



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**3D σχεδίαση ενός Lockheed C-130 Hercules με χρήση σχεδιαστικού προγράμματος CAD**



**ΠΑΛΑΜΑΡΗΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΑΜ : 45208**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ : ΦΑΤΟΥΡΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ**


**ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2022**

Επιβλέποντες καθηγητές: Φατούρος Σταύρος

Αντωνίου Γεώργιος

Εξεταστική επιτροπή

α/α	ΟΝΟΜ/ΝΥΜΟ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΦΑΤΟΥΡΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ	
2	ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	
3	ΚΑΜΠΟΥΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

---

ΠΑΛΑΜΑΡΗΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παλαμάρης Φίλιππος του Αντωνίου, με αριθμό μητρώου 45208 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι οποίες 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 ανώτερω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1. Ο Τζορτζ Κέιλι .....	7
Εικόνα 2. Ο Ζαν-Μαρί Λε Μπρι .....	7
Εικόνα 3. Τα αδέρφια Ράιτ σε μια από τις πρώτες τους πτήσεις .....	7
Εικόνα 4. Οι Άλκοκ και Μπράουν .....	8
Εικόνα 5. Το Heinkel He 178 .....	9
Εικόνα 6. Το de Havilland Comet .....	9
Εικόνα 7. Το Airbus A380 .....	10
Εικόνα 8. Κινητήρας έλικα .....	12
Εικόνα 9. Κινητήρας τζετ .....	13
Εικόνα 10. Το SpaceShipOne .....	14
Εικόνα 11. Κινητήρας scramjet .....	14
Εικόνα 12. Μέρη αεροπλάνου .....	17
Εικόνα 13. Δυνάμεις και κατανομή πίεσης σε αεροτομή τοποθετημένη σε ρεύμα αέρα .....	19
Εικόνα 14. Γεωμετρικά μεγέθη ανάλυσης των αεροτομών .....	20
Εικόνα 15. Αεροδυναμικές δυνάμεις .....	21
Εικόνα 16. Δημιουργία της άντωσης .....	22
Εικόνα 17. Physical-to-digital process .....	28
Εικόνα 18. Γενική διαδικασία της Αντίστροφης Μηχανικής .....	29
Εικόνα 19. Οπτικό σύστημα σάρωσης .....	30
Εικόνα 20. Κατακόρυφος αισθητήρας και laser .....	31
Εικόνα 21. Σύστημα σάρωσης με επαφή .....	31
Εικόνα 22. Οι πρώτες πτήσεις .....	34
Εικόνα 23. Τα πρώτα στάδια .....	35
Εικόνα 24. Το C-130 στον πόλεμο .....	36
Εικόνα 25. Το C-130 στους πάγους .....	37
Εικόνα 26. Το C-130 κυνηγός τυφώνων .....	38
Εικόνα 27. Σχεδιάγραμμα Gantt .....	44
Εικόνα 28. Φωτογραφία αναφοράς 1 .....	45
Εικόνα 29. Φωτογραφία αναφοράς 2 .....	46
Εικόνα 30. Φωτογραφία αναφοράς 3 .....	47
Εικόνα 31. Φωτογραφία αναφοράς 4 .....	47
Εικόνα 32. Φωτογραφία αναφοράς 5 .....	48
Εικόνα 33. Φωτογραφία αναφοράς 6 .....	48
Εικόνα 34. Φωτογραφία αναφοράς 7 .....	49
Εικόνα 35. C-130 3D πρόοψη .....	50
Εικόνα 36. C-130 3D πλάγια όψη .....	50
Εικόνα 37. C-130 3D πίσω όψη .....	50
Εικόνα 38. C-130 3D κάτοψη .....	51
Εικόνα 39. C-130 3D .....	51
Εικόνα 40. Flow simulation πρόοψη .....	52
Εικόνα 41. Flow simulation πλάγια όψη .....	52
Εικόνα 42. Flow simulation κάτοψη .....	52
Εικόνα 43. Flow simulation 1 .....	53
Εικόνα 44. Flow simulation πλάγια όψη .....	53
Εικόνα 45. Flow simulation 2 .....	53
Εικόνα 46. C-130 3D πρόοψη render .....	54
Εικόνα 47. C-130 3D πλάγια όψη render .....	54
Εικόνα 48. C-130 3D κάτοψη render .....	55

Εικόνα 49. C-130 3D πίσω όψη render .....	55
Εικόνα 50. C-130 διαγώνιος 1 3D render .....	56
Εικόνα 51. C-130 διαγώνιος 2 3D render .....	56
Εικόνα 52. C-130 2D πρόοψη.....	57
Εικόνα 53. C-130 2D πλάγια όψη .....	58
Εικόνα 54. C-130 2D κάτοψη .....	59
Εικόνα 55. C-130 2D πίσω όψη .....	60
Εικόνα 56. C-130 διαγώνιος 1 2D.....	61
Εικόνα 57. C-130 άνοψη 2D.....	62
Εικόνα 58. C-130 διαγώνιος 2 2D.....	63

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	4
Abstract.....	5
1. Θεωρητικά στοιχεία.....	6
1.1. Ο όρος αεροπλάνο.....	6
1.2. Πτήσεις στην αρχαιότητα;.....	6
1.3. Οι πρώτες απόπειρες .....	6
1.4. Η κατασκευή.....	10
1.5. Μέρη αεροπλάνου.....	12
1.5.1. Κινητήρας.....	12
1.5.2. Κύριο σώμα .....	14
1.5.3. Πτέρυγες.....	15
1.5.4. Άτρακτος .....	16
1.5.5. Ουραίο πτερύγιο και πρόσθια πτερύγια .....	16
1.5.6. Διακόπτες και όργανα .....	17
1.6. Αεροναυπηγική και αεροδυναμική.....	18
1.6.1. Αεροναυπηγική .....	18
1.6.2. Βασικές έννοιες αεροδυναμικής και δυνάμεις στο αεροσκάφος.....	18
2. Μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων CAD-CAM-CAE.....	23
2.1 Η μελέτη, παραγωγή και ανάπτυξη προϊόντων με χρήση υπολογιστή .....	24
2.2 Εργαλεία CAD για τη σχεδίαση και την παραγωγή.....	25
3. Αντίστροφη μηχανική .....	27
3.1. Εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής και 3D scanning.....	27
3.2. Αντίστροφη Μηχανική – Βασική Διαδικασία. ....	29
3.3 Αντίστροφη μηχανική και αεροπλάνο.....	32
4. C-130 Hercules .....	34
4.1. Η κατασκευή .....	34
4.2. Ο Ηρακλής στον πόλεμο .....	35
4.3. Ανθρωπιστικό έργο .....	36
4.4. Κυνηγός τυφώνων .....	37
5. Εντολές Solidworks που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη σχεδίαση.....	39
6. Μεθοδολογία.....	43
7. Σχεδιάγραμμα GANTT.....	44
8. Σχέδια και φωτογραφίες αναφοράς .....	45
9. 3D σχέδιο .....	50
10. 3D σχέδιο flow simulation .....	52
11. 3D σχέδιο μετά από render .....	54
12. 2D σχέδιο .....	57
Βιβλιογραφία.....	64

## Περίληψη

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας, με τίτλο «3d σχεδίαση ενός Lockheed C-130 Hercules με χρήση σχεδιαστικού προγράμματος CAD», είναι ο σχεδιασμός του εξωτερικού περιβλήματος ενός Lockheed C-130 Hercules. Τα σχέδια που χρησιμοποιήθηκαν, είναι σχέδια που βρέθηκαν στο διαδίκτυο. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και φωτογραφίες του πραγματικού αεροπλάνου, για τη σχεδίαση διάφορων μερών αυτού.

Αρχικά παρατίθενται κάποια θεωρητικά στοιχεία περί αεροπλάνων. Ξεκινώντας με μια ιστορική αναδρομή που πραγματεύεται την δημιουργία και την εξέλιξη των αεροπλάνων από τα πρώτα έτη έως σήμερα. Συνεχίζοντας με τον σχεδιασμό και τη δόμη τους. Τέλος, αναφορά γίνεται στην αεροδυναμική αλλά και στην αντίστροφη μηχανική. Έπειτα, γίνεται πληροφοριακή εμβάθυνση στο ίδιο το Lockheed C-130 Hercules. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο σύστημα σχεδίασης CAD, όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι το solidworks. Ακολουθεί σχεδιάγραμμα gantt καταγράφοντας αναλυτικά τον χρόνο, τα βήματα αλλά και το κόστος της εργασίας αυτής, από την αρχή μέχρι και την ολοκλήρωσή της. Τέλος, υπάρχει και το φωτογραφικό υλικό με τα σχέδια αναφοράς αλλά και με το αποτέλεσμα της σχεδίασης.



## **Abstract**

The subject of this thesis, entitled "3d design of a Lockheed C-130 Hercules using CAD design program", is the design of the outer layer of a Lockheed C-130 Hercules. The designs used are designs found on the internet. Photographs of the actual aircraft were also used to design various parts of it.

First, some theoretical data about airplanes are given. Starting with a historical background that deals with the creation and the evolution of airplanes from the first years until today. Continuing with their design and structure. Finally, reference is made to the aerodynamics and the reverse engineering. Then, information is deepened in the Lockheed C-130 Hercules itself. Also, reference is made to the CAD design system, where in this case it is solidworks. The following is a gantt plan, recording in detail the time, the steps and the cost of this work, from the beginning to its completion.

Finally, there is the photographic material with the reference drawings but also with the result of the design.

## 1. Θεωρητικά στοιχεία

Διακαής πόθος αιώνων η πτήση ήταν είναι και θα είναι για πάντα κάτι άκρως εντυπωσιακό. Από το μακρινό όνειρο, στα αεροπλάνα του σήμερα, αδιαμφισβήτητα ένα από τα μεγαλύτερα κατορθώματα του ανθρώπου είναι η κατασκευή ιπτάμενων μηχανών. Και συγκεκριμένα του αεροπλάνου, το οποίο έμελλε να παίξει συμαντικό ρόλο σε στη ζωή του ανθρώπου.

### 1.1. Ο όρος αεροπλάνο.

Η πρώτη αναφορά της λέξης αεροπλάνο είναι στα αγγλικά, στα τέλη του 19ου αιώνα με τη λέξη *airplane*, αλλά και *aeroplane*, που πηγάζει από την γαλλική λέξη *aéroplane*, η οποία με τη σειρά της πηγάζει από την ελληνική λέξη *αήρ*, δηλαδή *αέρας* και από τη λατινική λέξη *planus*, (επίπεδο), ή την ελληνική λέξη *πλάνος* (περιπλάνηση). Η λέξη *aeroplane* αναφερόταν αρχικά μόνο στο φτερό, καθώς είναι ένα επίπεδο που κινείται στον αέρα. Τελικά, η λέξη για το φτερό κατέληξε να αναφέρεται σε ολόκληρο το αεροσκάφος.

### 1.2. Πτήσεις στην αρχαιότητα;

Γυρίζοντας κάποιες χιλιάδες χρόνια πίσω βλέπουμε αναφορές σε ιπτάμενες μηχανές, επανδρωμένες και μη, σε αρκετούς αρχαίους πολιτισμούς. Πολλές φορές οι αναφορές αυτές αγγίζουν την σφαίρα της φαντασίας της μυθολογίας και αλλές τείνουν να φαντάζουν αληθινές. Στις πυραμίδες της Αιγύπτου βλέπουμε απεικονίσεις ή και αντικείμενα που θυμίζουν αεροπλάνα. Σε Ινδουιστικά κείμενα θα δούμε το μυθικό ιπτάμενο παλάτι της Βιμάνα, αλλά και στην ελληνική μυθολογία διαβάζουμε για τον Δαίδαλο και τον Ίκαρο. Ακόμη, διαβάζουμε για τον Αρχύτα τον Ταραντινό, ο οποίος φαίνεται να έφτιαξε την πρώτη αυτόνομη πτητική μηχανή. Βέβαια δεν μπορούμε να ξεχάσουμε διάφορους υπτάμενους θεούς και πλάσματα της παγκόσμιας μυθολογίας, μαρτυρώντας έτσι τον θαυμασμό των ανθρώπων ακόμη και σε αυτά τα χρόνια για την πτήση.

### 1.3. Οι πρώτες απόπειρες

Μια από τις πρώτες καταγεγραμμένες προσπάθειες με πτητική μηχανή ήταν αυτές που έγιναν τον 9ο αιώνα από τον ποιητή Αμπάς μιν Φιρνάς και τον 11ο αιώνα από τον Άγγλο μοναχό Άιλμερ του Μαλμεσμπέρι. Αμφότεροι κατέληξαν τραυματίες. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι σχεδίασε ένα ανθρωποκίνητο αεροσκάφος στο έργο του Κώδιξ στο Πέταγμα των Πουλιών το 1502 βασισμένο σε έρευνά του στο σχέδιο των φτερών των πτηνών.

Το 1799, ο Τζόρτζ Κέιλι, όρισε την έννοια του σύγχρονου αεροπλάνου ως μιας ιπτάμενης μηχανής με σταθερά πτερύγια με ξεχωριστά συστήματα άνωσης, προώθησης και ελέγχου. Ο Κέιλι ξεκίνησε να κατασκευάζει και να πετά με μοντλελα αεροσκαφών σταθερών πτερυγών από το 1803. Το 1853 κατάφερε να κατασκευάσει με επιτυχία ένα επιβατηγό ανεμοπλάνο. (Crouch, 1982)



Εικόνα 1. Ο Τζορτζ Κέλι (Πηγή: Wikipedia)

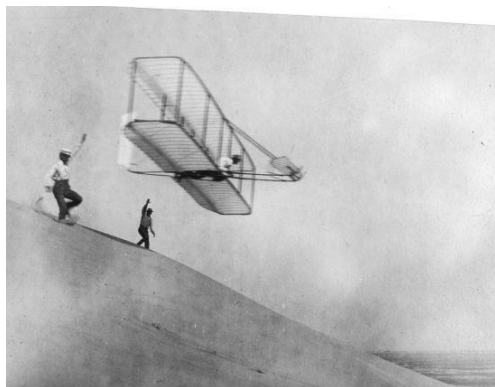
Το 1856, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ο Γάλλος Ζαν-Μαρί Λε Μπρι πραγματοποίησε την πρώτη μηχανοκίνητη πτήση, με το ανεμοπλάνο του « *L'Albatros artificiel* » το οποίο το τραβούσε ένα άλογο σε μια παραλία. (Gray, n.d.) Το 1894 ο σερ Χάιραμ Μάξιμ κατασκεύασε σκάφος βάρους 3,5 τόνων με άνοιγμα φτερών 34 μέτρων το οποίο ήταν εφοδιασμένο με δύο ατμομηχανές 360 ίππων οι οποίες έδιναν κίνηση σε δύο έλικες.



Εικόνα 2. Ο Ζαν-Μαρί Λε Μπρι (Πηγή: Wikipedia)

Σε δοκιμή της μηχανής που πραγματοποιήθηκε με εναέριες ράγες για να ελεγχθεί η άνοδός του, φάνηκε το μεγάλο βάρος του. Ο δυσκολος χειρισμος του σκάφους φαίνεται πως ήταν και ο λόγος που ο Μαξιμ εγκατέλειψε το έργο αυτό. (Becker, 1967)

Πρωτοπόρος της ανθρώπινης αεροπορίας υπήρξε ο Γερμανός Λίλιενταλ. Κάπου ανάμεσα στο 1867 και το 1896 υλοποίησε πτήση βαρύτερη από τον αέρα. Γενικότερα υπήρξε πρωτοπόρος σε επαναλαμβανόμενες και επιτυχημένες πτήσεις με αεροπλάνα. Ένα από τα πιο γνωστά ονόματα στον τομέα αυτόν είναι το όνομα Ράιτ. Πιο συγκεκριμένα τα αδέρφια Όρβιλ και Γουίλμπουρ Ράιτ, εμπνευστής των οποίων υπήρξε ο Ότο Λίλιενταλ. .



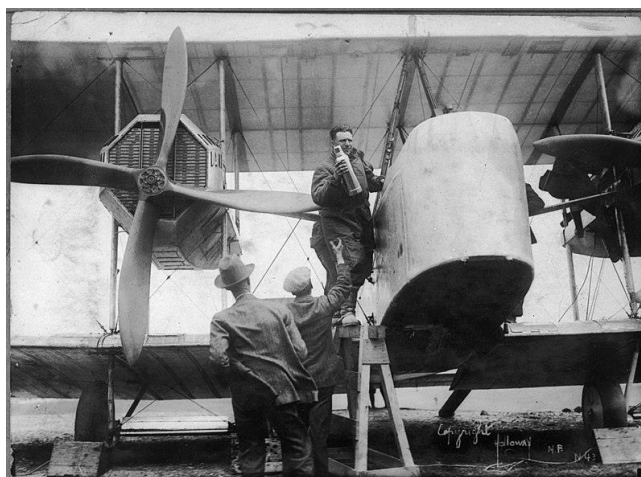
Εικόνα 3. Τα αδέρφια Ράιτ σε μια από τις πρώτες τους πτήσεις (Πηγή: Μηχανή του χρόνου)

Το 1903 τα αδέρφια Ράιτ πραγματοποίησαν πτήσεις, οι οποίες αναγνωρίστηκαν από την Διεθνή Ομοσπονδία Αεροναυτικής ως «οι πρώτες παρατεταμένες και ελεγχόμενες βαρύτερες από τον αέρα πτήσεις». (Benedetti, 2003) Από το 1905, το Wright Flyer III είχε τη δυνατότητα πλήρους ελέγχου και σταθερής πτήσης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το 1906, ο Αλμπέρτου Σάντους-Ντουμό, Βραζιλιανός πρωτοπόρος της αεροπορίας, εφευρέτης αεροναυπηγός και πιλότος, συντέλεσε αυτό που επρόκειτο να είναι η πρώτη πτήση αεροπλάνου χωρίς την βοήθεια καταπέλτη και έθεσε το πρώτο παγκόσμιο ρεκόρ που αναγνωρίστηκε από την Αερολέσχη της Γαλλίας, πετώντας 220 μέτρα σε λιγότερο από 22 δευτερόλεπτα. Η πτήση αυτή αναγνωρίστηκε επίσης και από την ΔΟΑ. (Jones, n.d.)

Ένα αρχικό σχέδιο αεροσκάφους το οποίο σε ένα βαθμό καθόρισε τη σύγχρονη διάταξη των ελκυστήρων των μονοπλάνων ήταν το Blériot VIII, σχέδιο του 1908. Είχε κινούμενες επιφάνειες στην ουρά μέσω των οποίων ελεγχόταν η απόκλιση και το βήμα, μια δομή με ρολό ελέγχου που παρεχόταν είτε μέσω της στρέβλωσης των φτερών ή πτερυγίων και ελεγχόταν από τον πιλότο μέσω ενός χειριστηρίου και μιας μπάρας πεδαλίων. Το Blériot VIII αποτελούσε τον πρόγονο του κατοπινού αεροσκάφους Blériot XI το οποίο διέσχισε την Μάγχη το καλοκαίρι του 1909. (Crouch, 1982)

Όπως κάθε πόλεμος, έτσι και ο Α΄ Παγκόσμιος Πόλεμος αποτέλεσε τον ιδανικό χώρο για τεχνολογική ανάπτυξη αλλά και τη δοκιμή των νέων αυτών τεχνολογιών. Στην προκειμένη περίπτωση ο πόλεμος αυτός ήταν η ευκαιρία να δοκιμαστεί το αεροπλάνο ως όπλο. Αποτέλεσαν πολύ καλές μηχανές παρακολούθησης, αλλά και μηχανές ικανές να φέρουν οπλισμό ικανό για μεγάλη καταστροφή των αντιπάλων στεατευμάτων. Από τον πόλεμο αυτόν δεν έλειψαν βέβαια και οι αερομαχίες. Η πρώτη καταγεγραμμένη αερομαχία πραγματοποιήθηκε το 1915 από τον γερμανό υπολοχαγό Κουρτ Βίντγκεν. (Sands, 1985)

Η εξέλιξη των αεροπλάνων δεν σταμάτησε εκεί, αλλά συνέχισε και μετά το πέρας του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Ένα από τα μεγάλα κατορθώματα, της μετά Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου εποχής ήταν η πτήση του, Άγγλου πιλότου Τζον Άλκοκ και Αμερικάνου υποσημηναγού Άρθουρ Μπράουν το 1919, οι οποίοι διέσχισαν τον Ατλαντικό ωκεανό χωρίς στάση για πρώτη φορά. (Paur, 2010)

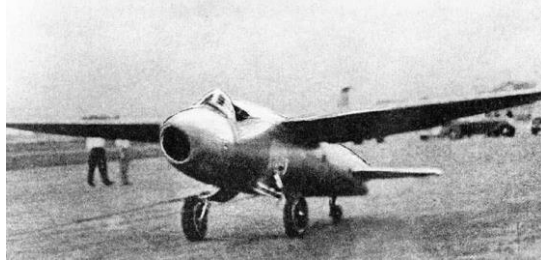


Εικόνα 4. Οι Άλκοκ και Μπράουν (Πηγή: Wikipedia)

Φτάνοντας στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο θα δούμε πολύ πιο προχωρημένη τεχνολογία στον τομέα των αεροπλάνων. Η μαζική παραγωγή βομβαρδιστικών, ταχύτερων μαχητικών, πυράλων και αεριωθούμενων αεροσκαφών, έθεσε πολύ πιο ψηλά τα πρότυπα των αερομαχιών. Έγινε χρήση

αναχαιτιστικών, αναγνωριστικών και άλλων αεροσκαφών για επιθέσεις σε στεριά και θάλασσα. Μεγάλο ρόλο έπαιζαν και ειδικά κατασκευασμένα πλοία, που κουβαλούσαν τα αεροσκάφη όπου χρειαζόταν, ενώ έπαιζαν και τον ρόλο της πλατφορμας απογείωσης, αφού ουσιαστικά ήταν ένας διάδρομος απογείωσης εν πλω.

Το 1939 δοκιμάστηκε το Γερμανικό Heinkel He 178, το οποίο και υπήρξε το πρώτο αεριοθούμενο αεροσκάφος.



Εικόνα 5. Το Heinkel He 178 (Πηγή: ptisidiastima)

Από την άλλη, το πρώτο λειτουργικό πολεμικό αεριοθούμενο, υπήρξε το Messerschmitt Me 262. Το Messerschmitt Me 262 τέθηκε για πρώτη φορά σε υπηρεσία στην Γερμανική Luftwaffe, το 1943.

Οκτώ χρόνια από το πρώτο αεριοθούμενο, τον Οκτώβριο του 1947 κατασκευάστηκε το πρώτο αεριοθούμενο αεροσκάφος το οποίο ξεπέρασε την ταχύτητα του ήχου. Αυτό ήταν το Bell X-1.(Hallion, n.d.)



Εικόνα 6. Το de Havilland Comet (Πηγή: Wikipedia)

Ενώ το 1952 πεταξε για πρώτη φορά το πρώτο πιβατικό αεριοθούμενο αεροπλάνο, όνομα του οποίου ήταν de Havilland Comet.

