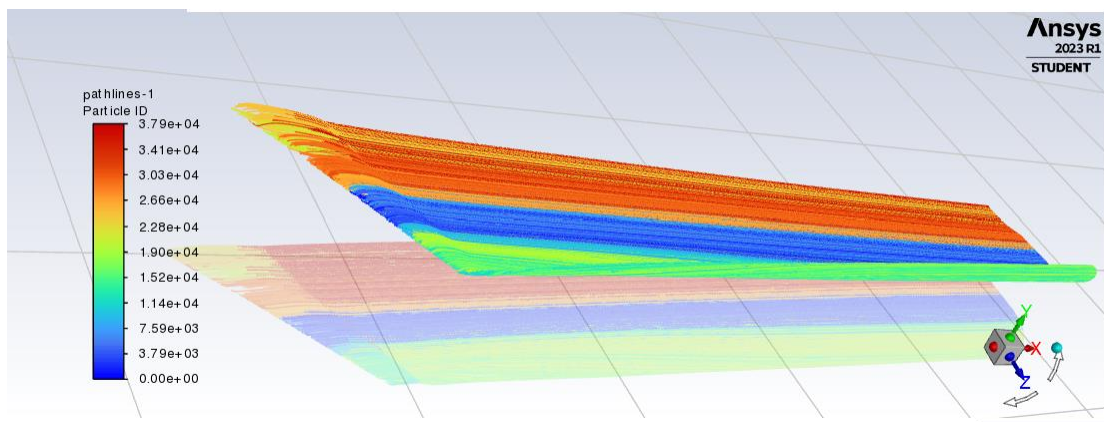
Εικόνα 34: Τυρβώδης κινητική ενέργεια



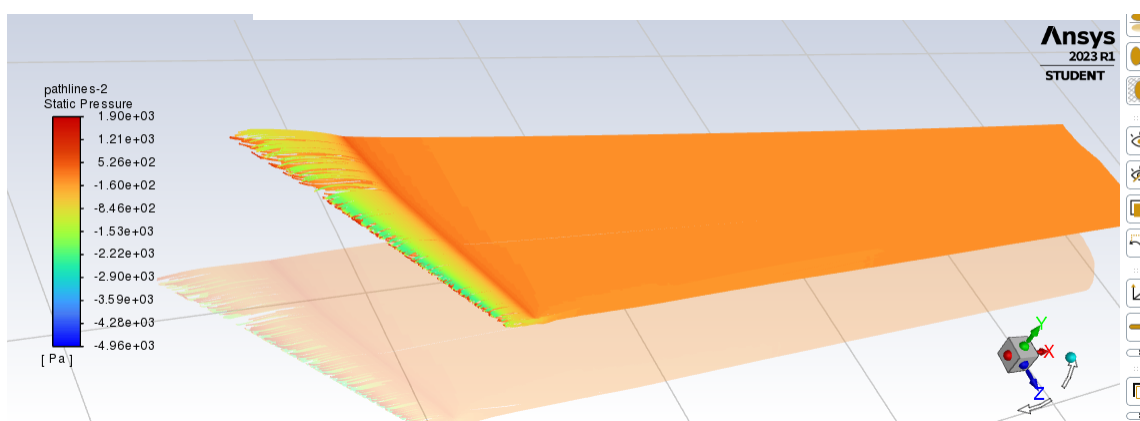
Εικόνα 35: Ταχύτητα πάνω στο φτερό



Εικόνα 36: Ταχύτητα πάνω στο φτερό



Εικόνα 37: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας



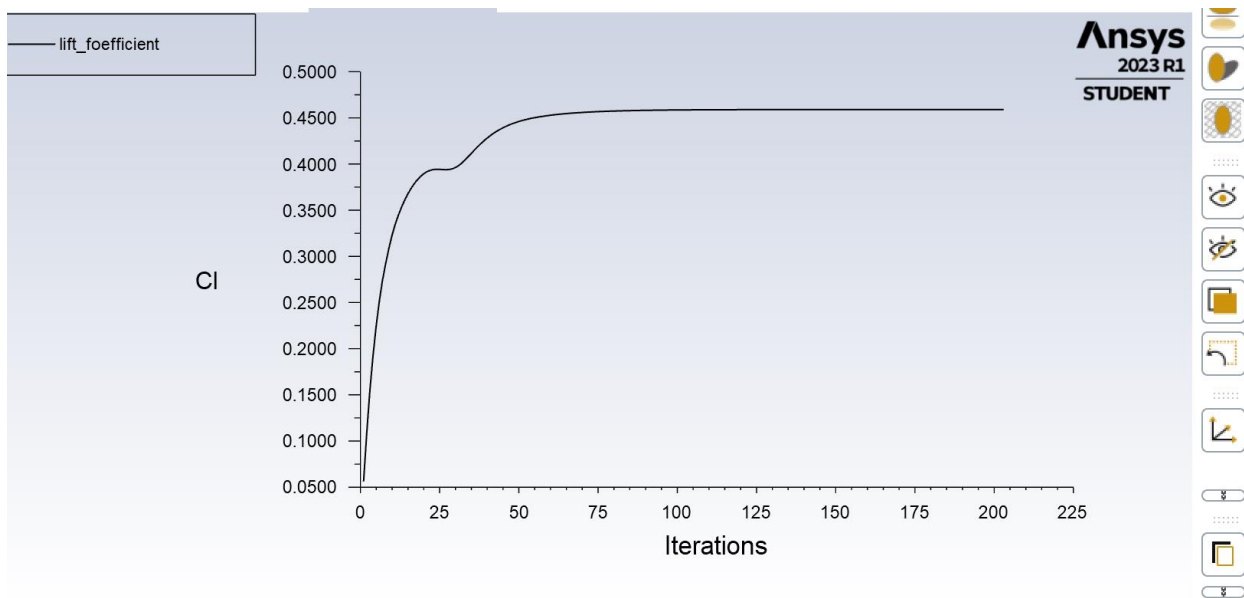
Εικόνα 38: Ροϊκές γραμμές πίεσης

2^η Ανάλυση Ταχύτητα 216.7 m/s

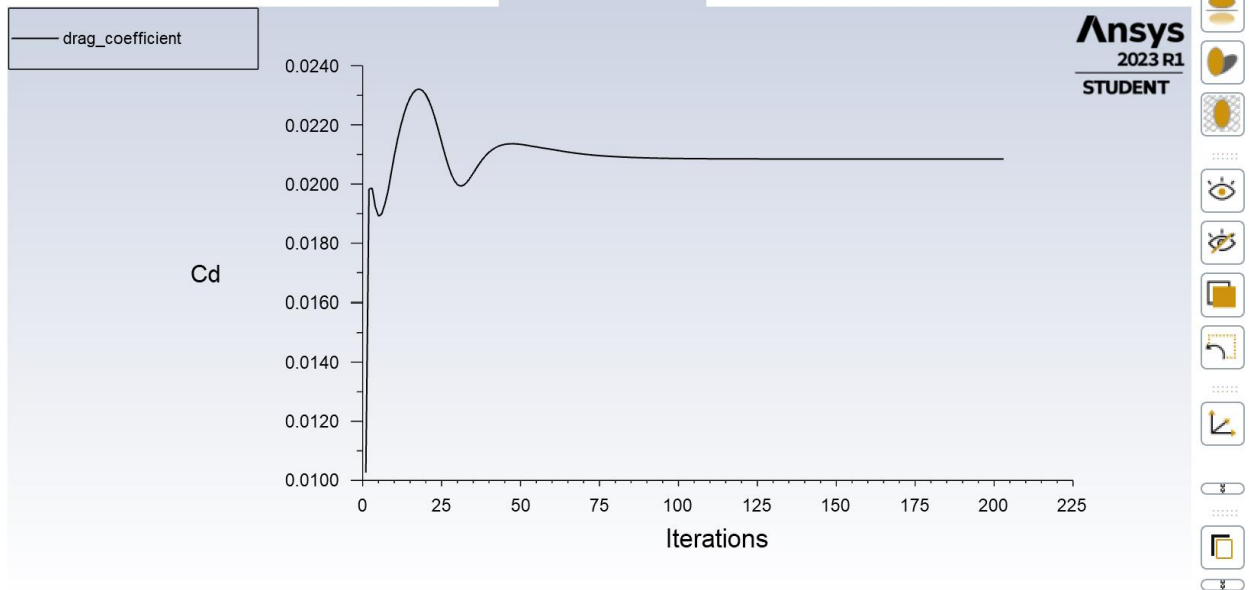
Σε αυτό το τμήμα, θα προχωρήσουμε στην δεύτερη φάση προσομοίωσης της συμπεριφοράς του φτερού του αεροσκάφους κατά τη διαδικασία της απογείωσης. Η προσομοίωση αυτή θα διεξαχθεί με βάση το υπολογιστικό μοντέλο ενός τυπικού χρήστη. Ως ταχύτητα απογείωσης έχει επιλεγεί μια μέση τιμή, και συγκεκριμένα τα 216.7 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, σύμφωνα με τις αναφερόμενες τιμές στην διεθνή βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης, προκειμένου να προβούμε σε λεπτομερή ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

```
201 1.0300e-03 8.3253e-08 9.9409e-08 6.9286e-08 3.0058e-06  
8.1329e-08 6.5604e+02 1.4446e+04 1.3824e+04 0.0000e+00 -4.7513e+03  
2.0845e-02 4.5901e-01 0:06:15 199  
202 1.0325e-03 8.3253e-08 9.9409e-08 6.9286e-08 3.0058e-06  
7.8222e-08 6.5604e+02 1.4446e+04 1.3824e+04 0.0000e+00 -4.7513e+03  
2.0845e-02 4.5901e-01 0:06:18 198  
203 9.7715e-04 7.8185e-08 9.3295e-08 6.5028e-08 2.8556e-06  
7.5247e-08 6.5604e+02 1.4446e+04 1.3824e+04 0.0000e+00 -4.7513e+03  
2.0845e-02 4.5901e-01 0:06:20 197  
! 203 solution is converged
```