Μεγάλη υπήρξε η συνεισφορά της Boeing στην ανάπτυξη των εμπορικών πτήσεων. Ένα από τα αεροσκάφη της, το Boeing 707 ήταν το πρώτο επιτυχημένο εμπορικό αεροσκάφος, με πάνω από 50 χρόνια εμπορική χρήση. Από το 1958 έως το 2010.(Glancey, 2014)

Το Boeing 707 μπορεί να θεωρηθεί και πρόγονος του Boeing 747 (εικόνα 16) το οποίο ήταν το μεγαλύτερο επιβατικό αεροσκάφος από το 1970 μέχρι το 2005 όπου και ξεπεράστηκε από το Airbus A380.



Εικόνα 7. Το Airbus A380 (Πηγή: Wikipedia)

#### 1.4. Η κατασκευή

Η πλειοψηφία των αεροπλάνων κατασκευάζεται από εταιρείες, αντικείμενο των οποίων είναι η παραγωγή τους σε ποσότητα για τους πελάτες τους. Ο σχεδιασμός και η παραγωγή τους, μαζί με το στάδιο των δοκιμών ασφαλείας, μπορούν να διαρκέσουν από τέσσερα χρόνια για μικρά τουρμπινοφόρα αεροπλάνα ή και περισσότερο για μεγαλύτερα αεροπλάνα.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, ορίζονται οι στόχοι και οι προδιαγραφές σχεδιασμού του αεροσκάφους. Στην αρχή η εταιρεία παραγωγής χρησιμοποιεί σχέδια και εξισώσεις, προσομοιώσεις, αλλά και δοκιμές σε αεροθαλάμους και πειραματισμούς για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αεροσκάφους. Για να διεκπερωθούν οι διεργασίες αυτές, δηλαδή του σχεδιασμού του προγραμματισμού και των αρχικών προσομοιώσεων του αεροσκάφους γίνεται χρήση υπολογιστών. Έπειτα, μικρά μοντέλα και ομοιώματα των βασικών μερών του αεροπλάνου δοκιμάζονται σε αεροθαλάμους για να πιστοποιηθεί η αεροδυναμική τους. (Kundu, 2010)

Όταν ο σχεδιασμός περάσει τις παραπάνω διαδικασίες, η εταιρεία φτιάχνει έναν μικρό αριθμό πρωτοτύπων για δοκιμές στο έδαφος. Αντιπρόσωποι των κυβερνητικών αρχών αεροπορίας της χώρας συνήθως πραγματοποιούν την πρώτη πτήση. Οι δοκιμαστικές πτήσεις συνεχίζονται μέχρι το αεροσκάφος να καλύψει τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Όταν το αεροσκάφος έχει περάσει όλα τα δοκιμαστικά και εκπληρώσει όλες τις απαιτήσεις η κυβερνητική αρχή αεροπορίας της χώρας εγκρίνει την παραγωγή από την εταιρεία.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η αρχή αυτή είναι η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration, FAA), και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ευρωπαϊκή Αρχή Αεροπορικής Ασφάλειας (European Aviation Safety Agency, EASA). Ενώ στον Καναδά, η κρατική αρχή υπεύθυνη για την πιστοποίηση της μαζικής παραγωγής αεροσκαφών είναι η Transport Canada.

Στην περίπτωση που το αεροσκάφος πωληθεί σε άλλη χώρα, θα πρέπει να αδειοδοτηθεί από την δημόσια αρχή αεροπορίας της χώρας που θα χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα τα αεροπλάνα που κατασκευάζονται από την Ευρωπαϊκή Airbus, για να χρησιμοποιηθούν στις Ηνωμένες Πολιτείες θα πρέπει να πάρουν άδεια από την ΟΔΑ. Αντίστροφα, τα αεροπλάνα που κατασκευάζονται από μια Αμερικανική εταιρία όπως η Boeing για να χρησιμοποιηθούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να πάρουν άδεια από την ΕΑΑΑ.

Οι εταιρίες που έχουν τη δυνατότητα να κατασκεύασουν αεροπλάνα σε μεγάλη κλίμακα είναι λίγες. Όμως, για την παραγωγή ενός αεροπλάνου δεν λειτουργεί μόνο μια εταιρία, αλλά δεκάδες

εταιρίες και εργοστάσια, για την παραγωγή των τμημάτων την τοποθέτηση αυτών και γενικότερα την κατασκευή του αεροπλάνου. Για παράδειγμα, μια εταιρεία μπορεί να είναι υπεύθυνη για την παραγωγή των τροχών προσγείωσης, ενώ μια άλλη να είναι υπεύθυνη για το ραντάρ. Η κατασκευή των τμημάτων αυτών δεν περιορίζεται στην ίδια πόλη ή χώρα μιας και οι εταιρίες που είναι υπεύθυνες για την κατασκευή τους είναι πολλές. Ειδικότερα άμα δούμε μια μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία αεροσκαφών, αυτά τα τμήματα προέρχονται από όλο τον κόσμο.

Η γραμμή παραγωγής, η οποία βρίσκεται στην εταιρία παραγωγής, λαμβάνει τα τμήματα από το κύριο εργοστάσιο. Όταν το αεροπλάνο είναι μεγάλο, συνήθως υπάρχουν περισσότερες από μια γραμμές παραγωγής, υπεύθυνες για την συναρμολόγηση βασικών τμημάτων του αεροπλάνου, όπως τα φτερά και η άτρακτος.

Όταν η κατασκευή ολοκληρωθεί, το αεροπλάνο περνάει από αυστηρό έλεγχο με για να βρεθούν τυχόν αστοχίες ή παραλείψεις. Όταν οι επιθεωρητές δώσουν την έγκριση, ακολουθούν οι δοκιμαστικές πτήσεις για να διασφαλιστεί πως όλα τα συστήματα λειτουργούν σωστά και πως το αεροπλάνο μπορεί να πετάξει χωρίς προβλήματα. Περνώντας και αυτές τις δοκιμές το αεροπλάνο περνάει στα επόμενα και τελευταία στάδια της κατασκευής. Στάδια όπως η σωτερική διαρρύθμιση, το βάψιμο, κλπ. Ολοκληρώνοντας και αυτά το αεροπλάνο είναι έτοιμο προς παράδοση στον πελάτη.



## 1.5. Μέρη αεροπλάνου

### 1.5.1. Κινητήρας

#### ➤ Κινητήρες έλικα

Κυρίως τα μικρότερα αλλά και παλαιότερα σκάφη με έλικες χρησιμοποιούσαν κινητήρες παλινδρομικής κίνησης δηλαδή κινητήρες με πιστόνια. Η χρήση αυτών γινόταν για να στρέψουν τον έλικα και να δημιουργήσουν την απαιτούμενη ώθηση. Η ώθηση που προκαλεί ένας έλικας εξαρτάται από την περιοχή δίσκου της. Δηλαδή, την περιοχή στην οποία περιστρέφονται οι λεπίδες της. Εάν αυτή η περιοχή είναι πολύ μικρή, η αποτελεσματικότητα θα είναι σχετικά μικρή. Από την άλλη, αν η περιοχή είναι μεγάλη, ο έλικας θα πρέπει να περιστρέφεται με πολύ χαμηλή ταχύτητα για να αποφευχθεί η πιθανότητα να κινείται υπερηχητικά και να δημιουργεί αρκετό θόρυβο, και όχι πολύ ώθηση. Λόγω αυτού του περιορισμού, οι έλικες προτιμούνται για αεροπλάνα που κινούνται με ταχύτητες κάτω των 5 μαχ, ενώ τα αεριοθούμενα είναι καλύτερη επιλογή για ταχύτητες μεγαλύτερες από το όριο αυτό. Οι κινητήρες με έλικα, τις περισσότερες τουλάχιστον φορές, ίσως να προκαλούν λιγότερο θόρυβο από τους τζετ κινητήρες και ίσως η απόκτηση, αλλά και η συντήρηση τους κοστίζει λιγότερο σε ελαφρά αεροπλάνα γενικής αεροπορίας. Για παράδειγμα το Cessna 172. Υπάρχουν βέβαια και τα μεγαλύτερα ελικοφόρα αεροπλάνα, όπως το Dash 8 τα οποία χρησιμοποιούν έναν αεριοθούμενο κινητήρα για να ενεργοποιήσουν τον έλικα. Ο βασικός λόγος είναι επειδή ένας αντοίσιτος σε ισχύ κινητήρας με πιστόνια θα ήταν πιο μεγάλος και περίπλοκος.



Εικόνα 8. Κινητήρας έλικα (Πηγή: pixabay)

#### ➤ Κινητήρες τζετ

Τα αεριοθούμενα αεροσκάφη ωθούνται από κινητήρες αερίωσης. Οι κινητήρες αυτοί σε σχέση με έναν κινητήρα παλινδρομικής κίνησης είναι πιο ισχυροί για ένα συγκεκριμένο βάρος ή μέγεθος. Επίσης είναι και συγκριτικά πιο αθόρυβοι και πιο λειτουργικοί σε υψηλότερο υψόμετρο. Τα περισσότερα σύγχρονα αεριοθούμενα αεροπλάνα χρησιμοποιούν κινητήρες τζετ (αεριοθούμενοι) με στρόβιλους οι οποίοι διατηρούν τα πλεονεκτήματα ενός έλικα, αλλά και την ταχύτητα εξάτμισης και την ισχύ ενός τζετ. Πρόκειται δηλαδή για έναν έλικα σε αγωγό προσκολλημένο σε έναν κινητήρα τζετ, όπως περίπου και ένα τουρμπινοφόρο αεροπλάνο, σε μικρότερη όμως διάμετρο. Όταν πρόκειται για αεροπλάνα αεροπορικής εταιρείας, ο κινητήρας αυτός είναι αποτελεσματικός όσο παραμένει κάτω από την ταχύτητα του ήχου. Δηλαδή υποηχητικός. Τα πολεμικά αεριοθούμενα και άλλα υπερηχητικά αεροσκάφη που δεν



διατηρούνται για πολύ χρόνο υπερηχητικά, χρησιμοποιούν συχνά κινητήρες με στρόβιλους. Όμως, για να λειτουργήσουν, χρειάζεται εισαγωγή αέρα στον αγωγό για να καθυστερεί τον αέρα, ώστε όταν αυτός φτάνει στο μπροστινό μέρος του στρόβιλου να είναι υποηχητικός. Όταν διαπερνά τον κινητήρα, τότε επιταχύνεται ξανά σε υπερηχητικές ταχύτητες. Για την περισσότερη ενίσχυση της ισχύος εξόδου, το καύσιμο ρίχνεται στο ρεύμα της εξάτμισης, όπου αναφλέγεται. Η μέθοδος αυτή, ονομάζεται μετάκαυση και χρησιμοποιείται στα απλά αεροσκάφη τζετ, όπως και σε στροβιλοφόρα. Κανονικά χρησιμοποιείται μόνο σε μαχητικά αεροσκάφη εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας καυσίμων που καταναλώνεται από αυτή τη μέθοδο. Ακόμη και τότε χρησιμοποιείται μόνο για μικρές περιόδους. Τα υπερηχητικά επιβατικά αεροσκάφη, για παράδειγμα το Κονκόρντ, δεν χρησιμοποιούνται πλέον συχνά μιας και η υπερηχητική πτήση δημιουργεί ηχητική έκρηξη. Η έκρηξη αυτή, απαγορεύεται στις περισσότερες πυκνοκατοικημένες περιοχές. Άλλος ένας λόγος η υψηλότερη κατανάλωση καυσίμων που χρειάζονται για τις υπερηχητικές πτήσεις. (Westcott, 2013)



Εικόνα 9. Κινητήρας τζετ (Πηγή: anakalipw.blogspot)

### ➤ Ηλεκτρικοί κινητήρες

Ηλεκτρικούς κινητήρες αντί για κινητήρες εσωτερικής καύσης χρησιμοποιεί ένα ηλεκτροκίνητο αεροσκάφος, με τον ηλεκτρισμό να προέρχεται από τις κυψέλες καυσίμου, τα ηλιακά κύτταρα, τους ηλεκτρικούς πυκνωτές διπλής στρώσης, την ακτινοβολία ισχύος, ή τις μπαταρίες. Μέχρι τώρα, οι πτήσεις ηλεκτρικών αεροσκαφών, περιορίζεται σε πειραματικά στάδια, χρησιμοποιώντας επανδρωμένα και μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ενώ υπάρχουν και κάποια μοντέλα παραγωγής στην αγορά. (Grady, 2013)

### ➤ Κινητήρες πυραύλων

Τα πρώτα πυραυλοκίνητα αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν στον ΄Β Παγκόσμιο Πόλεμο από την Γερμανική αεροπορεία. Πιο συγκεκριμένα, τα πυραυλοκίνητα αεροσκάφη τύπου Me 163 Komet. Το πρώτο αεροσκάφος το οποίο έσπασε το όριο του ήχου ήταν ένα αεροσκάφος πύραυλος. Το Bell X-1. Κάποια χρόνια αργότερα, το North American X-15 έσπασε και άλλα ρεκόρ ταχύτητας και υψομέτρου, ενώ έβαλε και τις βάσεις για τον μελλοντικό σχεδιασμό αεροσκαφών και διαστημικών σκαφών.

Πλέον όμως, τα αεροσκάφη πύραυλοι δεν χρησιμοποιούνται. Υπάρχουν βέβαια και τα πολεμικά αεροσκάφη τα οποία απογειώνονται υποβοηθούμενα από πυραύλους. Τα SpaceShipOne αλλά και το XCOR EZ-Rocket, είναι δύο πρόσφατα αεροσκάφη πύραυλοι. (Pelt, 2012)



Εικόνα 10. Το SpaceShipOne (Πηγή: Wikipedia)

### ➤ Κινητήρες ramjet και scramjet

Ο κινητήρας ramjet (ράμτζετ) είναι ένας αεριωθούμενος κινητήρας, ο οποίος δεν περιέχει κύρια κινούμενα τμήματα και μπορεί να είναι χρήσιμος σε συγκεκριμένες εφαρμογές που απαιτούν μικρό και απλό κινητήρα για χρήση υπό υψηλές ταχύτητες, όπως όταν έχουν βλήματα. Τα ράμτζετ χρειάζονται εμπρόσθια κίνηση προτού δημιουργήσουν ώθηση και πολλές φορές χρησιμοποιούνται σε συνάρτηση με άλλες μορφές προώθησης, ή με εξωτερικά μέσα για την επίτευξη της απαιτούμενης ταχύτητας. Το ράμτζετ χρησιμοποιεί την μπροστινή κίνηση του οχήματος για να αγκάσει τον αέρα να περάσει από τον κινητήρα χωρίς να καταφεύγει σε στρόβιλους ή ανεμοδείκτες. Το καύσιμο προστίθεται, αναφλέγεται και στη συνέχεια θερμαίνει και διαστέλει τον αέρα για να παραχθεί η ώθηση.

Το scramjet (σκραμτζετ) είναι ένα υπερηχητικό ράμτζετ, που εκτός από τις διαφορές που έχουν να κάνουν με τη λειτουργία της εσωτερικής υπερηχητικής ροής αέρα, λειτουργεί όπως και ένα συμβατικό. Ο τύπος του κινητήρα αυτού, απαιτεί αρκετά μεγάλη αρχική ταχύτητα ώστε να λειτουργήσει. Ένα παράδειγμα χρήσης τέτοιου κινητήρα είναι το NASA X-43. Είναι ένα πειραματικό μη επανδρωμένο σκραμτζετ, το οποίο έθεσε το παγκόσμιο ρεκόρ για αεριωθούμενο αεροσκάφος με ταχύτητα 9,7 Μαχ, περίπου στα 12.100 χλμ/ώρα το 2004 .



Εικόνα 11. Κινητήρας scramjet (Πηγή: britannica)

## 1.5.2. Κύριο σώμα

Τα δομικά μέρη ενός αεροσκάφους με σταθερές πτερύγες ονομάζεται κύριο σώμα. Τα μέρη του κάθε αεροσκάφους μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του και τον σκοπό κατασκευής του. Οι αρχικοί τύποι αεροπλάνων φτιάχνονταν συνήθως από ξύλο και υφασμάτινες επιφάνειες φτερών. Όταν όμως τον 20ο αιώνα άρχισαν να χρησιμοποιούνται κινητήρες στις μηχανοκίνητες πτήσεις, οι βάσεις τους ξεκίνησαν να φτιάχνονται από μέταλλο. Από τη στιγμή που οι ταχύτητες αυξανόταν όλο και περισσότερα τμήματα κατασκευάζονταν από μέταλλο, ενώ με το πέρασμα του

΄Β Παγκοσμίου Πολέμου, η πλειοψηφία των αεροσκαφών αποτελούνταν από μεταλλικά. Στη εποχή που ζούμε, η χρήση σύνθετων υλικών αυξάνεται όλο και πιο πολύ.

### 1.5.3. Πτέρυγες

Οι πτέρυγες ενός αεροσκάφους σταθερών πτερύγων είναι σταθερά επίπεδα τα οποία προεξέχουν και από τις δύο πλευρές του αεροσκάφους. Όταν το αεροσκάφος κινείται προς τα μπροστά, ο αέρας περνάει πάνω από τις πτέρυγες οι οποίες είναι σχεδιασμένες ώστε να παράγουν άνοση. Ο σχεδιασμός αυτός ονομάζεται αεροτομή και μοιάζει πολύ με τα φτερά των πουλιών.

#### ➤ Δομή των πτερύγων

Τα αεροσκάφη έχουν ευέλικτες επιφάνειες πτερύγων οι οποίες εκτείνονται σε ένα πλαίσιο και γίνονται άκαμπτες καθώς πάνω τους ασκούνται δυνάμεις άνοσης από την ροή του αέρα που ρέει πάνω από αυτές. Τα μεγαλύτερα αεροπλάνα έχουν άκαμπτες επιφάνειες πτερύγων οι οποίες παρέχουν επιπλέον δύναμη.

Είτε είναι ευέλικτες είτε είναι άκαμπτες, οι περισσότερες πτέρυγες έχουν ένα δυνατό πλαίσιο το οποίο διαμορφώνει το σχήμα τους και το οποίο μεταφέρει την άνοση από την επιφάνεια των πτερύγων προς το υπόλοιπο αεροσκάφος. Τα βασικά δομικά στοιχεία είναι ένας ή και περισσότεροι δοκοί που επεκτείνονται από τη μία έως την άλλη άκρη. Ακόμη, είναι και πολλές ραβδώσεις που επεκτείνονται από το κορυφαίο, δηλαδή το μπροστινό μέρος, προς το καταληκτικό δηλαδή το οπίσθιο σημείο.

Οι αρχικοί κινητήρες των αεροπλάνων είχαν μικρή ισχύ, και το μικρό τους βάρος ήταν πολύ σημαντικό. Ακόμη, οι πρώτες αεροτομές ήταν πολύ λεπτές, και δεν μπορούσαν να έχουν ένα ισχυρό πλαίσιο στην επιφάνεια τους. Οι περισσότερες πτέρυγες, τουλάχιστον μέχρι τη δεκαετία του 1930, ήταν πολύ ελαφρές και δεν διέθεταν αρκετή δύναμη. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο προστέθηκαν εξωτερικοί δοκοί αντιστήριξης και καλώδια. Έτσι όταν αυξήθηκε η ισχύ των κινητήρων κατά τις δεκαετίες 1920 και 1930, οι πτέρυγες είχαν την ικανότητα να γίνουν βαρύτερες και αρκετά δυνατώτερες, ενώ πλέον η στήριξη δεν χρειαζόταν. Ο τύπος αυτός των πτερύγων χωρίς στήριξη ονομάζεται διάταξη πτέρυγας υποστηρίγματος.

#### ➤ Διάταξη των πτερύγων

Το σχήμα και το σύνολο των πτερύγων διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το είδος του αεροπλάνου. Τα επίπεδα των πτερύγων μπορεί να είναι πλήρους ανοίγματος ή και διαχωρισμένα από την κεντρική άτρακτο σε αριστερή και δεξιά πτέρυγα. Σε κάποιες περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί και περισσότερες πτέρυγες, όπως στο τριπλό με τις τρεις πτέρυγες, το οποίο χρησιμοποιήθηκε αρκετά στον ΄Β Παγκόσμιο Πόλεμο. Άλλα τέτοια αεροπλάνα ήταν το τέτρα-πύργο τετραπλό, αλλά και άλλα σχέδια πολυπλάνων, τα οποία όμως είχαν μικρή επιτυχία.

Κάποια από τα είδη είναι, το μονοπλόνο έχει μια απλή επιφάνεια πτέρυγας, το διπλόνο το οποίο διαθέτει δύο πτέρυγες την μια πάνω στην άλλη και το αεροπλόνο παράλληλης πτέρυγας που έχει δύο πτέρυγες τοποθετημένες τη μια πίσω από την άλλη. Τις δεκαετίες του 1920 και του 1930 όπου και η διαθέσιμη ισχύς του κινητήρα αυξήθηκε και πλέον δεν χρειαζόταν στήριξη, το αστήρικτο μονοπλόνο έγινε ο πιο συνήθης τύπος μηχανοκίνητου αεροπλάνου.

Κοιτώντας μια πτέρυγα από πάνω ανακαλύπτουμε την κάτοψή της. Παρατηρώντας την θα πρέπει να διακρίνουμε τη μια πλευρά να είναι ευθεία με μακρά έκταση καθ' όλη της την έκταση

αλλά να έχει και μικρή χορδή. Λέγοντας μικρή χορδή εννοείται η υψηλή αναλογία ή αλλιώς λόγο επιμήκους. Προφανώς και η πτέρυγα αυτή θα πρέπει να είναι δομικά αποτελεσματική. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο η πτέρυγα θα πρέπει να είναι ελαφριά σε βάρος, καθώς και να διαθέτει μικρή διάμετρο αρκετή για να παρέχει την απαιτούμενη άνωση.

Φτάνουμε έτσι σε κάποια διαφορετικά είδη πτερυγών. Την πτέρυγα σάρωσης, την πτέρυγα δέλτα και την μεταβλητή γεωμετρική πτέρυγα. Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε μισ ευθεία πτέρυγα, της οποίας η κίνηση είναι μπροστά και πίσω. Η κίνηση αυτή, βοηθά στις διηχητικές ταχύτητες και έτσι μειώνει την αντίσταση από τα υπερηχητικά ωστικά κύματα όσο αυτά δημιουργούνται. Στη συνέχεια, έχουμε την πολλαπλών χρήσεων πτέρυγα δέλτα. Μαρτυρώντας το από το όνομα, το σχήμα της πτέρυγας αυτής είναι τριγωνικό. Μπορεί εύστοχα να παρομοιαστεί με μια πτέρυγα Rogallo, δηλαδή σταθερό σχήμα στις αεροδυναμικές δυνάμεις και ταυτόχρονα πολύ ελαφρύ. Συχνά χρησιμοποιείται σε γρήγορα και υπερηχητικά αεριοθούμενα καθώς συνδυάζει υψηλή δύναμη και χαμηλή αντίσταση. Τέλος, βλέπουμε την μεταβλητή γεωμετρική πτέρυγα. Μια πτέρυγα που μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια μιας πτήσης από ένα σχήμα σε ένα άλλο. Η αλλαγή αυτή γίνεται σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση οι πτέρυγες μεταβάλλονται από μια αποτελεσματική ευθεία διάταξη, καθώς το αεροσκάφος απογειώνεται, σε μια διάταξη σάρωσης χαμηλής αντίστασης, καθώς αυτό πετά με υψηλές ταχύτητες. Στην δεύτερη περίπτωση, οι πτέρυγες επιστρέφουν στην αρχική τους ευθεία διάταξη κατά τη διάρκεια της προσγείωσης.

#### 1.5.4. Άτρακτος

Άτρακτος ονομάζεται το μακρύ, λεπτό σώμα, συνήθως με κωνικές ή στρογγυλεμένες άκρες που καθιστούν το σχήμα του αεροδυναμικό. Η άτρακτος, στις περισσότερες των περιπτώσεων, εκτός και αν μιλάμε για κάποιο αεροπλάνο μικρού μεγέθους, περιλαμβάνει το πλήρωμα της πτήσης, επιβάτες, αλλά και εμπορεύματα. Στα επανδρωμένα αεροσκάφη, οι κυβερνήτες τα χειρίζονται από το πιλοτήριο το οποίο βρίσκεται στην κορυφή, στην περίπτωση των μικρών αεροπλάνων, ή στο εμπρόσθιο τμήμα της ατράκτου, στην περίπτωση των μεγαλύτερων αεροπλάνων και είναι εξοπλισμένο με πλήκτρα και συνήθως παράθυρα και όργανα. Υπάρχουν βέβαια και οι περιπτώσεις που ένα αεροπλάνο μπορεί και διαθέτει περισσότερες από μια ατράκτους, ή σε άλλες μπορεί και διαθέτει αλυσίδες που τοποθετούν την ουρά ψηλότερα και έτσι επιτρέπουν στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς.

#### 1.5.5. Ουραίο πτερύγιο και πρόσθια πτερύγια

Κατά τη διάρκεια της πτήσης, η πτέρυγα τύπου αεροτομής είναι ασταθής και ο έλεγχός της είναι αρκετά δύσκολος. Στους ευέλικτους τύπους πτερυγών, για να διατηρηθεί σε σωστή στάση, βλέπουμε τη στήριξη τους σε μια γραμμή αγκύρωσης, ή σε άλλες περιπτώσεις στο βάρος του πιλότου ο οποίος κρέμεται από κάτω.

Κάποιοι τύποι ελεύθερης πτήσης χρησιμοποιούν μια σταθερή αεροτομή, ή άλλους έξυπνους μηχανισμούς. Ένας από αυτούς τους μηχανισμούς, ο οποίος επίσης χρησιμοποιείται και την σήμερα, είναι η ηλεκτρονική τεχνητή σταθερότητα.

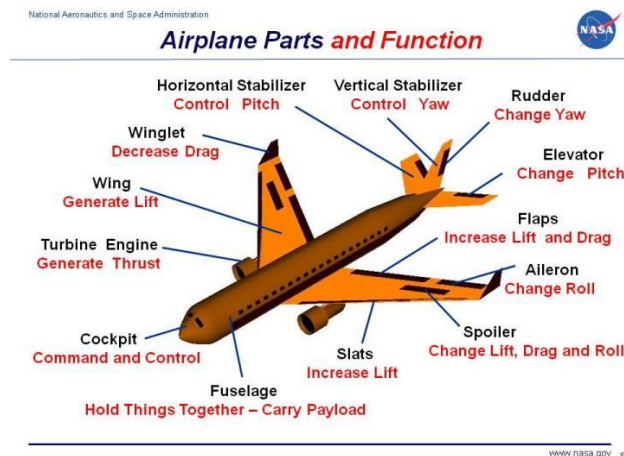
Όμως για να επιτευχθεί το τελείωμα, η σταθερότητα και ο έλεγχος, η πλειοψηφία των αεροσκαφών με σταθερές πτέρυγες, έχουν ένα ουραίο πτερύγιο, το οποίο αποτελείται από ένα πτερύγιο και ένα ηνδάλιο, τα οποία λειτουργούν οριζοντίως και ένα ουραίο πτερύγιο με έναν ελκυστήρα που λειτουργούν καθέτως. Η διάταξη αυτή, είναι τόσο συνηθισμένη που θεωρείται η

πλέον συμβατική διάταξη. Σε κάποιες από τις περιπτώσεις υπάρχουν δύο ή και περισσότερα πτερύγια, τα οποία κατανέμονται κατά μήκος του ουραίου πτερυγίου.

### 1.5.6. Διακόπτες και όργανα

Πλέον τα αεροπλάνα διαθέτουν περίπλοκα συστήματα ελέγχου πτήσης. Οι κύριοι διακόπτες τους, επιτρέπουν στους κυβερνήτες να διευθύνουν το αεροσκάφος την ώρα που αυτό βρίσκεται στον αέρα, με τον έλεγχο της θέσης του αεροσκάφους και την διαχείριση των κινητήρων.

Αντίστοιχη είναι η χρήση τους και στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, όπου τα όργανα του πιλοτηρίου δίνουν πληροφορίες στους κυβερνήτες. Για παράδειγμα, δεδομένα πτήσης, δεδομένα αναφορικά με την ισχύ του κινητήρα, δεδομένα πλοήγησης και δεδομένα επικοινωνίας. Στο μέλλον είναι πολύ πιθανό στα ήδη υπάρχοντα όργανα τεχνολογίες να προστεθούν και άλλα πιο προηγμένα συστήματα.



Εικόνα 12. Μέρη αεροπλάνου (Πηγή: Nasa)

## 1.6. Αεροναυπηγική και αεροδυναμική

### 1.6.1. Αεροναυπηγική

Η αεροναυπηγική μηχανική είναι ο κλάδος της μηχανολογίας που έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη, τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη δοκιμή και τη λειτουργία των ιπτάμενων οχημάτων. Το 1960 ο όρος διευρύνθηκε για να περιλαμβάνει και οχήματα που κινούνται στο διάστημα. (Benedetti, 2003)

Η αεροδυναμική αποτελεί ένα από τα βασικά κομμάτια της Αεροναυπηγικής, καθώς μελετά την κίνηση του αέρα και τους τρόπους που αυτός αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα που βρίσκονται σε κίνηση. Π.χ. τα αεροσκάφη.

Οι βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται η Αεροναυπηγική είναι βασικές για τη λειτουργία όλων των αεροπλάνων. Προωθητικά συστήματα με μεγάλη θερμοδυναμική και προωθητική απόδοση, δομές ελάχιστου βάρους και μέγιστης ανθεκτικότητας, εξωτερικά σχήματα ευσταθή κατά την πτήση και με τη μέγιστη αεροδυναμική αποδοτικότητα, συστήματα ελέγχου και κατευθύνσεως μεγάλης ακρίβειας παρέχουν τη δυνατότητα στα αεροσκάφη να επιτυγχάνουν τις προβλεπόμενες επιδόσεις.

Στην Ελλάδα ο Σύλλογος Ελλήνων Αεροναυπηγών ιδρύθηκε το 1975.

### 1.6.2. Βασικές έννοιες αεροδυναμικής και δυνάμεις στο αεροσκάφος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η αεροδυναμική αποτελεί ένα από τα πεδία της μηχανικής και πιο συγκεκριμένα των ρευστών και ασχολείται με την αλληλεπίδραση του αέρα κυρίως, με ένα κινούμενο σώμα. Στην προκειμένη περίπτωση μελετάμε το αεροπλάνο το οποίο εκμεταλλεύεται τη σχετική του κίνηση με την ατμόσφαιρα για να πετάξει.

Η τομή μιας πτέρυγας από επίπεδο παράλληλο του επιπέδου συμμετρίας του αεροσκάφους, ονομάζεται αεροτομή (airfoil) πτέρυγας. Αν εξεταστεί δισδιάστατα, η αεροτομή ορίζεται ως το γεωμετρικό σχήμα το οποίο όταν εκτίθεται σε ρεύμα αέρα, αναπτύσσει ανωστικές δυνάμεις, λόγω της ανισορροπίας στην κατανομή της πίεσης μεταξύ της πάνω και κάτω πλευράς του. Η χρησιμότητα αυτής της ιδιότητας καθιστά την αεροτομή ως το καθοριστικό εργαλείο σε πολλές εφαρμογές στη σύγχρονη βιομηχανία και την καθημερινή μας ζωή. Από τις πτέρυγες των αεροσκαφών και τις κλίμακες των συμπιεστών μέχρι τον εξαιρεισμό κτιρίων και την άρδευση, η αεροτομή αποτελεί αναντικατάστατο κομμάτι στις περισσότερες των περιπτώσεων. Μία απλή περιγραφή του τρόπου λειτουργίας, μπορεί να είναι η ακόλουθη. Η κυρτότητα της αεροτομής, εξαναγκάζει τη ροή να αποκτήσει μεγαλύτερη ταχύτητα στη μία πλευρά σε σχέση με την άλλη, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ενέργεια του ρευστού, καθώς έχει μεγαλύτερη απόσταση να διανύσει στην πλευρά αυτή. Αυτό το φαινόμενο αυτό περιγράφεται από την εξίσωση του Bernoulli:

$$E = \frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} + U + gz$$

Όπου: □

➤ E: ολική ενέργεια □

➤ V: ταχύτητα ροής □



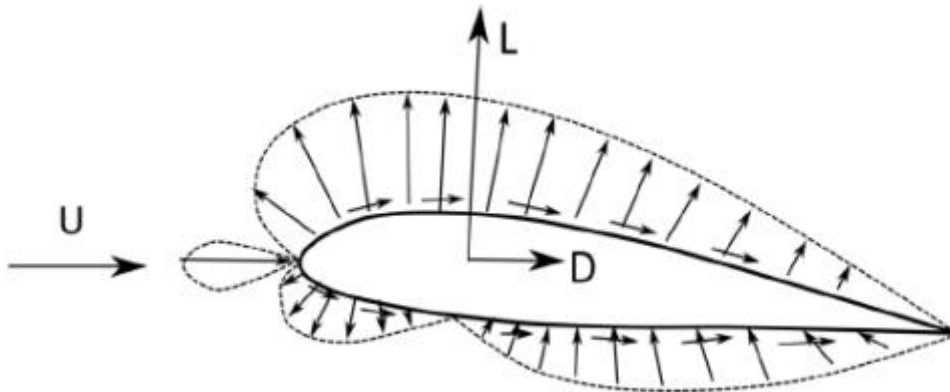
- $p$ : στατική πίεση □
- $\rho$ : πυκνότητα
- $U$ : εσωτερική ενέργεια □
- $g$ : επιτάχυνση βαρύτητας □
- $z$ : υψομετρική διαφορά ή στάθμη

Στην περίπτωση των αερίων και ειδικότερα στις συνθήκες πτήσης ενός αεροπλάνου, παραβλέπεται η επίδραση της βαρύτητας και η εσωτερική ενέργεια.

Πολλαπλασιάζοντας με την πυκνότητα, προκύπτει η έκφραση της ολικής πίεσης, ως το άθροισμα δυναμικής ( $Q$ ) και στατικής ( $p$ ) πίεσης:

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

Άρα, η διαφορά ταχύτητας μεταξύ της άνω και της κάτω επιφάνειας προκαλεί ανισορροπία της πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών, η οποία δημιουργεί τη δύναμη της άνωσης. Προφανώς όμως, στην περίπτωση που η αεροτομή είναι ένα στερεό σώμα που αλληλεπιδρά με ένα ρεύμα συνεκτικού ρευστού, είναι αναμενόμενη η ύπαρξη μίας δύναμης αντίστασης η οποία ονομάζεται οπισθέλκουσα. Οι δυνάμεις αυτές φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:

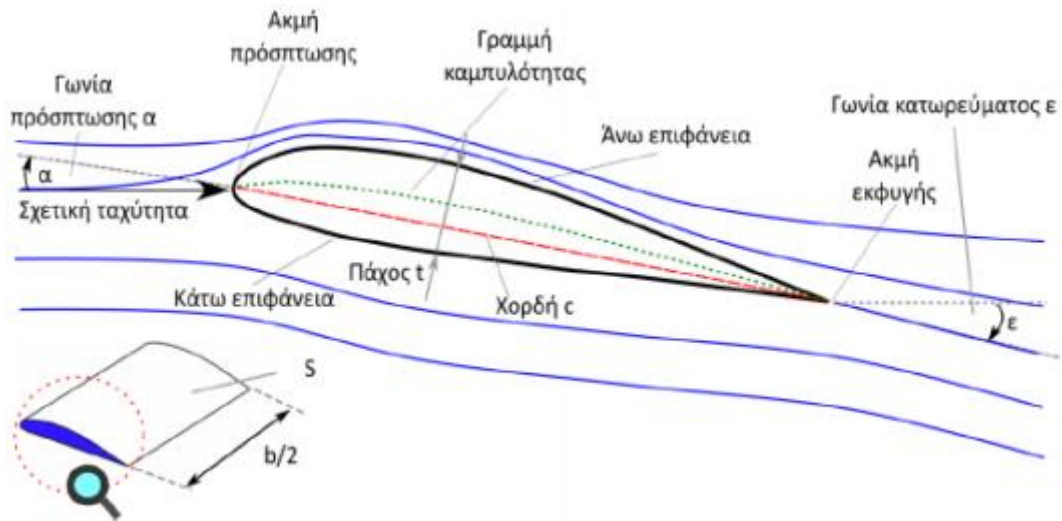


Εικόνα 13. Δυνάμεις και κατανομή πίεσης σε αεροτομή τοποθετημένη σε ρεύμα αέρα (Πηγή: Αντωνιάδης, 2015)

Όπου: □

- $L$  (Lift): δύναμη άνωσης ή άντωση □
- $D$  (Drag): δύναμη αντίστασης ή οπισθέλκουσα □
- $M$  (Moment): ροπή □
- $U$ : ταχύτητα ροής.

Η δύναμη της οπισθέλκουσας έχει την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα της ροής, ενώ η άνωση είναι κάθετη της οπισθέλκουσας.



Εικόνα 14. Γεωμετρικά μεγέθη ανάλυσης των αεροτομών (Πηγή: Αντωνιάδης, 2015)

Ορολογία γεωμετρικών μεγεθών των αεροτομών: □

- **ακμή προσβολής ή πρόσπτωσης:** το σημείο που έχει τη μεγαλύτερη καμπυλότητα στο μπροστινό μέρος της αεροτομής, □
- **ακμή εκφυγής:** το σημείο που έχει τη μεγαλύτερη καμπυλότητα στο πίσω μέρος της αεροτομής, □
- **χορδή (c):** η ευθεία που ενώνει τις ακμές προσβολής και εκφυγής □
- **μέση γραμμή ή γραμμή καμπυλότητας:** ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ισαπέχουν από την πάνω και την κάτω επιφάνεια της αεροτομής, □
- **πάχος (t):** η κατανομή του διαφέρει κατά μήκος της χορδής. Μετράται με δύο τρόπους, είτε κάθετα στη μέση γραμμή, είτε κάθετα στη χορδή, □
- **άνω επιφάνεια ή επιφάνεια αναρρόφησης:** γενικά η μέση ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από εκείνη της ροής, ενώ η στατική πίεση είναι μικρότερη της □
- **κάτω επιφάνεια ή επιφάνεια πίεσης:** γενικά η μέση ταχύτητα είναι μικρότερη από εκείνη της ροής, ενώ η στατική πίεση είναι μεγαλύτερη της
- **γωνία πρόσπτωσης α:** η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα της ταχύτητας της ροής με τη χορδή □
- **S:** η πτερυγική επιφάνεια □
- **b:** το εκπέτασμα
- **η γωνία κάτω ρεύματος (ε):** η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης της ελεύθερης ροής και της διεύθυνσης της ροής στην ακμή εκφυγής. (Αντωνιάδης, 2015)



Οι δυνάμεις  $L$  και  $D$ , δηλαδή οι δυνάμεις άντωσης και οπισθέλκουσας υπολογίζονται από τους ακόλουθους τύπους:

$$L = \frac{1}{2} \rho V_{ολ}^2 S C_L$$

και

$$D = \frac{1}{2} \rho V_{ολ}^2 S C_D$$

Όπου:

- $C_L$  ο συντελεστής άντωσης
- $C_D$  ο συντελεστής οπισθέλκουσας

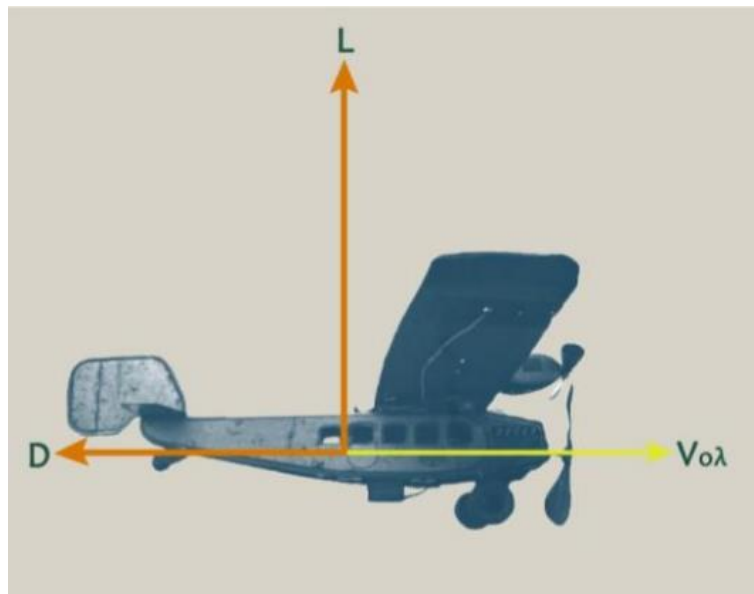
Η συνισταμένη των δύο αυτών δυνάμεων, δηλαδή η συνισταμένη αεροδυναμική δύναμη, που επιφέρει μια ροπή πρόνευσης, δίνεται από τον εξής τύπο:

$$M = \frac{1}{2} \rho V_{ολ}^2 S \bar{c} C_m$$

όπου:

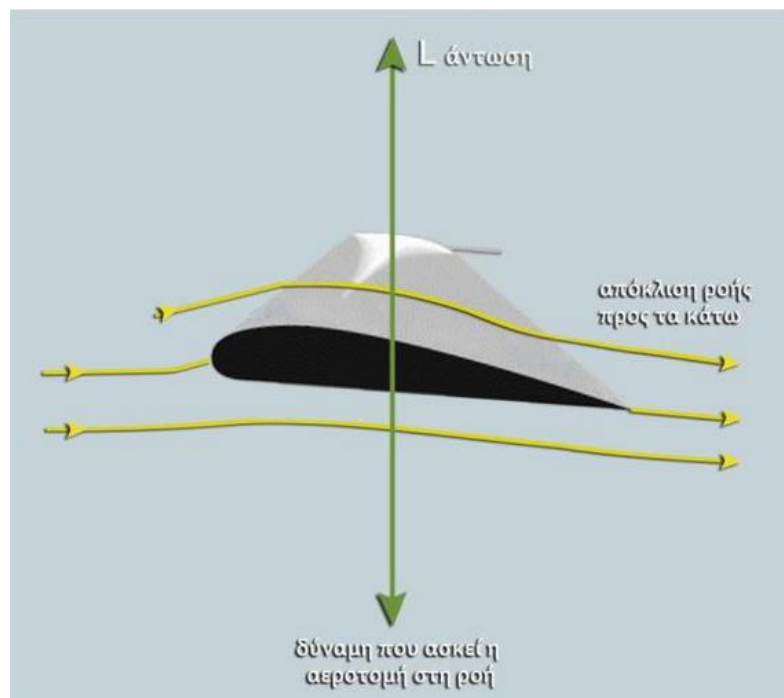
$\bar{c}$  είναι η μέση χορδή της πτέρυγας

$C_m$  είναι ο συντελεστής ροπής πρόνευσης



Εικόνα 15. Αεροδυναμικές δυνάμεις (Πηγή: Βασίλης Σπαθόπουλος, 2015)

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθούν κάποια στοιχεία για τη δημιουργία της άντωσης ή αλλιώς δύναμης άνωσης και της οπισθέλκουσας, αφού ιδιαίτερα για την άντωση, οι εξηγήσεις που παρουσιάζονται είναι συχνά λανθασμένες. Η δημιουργία της άντωσης μπορεί να εξηγηθεί σωστά και απλά με τους νόμους του Νεύτωνα, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Τη στιγμή που ο αέρας βρίσκεται στην αεροτομή, η ροή του ακολουθεί το σχήμα της αεροτομής, η οποία ουσιαστικά την ωθεί προς τα κάτω. Το λεγόμενο και κατώρευμα. Η μεταβολή της διεύθυνσης του ανέμου, άρα και της ορμής, του εμφανίζεται αν η αεροτομή έχει καμπυλότητα ή εάν έχει κάποια γωνία προσβολής. Δηλαδή κλίση ως προς τον άνεμο. Αφού αλλάζει η ορμή του αέρα εξαιτίας της αεροτομής, σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, θα πρέπει η αεροτομή να ασκεί στον αέρα κάποια δύναμη. Από την άλλη, ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα, της δράσης - αντίδρασης, μας δείχνει ότι ο αέρας θα πρέπει να ασκεί μια δύναμη αντίδρασης στην αεροτομή. Πιο συνοπτικά, λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι αιτία της δημιουργίας της άντωσης είναι η εξής: η ροή του αέρα αλλάζει πορεία εξαιτίας της αεροτομής, έτσι ο αέρας αντιδρά ασκώντας μια δύναμη στην αεροτομή.



Εικόνα 16. Δημιουργία της άντωσης (Πηγή: Βασίλης Σπαθόπουλος, 2015)

Από την άλλη, η δημιουργία της οπισθέλκουσας, δεν οφείλεται μόνο σε έναν φυσικό μηχανισμό. Ανάλογα με την αιτία που την προκαλεί, η οπισθέλκουσα χωρίζεται σε διαφορετικά είδη. Επιγραμματικά, μπορούμε να πούμε τα εξής. Αρχικά, έχουμε την επαγωγική και την οπισθέλκουσα μηδενικής άντωσης ή και παράσιτη οπισθέλκουσα, ανάλογα με το αν εκείνη εξαρτάται ή όχι από την άντωση. Η οπισθέλκουσα μηδενικής άντωσης μπορεί να είναι οπισθέλκουσα τριβής ή οπισθέλκουσα πίεσης. Η πρώτη οφείλεται στην τριβή που προκαλείται μεταξύ της αεροτομής και του αέρα, ενώ η δεύτερη στη διαφορά πίεσης που προκαλείται από την παρουσία του αντικειμένου στη ροή. Τέλος, σε υπερηχητικές ταχύτητες η παρουσία κρουστικών κυμάτων δημιουργεί μια νέα μορφή οπισθέλκουσας. Η νέα αυτή μορφή ονομάζεται οπισθέλκουσα κύματος.

## 2. Μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων CAD-CAM-CAE

Η γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και της ηλεκτρονικής οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνικών σχεδίασης και παραγωγής προϊόντων. Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός σε διεθνές επίπεδο, μαζί με την μειωμένη διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού ανάγκασε τις βιομηχανίες να υιοθετήσουν πιο σύγχρονες τεχνολογίες κάνοντας στην την παραδοσιακή προσέγγιση της παραγωγής των προϊόντων. Αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης προσέγγισης παραγωγής προϊόντων αποτελούν τα συστήματα CAD/CAM.