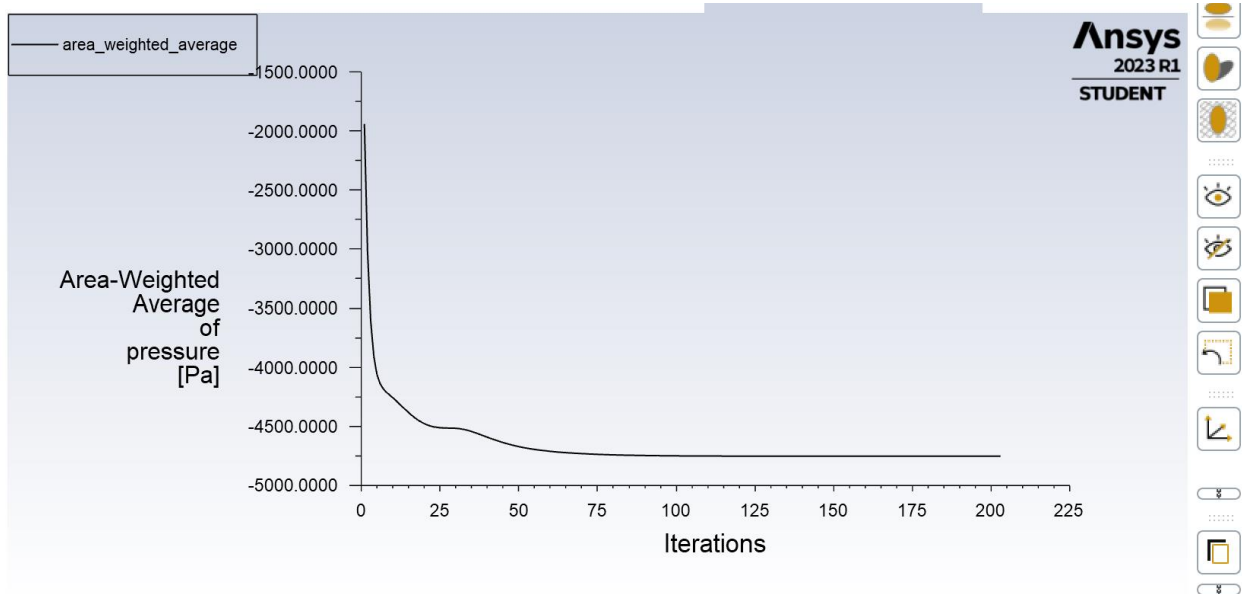
Εικόνα 39: Σύγκλιση λύσης



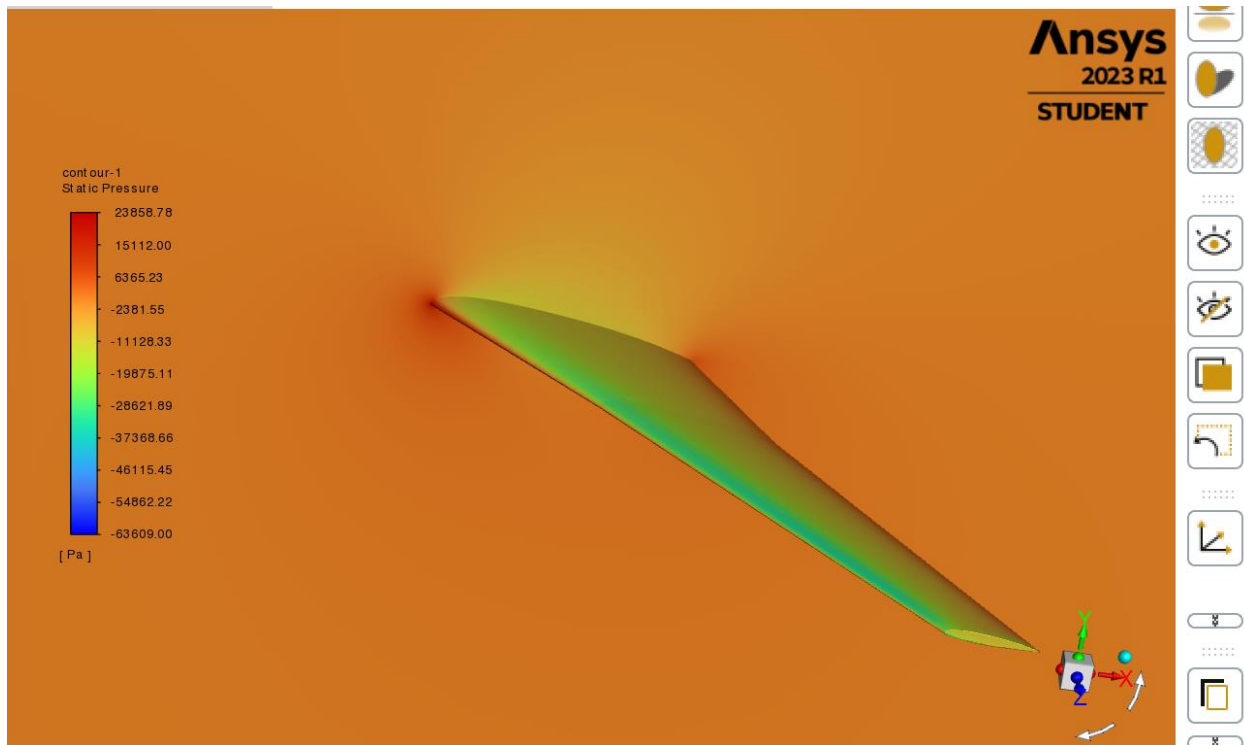
Εικόνα 40: Συντελεστής άντωσης



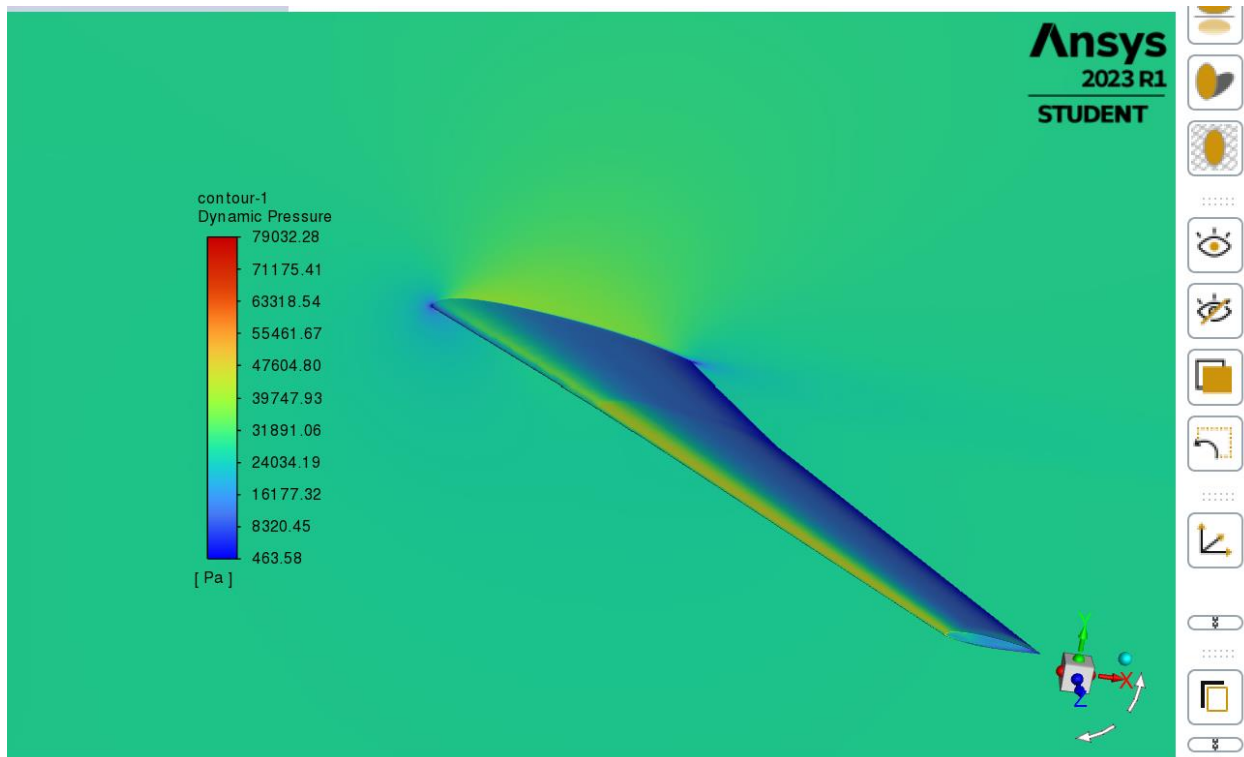
Εικόνα 41: Συντελεστής οπισθέλκουσας