Ως σχεδιομελέτη και παραγωγή με χρήση υπολογιστή ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος και ειδικότερα στην δημιουργία, στη μεταβολή, στην ανάλυση, στη βελτιστοποίηση της μορφής και στον προγραμματισμό των παραγωγικών διαδικασιών του προϊόντος. Βασίζεται κυρίως στην τεχνολογία των γραφικών, των βάσεων δεδομένων, της μαθηματικής μοντελοποίησης, της προσομοίωσης και του ελέγχου των δεδομένων, και αποσκοπεί στην δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος, που περιγράφει όλο τον κύκλο ανάπτυξης και της εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά. Ο θεμέλιος παράγοντας στην διαδικασία αυτή, της σχεδιομελέτης, είναι η δημιουργία του γραφικού μοντέλου του προϊόντος, με τα συστήματα μοντελοποίησης με υπολογιστή (Computer Aided Design- CAD), που στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά εφαρμογών.

Εφαρμογές όπως:

- **Παρουσίαση του προϊόντος στον πελάτη με χρήση τεχνικών φωτορεαλισμού.** Στο ψηφιακό προϊόν μπορεί να αποδοσθεί η υφή και το χρώμα σε επιφάνειες, μπορούν να προσομοιωθούν σε υπολογιστή οι συνθήκες λειτουργίας και φωτισμού του και τέλος να ολοκληρωθεί αφού τοποθετηθεί στον τελικό χώρο λειτουργίας του με χρήση εικόνων ή άλλων αντικειμένων από το φυσικό ή το τεχνητό περιβάλλον.
- **Προγραμματισμό των παραγωγικών διαδικασιών,** κυρίως σε μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης (Computer Numerical Control - CNC), με χρήση των συστημάτων σχεδιασμού παραγωγής με χρήση υπολογιστή – Computer Aided Manufacture – CAM). Τα συστήματα CAM μπορούν να κάνουν προσομοίωση της κίνησης του κοπτικού εργαλείου της μιας εργαλειομηχανής και να ελέγξουν την μορφή του μοντέλου καθώς και την ακρίβεια της επεξεργασίας πριν από την πραγματική εκτέλεση των εργασιών στην εργαλειομηχανή.
- **Ανάλυση και βελτιστοποίηση μορφής και λειτουργίας** με χρήση των συστημάτων μοντελοποίησης και ανάλυσης με περιορισμένα στοιχεία (Computer Aided Engineering CAE, Finite Elements Method - FEM) για μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών, όπως ο έλεγχος αντοχής, η συμπεριφορά σε ροή, η κατεργασιμότητα, κλπ. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται οθόνη σε γραφικό περιβάλλον, για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και βελτιστοποίηση της μορφής ή των λειτουργικών χαρακτηριστικών του προϊόντος ,ή της διαδικασίας παραγωγής του.
- **Ταχεία παραγωγή πρωτοτύπου και παραγωγή του προϊόντος** (Rapid Prototyping and Manufacturing). Παραγωγή πρωτοποριακών ή τελικών προϊόντων άμεσα από τρισδιάστατο μοντέλο CAD, με τη χρήση ειδικών μηχανών και σε μικρή ποσότητα παραγωγής, με σκοπό την παρουσίαση ή την δοκιμή του πρωτότυπου, ή την παραγωγή μικρών ποσοτήτων παραγωγής.

- **Ανάλυση της λειτουργικότητας του πρωτοτύπου με την χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας** (εικονικό ή πλασματικό πρωτότυπο – Virtual Prototype), με κύριο στόχο την μείωση ή ακόμα και εξάλειψη του αριθμού των απαιτούμενων φυσικών πρωτοτύπων καθώς και για την αξιολόγηση των τεχνικών λύσεων σε πρώιμο στάδιο. Η ανάλυση αυτή μπορεί να συνδυαστεί με άλλα συστήματα ανάλυσης και συστήματα φωτορεαλισμού για την προσομοίωση και αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του πρωτοτύπου.
- **Επικοινωνία μεταξύ συνεργαζόμενων ομάδων σε τοπικό ή απομακρυσμένο δίκτυο.** Η ανάπτυξη του προϊόντος είναι απόρροια της συλλογικής δράσης ομάδων εργασίας που μπορεί να μην βρίσκονται στον ίδιο χώρο εργασίας. Οι εφαρμογές αυτές βοηθούν στην καλύτερη επικοινωνία της ομάδας και προσφέρουν ανταλλαγή δεδομένων για την μεταφορά των μοντέλων, ανταλλαγή εικόνων, μεταφορά αποτελεσμάτων και απομακρυσμένη χρήση ειδικών προγραμμάτων, μεταξύ διαφορετικών χρηστών, ομάδων ακόμα και διαφορετικών συστημάτων.
- **Ανάλυση της μεθόδου παραγωγής, με την χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας,** όπου μπορεί να γίνει προσομοίωση όλης της γραμμής παραγωγής ή της γραμμής συναρμολόγησης, για την αξιολόγηση της μεθόδου παραγωγής ή της δυνατότητας συναρμολόγησης σε αρχικό στάδιο πριν από κάθε παραγγελία οδηγών, σφικτήρων, ιδιοσκευών ή εργαλείων και άλλων αυτοματοποιημένων συστημάτων. Πρωταρχικός σκοπός της χρήσης όλων αυτών των συστημάτων σχεδιομελέτης και παραγωγής με υπολογιστή είναι η ανάπτυξη των προϊόντων από την αρχή, στον μικρότερο δυνατό χρόνο ανάπτυξης και το βέλτιστο αποτέλεσμα. Η χρήση τους, μαζί με τις συγγενείς προς αυτά τεχνολογίες και μεθοδολογίες για την ανάπτυξη του προϊόντος, μπορεί να εξαλείψει τον αριθμό των σφαλμάτων και των ανεπιθύμητων διορθώσεων και επαναλήψεων καθ'όλη την διαδικασία της ανάπτυξης, να βελτιστοποιήσει τον έλεγχο του προϊόντος σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης, πριν από την ένταξή του στην αγορά και την χρήση του από τον πελάτη, συνδυάζοντας έτσι, μείωση κόστους και χρόνου ανάπτυξης. Αποτελούν ίσως την πιο αξιοσημείωτη και ουσιαστική τεχνολογία για την ανάπτυξη κάθε προϊόντος. (Μπιλάλης Νικόλαος, 2009)

## 2.1 Η μελέτη παραγωγή και ανάπτυξη προϊόντων με χρήση υπολογιστή

Η ανάπτυξη ενός προϊόντος είναι μια σύνθετη διαδικασία που ακόμα και για σχετικά απλά προϊόντα διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα και τις πιο πολλές φορές εκτελείται από μία πολυάριθμη ομάδα ανάπτυξης, ώστε να φτιαχθεί το σωστό προϊόν πριν από την ένταξή του στην αγορά. Στην ανάπτυξη ενός προϊόντος χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία λογισμικού, πολλά από τα οποία αποτελούν και προϊόν ίδιας ανάπτυξης από τις εταιρείες που αναπτύσσουν τα προϊόντα. Σε μεγάλα έργα αναφέρονται περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερα από εκατό εργαλεία λογισμικού. Η τεχνολογία του CAD/CAM ξεκίνησε άλλωστε και αυτή από την ίδια την ανάπτυξη των εταιρειών και στην συνέχεια δημιουργήθηκαν εξειδικευμένες εταιρείες παροχής των συστημάτων. Τα στάδια ανάπτυξης ενός προϊόντος διακρίνονται σε 4 κύριες φάσεις, στον προσδιορισμό, την σχεδιομελέτη, το πρωτότυπο και την παραγωγή του προϊόντος. Τα τέσσερα αυτά στάδια συνδέονται και δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Υπάρχει δηλαδή επικάλυψη και συνεχής ανταλλαγή πληροφορησης, τόσο προς τα επόμενα στάδια, όσο και από αυτά προς τα προηγούμενα στάδια μετά την ολοκλήρωσή τους. Αποφάσεις και επιλογές που παίρνονται στα πρώτα στάδια έχουν επιπτώσεις στις εργασίες των επόμενων σταδίων, και συχνά από την εκτέλεση των τελευταίων σε σειρά εργασιών πρέπει να αλλάξουν οι αποφάσεις και οι επιλογές που πάρθηκαν στο ξεκίνημα, όπως τα υλικά, η ακρίβεια, οι ανοχές, κλπ. Όσο προχωράει η διαδικασία της ανάπτυξης, τόσο παραπάνω είναι και το τεχνικό έργο που χρειάζεται και τόσο πιο έντονη είναι η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων σχεδιομελέτης με υπολογιστή.

Η εφαρμογή των συστημάτων CAD σε όλη την διαδικασία της ανάπτυξης του προϊόντος γίνεται ως εξής:

- Η μορφή του προϊόντος είναι αποτέλεσμα του στάδιου της σύλληψης του προϊόντος με την βοήθεια συστήματος Computer Aided Industrial Design ή με αντιγραφή του πρωτότυπου (reverse engineering).
- Η μορφή μεταφέρεται σε σύστημα μοντελοποίησης CAD, όπου και συμπληρώνεται και ολοκληρώνεται η μορφή του, η συναρμολόγησή του και δημιουργείται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων.
- Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων μεταφέρεται σε σύστημα ανάλυσης Computer Aided Engineering και σε συστήματα ειδικών εφαρμογών.
- Το αρχείο CAD μεταφέρεται στο σύστημα Computer Aided Process Planning για την προετοιμασία του πλάνου επεξεργασίας και στην συνέχεια γίνεται ο προγραμματισμός των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης με τα συστήματα Computer Aided Manufacture.
- Εξετάζεται η συμπεριφορά του προϊόντος σε σχεδόν πραγματικές συνθήκες εργασίας, η δυνατότητα συναρμολόγησής του αλλά και η παραγωγή του προϊόντος αυτού στο σύστημα παραγωγής με τα συστήματα πλασματικού πρωτοτύπου και πλασματικής παραγωγής. (Μπιλάλης Νικόλαος, 2009)

## 2.2 Εργαλεία CAD για τη σχεδίαση και την παραγωγή

Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος εργαλείων CAD που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία της ανάπτυξης και της παραγωγής προϊόντων. Τα εργαλεία αυτά κατατάσσονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες.

- **Εργαλεία σύλληψης του προϊόντος:** βιομηχανικός σχεδιασμός και αντίστροφη σχεδίαση. Ονομάζονται και συστήματα Computer Aided Industrial Design – CAID ή Computer Aided Styling – CAS. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη σχεδίαση, τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση χωρίς να μας ενδιαφέρει η ακρίβεια του δημιουργημένου μοντέλου και χωρίς να υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις για κάθετες εφαρμογές.
- **Εργαλεία για σχεδίαση, μοντελοποίηση με απόδοση της ακριβούς μορφής των αντικειμένων, δημιουργίας συναρμολογήσεων και προσομοίωσης.** Ο κορμός των συστημάτων σχεδιομελέτης αποτελείται από τα εργαλεία αυτά, τα οποία είναι και αυτά που ονομάζονται και συστήματα CAD. Η έμφαση στα συστήματα αυτά είναι η ακρίβεια και η πληρότητα του μοντέλου, γιατί το μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί μετά σε όλες τις κάθετες εφαρμογές.
- **Εργαλεία για ανάλυση συμπεριφοράς σε συνθήκες λειτουργίας.** Είναι τα συστήματα μοντελοποίησης και ανάλυσης με περιορισμένα στοιχεία – (Finite Element Method και Finite Element Analysis). Ονομάζονται αλλιώς και συστήματα ανάλυσης (Computer Aided Engineering - CAE).
- **Εργαλεία για μελέτη και προσομοίωση παραγωγής.** Οι διεργασίες για την παραγωγή του προϊόντος προγραμματίζονται με τα συστήματα σχεδιασμού Διεργασιών με χρήση υπολογιστή (Computer Aided Process Planning - CAPP) και

ο προγραμματισμός των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης με τα συστήματα παραγωγής με χρήση υπολογιστή ( Computer Aided Manufacture - CAM).

- **Εργαλεία για ειδικές εφαρμογές**, που χρησιμεύουν στη μελέτη ανοχών, στην επικοινωνία με άλλα συστήματα σχεδιασμού, σε συστήματα διαχείρισης του κύκλου ζωής, και σε συστήματα συνεργατικής σχεδίασης.
  
- **Εργαλεία δημιουργίας του πλασματικού πρωτότυπου και της πλασματικής παραγωγής** τα οποία συνδυάζουν τα συστήματα σχεδιομελέτης και παραγωγής με τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας. Χρησιμοποιούν ειδικό εξοπλισμό και λογισμικό, και χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το πρωτότυπο ή την παραγωγή και την συναρμολόγηση του προϊόντος. (Μπιλάλης Νικόλαος, 2009)

### 3. Αντίστροφη μηχανική

Η Μηχανική είναι η διαδικασία που περιλαμβάνει το σχεδιασμό, τη συναρμολόγηση, την παραγωγή και τη συντήρηση των προϊόντων και των συστημάτων. Υπάρχουν δύο μορφές μηχανικής, η κλασική μηχανική και η αντίστροφη μηχανική. Η κλασική μηχανική περιλαμβάνει την κλασική διαδικασία κίνησης από κάποια εγκεφαλική σύλληψη κάποιου σχεδίου στην φυσική εφαρμογή του σχεδίου αυτού και τη μορφοποίησή του σε ένα σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις όμως, μπορεί να υπάρχει ήδη ένα αντικείμενο ή κομμάτι ενός συστήματος το τοιχεία όπως μηχανολογικά σχέδια, υλικά από τα οποία αποτελείται, κ.α. Η διαδικασία αυτή, της δημιουργίας ενός πανομοιότυπου αντίγραφου το οποίο θέλουμε να αναπαράγουμε, χωρίς όμως να έχουμε στη διάθεσή μας τεχνικά στοιχεία γι' αυτό. Σνός αντικείμενου, υποσυστήματος ή προϊόντος, χωρίς τη χρήση κάποιου μηχανολογικού σχεδίου, που να αποτυπώνεται το αντικείμενο αυτό, χειρόγραφου ή ψηφιακού, ονομάζεται Αντίστροφη Μηχανική. Ως Αντίστροφη Μηχανική επίσης ορίζεται η διαδικασία της δημιουργίας ενός γεωμετρικού μοντέλου – σχεδίου CAD από σημεία που περιγράφονται στις τρεις διαστάσεις, που προκύπτει από την ψηφιοποίηση ενός υλικού αντικείμενου που υπάρχει.

#### 3.1. Εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής και 3D scanning

Η μηχανική είναι η διαδικασία σχεδιασμού, κατασκευής, συναρμολόγησης και συντήρησης προϊόντων και συστημάτων. Υπάρχουν δύο τύποι μηχανικής, η κλασική μηχανική και η αντίστροφη μηχανική. Η κλασική μηχανική είναι η παραδοσιακή διαδικασία της μετάβασης από κάποια υψηλού επιπέδου σύλληψη και λογικούς σχεδιασμούς, στη φυσική εφαρμογή ενός συστήματος. Η διαδικασία αντιγραφής ενός ήδη υπάρχοντος εξαρτήματος, προϊόντος, χωρίς σχέδια, τεκμηρίωση ή μοντέλο υπολογιστή είναι γνωστή ως αντίστροφη μηχανική. Η αντίστροφη μηχανική ορίζεται επίσης ως η διαδικασία απόκτησης ενός γεωμετρικού μοντέλου CAD από τρισδιάστατα σημεία που αποκτήθηκαν με σάρωση/ψηφιοποίηση υφιστάμενων ανταλλακτικών/προϊόντων. Πέον η αντίστροφη μηχανική χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές, όπως η κατασκευή, ο βιομηχανικός σχεδιασμός και ο σχεδιασμός και η αναπαραγωγή κοσμημάτων. Για παράδειγμα, όταν ένα νέο αυτοκίνητο κυκλοφορεί στην αγορά, ανταγωνίστριες εταιρίες μπορούν να το αγοράσουν και να το αποσυναρμολογήσουν για να μάθουν τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάστηκε και τον τρόπο που λειτουργεί. Σε κάποιους τομείς, όπως το στυλ αυτοκινήτου, οι σχεδιαστές δίνουν σχήμα τις ιδέες τους χρησιμοποιώντας πηλό, γύψο, ξύλο ή αφρώδες καουτσούκ και άλλα υλικά. Όμως για την κατασκευή τους, αυτό που απαιτείται είναι ένα μοντέλο CAD. Όσο τα προϊόντα γίνονται οργανικά στο σχήμα και στη μορφή τους, η αποτύπωση αυτής σε ένα σχέδιο CAD γίνεται περισσότερο πολύπλοκη και δύσκολη και δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι το CAD θα αντιγράψει ακριβώς το μοντέλο. Εδώ η αντίστροφη μηχανική παρέχει μια λύση στο πρόβλημα αυτό, καθώς το φυσικό μοντέλο είναι η πηγή πληροφοριών για το μοντέλο CAD. Αυτό αναφέρεται αλλιώς και ως η διαδικασία: φυσικό προς ψηφιακό (physical-to-digital process). Άλλος ένας λόγος για την χρήση της ανάποδης μηχανικής είναι η συμπίεση του χρόνου του κύκλου ανάπτυξης των προϊόντων. Στην έντονα ανταγωνιστική παγκόσμια αγορά, οι κατασκευαστές αναζητούν συνεχώς νέους τρόπους για να συντομεύσουν τους χρόνους παράδοσης των προϊόντων τους στην αγορά. Ταχεία ανάπτυξη προϊόντος αναφέρεται σε τεχνολογίες και τεχνικές που αναπτύχθηκαν πρόσφατα που βοηθούν τους κατασκευαστές και τους σχεδιαστές να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της σύντομης ανάπτυξης προϊόντων χρόνος. Για παράδειγμα, οι εταιρείες χύτευσης με έγχυση πρέπει να συντομεύσουν το χρόνο δράσης των εργαλείων τους και να μειώσουν χρόνο ανάπτυξης δραστικά. Με τη χρήση αντίστροφης μηχανικής, ένα τρισδιάστατο φυσικό προϊόν ή μια πλήινη μακέτα μπορεί να αποτυπωθεί γρήγορα σε ψηφιακή μορφή, να αναδιαμορφωθεί και γίνει εξαγωγή για ταχεία κατασκευή

πρωτοτύπων/εργαλείων ή ταχεία κατασκευή χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής κατεργασίας CNC πολλαπλών αξόνων.



Εικόνα 17. Physical-to-digital process (Πηγή: Reverse Engineering: An Industrial Perspective)

Στη συνέχεια βλέπουμε κάποιους από πιο βασικούς λόγους για τους οποίους η χρήση της αντίστροφης μηχανικής είναι πολύ αποδοτική:

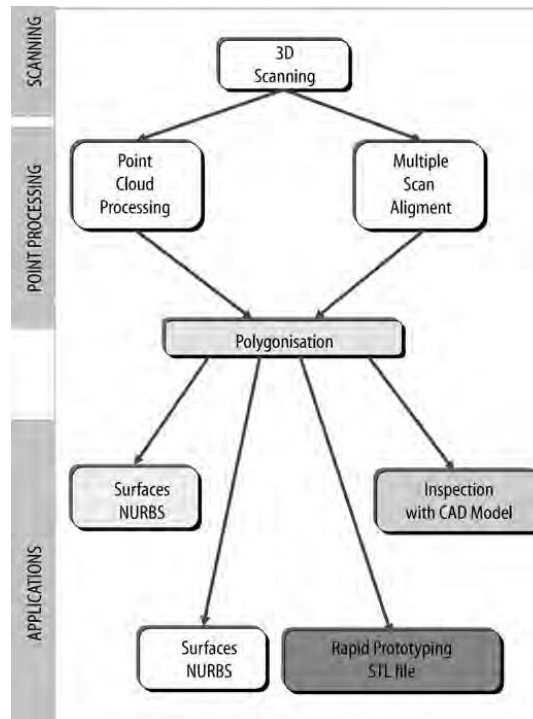
- Η κατασκευάστρια εταιρία δεν υπάρχει, αλλά κάποιος πελάτης χρειάζεται το προϊόν αυτό.
- Η κατασκευάστρια εταιρία δεν παράγει πλέον αυτό το προϊόν.
- Το γνήσιο σχέδιο μπορεί να έχει χαθεί ή να μην υπήρξε ποτέ.
- Δημιουργία δεδομένων για την παραγωγή ενός προϊόντος για το οποίο δεν υπάρχουν σχέδια CAD, ή τα στοιχεία μπορεί να θεωρούνται παλιά, ή να έχουν χαθεί.
- Αξιολόγηση και ποιοτικός έλεγχος ενός αντικειμένου για τη σύγκριση του με το σχέδιο CAD, ή με το πρωτότυπο αντικείμενο.
- Ορισμένα ελαττωματικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος πρέπει να εξαλειφθούν.
- Ενίσχυση των καλών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος με βάση τη μακροχρόνια χρήση του.
- Ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των προϊόντων άλλων ανταγωνιστικών εταιριών.
- Εξερεύνηση νέων τρόπων για τη βελτίωση της απόδοσης και των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος.
- Δημιουργία 3D δεδομένων από ένα φυσικό μοντέλο για δημιουργία κίνησης σε παιχνίδια κινηματογραφικές ταινίες.
- Δημιουργία τρισδιάστατων δεδομένων από άτομο, μοντέλο ή γλυπτό για δημιουργία, ή αναπαράγουν έργα τέχνης.
- Ψηφιοποίηση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Αρχιτεκτονική και κατασκευαστική μοντελοποίηση.
- Εφαρμογή στην ιατρική για τη δημιουργία οδοντικών ή χειρουργικών ανθρώπινων μερών.



- Τεκμηρίωση και αναπαραγωγή σκηνών εγκλήματος.

### 3.2. Αντίστροφη Μηχανική – Βασική Διαδικασία.

Η διαδικασία της Αντίστροφης Μηχανικής περιλαμβάνει τρία στάδια όπως φαίνονται στο εικόνα 2. Τα τρία αυτά στάδια περιλαμβάνουν τη σάρωση (scanning), την επεξεργασία σημείων (point processing), γεωμετρική ανάπτυξη του μοντέλου (geometric model development). Η στρατηγική της Αντίστροφης Μηχανικής πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:



Εικόνα 18. Γενική διαδικασία της Αντίστροφης Μηχανικής (Πηγή: Reverse Engineering: An Industrial Perspective)

- Λόγος αντίστροφης μηχανικής ενός αντικειμένου.
- Αριθμός αντικειμένων που θα σαρωθούν.
- Μέγεθος αντικειμένου.
- Πολυπλοκότητα υποσυστήματος.
- Υλικό αντικειμένου.
- Φινίρισμα αντικειμένου.
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αντικειμένου.
- Ακρίβεια που απαιτείται.