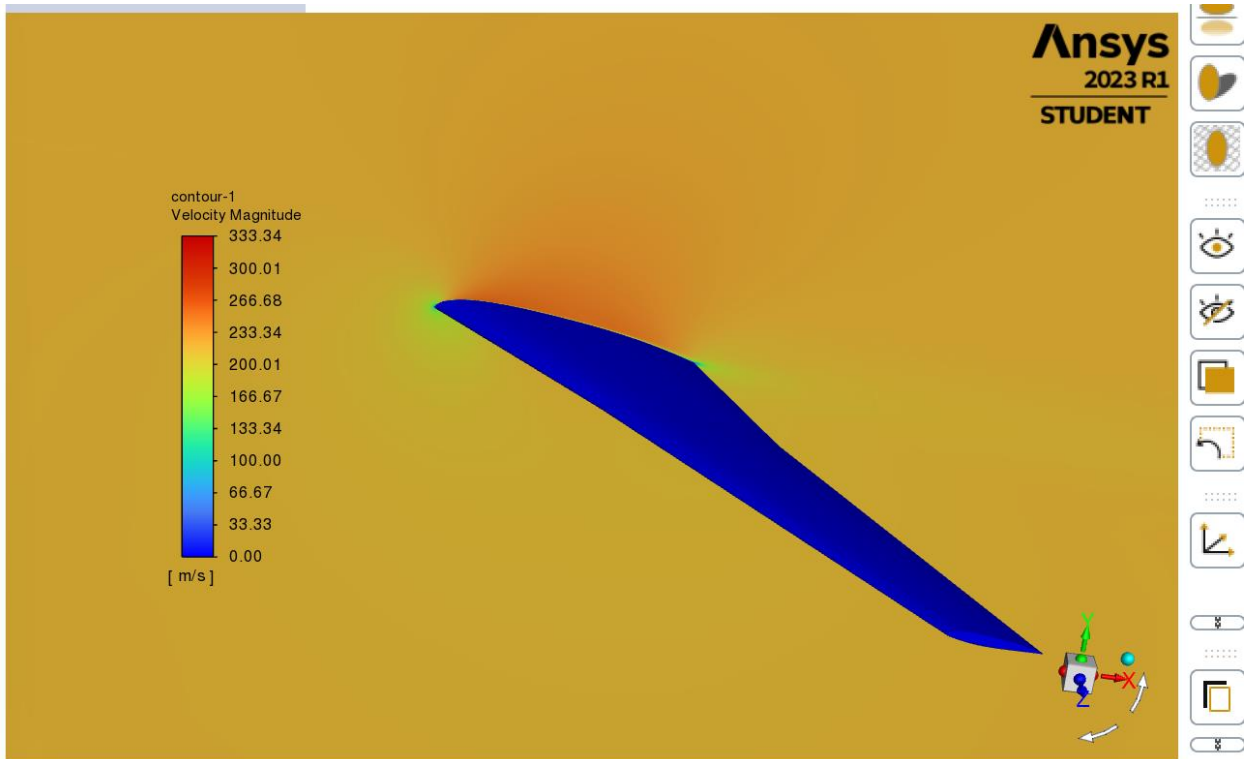
Εικόνα 42: Wighted average της πίεσης



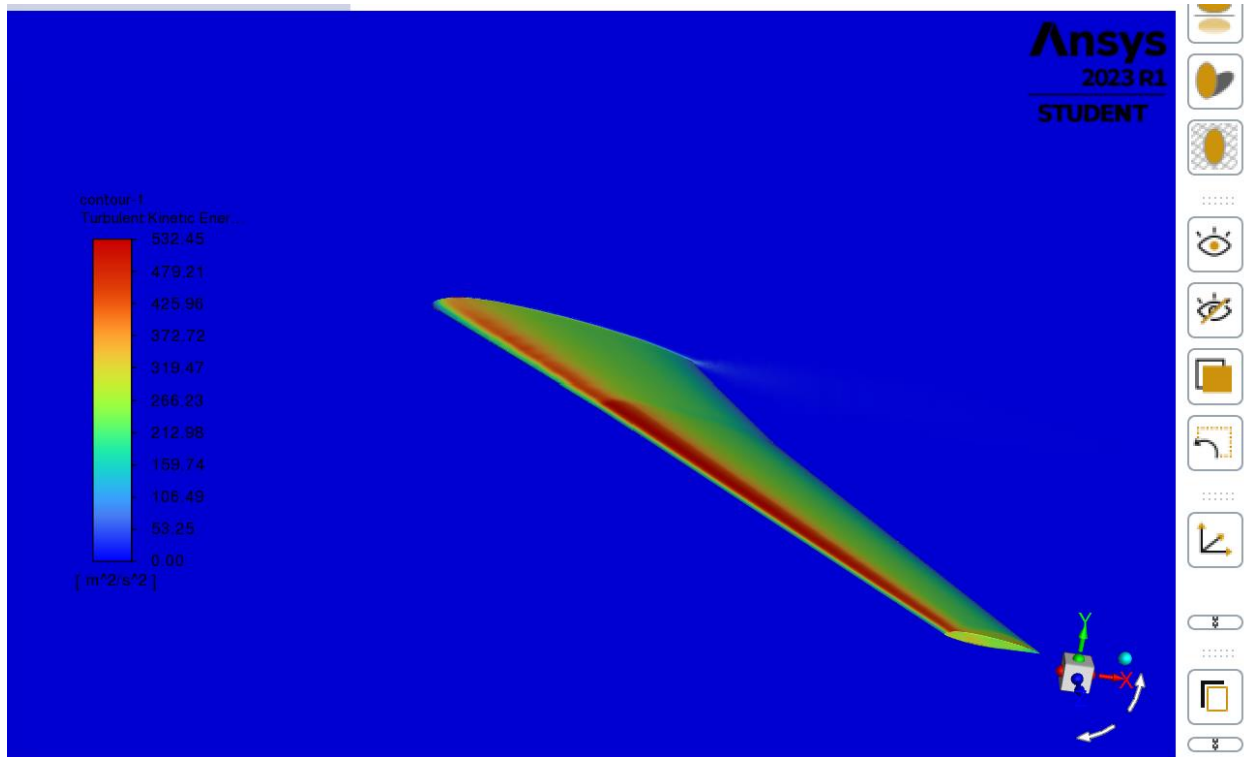
Εικόνα 43: Στατική πίεση



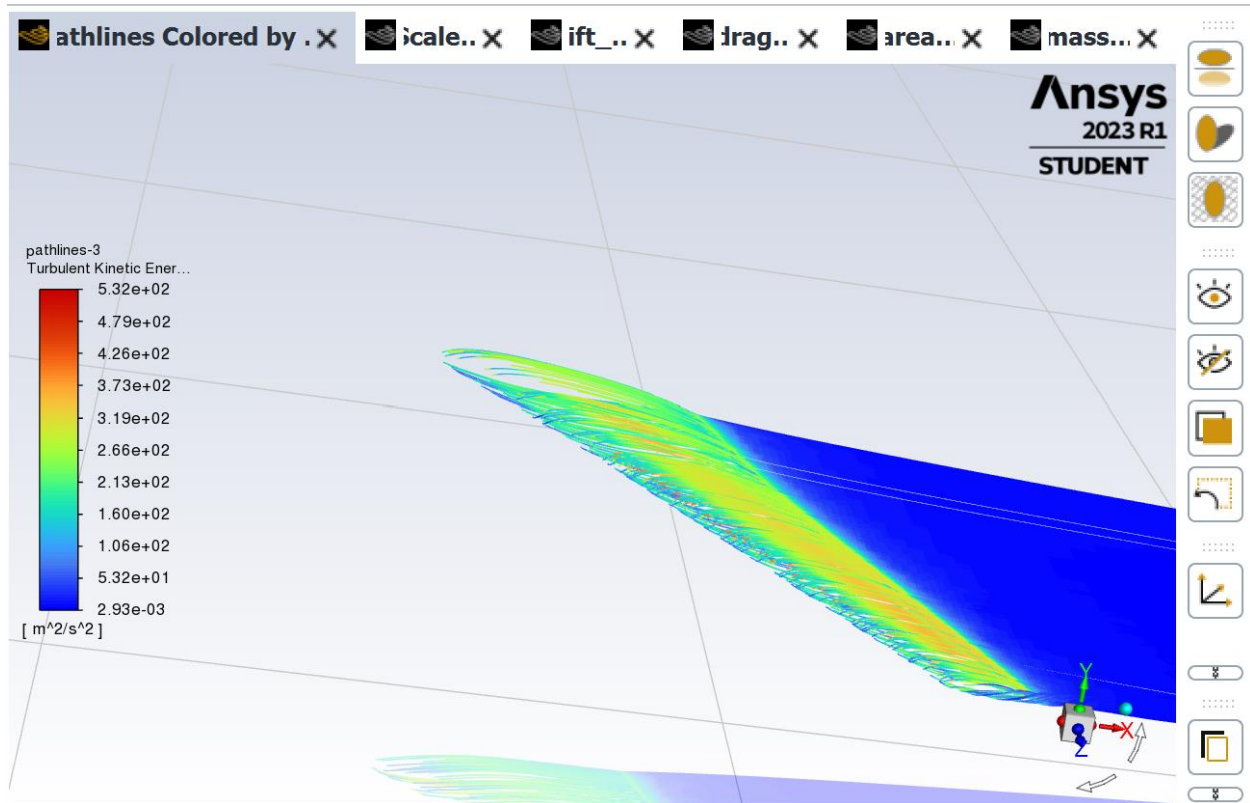
Εικόνα 44: Δυναμική πίεση



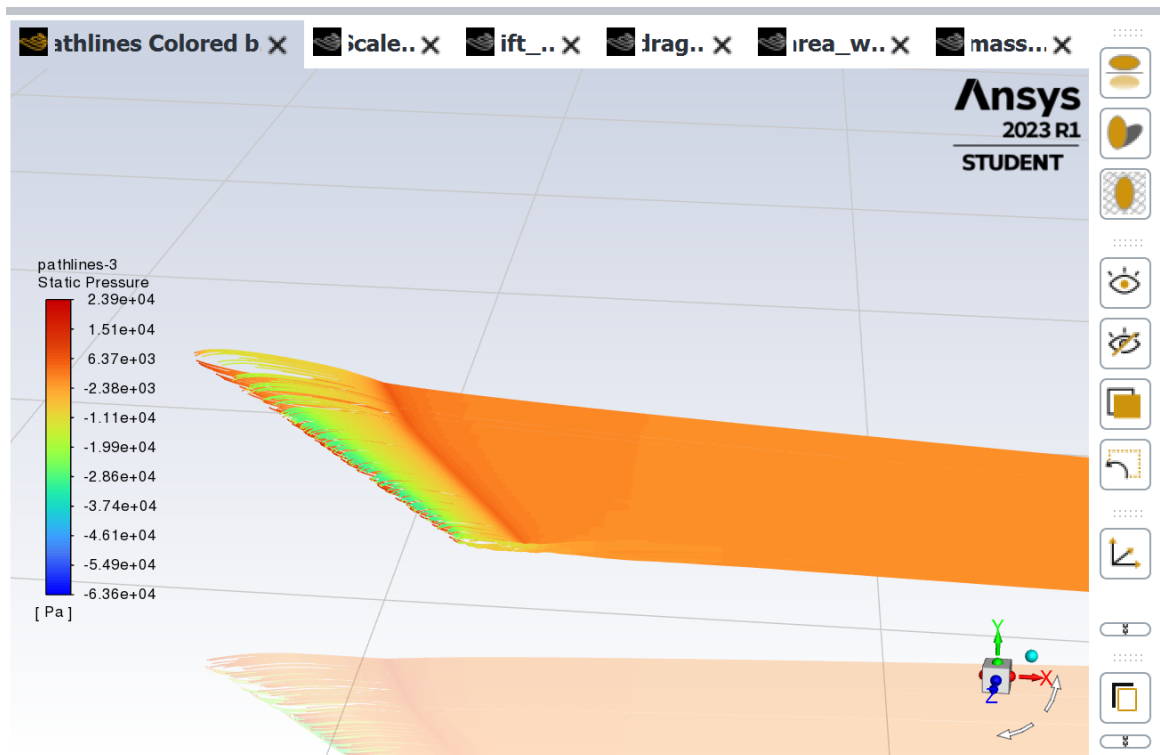