**Στάδιο 1 – Σάρωση**

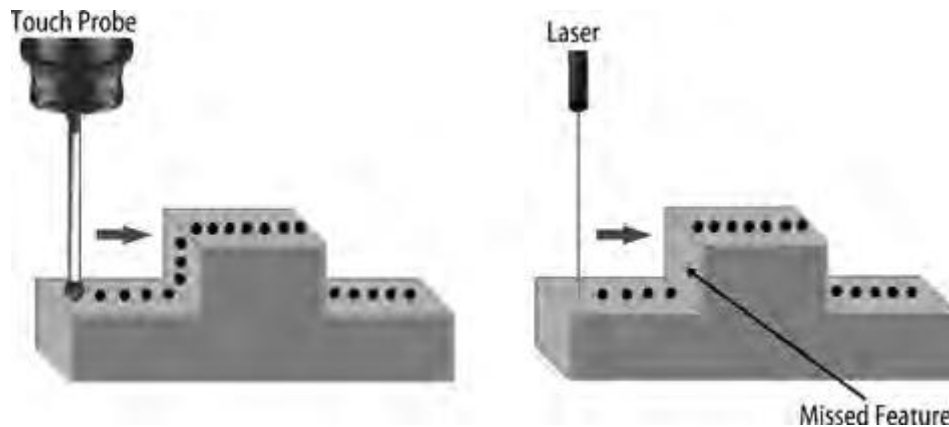
Το στάδιο αυτό αφορά τη στρατηγική που θα ακολουθείται για τη σάρωση με τέτοιο τρόπο ώστε το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει να αποτυπωθεί ψηφιακά με τον καλύτερο τρόπο. Περιλαμβάνει την επιλογή του τρόπου σάρωσης, την προετοιμασία του αντικειμένου που θα σαρωθεί και τέλος την ίδια τη σάρωση του αντικειμένου αυτού για τη σύλληψη όλων των πληροφοριών που περιγράφουν όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου όπως είναι οι κοιλότητες, το σχήμα, οι διαστάσεις κ.α. Οι τρισδιάστατοι σαρωτές χρησιμοποιούνται για να σαρώσουν την γεωμετρία του αντικειμένου, με αποτέλεσμα την δημιουργία σημείων που καθορίζουν την γεωμετρία της επιφάνειας που σαρώνεται. Τέλος, υπάρχουν δύο τύποι τρισδιάστατων σαρωτών. Με επαφή και χωρίς επαφή.

Τα συστήματα σάρωσης χωρίς επαφή μπορεί να είναι laser (λείζερ) ή οπτικά, μπορεί να είναι γρήγορα στην σάρωση ακόμα και για πολύπλοκα και μεγάλα αντικείμενα, αλλά παρουσιάζουν και ορισμένους περιορισμούς, όπως:

- Τυπική ακρίβεια  $\pm 0,025$  μέχρι και  $0,2$  mm.
- Μερικές συσκευές έχουν πρόβλημα δημιουργίας δεδομένων που περιγράφουν επιφάνειες που είναι παράλληλες προς τον άξονα του Laser.
- Τα περισσότερα συστήματα εκπέμπουν φως το οποίο μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα όταν προσπίπτει πάνω σε λαμπερές επιφάνειες, με αποτέλεσμα να απαιτείται μια προεργασία στην επιφάνεια πριν από την σάρωση (προσωρινή κάλυψη με στρώμα πούδρας πριν την σάρωση). Πολλά εξαρτήματα, ανάλογα με την διαμόρφωση, απαιτούν την επανατοποθέτηση ή την περιστροφή του αντικειμένου σε διάφορες θέσεις, ώστε να αποτυπωθεί μια εσοχή ή ένα χαρακτηριστικό που έχει παραλειφθεί αρχικές σαρώσεις. Αυτοί οι προβληματισμοί περιορίζουν την χρήση των συσκευών σε εφαρμογές μηχανικού, όπου η ακρίβεια είναι δευτερεύουσας σημασίας σε σχέση με την ταχύτητα. Όμως οι συσκευές αυτές βελτιώνονται συνεχώς σε όλα τα παραπάνω προβλήματα.



Εικόνα 19. Οπτικό σύστημα σάρωσης (Πηγή: Reverse Engineering: An Industrial Perspective)



Εικόνα 20. Κατακόρυφος αισθητήρας και laser (Πηγή: Reverse Engineering: An Industrial Perspective)

Οι συσκευές με επαφή χρησιμοποιούν αισθητήρες επαφής που ακολουθούν αυτόματα το περίγραμμα της εκάστοτε επιφάνειας. Στην σημερινή αγορά, οι συσκευές σάρωσης μέσω επαφής, βασίζονται σε τεχνολογίες CMM - Coordinate Measuring Machine (Μηχανή μέτρησης συντεταγμένων), με εύρος ανοχής +0,01 έως και 0,02 mm. Ωστόσο, ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου που σαρώθηκε, οι μέθοδοι αυτές μπορεί να καθυστερούν, καθώς κάθε σημείο δημιουργείται διαδοχικά στο άκρο του αισθητήρα. Οι ανιχνευτές αυτοί, για να καταγράψουν ένα σημείο πρέπει να παρεκκλίνουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να διατηρείται ένας βαθμός πίεσης στην επαφή κατά τη διαδικασία της σάρωσης. Αυτή η πίεση περιορίζει τη χρήση των συγκεκριμένων σαρωτών διότι μαλακά υλικά, όπως το λάστιχο δεν μπορούν να σαρωθούν εύκολα και με ακρίβεια.



Εικόνα 21. Σύστημα σάρωσης με επαφή (Πηγή: Reverse Engineering: An Industrial Perspective)

## Στάδιο 2 - Επεξεργασία Σημείων

Η φάση αυτή περιλαμβάνει την εισαγωγή των σημείων που δημιουργήθηκαν στη φάση της σάρωσης, σε ειδικό λογισμικό το οποίο θα επεξεργαστεί και πιθανώς θα ελαττώσει το θόρυβο αλλά και τον αριθμό των σημείων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλών προκαθορισμένων φίλτρων, σχεδιασμένα για αυτόν τον σκοπό. Η γνώση των φίλτρων από τους χρήστες που τα

χρησιμοποιούν για να κάνουν την επεξεργασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική. Κάθε φορά θα πρέπει να γνωρίζουν με βάση το αντικείμενο που πρέπει να επεξεργαστούν, ποιο είναι το κατάλληλο φίλτρο που χρειάζεται. Άλλο ένα στοιχείο που επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι η ένωση και ο συνδυασμός πολλών και διαφορετικών σαρώσεων για την επίτευξη της βέλτιστης ψηφιακής αποτύπωσης του αντικειμένου. Πολλές φορές χρειάζονται πολλαπλές σαρώσεις, από διαφορετικές πλευρές και γωνίες για να αποτυπωθούν όλα τα στοιχεία του αντικειμένου. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι χρειάζεται να σχεδιάζουμε με σωστή στρατηγική τη σάρωση που θα πραγματοποιήσουμε, μιας και αυτό έχει άμεση επίδραση στην επεξεργασία των σημείων στο δεύτερο στάδιο. Ο σωστός σχεδιασμός των σαρώσεων μειώνει την προσπάθεια που χρειάζεται σε αυτή τη φάση για την επεξεργασία σημείων αλλά και την πιθανότητα να γίνει κάποιο λάθος κατά την ένωση των πολλών διαφορετικών σαρώσεων. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης είναι ένα καθαρό, με συνοχή, νέφος σημείων το οποίο έχει την μορφή που επιθυμούμε.

### Στάδιο 3 – Γεωμετρική Ανάπτυξη Μοντέλου

Με τον ίδιο τρόπο που η ταχεία πρωτοτυποποίηση παίζει μεγάλο ρόλο στη μείωση του χρόνου δημιουργίας φυσικών μοντέλων από σχέδια CAD, οι σημερινές εφαρμογές της αντίστροφης μηχανικής και της τρισδιάστατης σάρωσης βοηθάνε αρκετά στη μείωση του χρόνου που χρειάζεται για να δημιουργηθεί ένα σχέδιο CAD από την υπάρχουσα φυσική αναπαράσταση ενός αντικειμένου. Είναι υπαρκτή η ανάγκη για τη δημιουργία σχεδίων CAD από υλικά αντικείμενα σε κάθε εισαγωγή ενός προϊόντος στη διαδικασία της παραγωγής. Η δημιουργία τέτοιων σχεδίων CAD από νέφη σημείων είναι πιθανόν η πιο πολύπλοκη διαδικασία στην αντίστροφη μηχανική. Αυτό διότι χρειάζεται να αναπτύσσονται αλγόριθμοι που δημιουργούν επιφάνειες οι οποίες αποτυπώνουν με ακρίβεια τις τρισδιάστατες συντεταγμένες που βρίσκονται στα νέφη σημείων. Αυτό το στάδιο εξαρτάται πολύ και από τον πραγματικό σκοπό της εφαρμογής της αντίστροφης μηχανικής. Για παράδειγμα, εάν σαρώσουμε ένα φθαρμένο δίσκο αυτοκινήτου με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου, θα στοχεύσουμε περισσότερο στην γεωμετρική απεικόνιση του μοντέλου καθώς και στη δημιουργία ενός κώδικα ISO G που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να φτιαχθεί αυτός δίσκος στο μικρότερο δυνατό χρόνο. Μία ακόμα περίπτωση είναι και η χρήση της αντίστροφης μηχανικής για την ανάλυση και τη σύγκριση ενός αντικειμένου που έχει παραχθεί, με το σχέδιο CAD που ήδη υπάρχει γι' αυτό. Αυτό περιλαμβάνει τη σύγκριση του νέφους σημείων που έχει προκύψει από την τρισδιάστατη σάρωση του με το υπάρχον σχέδιο CAD. Το υπάρχον λογισμικό της Αντίστροφης Μηχανικής μας δίνει αυτή τη δυνατότητα να συγκρίνουμε τα δύο μοντέλα. Το στάδιο αυτό επίσης περιέχει μέχρι και τη σάρωση ανθρώπινων αρθρώσεων για το σχεδιασμό πρόσθετων που θα είναι παρόμοιες με τις πραγματικές, ειδικά σχεδιασμένες για τον κάθε ασθενή.

Το αποτέλεσμα του σταδίου αυτού είναι το γεωμετρικό μοντέλο σε κάποιο ή σε κάποιες από τις διαφορετικές μορφές εμπορικών μοντέλων και σχεδίων όπως: IGES, VDA, STL, DXF, OBJ, VRML, ISO G κώδικα, κ.α. (Vinesh Raja, 2007)

### 3.3 Αντίστροφη μηχανική και αεροπλάνο

Πολλές σύγχρονες μηχανές εφευρέθηκαν με έμπνευση από τη φύση, ή επανερευνήθηκαν μέσω της αντίστροφης μηχανικής βασισμένης σε ότι παρατηρήθηκε στη φύση. Το αεροπλάνο είναι ένα από τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα. Το πρώτο αυτοδύναμο αεροπλάνο που εφευρέθηκε από τους αδελφούς Wright σχεδιάστηκε μερικώς με βάση τις παρατηρήσεις και τις απομιμήσεις πουλιών την ώρα που πετούσαν.

Οι αδελφοί Wright προσπάθησαν να αναδημιουργήσουν ένα φτιαγμένο από άνθρωπο πουλί, χρησιμοποιώντας αντίστροφη μηχανική, με τη λειτουργικότητα ενός φυσικού ιπτάμενου πλάσματος. Έναν αιώνα αργότερα, βρισκόμαστε ακόμα πολύ πίσω, απότο να κατανοήσουμε πλήρως την ευελιξία των περισσότερων πουλιών, των νυχτερίδων ή ακόμα και των εντόμων. Μια σφίγγιδα (έντομο που ανήκει στην οικογένεια των νυχτοπεταλούδων) μπορεί εύκολα να προσφέρει μια εναέρια επίδειξη με κατεύθυνση προς τα πάνω, προς τα κάτω, προς τα πλάγια και προς τα πίσω με ταχεία επιτάχυνση ή επιβράδυνση. Οι νυχτερίδες είναι ικανές για ευκίνητη πτήση, με κλίση 180 μοιρών, και αλλαγή των κατευθύνσεων, που ακόμα και οι σημερινοί μηχανικοί, μπορούν μόνο να ονειρεύονται ένα τέτοιο αεροσκάφος με ανάλογη ευελιξία. Την λύση στο πρόβλημα αυτό έρχεται να δώσει η αντίστροφη μηχανική. Αυτή είναι το κλειδί για τους επιστήμονες και τους μηχανικούς, το οποίο τους δίνει τη δυνατότητα να αποδομήσουν τις βασικές δεξιότητες των ιπτάμενων ζώων και να επανασχεδιάσουν τα αεροσκάφη της επόμενης γενιάς με καλύτερη ευελιξία και σταθερότητα. (Wang, 2011)

Η επίδραση της αντίστροφης μηχανικής στη σημερινή βιομηχανία είναι πέρα από την κατασκευή λιγότερων δαπανηρών προϊόντων και της τόνωσης του ανταγωνισμού. Παίζει ακόμα, σημαντικό ρόλο στην προώθηση της βιομηχανικής εξέλιξης. Η αντίστροφη μηχανική διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στον τομέα των αερομεταφορών λόγω της ωριμότητας του κλάδου, της προόδου των σύγχρονων τεχνολογιών και των απαιτήσεων της αγοράς. Από την αρχή της αεροπορικής βιομηχανίας στις αρχές της δεκαετίας του 1900 μέχρι την ωρίμανσή των υλικών με την ανάπτυξη των αεροσκαφών τζετ κατά τη δεκαετία του 1950, η βιομηχανία αερομεταφορών επαναστάτησε στους τρόπους μεταφοράς σε περίπου 50 χρόνια. Παρόλο που τα συστήματα ελέγχου της πτήσης και της εναέριας κυκλοφορίας κάνουν διαρκώς εντυπωσιακή πρόοδο με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας του υπολογιστή στον εικοστό πρώτο αιώνα, τα βασικά σχέδια του hardware των αεριωθουμένων μηχανών αλλά και οι δομές των αεροσκαφών παραμένουν ουσιαστικά οι ίδιες. Η ωριμότητα της αεροπορικής βιομηχανίας, ειδικότερα των υλικών, σταδιακά έστρεψε το βλέμμα του κλάδου από εκεί που είχε ως γνώμονα την τεχνολογία, να έχει ως γνώμονα την οικονομία. Η αλλαγή αυτή, στρέφει την ενδεχόμενη αγορά στην αντίστροφη μηχανική. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η πρόοδος της σύγχρονης μετρολογίας πρόσθεσε πολλά νέα εργαλεία για ακριβείς μετρήσεις γεωμετρικών μορφών και ακριβή ανάλυση της σύνθεσης του υλικού και της μεθόδου κατασκευής του. Το γεγονός ότι αεροπορική βιομηχανία είναι μια βιομηχανία ασφάλειας, με την επιβολή αυστηρών κανονισμών ενισχύεται ακόμα περισσότερο ο ρόλος της αντίστροφης μηχανικής σε αυτόν τον κλάδο, καθώς οι απαιτήσεις πιστοποίησης οδηγούν σε αναπόφευκτη αύξηση του κόστους. Απόρροια αυτού, η απαίτηση της αγοράς για λιγότερο ακριβά πιστοποιημένα ανταλλακτικά τα οποία παρέχονται καλύτερα με αντίστροφη μηχανική. (Wang, 2011)

## 4. C-130 Hercules

Ήταν το 1951, όταν η Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ έψαχνε σχέδια για ένα αεροπλάνο ικανό να μεταφέρει μεγάλο ογκώδη εξοπλισμό, όπως κομμάτια πυροβολικού και τανκς, σε μεγάλες αποστάσεις. Το αεροπλάνο αυτό θα έπρεπε να έχει τη δυνατότητα να προσγειωθεί σε στενούς χώρους, να επιβραδύνει στους 125 κόμβους για πτώσεις αλεξιπτωτιστών καθώς και άμα χρειαστεί να πετάξει, με έναν κινητήρα. Με άλλα λόγια, αυτό που ήθελε η Πολεμική Αεροπορία, ήταν ένας σκληρό, ευέλικτο μέσο με μεγάλο αποθηκευτικό χώρο.

Ο Χολ Χίμπαρντ, ο τότε αρχιμηχανικός της Λόκχιντ, κοίταξε το αίτημα και είδε δυνατότητες. Από την άλλη, ο ιδιοφυής σχεδιαστής Kelly Johnson, το είδε ως μια πιθανή καταστροφή, καθώς ήταν κάτι το διαφορετικό από τα μαχητικά υψηλής ταχύτητας και υψηλής απόδοσης που ήταν η ειδικότητά του.

Πιο συγκεκριμένα, ο Τζόνσον είπε στο αφεντικό του, τον Χίμπαρντ, "αν το στείλεις αυτό", καθώς πίστευε ότι η πρόταση για το αεροπλάνο ήταν πρώιμη, "θα καταστρέψεις την εταιρεία της Lockheed".

Ευτυχώς που ο Χίμπαρντ δεν άκουσε. Το πρωτότυπο YC-130 έκανε την εναρκτήριά του πτήση του στις 23 Αυγούστου 1954 και κατέστησε σαφές σε όλους, συμπεριλαμβάνοντας και στον Τζόνσον, ότι οι μηχανικοί της Lockheed είχαν κατασκευάσει κάτι το διαχρονικό από μια, σχετικά απλή λίστα απαιτήσεων της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ.

Αργότερα επίσημα με το παρατσούκλι Ηρακλής, το πρωτότυπο είχε ένα κατάστρωμα φορτίου που ήταν ικανό να μεταφέρει 300 λίβρες ανά τετραγωνικό πόδι, χρησιμοποιώντας μόνο 855 πόδια αεροδιαδρόμου για την απογείωσή του, μια εκπληκτικά πολύ μικρή απόσταση λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα από τα αεροσκάφη αντίστοιχου του μεγέθους απαιτούσαν 5.000 πόδια.



Εικόνα 22. Οι πρώτες πτήσεις (Πηγή: lockheedmartin)

### 4.1. Η κατασκευή

Η δημιουργία του C-130 Hercules προέκυψε σε μεγάλο βαθμό ως αποτέλεσμα της εμπειρίας της Αμερικής στον Πόλεμο της Κορέας. Κατά τη διάρκεια του πολέμου στα σύνορα ανάμεσα σε Βόρεια και Νότια Κορέα οι Αμερικανικές δυνάμεις κατάλαβαν ότι τα μεταγωγικά τους αεροσκάφη δεν ήταν επαρκώς εξοπλισμένα. Κάποια ήταν πολύ βαριά, κάποια χρειάζονταν μεγαλύτερους διαδρόμους για απογείωση και προσγείωση και άλλα είχαν περιορισμούς βάρους, οι οποίοι τους εμπόδιζαν να μεταφέρουν ογκώδεις προμήθειες ή μεγάλο αριθμό στρατιωτών.

Δηλαδή αυτό που ο στρατός των ΗΠΑ χρειαζόταν, ήταν ένα ενιαίο και ευέλικτο αεροσκάφος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για όλες τις ανάγκες μεταφοράς. Ένα αεροσκάφος πολλών ρόλων. Ακριβώς τις επιθυμίες αυτές κατάφερε να καλύψει ο Ηρακλής της Lockheed.

Με ένα πιλοτήριο εξοπλισμένο με μια σειρά από 23 παράθυρα, τα οποία του επέτρεπαν να έχει σαφή ορατότητα σε απότομες προσεγγίσεις και ψηλά φτερά για να λειτουργούν από τραχιά πεδία, το αρχικό C-130 Hercules ήταν η αντίθεση των κομψών, γρήγορων αεροσκαφών της εποχής του. Είχε χαμηλό κέντρο βάρους, τη δυνατότητα να φτάσει τα 360 μίλια/ώρα και μια μεγάλη και εύκολα προσβάσιμη περιοχή φορτίου που θα μπορούσε να μεταφέρει 40.000 λίβρες.



Εικόνα 23. Τα πρώτα στάδια (Πηγή: lockheedmartin)

Αλλά ένα ήταν το βασικό στοιχείο σχεδιασμού, που θεσπίστηκε από μια ομάδα που περιλάμβανε την Art Flock, τον Dick Pulver, τον Bill Statler, τον Gene Frost και τον επικεφαλής σχεδιαστή Willis Hawkins, που μπορεί να αποδείχθηκε πιο χρήσιμο για τη μακροζωία του. Η συμπερίληψη τεσσάρων κινητήρων turboprop (ελικοστρόβιλος) παρείχε πλεονάζουσα ισχύ για την πίεση της ατράκτου του αεροπλάνου, συμπεριλαμβανομένου του διαμερίσματος φορτίου, η οποία ήταν απαραίτητη για την αποτελεσματική πτήση σε υψηλότερα υψόμετρα. Η ενίσχυση του εναέριου πλαισίου για την υποδοχή της πίεσης πρόσθεσε ένα επιπλέον επίπεδο ανθεκτικότητας που τελικά προστάτευσε το αεροπλάνο για τις άνευ προηγουμένου έξι δεκαετίες της στρατιωτικής και ανθρωπιστικής υπηρεσίας.

Σε περισσότερες από 70 παραλλαγές και σε περισσότερα από 2.400 αεροσκάφη, ο Ηρακλής έχει αποδείξει την αξία του. Υπάρχει ένας κυριολεκτικά αερομεταφερόμενος Ηρακλής κάπου στον κόσμο κάθε λεπτό της κάθε μέρας.

## 4.2. Ο Ηρακλής στον πόλεμο

Το C-130 δραστηριοποιήθηκε αρχικά στο Βιετνάμ, όπου χρησιμοποιήθηκε για να πάρει και αφήσει στρατεύματα και προμήθειες στις πιο απομακρυσμένες τοποθεσίες. Όπου υπήρχε χωματόδρομος περιτριγυρισμένος από ζούγκλα ή ασφαλτοστρωμένο διάδρομο γεμάτο λακκούβες, ο Hercules ήταν εκεί, είτε για να παρέχει τις απαραίτητες ενισχύσεις είτε για να σώσει τραυματίες στρατιώτες που χρειάζονταν ιατρική βοήθεια.

Τα C-130 ήταν επίσης τέλεια εξοπλισμένα για να πραγματοποιούν πτώσεις αλεξιπτωτιστών σε χαμηλό υψόμετρο, γεγονός που το οδήγησε στον βασικό του ρόλο. Στην υπεράσπιση του Khe Sanh το 1968, όπου τα C-130 ήταν υπεύθυνα για τη μεταφορά του 90% των προμηθειών που χρησιμοποιούνταν από τα στρατεύματα που υπερασπίζονταν το χωριό από την πολιορκία του Βόρειου Βιετνάμ.



Εικόνα 24. Το C-130 στον πόλεμο (Πηγή: lockheedmartin)

Καθώς ο πόλεμος προχωρούσε, τα C-130 τροποποιήθηκαν σε MC-130 Combat Talons, τα οποία όχι μόνο μάζευαν ειδικές δυνάμεις επιχειρήσεων από εχθρικά εδάφη, αλλά ενήργησαν και ως ιπτάμενα δεξαμενόπλοια, πετώντας στον ουρανό, την ώρα που αμερικάνικα ελικόπτερα διάσωσης "έδεναν" πάνω τους για ανεφοδιασμό. Εξοπλισμένο με ραντάρ επίγειου στόχου, όπλα Gatling 20mm, κανόνια 40mm και αργότερα, ένα 105mm Howitzer, τα C-130 μεταμορφώθηκαν στα πολεμικά αεροπλάνα AC-130, καταστρέφοντας 10.000 εχθρικά φορτηγά και απωθώντας αμέτρητες εχθρικές επιθέσεις. Στα τέλη του πολέμου, τα αεροπλάνα αυτά κατέληξαν να είναι εξοπλισμένα ακόμη και με τη μεγαλύτερη βόμβα στο οπλοστάσιο των ΗΠΑ, την BLU-82 των 15.000 λιβρών.