Εικόνα 45: Ταχύτητα πάνω στο φτερό



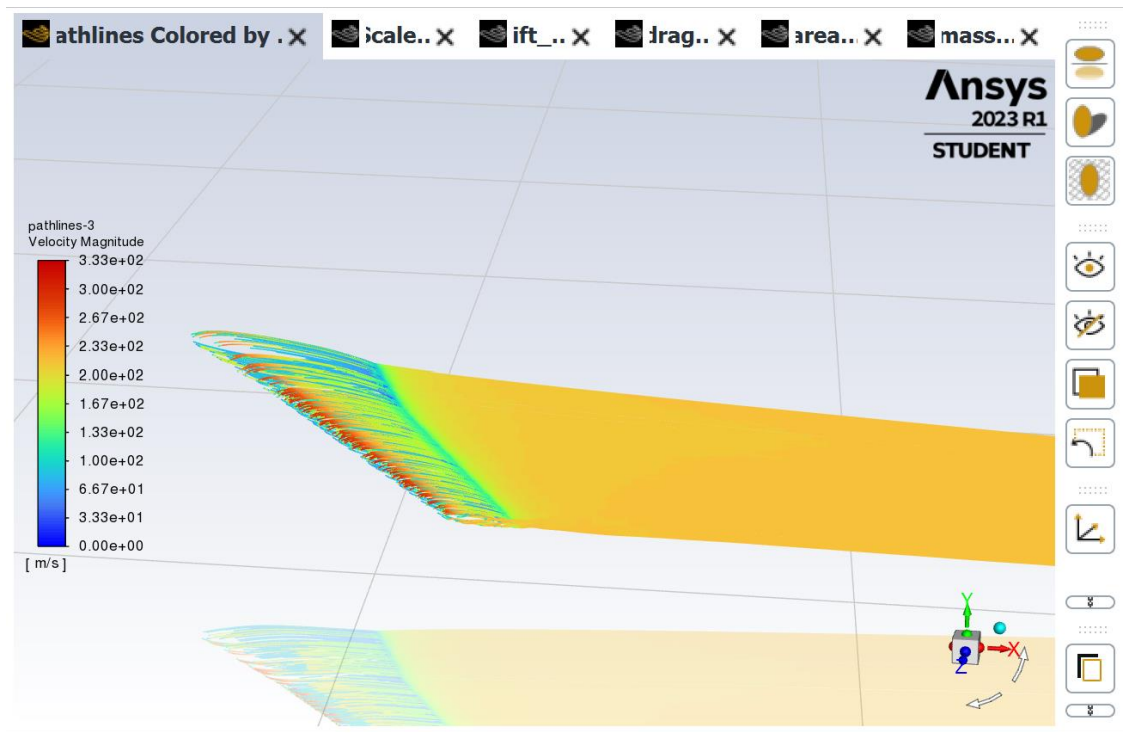
Εικόνα 46: Τυρβώδης κινητική ενέργεια



Εικόνα 47: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας τυρβώδους κινητικής ενέργειας