Τρεις δεκαετίες αργότερα, τα δεξαμενόπλοια KC-130J του Σώματος Πεζοναυτών εξοπλίστηκαν με πυραύλους, ώστε τα πληρώματα να μπορούν να εξοντώνουν εχθρικούς στόχους στο έδαφος στο Αφγανιστάν, περιμένοντας να ανεφοδιάσουν μαχητικά και ελικόπτερα.

### 4.3. Ανθρωπιστικό έργο

Εκτός από την συνεισφορά του ως πολεμική μηχανή ο Ηρακλής παρείχε την βοήθειά του σε όποια περίπτωση χρειάστηκε. Για σχεδόν τρεις γενιές καταστροφικών ανθρωπιστικών κρίσεων, υπήρξε μια σταθερά. Το C-130 ήταν εκεί για να βοηθήσει. Ο λαός του Κονγκό, της Σομαλίας, της Βοσνίας, της Ρουάντα, του Κοσσυφοπεδίου, της Ιαπωνίας και των σημείων σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Νέας Ορλεάνης μετά τον τυφώνα Κατρίνα, επωφελήθηκαν όλοι από τις απaráμιλλες δυνατότητες παράδοσης και ρίψης του C-130, ή ακόμα και της χρήσης του ως νοσοκομείο. Τον Ιανουάριο του 2010, τα C-130 βοήθησαν στην ανάσυρση περισσότερων από 13.600 τόνων φορτίου, στη μεταφορά περισσότερων από 25.800 επιβατών και 280 ασθενών για ιατρικές αξιολογήσεις από την Αϊτή, μετά τον καταστροφικό σεισμό της χώρας.



Ακόμη και κατά τη διάρκεια της περιόδου πυρκαγιών στις Ηνωμένες Πολιτείες, οκτώ ειδικά εξοπλισμένα C-130 χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό τους. Πετώντας πάνω από τραχύ ορεινό έδαφος, συχνά μέσα από θανατηφόρα φτερά μαύρου καπνού, τα C-130s επιβραδύνουν στους 120 κόμβους, για να στοχεύσουν και να ρίξουν επιβραδυντικό φωτιάς πριν τραβήξουν γρήγορα για να αποφύγουν τις επερχόμενες κορυφογραμμές. Είναι απαραίτητο για τις προσπάθειες πυρόσβεσης, καθώς το μείγμα νερού και λιπασμάτων καλύπτει το φύλλωμα για να επιβραδύνει το ρυθμό καύσης, αγοράζοντας έτσι πολύτιμο χρόνο για τους πυροσβέστες στο έδαφος να περιορίσουν την εξάπλωσή του.



Εικόνα 25. Το C-130 στους πάγους (Πηγή: lockheedmartin)

Το C-130, όμως δεν σταματάει εκεί, καθώς είναι εξίσου έμπειρο στο χιόνι και τον πάγο. Εξοπλισμένο με σκι, το ανθεκτικό αυτό αεροσκάφος έχει κερδίσει μεγάλο σεβασμό για την ασφαλή παράδοση προμηθειών στο κάλυμμα πάγου της Γροιλανδίας ακόμη και στα βάθη της Ανταρκτικής.

#### 4.4. Κυνηγός τυφώνων

Ακόμη μια χρήση του C-130 και ειδικότερα της τελευταίας του έκδοσης είναι η αναγνώριση καιρού. Το C-130J Super Hercules, είναι το αεροπλάνο επιλογής για τη μοίρα αναγνώρισης καιρού της Διοίκησης Αεροπορικών Εφεδρειών της Πολεμικής Αεροπορίας, γνωστή ως Κυνηγοί Τυφώνων. Πετούν με WC-130Js κατ'ευθείαν στο μάτι των τυφώνων, ταξιδεύουν από τα εξωτερικά μέρη της καταιγίδας στο κέντρο της και στη συνέχεια πάλι έξω, κάνοντας έτσι επαναλαμβανόμενες διαδρομές για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και της βαρομετρικής πίεσης. Τα αποτελέσματα που συλλέγονται με τη βοήθεια του Ηρακλή, προσφέρουν κρίσιμα προγνωστικά δεδομένα σχετικά με τη σοβαρότητα και την κατεύθυνση των τροπικών καταιγίδων, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια των προβλέψεων του Εθνικού Κέντρου Τυφώνων κατά 30%.



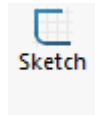
Εικόνα 26. Το C-130 κυνηγός τυφώνων (Πηγή: lockheedmartin)

Αξίζει όμως να αναφερθεί κάτι το εκπληκτικό. Από το 1974, κανένα από τα WC-130 που πέταξε από τους Κυνηγούς Τυφώνων δεν έχει χαθεί. Αυτό το ρεκόρ ασφάλειας και απόδοσης αποτελεί απόδειξη των ικανοτήτων τους και είναι ένα παράδειγμα της σκληρότητας ενός 60χρονου σχεδίου Lockheed που δεν δείχνει κανένα σημάδι επιβράδυνσης.

## 5. Εντολές Solidworks που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη σχεδίαση

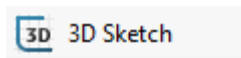
### ➤ Sketch

Επιλέγοντας την εντολή Sketch και στη συνέχεια επιλέγοντας ένα Plane έχουμε τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε σε δύο διαστάσεις πάνω στο Plane αυτό.



### ➤ 3d sketch

Αντίστοιχα με το Sketch, το 3d Sketch μας δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε. Όμως με αυτή την εντολή σχεδιάζουμε σε τρεις διαστάσεις και χωρίς να επιλέξουμε κάποιο Plane.



### ➤ Line

Με την εντολή Line δημιουργούμε ευθείες γραμμές.



### ➤ Spline

Με την εντολή Spline δημιουργούμε γραμμές με καμπύλες.



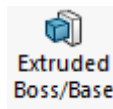
### ➤ Point

Με την εντολή Point δημιουργούμε ένα σημείο.



### ➤ Boss extruded Boss/Base

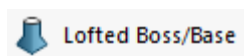
Χρησιμοποιώντας την εντολή Boss extruded Boss/Base δίνουμε σώμα σε ένα, δύο διαστάσεων, σχέδιο της επιλογής μας.



### ➤ Lofted Boss/Base

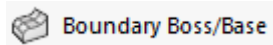
Όπως και η εντολή Boss extruded Boss/Base, η εντολή Lofted Boss/Base δίνει σώμα.

Βέβαια, σε αυτήν την περίπτωση, για την εκτέλεση της εντολής αυτής δεν απαιτείται ένα σχέδιο, αλλά δύο.



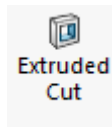
### ➤ **Boundary Boss/Base**

Η εντολή Boundary Boss/Base παράγει πολύ υψηλής ποιότητας, ακριβή χαρακτηριστικά, χρήσιμα για τη δημιουργία πολύπλοκων σχημάτων.



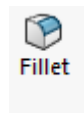
### ➤ **Extruded Cut**

Με την εντολή Extruded Cut αφαιρούμε τμήμα από ένα αντικείμενο που έχουμε παράξει. Στην περίπτωση που έχουμε παραπάνω από ένα αντικείμενα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εντολή Extruded Cut για να δημιουργήσουμε ασύνδετα μέρη. Μπορούμε ακόμα να ελέγξουμε ποια μέρη θα κρατήσουμε και ποιά όχι.



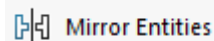
### ➤ **Fillet**

Η εντολή Fillet δημιουργεί μια στρογγυλεμένη εσωτερική ή εξωτερική όψη στο αντικείμενο. Μπορούμε να φιλετάρουμε όλες τις άκρες μιας πλευράς, επιλεγμένα σετ πλευρών, επιλεγμένες άκρες ή και βρόχους άκρων.



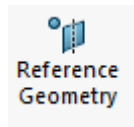
### ➤ **Mirror**

Με την εντολή Mirror μπορούμε να καθρεφτίσουμε διάφορα χαρακτηριστικά, ως προς μια όψη ενός αντικειμένου ή ενός plane.



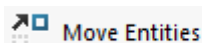
### ➤ **Reference Geometry > Plane**

Η εντολή Reference Geometry ορίζει το σχήμα ή τη μορφή μιας επιφάνειας ή ενός στερεού. Ακόμα περιλαμβάνει στοιχεία όπως επίπεδα, άξονες, συστήματα συντεταγμένων και σημεία.



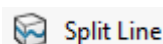
### ➤ **Move Entities**

Με την εντολή αυτή μπορούμε να μετακινήσουμε κάποιο σχέδιο ή αντικείμενο.



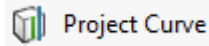
### ➤ **Curves > Split Line**

Η εντολή αυτή δημιουργεί ένα 3d σχέδιο από ένα σκίτσο, το οποίο προβάλλεται πάνω σε κάποιο επίπεδο ενός αντικειμένου.



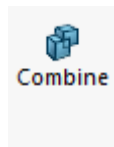
➤ **Curves > Project Curve**

Αντίστοιχα με την προηγούμενη, δημιουργεί ένα 3d σχέδιο από ένα σκίτσο που προβάλλεται πάνω σε μια επιφάνεια ενός αντικειμένου.



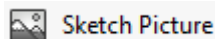
➤ **Combine**

Στην περίπτωση που έχουμε πολλά αντικείμενα με την εντολή αυτή μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα τμήμα με ένα μόνο σώμα ή ένα άλλο μέρος πολλαπλών σωμάτων. Ακόμα μπορούμε να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε σώματα ή να διατηρήσουμε υλικό που είναι κοινό για τα επιλεγμένα σώματα.



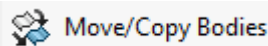
➤ **Sketch Picture**

Με αυτή την εντολή μπορούμε να εισάγουμε φωτογραφίες σε ένα plane.



➤ **Move/Copy Bodies**

Χρησιμοποιώντας την εντολή αυτή, μπορούμε να μετακινήσουμε, να περιστρέψουμε και να αντιγράψουμε στερεά και επιφανειακά σώματα.



➤ **Trim Entities**

Με την εντολή Trim Entities μπορούμε να περικόψουμε οντότητες ενός σκίτσου, συμπεριλαμβανομένων άπειρων γραμμών, αλλά και να επεκτείνουμε τις οντότητες του σκίτσου αυτού, δηλαδή γραμμές, κεντρικές γραμμές και τόξα για να συναντήσουν άλλες οντότητες.



➤ **Smart Dimension**

Με αυτή την εντολή μπορούμε να διαστασιολογήσουμε ένα 2d ή και 3d σκίτσο.



➤ **Edit Feature**

Με αυτή την εντολή μπορούμε να τροποποιήσουμε κάποια επιλογή ήδη εκτελεσθέντων εντολών. Για παράδειγμα, Fillet, Lofted Boss/Base κτλ.



➤ **Edit Appearance**

Μέσω αυτής της εντολής, γίνεται επαξεργασία εμφάνισης.



➤ **Make Pierce**

Χρησιμοποιώντας αυτή την εντολή, ουσιαστικά ενώνουμε μια γραμμή με μια άλλη, προσθέτοντας ταυτόχρονα και κάποια μεταξύ τους σχέση.



➤ **Suppress/Unsuppress**

Όταν κάνουμε χρήση αυτής της εντολής, αφαιρούμε κάποιο στοιχείο ενός σχεδίου ή κάποιου αντικείμενου, χωρίς βέβαια αυτό να διαφρατεί. Το στοιχείο αυτό αφού διαγραφτεί, εμφανίζεται με γκρι χρώμα στο δέντρο σχεδίασης. Επίσης, αν το στοιχείο αυτό έχει θυγατρικά στοιχεία, τα θυγατρικά αυτά στοιχεία αποκρύπτονται επίσης.



➤ **Hide/Show**

Με αυτές τις εντολές μπορείς να κρύψεις ή να επανεμφανίσεις ένα σκίτσο ή ένα αντικείμενο.



## 6. Μεθοδολογία

Αρχικά τοποθέτησα την πλάγια όψη στο right plane και την κάτοψη στο top plane. Οι όψεις αυτές λειτούργησαν σαν ένας μπούσουλας στην σχεδίαση του κορμού του αεροπλάνου. Ουσιαστικά πάτησα πάνω στο 2D σχέδιο φτιάχνοντας το περίγραμμα της πλάγιας όψης και στη συνέχεια και της κάτοψης της ατράκτου. Το επόμενο βήμα ήταν να δημιουργηθεί το σώμα της. Για να γίνει αυτό, η άτρακτος χωρίστηκε σε κομμάτια. Ο χωρισμός αυτής, έγινε με την χρήση μερικών front plane. Σε κάθε ένα από τα planes σχεδίασα από ένα spline με τέσσερα σημεία. Κάθε ένα σημείο από αυτά αντιστοιχεί και σε ένα σημείο του βασικού κορμού. Στο σημείο δηλαδή που το front plane τέμνει το sketch του right plane. Το σημείο αυτό θα ‘καρφιτσωθεί’ πάνω στον κορμό, χρησιμοποιώντας την εντολή pierce. Έτσι δημιούργησα μερικά sketches τα οποία ενώνουν τις τέσσερις πλευρές του κορμού. Δηλαδή την πάνω και την κάτω από την πλάγια όψη, την αριστερή και την δεξιά από την κάτοψη. Τα sketches αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της ατράκτου. Με την εντολή loft ένωσα αυτά τα sketches και φτιάχτηκαν μερικά κομμάτια τα οποία αποτελούν την άτρακτο του αεροπλάνου.

Στη συνέχεια έφτιαξα το κάθετο ουραίο πτερύγιο. Για την κατασκευή του χρησιμοποίησα ένα top plane και ένα right plane. Το πρώτο για τη βάση του και το δεύτερο για την σχεδίαση του. Ακολουθώντας την ίδια λογική με την άτρακτο και την κατασκευή της σε τμήματα, το πτερύγιο χωρίστηκε και αυτό. Για τον διαχωρισμό του χρησιμοποιήθηκαν μερικά top planes. Σε κάθε ένα plane σχεδιάστηκε και ένα spline με πλήθος σημείων ανάλογο των βοηθητικών γραμμών. Τέλος με την εντολή loft δημιουργήθηκε το φτερό.

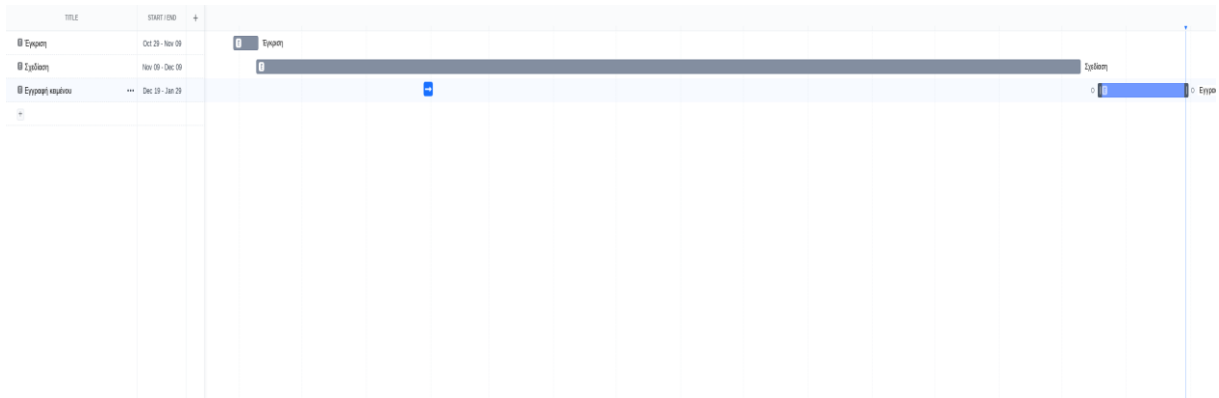
Το επόμενο βήμα ήταν η κατασκευή του οριζώντιου ουραίου πτερυγίου, όπου κατασκευάστηκε και αυτό με την ίδια λογική. Δηλαδή, σχεδίαση ενός spline για τη βάση και άλλο ένα στο τελείωμα και μερικών βοηθητικών γραμμών. Τέλος, με την εντολή loft δημιουργήθηκε το πτερύγιο. Για την κατασκευή το αριστερού πτερυγίου χρησιμοποιήθηκε η εντολή mirror. Αντίστοιχα και στο κεντρικό φτερό, σχεδίασα δύο sketches, μαζί με κάποιες βοηθητικές γραμμές, τα οποία τα χρησιμοποίησα μέσω της εντολής boundary surface για την κατασκευή του φτερού. Για το τελειώμά του έφτιαξα ένα δεύτερο κομμάτι, το οποίο αποτελείται από κάποια sketches, τα οποία με την εντολή loft έγιναν ένα αντικείμενο. Την αριστερή πλευρά την έφτιαξα με την εντολή mirror.

Την κοιλιά του αεροπλάνου, την κατασκεύασα φτιάχνοντας κάποια sketches φτιάχνοντας έτσι μερικούς οδηγούς. Τους οδηγούς αυτούς τους χρησιμοποίησα με την εντολή boundary surface με την οποία φτιάχτηκε η κοιλία αυτή του αεροπλάνου. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις για την αριστερή πλευρά χρησιμοποίησα την εντολή mirror.

Για τους κινητήρες, χρησιμοποίησα τα σχέδια αναφοράς για το περίγραμμά τους αλλά και άλλες φωτογραφίες πραγματικών μηχανών από πραγματικά C-130 καθώς δεν υπάρχουν αρκετά σχέδια για αυτούς. Διάφορες φωτογραφίες από πραγματικά αεροπλάνα χρησιμοποιήθηκαν και στη σχεδίαση των ελίκων. Έτσι έφτιαξα έναν κινητήρα με τους έλικές του και με την εντολή Move/Copy Bodies έφτιαξα τέσσερα αντίγραφα και τα τοποθέτησα στις θέσεις τους.

Τέλος, για μερικά αντικείμενα, όπως για παράδειγμα τα παράθυρα έκανα χρήση της εντολής split line. Για την κατασκευή τους τα σχεδίασα πάνω σε ένα plane ανάλογο με το σημείο που βρίσκονταν. Για παράδειγμα τα παράθυρα που βρίσκονται στο πλάι, σχεδιάστηκαν πάνω σε ένα right plane και στη συνέχεια με την split line τα ‘σχεδίασα’ πάνω στην επιφάνεια του αεροπλάνου.

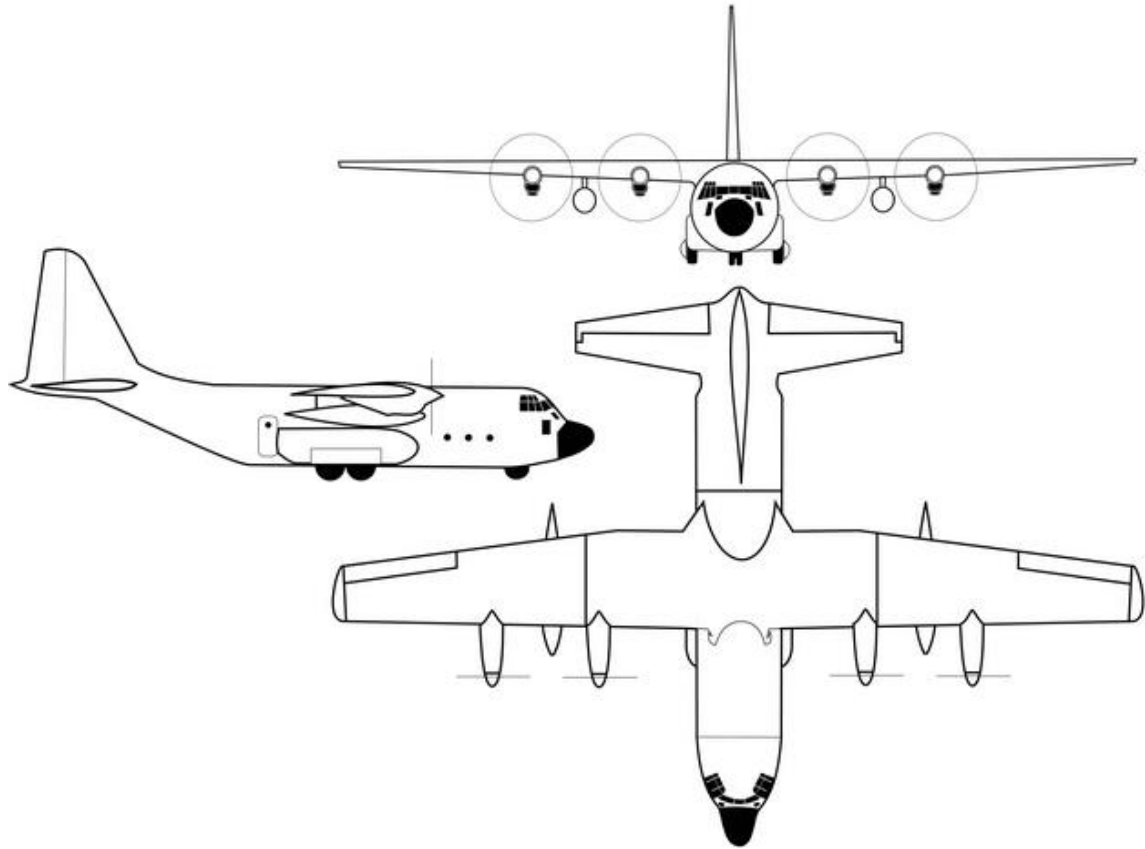
## 7. Σχεδιάγραμμα GANTT



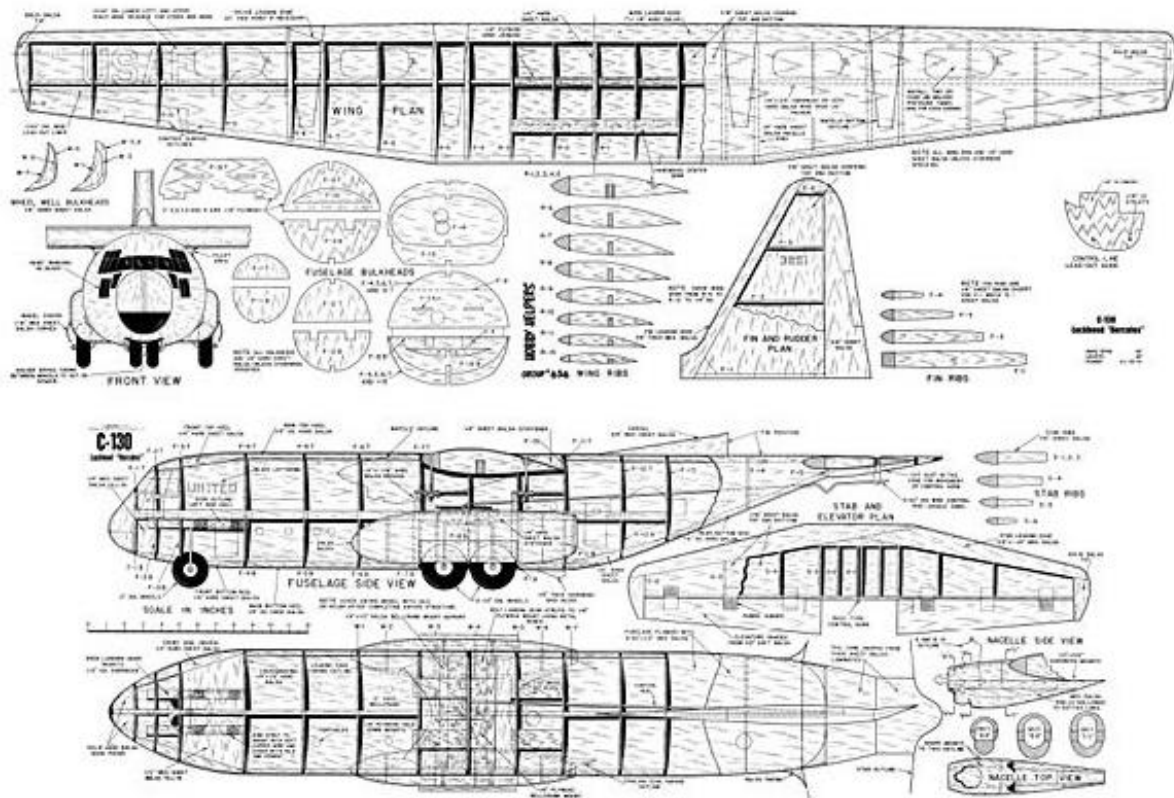
Εικόνα 27. Σχεδιάγραμμα Gantt (Πηγή: goodday.work)