Εικόνα 48: Ροϊκές γραμμές πίεσης



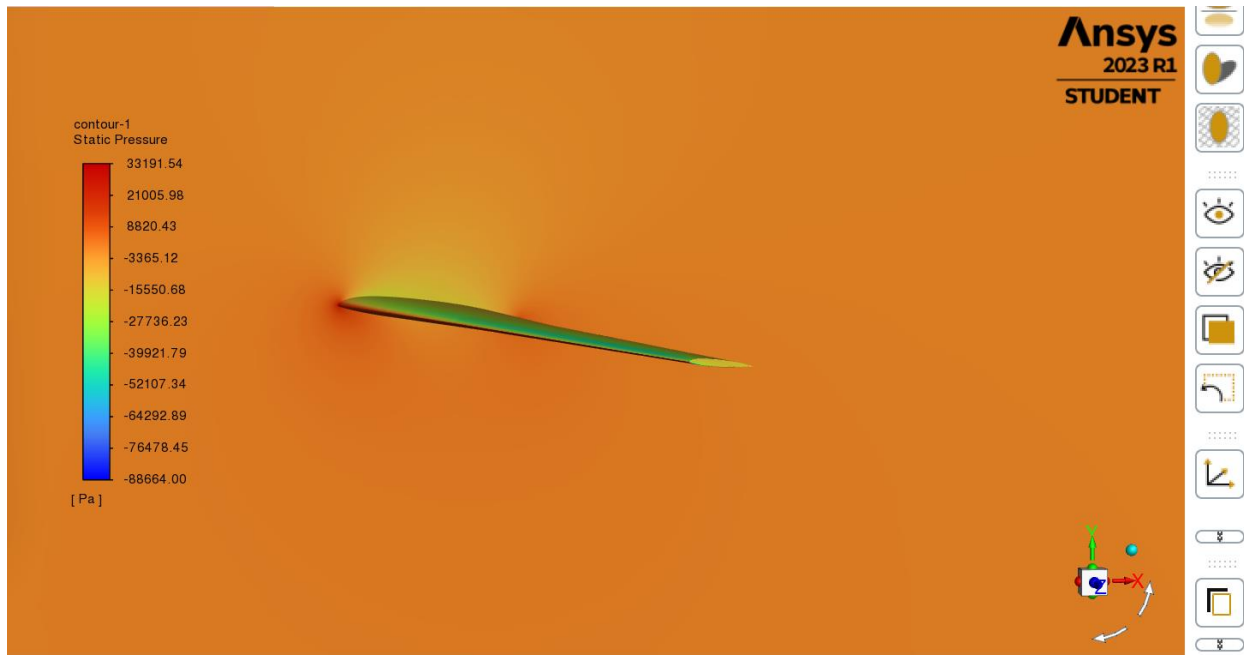
Εικόνα 49: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας

3^η Ανάλυση Ταχύτητα 255.6 m/s

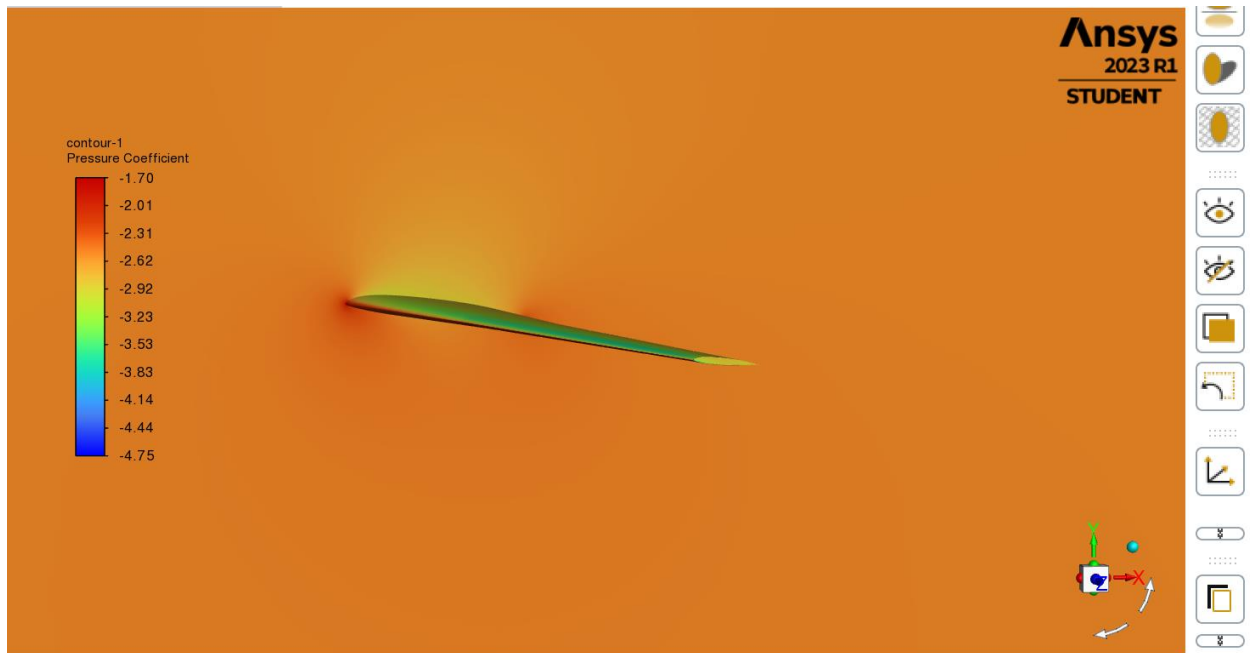
Τέλος σε αυτό το κομμάτι, θα προχωρήσουμε στην τρίτη προσομοίωση της συμπεριφοράς του αεροπλάνου κατά την απογείωσή του. Αυτή η προσομοίωση θα βασιστεί σε ένα υπολογιστικό μοντέλο που αντιπροσωπεύει έναν τυπικό χρήστη. Όσον αφορά την ταχύτητα απογείωσης, έχουμε επιλέξει μια μέση τιμή, συγκεκριμένα 255.6 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, βάσει των αναφερόμενων τιμών στη διεθνή βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης, προκειμένου να προβούμε σε λεπτομερή ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

```
203 9.9833e-04 8.0966e-08 9.5865e-08 6.7213e-08 3.5669e-06 1.1063e-07
4.6044e-01 2.0717e-02 -6.6169e+03 0.0000e+00 1.9303e+04 2.0160e+04 9.0711e+02
0:07:02 197
! 203 solution is converged
```