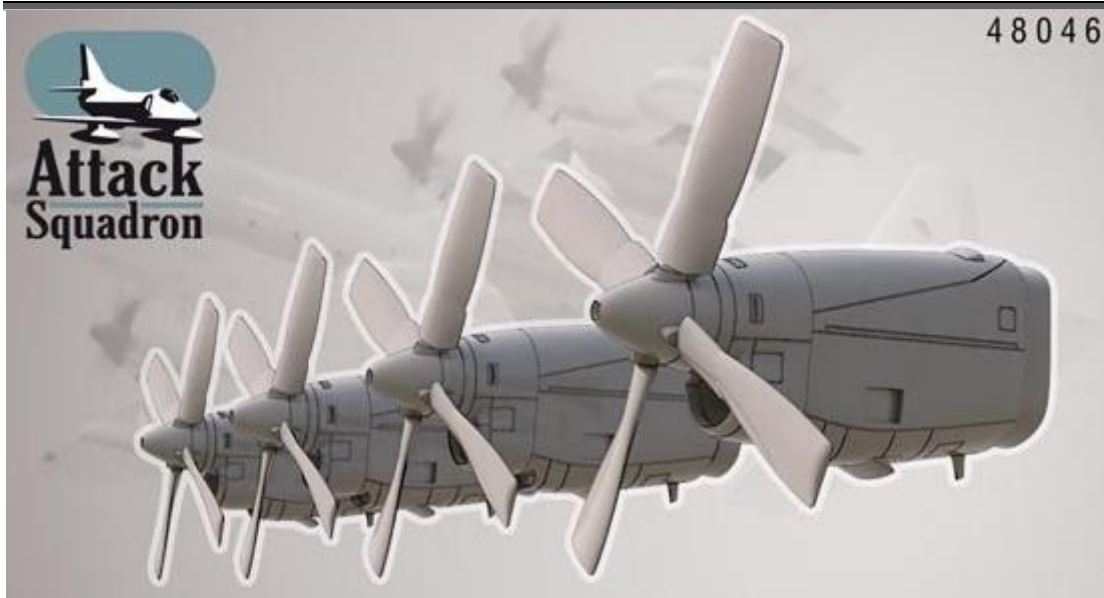
## 8. Σχέδια και φωτογραφίες αναφοράς



Εικόνα 28. Φωτογραφία αναφοράς 1 (Πηγή: drawingdatabase.com)



Εικόνα 29. Φωτογραφία αναφοράς 2 (Πηγή: freercplans.com)



Εικόνα 30. Φωτογραφία αναφοράς 3 (Πηγή: the48ers.com)



Εικόνα 31. Φωτογραφία αναφοράς 4 (Πηγή: the48ers.com)



Εικόνα 32. Φωτογραφία αναφοράς 5 (Πηγή: wikipedia.com)



Εικόνα 33. Φωτογραφία αναφοράς 6 (Πηγή: enikos.gr)

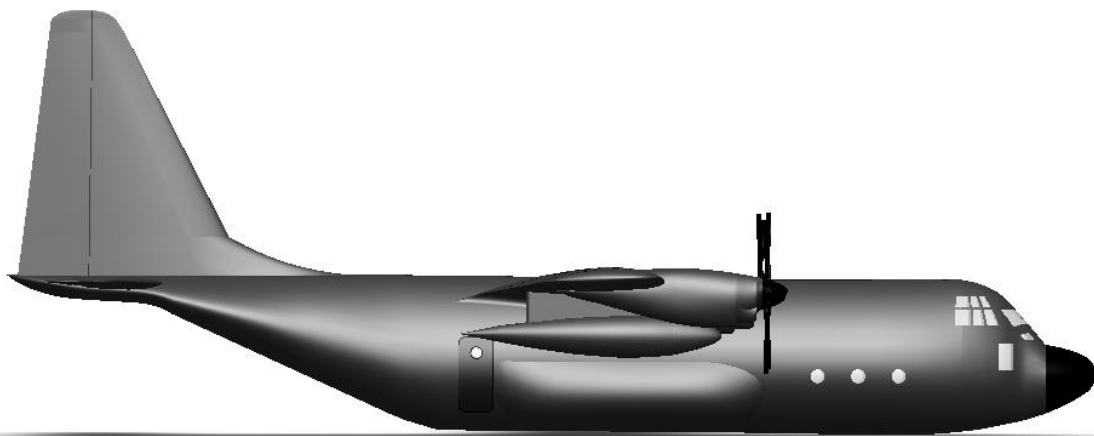


Εικόνα 34. Φωτογραφία αναφοράς 7 (Πηγή: af.mil)