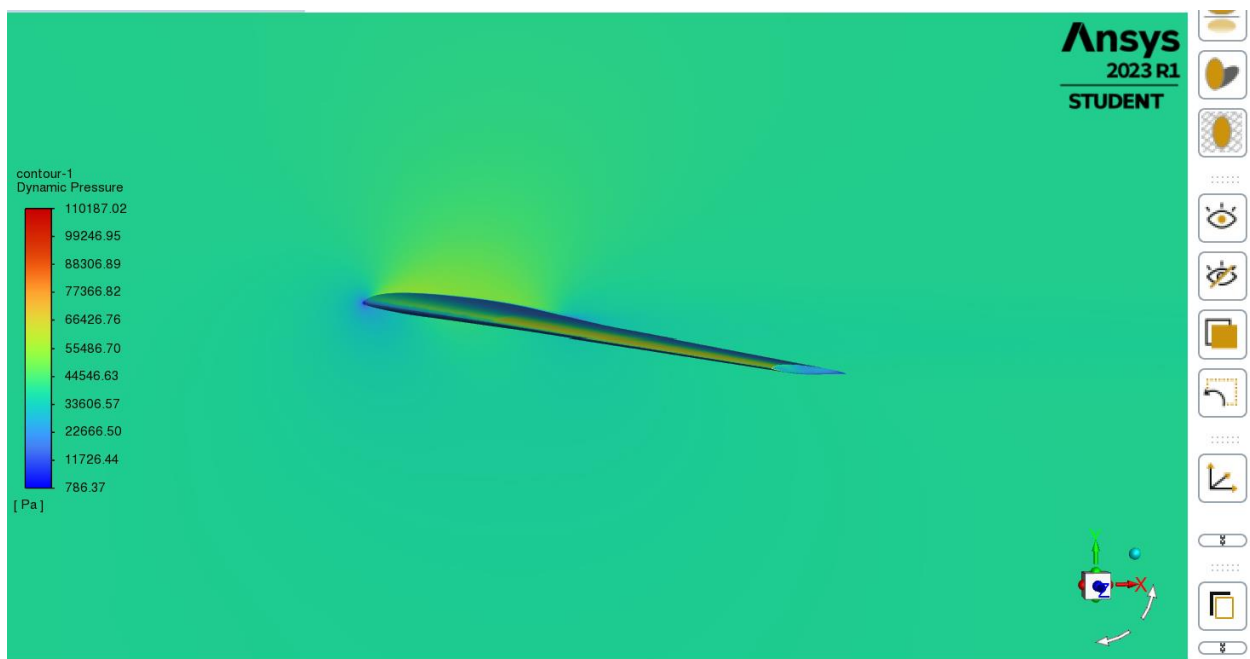
Εικόνα 50: Σύγκλιση λύσης



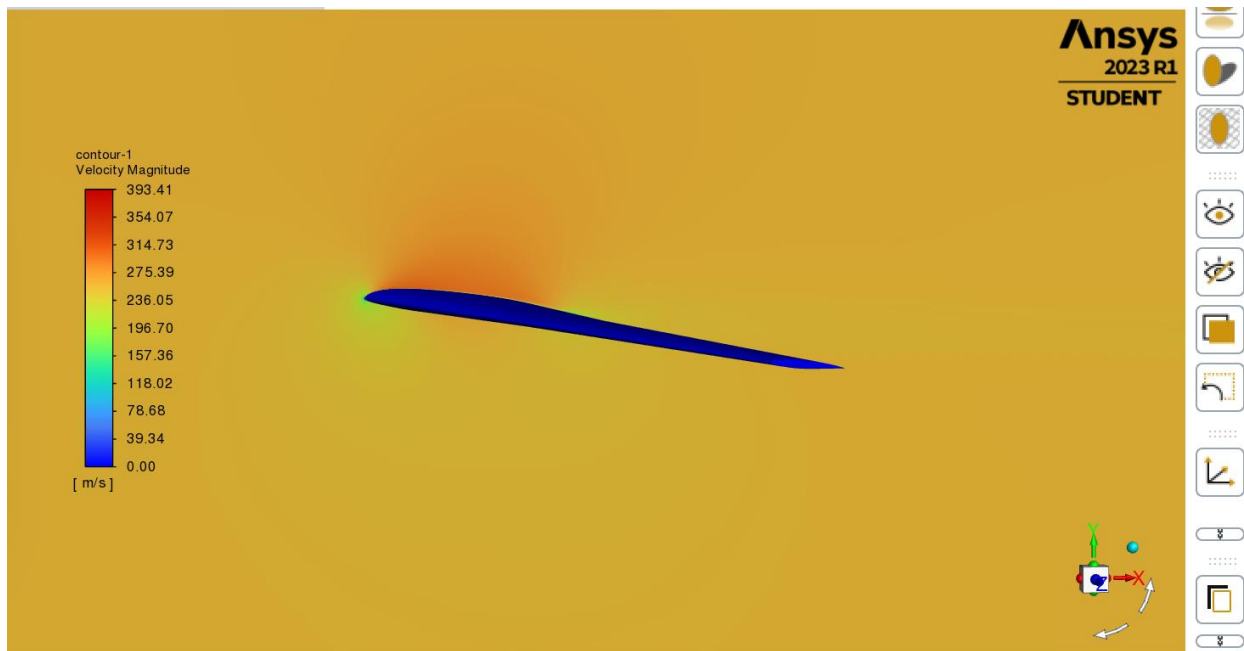
Εικόνα 51: Στατική πίεση



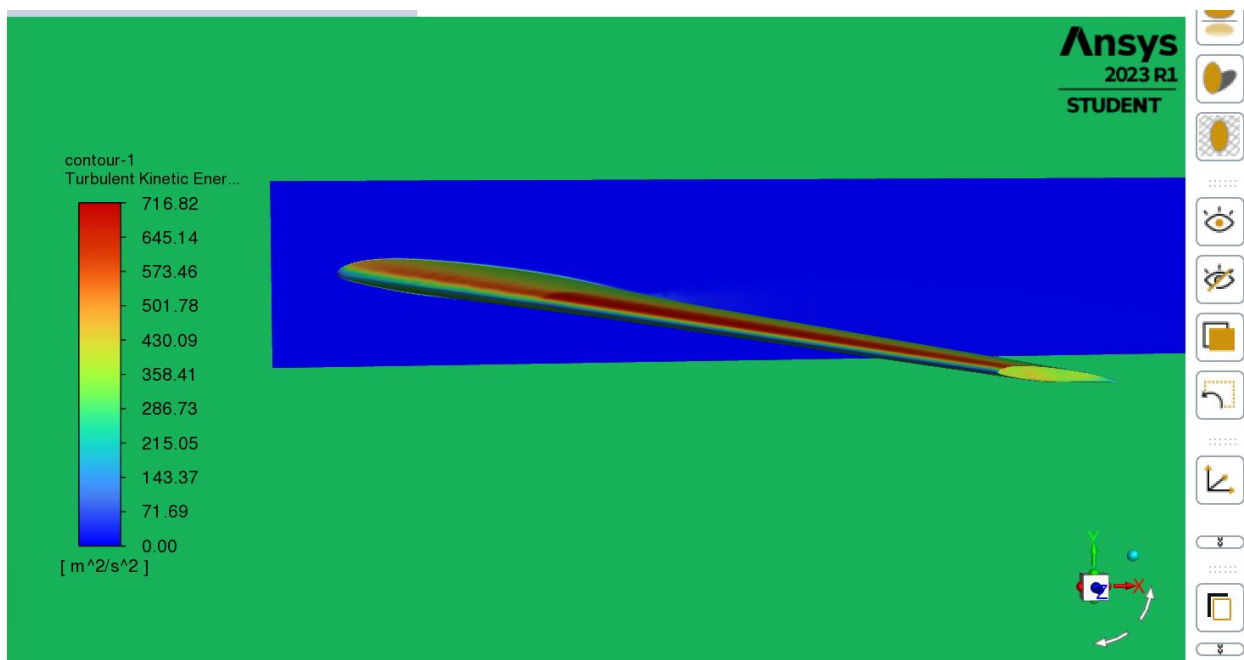
Εικόνα 52: Συντελεστής πίεσης



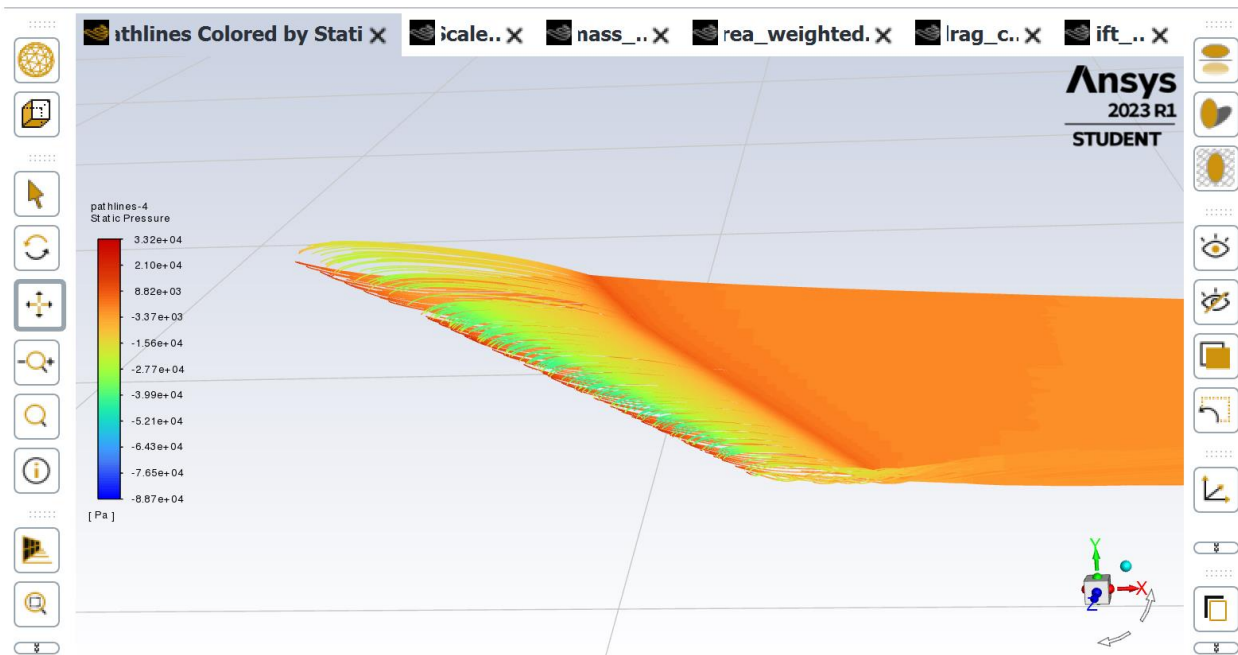
Εικόνα 53: Δυναμική πίεση



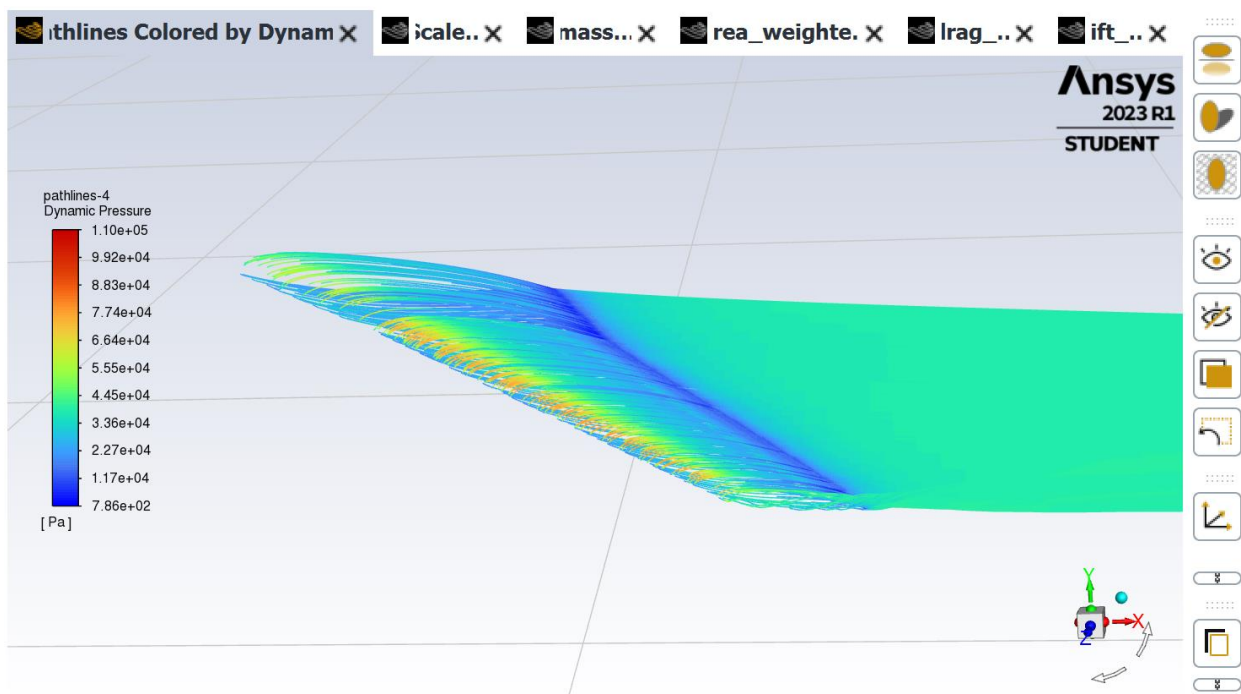
Εικόνα 54: Κατανομή ταχύτητας πάνω στο φτερό



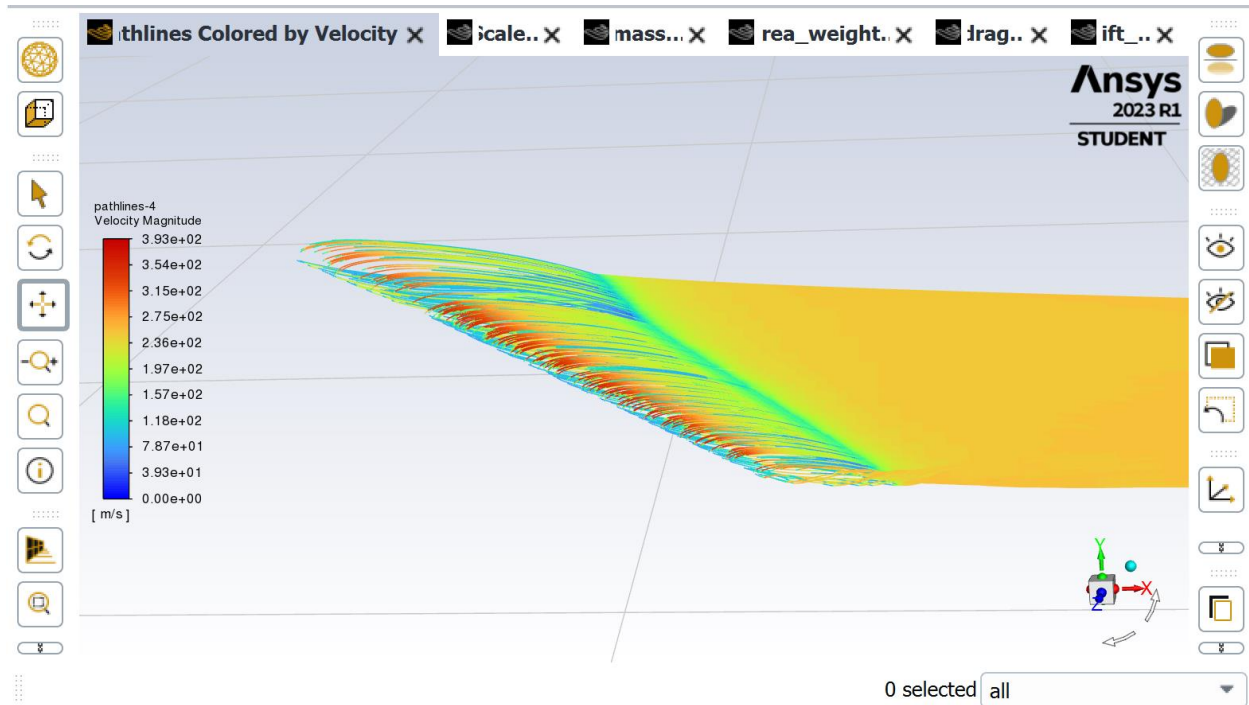
Εικόνα 55: Τυρβώδη κινητική ενέργεια



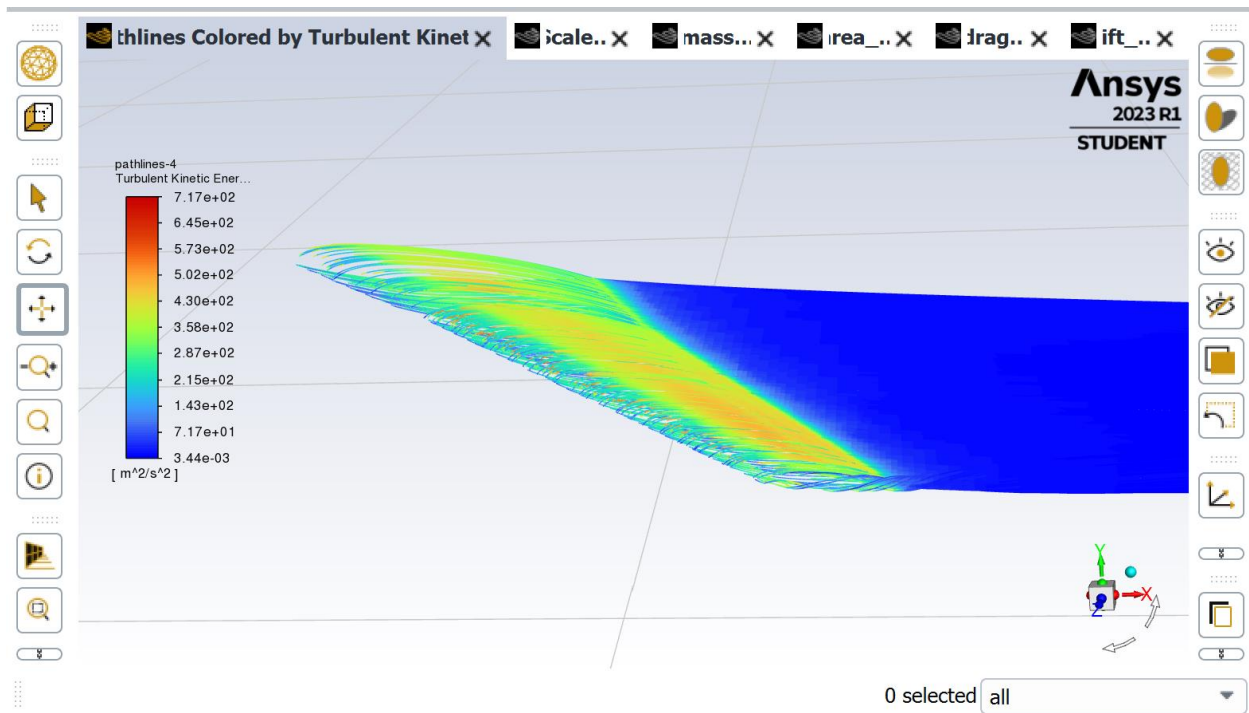
Εικόνα 56: Ροϊκές γραμμές στατικής πίεσης



Εικόνα 57: Ροϊκές γραμμές δυναμικής πίεσης



Εικόνα 58: Ροϊκές γραμμές ταχύτητας



Εικόνα 59: Ροϊκές γραμμές τυρβώδους κινητικής ενέργειας

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές προσομοιώσεις με σκοπό να διερευνηθούν οι επιδράσεις που δημιουργούνται στα φτερά ενός αεροσκάφους κατά τη διαδικασία της απογείωσης. Οι προσομοιώσεις αυτές εστιάστηκαν σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες, οι οποίες αποτελούν τους κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την αεροδυναμική συμπεριφορά ενός αεροσκάφους.

Στην πρώτη προσομοίωση, επιλέξαμε να εξετάσουμε την ταχύτητα απογείωσης των 61.1 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσομοίωσης, παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη πίεση που ασκείται στο φτερό του αεροσκάφους ανήλθε στα 2.23 KPa, ενώ ο συντελεστής αντίστασης Cd παρέμεινε σταθερός στο επίπεδο του 0.0235.

Στη δεύτερη προσομοίωση, επιλέξαμε την ταχύτητα 2116.7 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσομοίωσης, παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη πίεση στο φτερό του αεροσκάφους ανήλθε στα 2.26 KPa, ενώ ο συντελεστής Cd παρέμεινε σταθερός στο επίπεδο του 0.023.

Στην τρίτη και τελευταία προσομοίωση, εξετάσαμε την ταχύτητα 255.6 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσομοίωσης, παρατηρήσαμε ότι η μέγιστη πίεση που ασκείται στο φτερό του αεροπλάνου ανήλθε στα 3.3 KPa, ενώ ο συντελεστής Cd παρέμεινε σταθερός στο επίπεδο του 0.0223.

Αυτές οι προσομοιώσεις αναδεικνύουν την αεροδυναμική συμπεριφορά του αεροσκάφους σε διάφορες ταχύτητες. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από αυτές τις προσομοιώσεις αποτελούν ουσιώδες κομμάτι για την κατανόηση της επίδρασης της ταχύτητας στην αεροδυναμική απόδοση του αεροσκάφους και για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του φτερού, καθώς και των συντελεστών Cd και Cl, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση και ασφάλεια κατά την πτήση του αεροπλάνου.

Βιβλιογραφία

- [1] Anderson, J. (2011). EBOOK: Μονάδες SI. McGraw Hill.
- [2] Anderson, J. D., & Bowden, M. L. (2005). Εισαγωγή στην πτήση (τόμος 582). Νέα Υόρκη: McGraw-Hill Higher Education.
- [3] Gratzler, L. B. (1994). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ αριθ. 5,348,253. Ουάσινγκτον, DC: Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας και Εμπορικών Σημάτων των ΗΠΑ.
- [4] Gratzler, L. B. (1992). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ αριθ. 5,102,068. Ουάσινγκτον, DC: Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας και Εμπορικών Σημάτων των ΗΠΑ.
- [5] La Roche, U., & Palffy, S. (1996, Σεπτέμβριος). Πλέγμα πτέρυγας, μια νέα συσκευή για τη μείωση της επαγόμενης αντίστασης στις πτέρυγες. Στο ICAS PROCEEDINGS (τόμος 20, σ. 2303-2309).
- [6] CRAeS, P. J. H. (2014). FW Lanchester και το μεγάλο χάσμα. Journal of Aeronautical History Paper No, 02.
- [7] Herrick, L. L., Bays-Muchmore, C. B., Hoffman, M. S., LeGrand, L. L., Ogg, S. S., Paul Jr, B. P., ... & Wells, S. L. (2000). Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ αριθ. 6,089,502. Ουάσινγκτον, DC: Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας και Εμπορικών Σημάτων των ΗΠΑ.
- [8] Kojima, Hiroki (2002). Μοντελοποίηση και πειράματα μηχανικής τύρβης 5 || Υπολογισμός της αεροδυναμικής απόδοσης αεροτομής με επιφανειακή τραχύτητα., (), 629-636. doi:10.1016/B978-008044114-6/50060-0
- [9] Bojja, A., & Garre, P. (2013). Ανάλυση για τη μείωση της επαγόμενης αντίστασης με τη χρήση του winglet στην άκρη της πτέρυγας. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2(12).
- [10] Mosquera Alonso, A. (2017). Ανάλυση της μείωσης της οπισθέλκουσας σε διατάξεις άκρων πτερύγων (πτυχιακή εργασία).
- [11] McLean, D. (2005, Σεπτέμβριος). Συσκευές ακροπτερυγίου: τι κάνουν και πώς το κάνουν. Στο συνέδριο μηχανικής επιδόσεων και πτητικών λειτουργιών της Boeing. 87
- [12] <https://www.businessinsider.com/boeing-airplanes-wingletsexplain-nasa-2017-7>

- [13] <https://www.flightglobal.com/dubai-09-a320s-sharklets-to-deliver35-lower-fuel-burn-from-2012/90332.article>
- [14] Rizvi, Z. A. (2017). Μελέτη για την κατανόηση των διαφορικών εξισώσεων που εφαρμόζονται στην αεροδυναμική με την τεχνική CFD. International Journal of Scientific & Engineering Research, 8(2), 16-19.
- [15] <https://www.aviationpartners.com/aircraft-winglets/types-blendedwinglets/>
- [16] <https://www.pinterest.com/pin/567664728000878217/>
- [17] Phillips, W. F., & Snyder, D. O. (2000). Σύγχρονη π ρ ο σ α ρ μ ο γ ή της κλασικής θεωρίας των ανυψωτικών γραμμών του Prandtl. Journal of Aircraft, 37(4), 662-670.
- [18] <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/four-forces-on-an-airplane/>
- [19] <http://www.b737.org.uk/winglets.htm>
- [20] <https://www.grc.nasa.gov/WWW/Wright/airplane/geom.html>
- [21] <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aerodynamics/how-winglets-reduce-drag-and-how-wingtip-vortices-form/>
- [22] <https://imgur.com/0qJvJts>
- [23] <https://simpleflying.com/boeing-737-max-split-winglets/>
- [24] NACA 0012 AIRFOILS (n0012-il) (airfoiltools.com)
- [25] <https://www.grc.nasa.gov/www/k12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/forces.html>
- [26] <http://petersengineering.blogspot.com/2015/06/lifting-line-model-of-finite-span-wing.html?m=1>
- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/Navier%E2%80%93Stokes_equations
- [28] Εξισώσεις Navier-Stokes με μέσο όρο Reynolds. (2022, 26 Απριλίου). In Wikipedia . https://en.wikipedia.org/wiki/Reynoldsμέσος_εξισώσεις_Navier%E2%80%93Stokes_εξισώσεις_Navier%E2%80%93Stokes
- [29] Θεωρία της γραμμής ανύψωσης - Βικιπαίδεια. https://en.wikipedia.org/wiki/Lifting-line_theory
- [30] Αντίσταση - Τύποι και επιπτώσεις | SKYbrary Aviation Safety. <https://skybrary.aero/tutorials/drag-types-and-effects>

[31] Reddy, Sohail & Sobieczky, Helmut & Dulikravich, George & Abdoli, Abas. (2015). Winglets πολλαπλών στοιχείων: Multi-Objective Optimization of Aerodynamic Shapes. Journal of Aircraft.

[32] Reddy, S. R., Sobieczky, H., Dulikravic, G. S., & Abdoli, A. (2016). Multielement winglets: πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση αεροδυναμικών σχημάτων. Journal of Aircraft, 53(4), 992-1000.

[33] McLean, D. (2005, Σεπτέμβριος). Συσκευές ακροπτερυγίου: τι κάνουν και πώς το κάνουν. Στο συνέδριο μηχανικής επιδόσεων και πτητικών λειτουργιών της Boeing.

[34] Winglets: μια κορυφαία λύση για πιο αποδοτικά αεροσκάφη | Airbus.
<https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2017-02-winglets-a-tip-top-solutionfor-more-efficient-aircraft>

[35] Εργαλεία αεροτομής

[36] Ansys® Fluent, έκδοση 2023 R2

[37] <https://www.ansys.com/academic/students> [38] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/education>