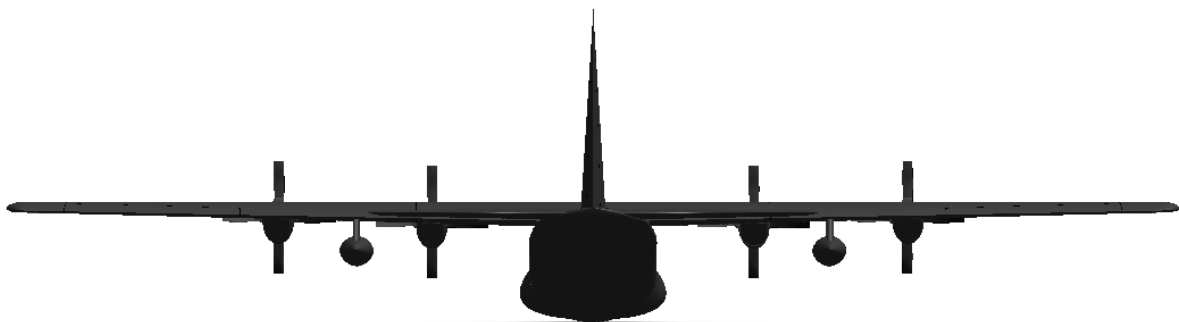
## 9. 3D σχέδιο



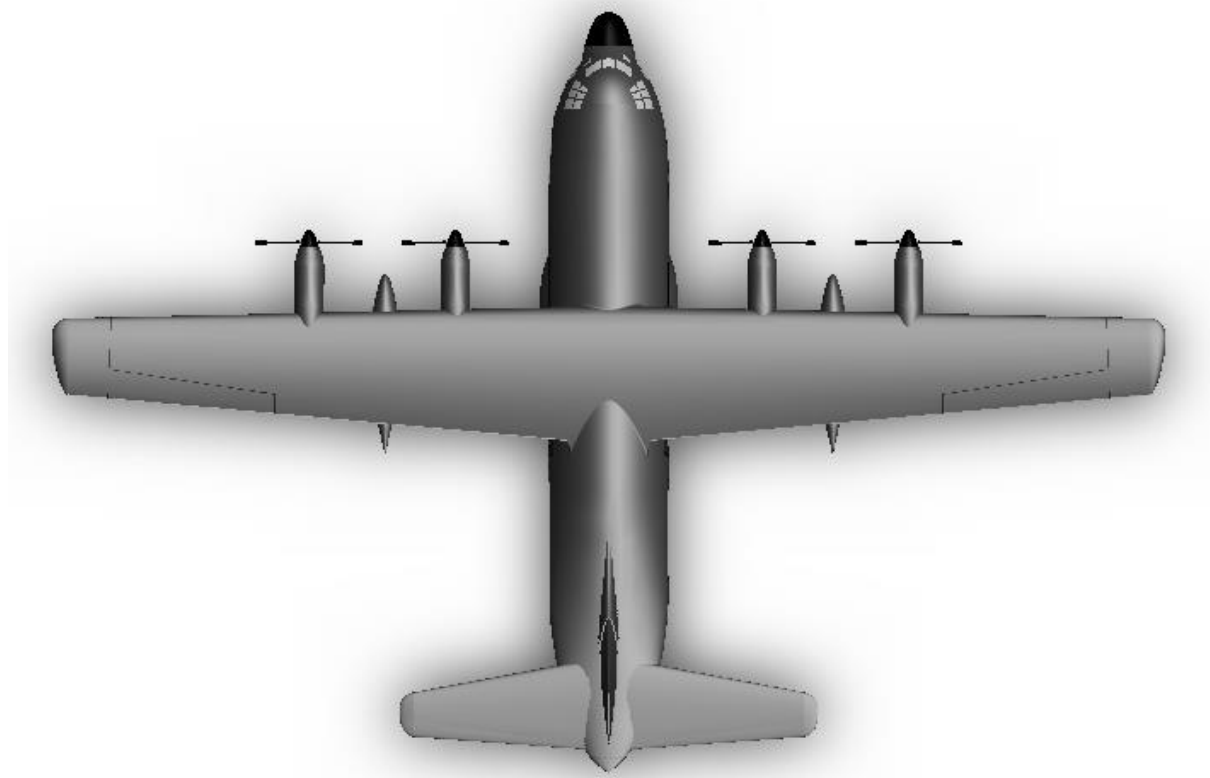
Εικόνα 35. C-130 3D πρόοψη



Εικόνα 36. C-130 3D πλάγια όψη



Εικόνα 37. C-130 3D πίσω όψη

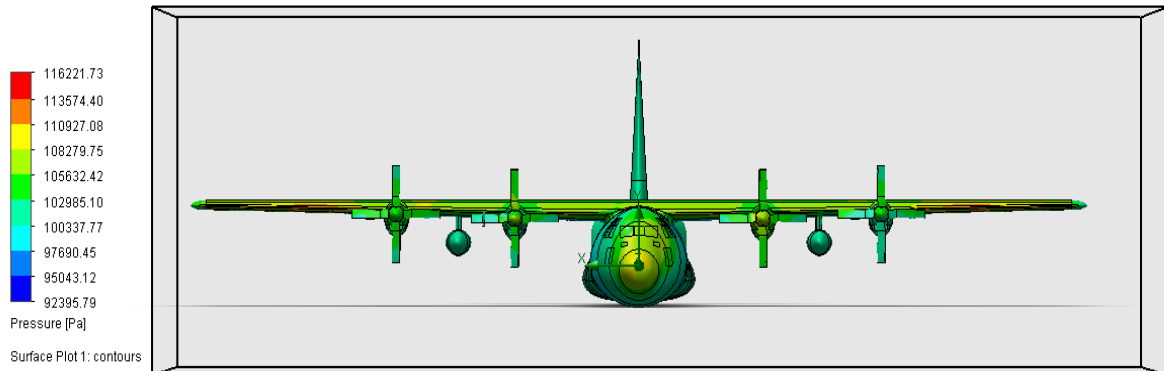


Εικόνα 38. C-130 3D κάτοψη

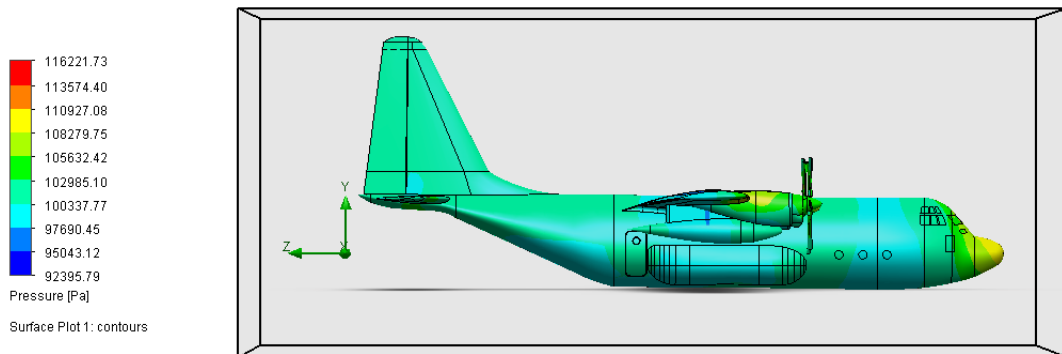


Εικόνα 39. C-130 3D

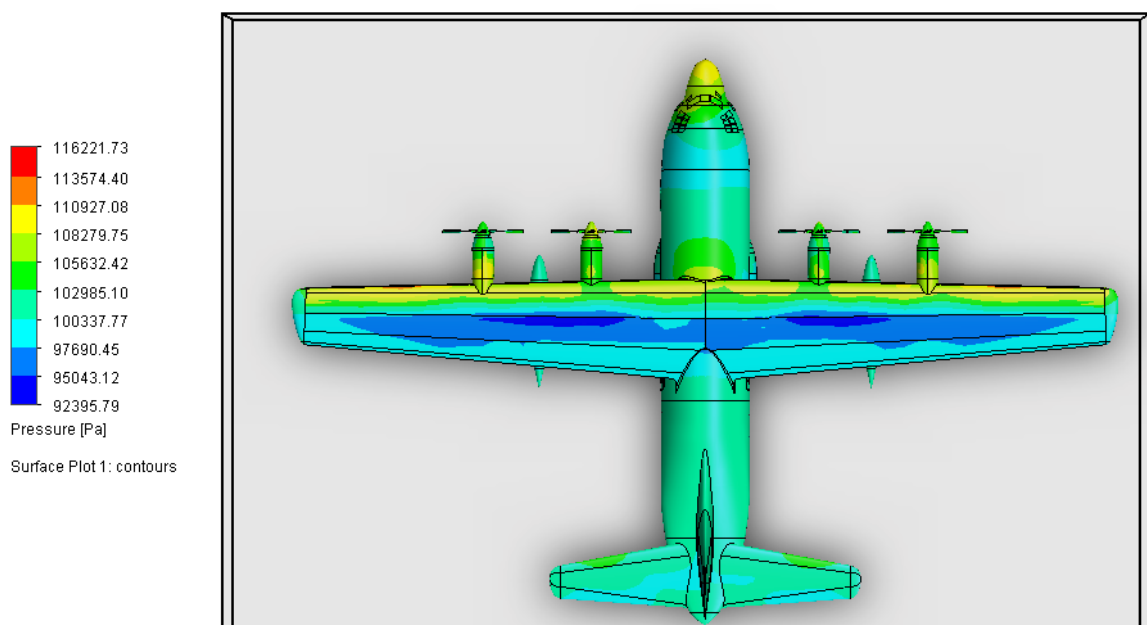
## 10. 3D σχέδιο flow simulation



Εικόνα 40. Flow simulation πρόοψη

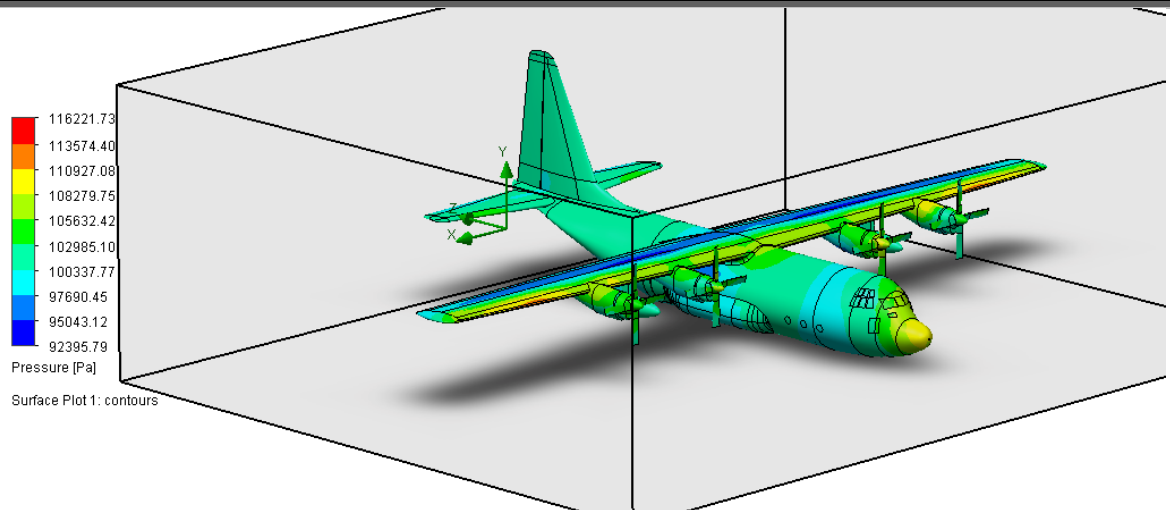


Εικόνα 41. Flow simulation πλάγια όψη

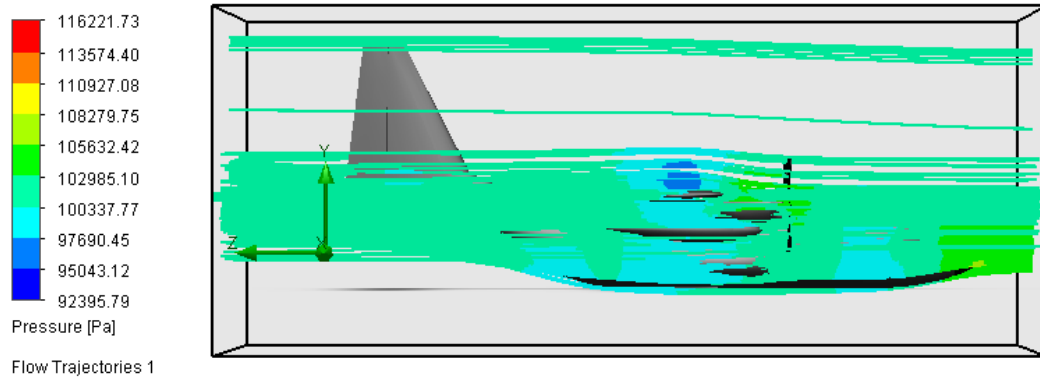


Εικόνα 42. Flow simulation κάτοψη

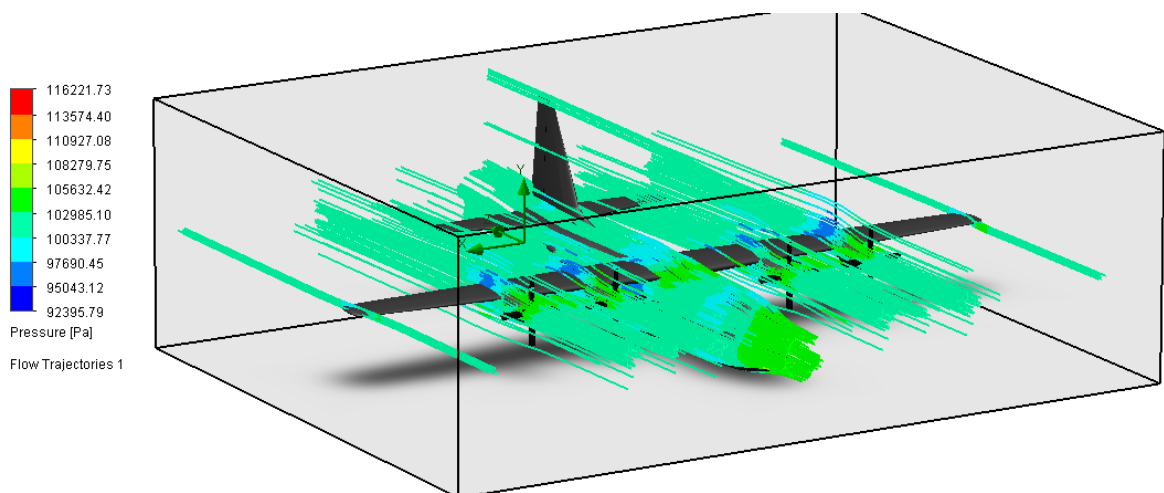




Εικόνα 43. Flow simulation 1



Εικόνα 44. Flow simulation πλάγια όψη

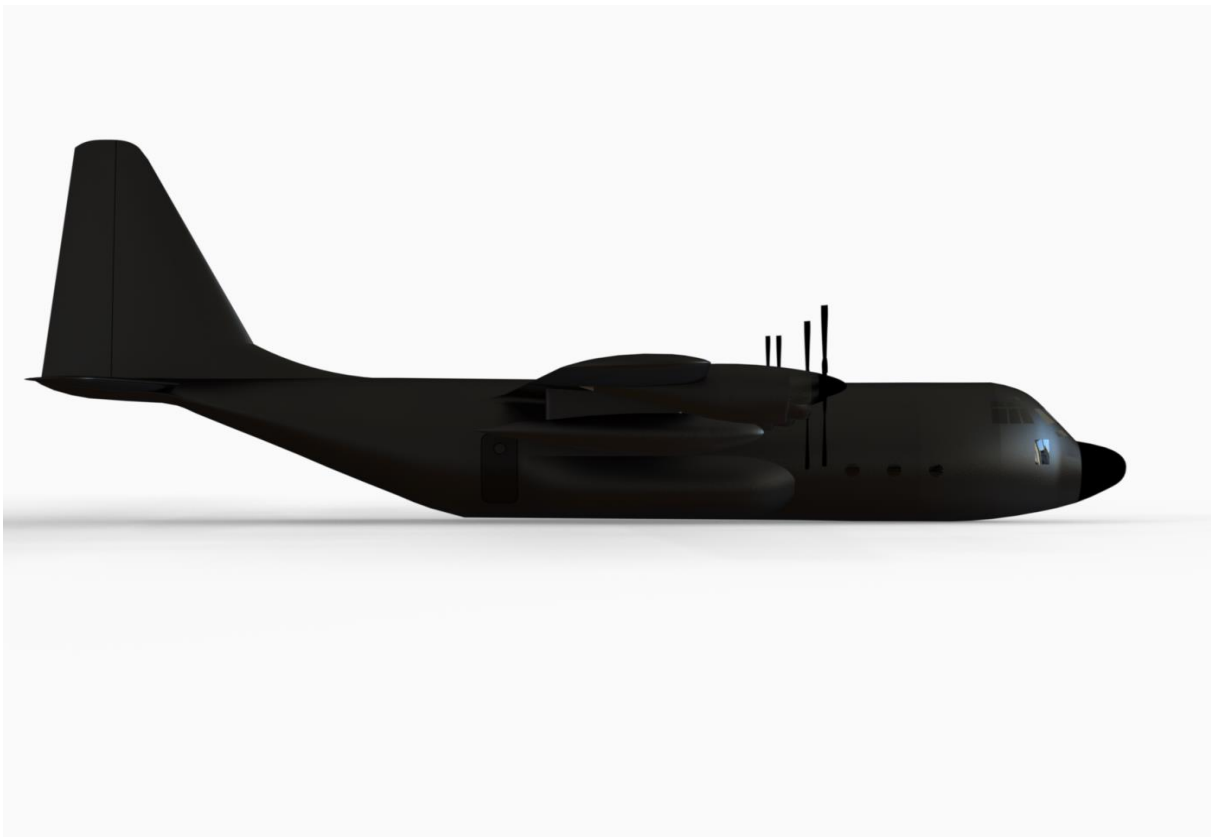


Εικόνα 45. Flow simulation 2

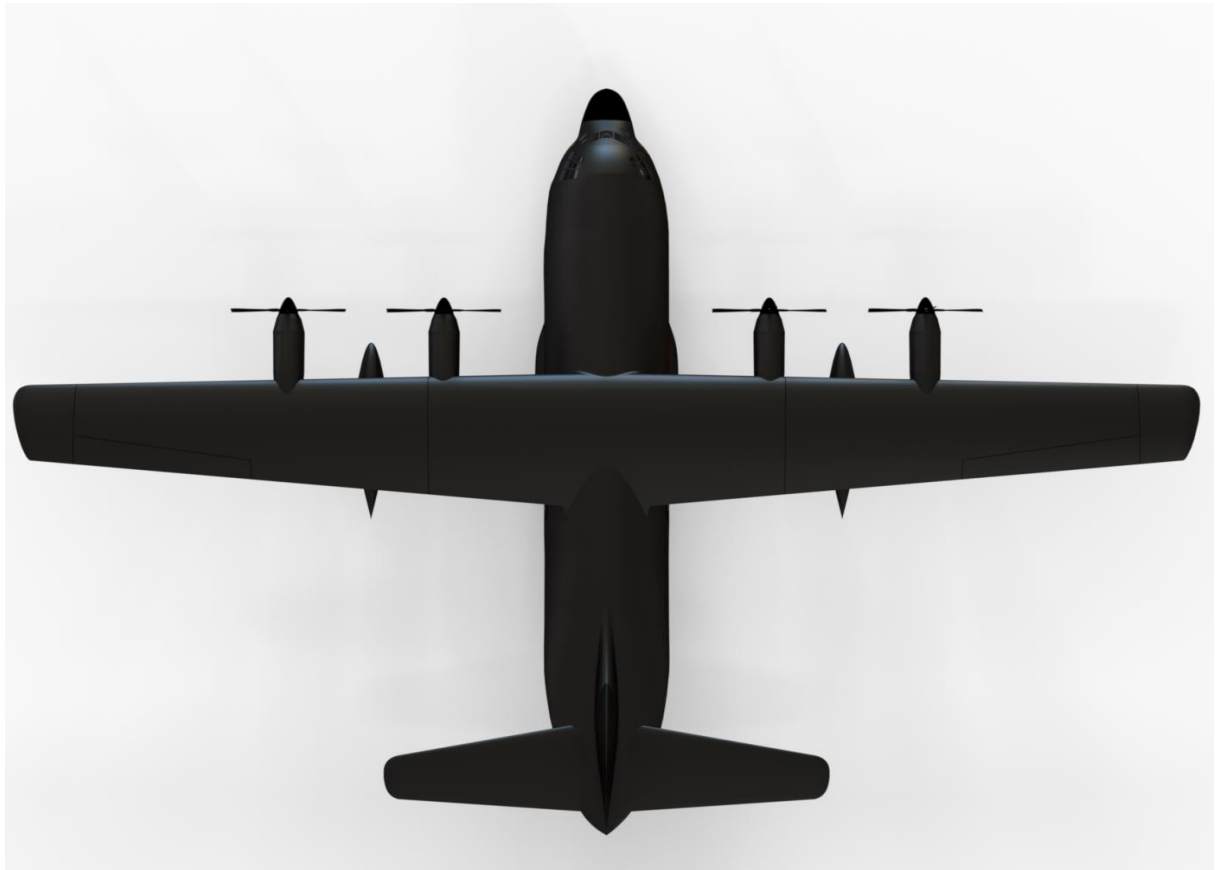
## 11. 3D σχέδιο μετά από render



Εικόνα 46. C-130 3D πρόοψη render



Εικόνα 47. C-130 3D πλάγια όψη render



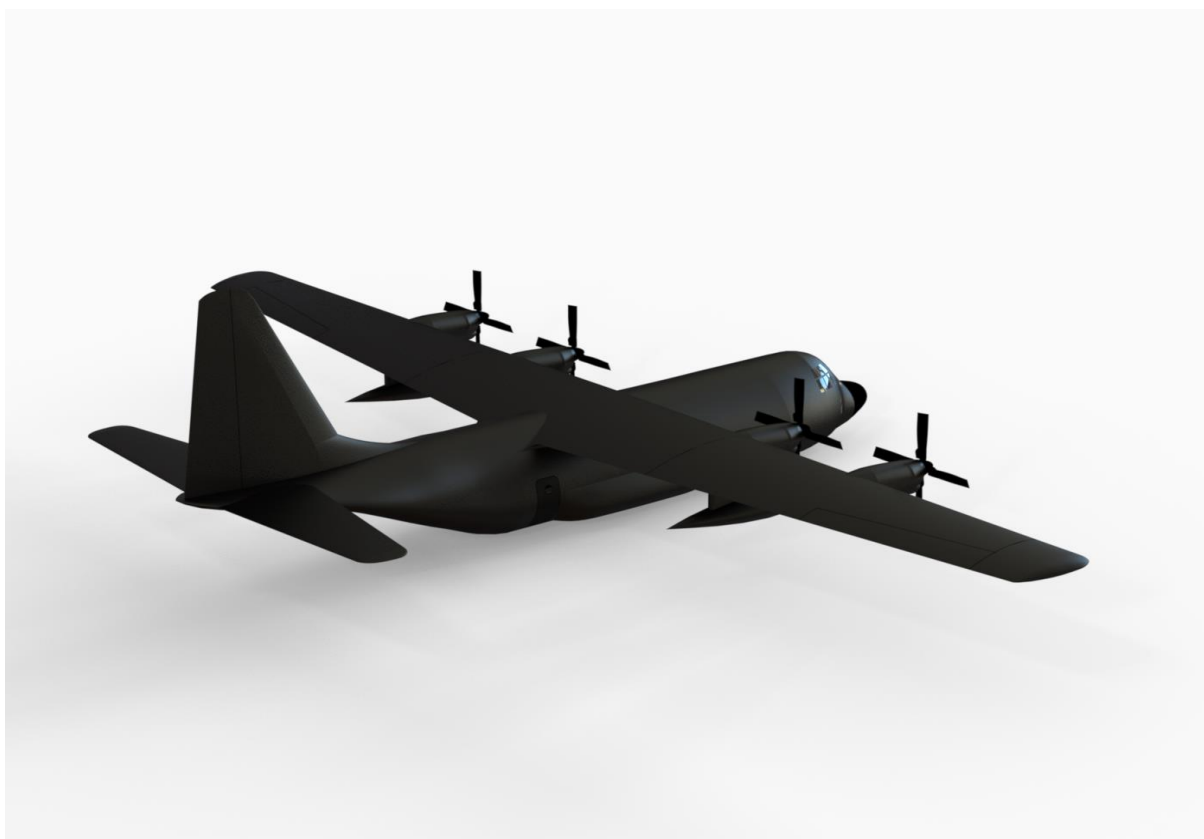
Εικόνα 48. C-130 3D κάτω render



Εικόνα 49. C-130 3D πίσω όψη render

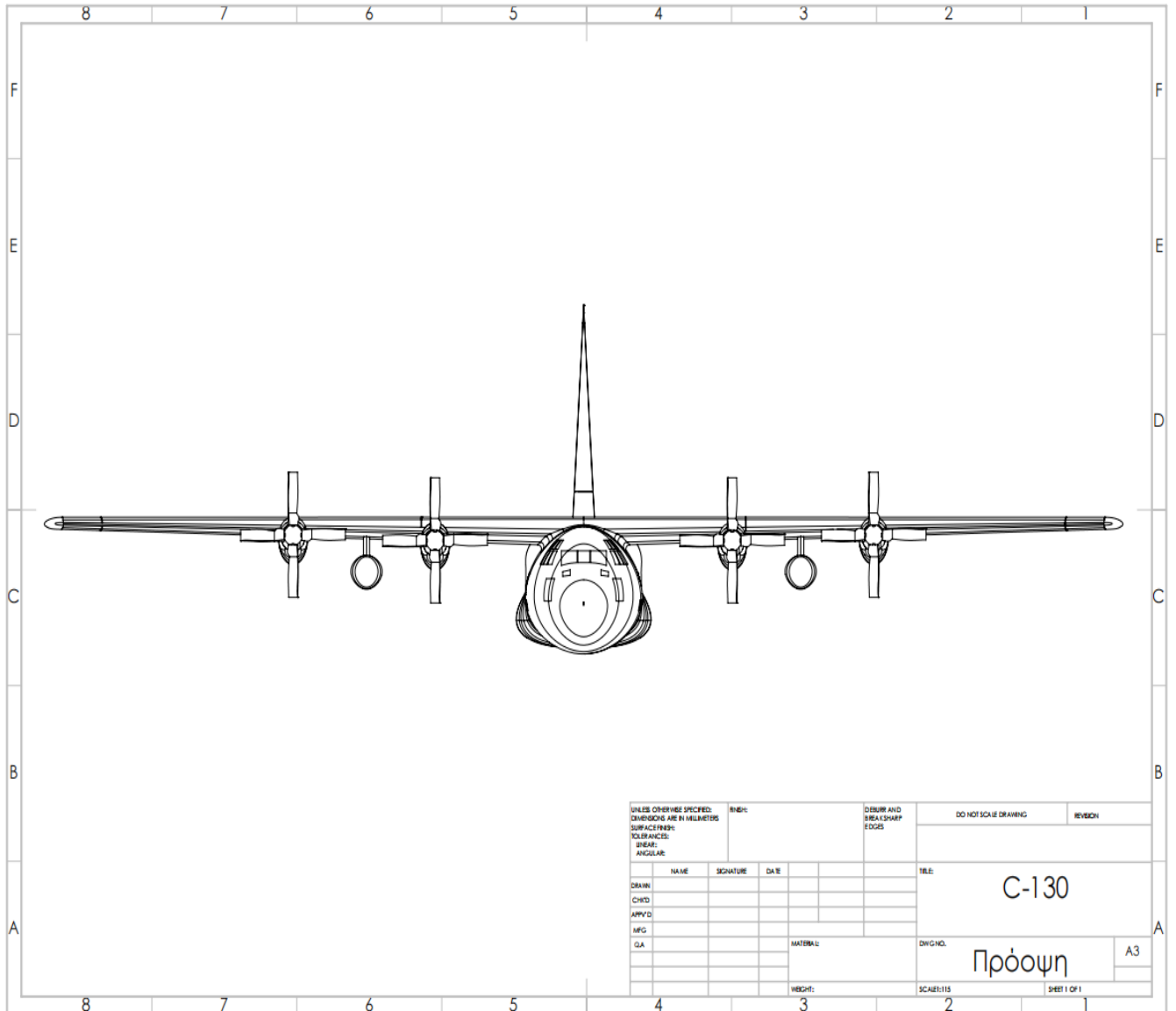


Εικόνα 50. C-130 διαγώνιος 1 3D render

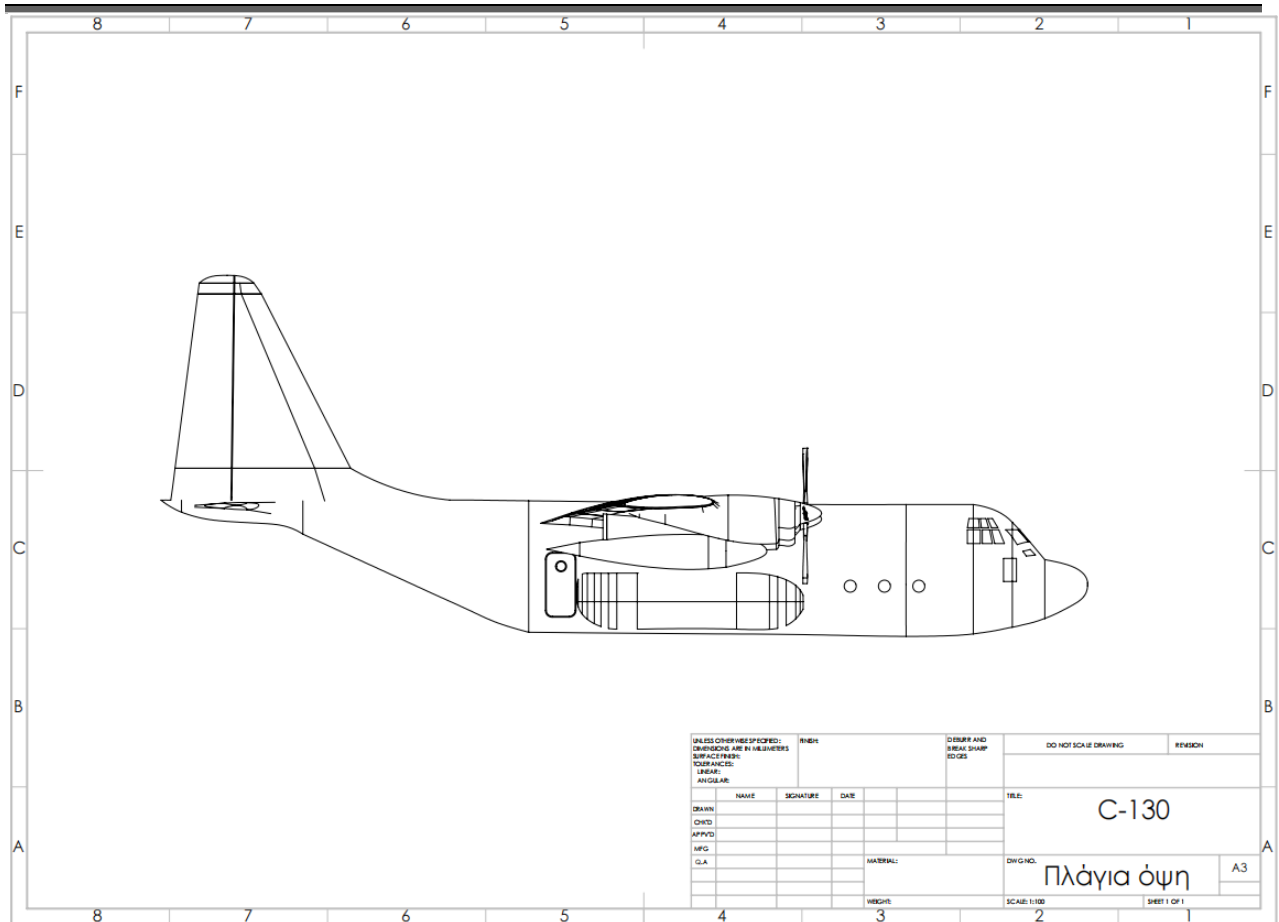


Εικόνα 51. C-130 διαγώνιος 2 3D render

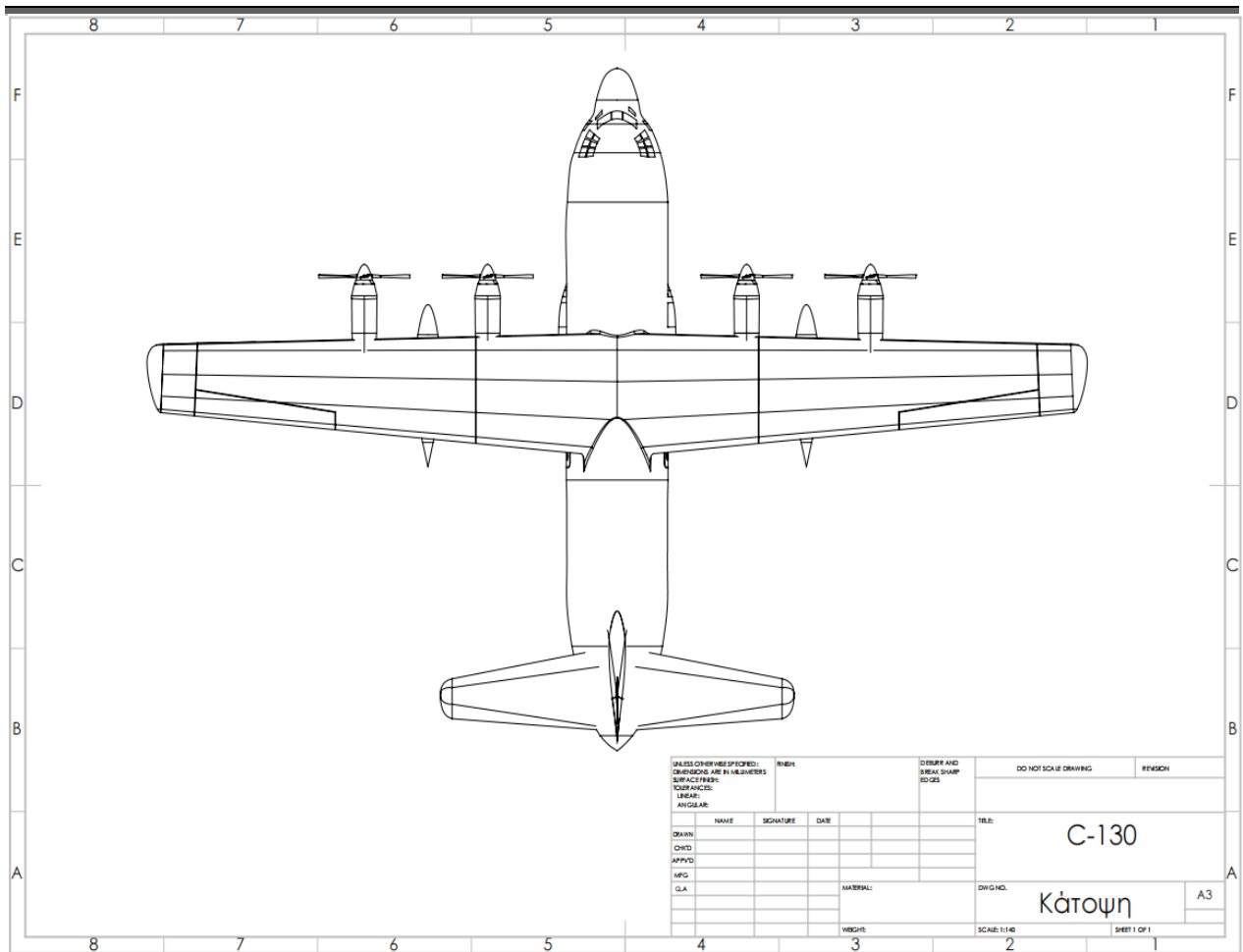
## 12. 2D σχέδιο



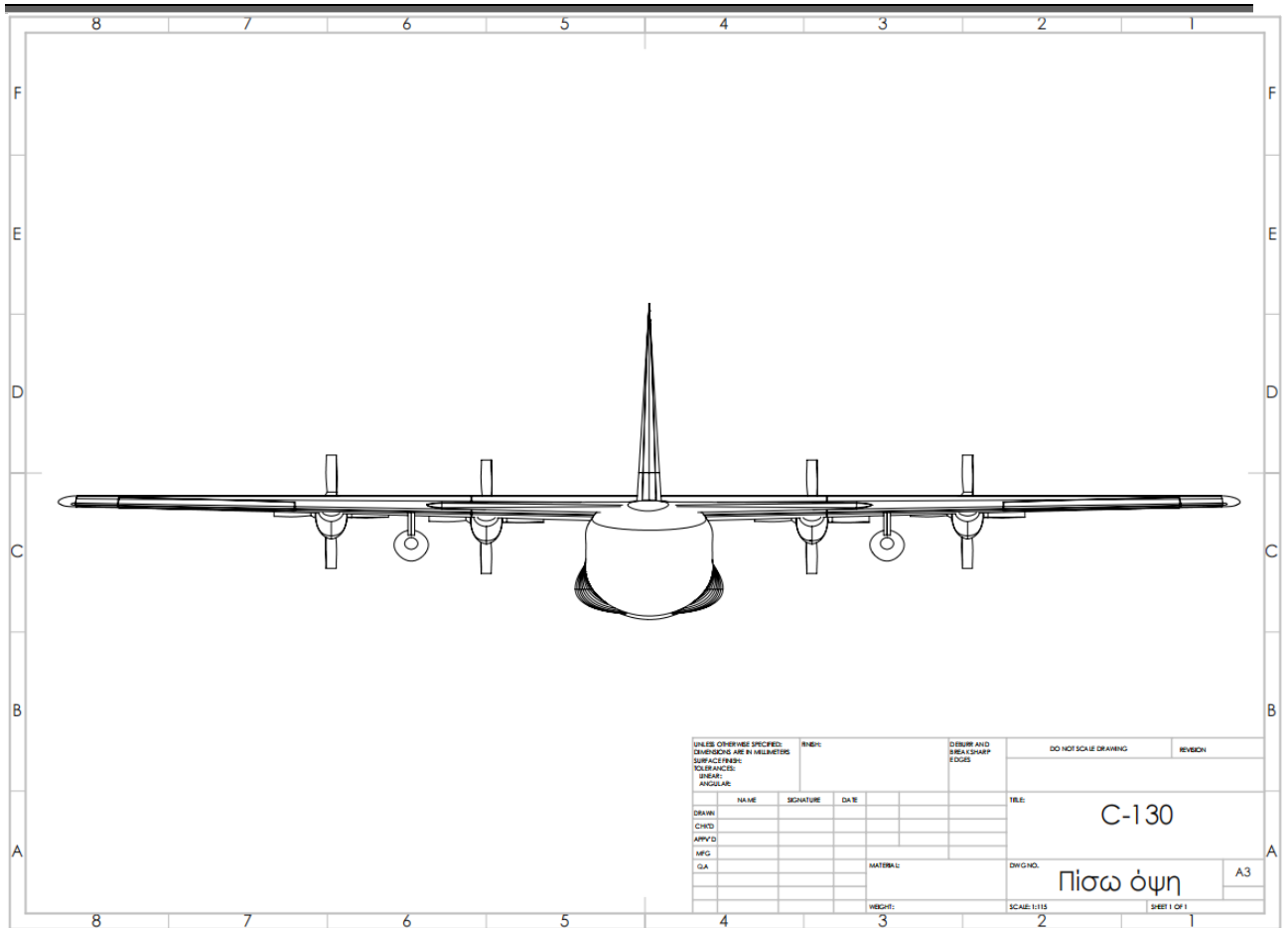
Εικόνα 52. C-130 2D πρόψη



Εικόνα 53. C-130 2D πλάγια όψη

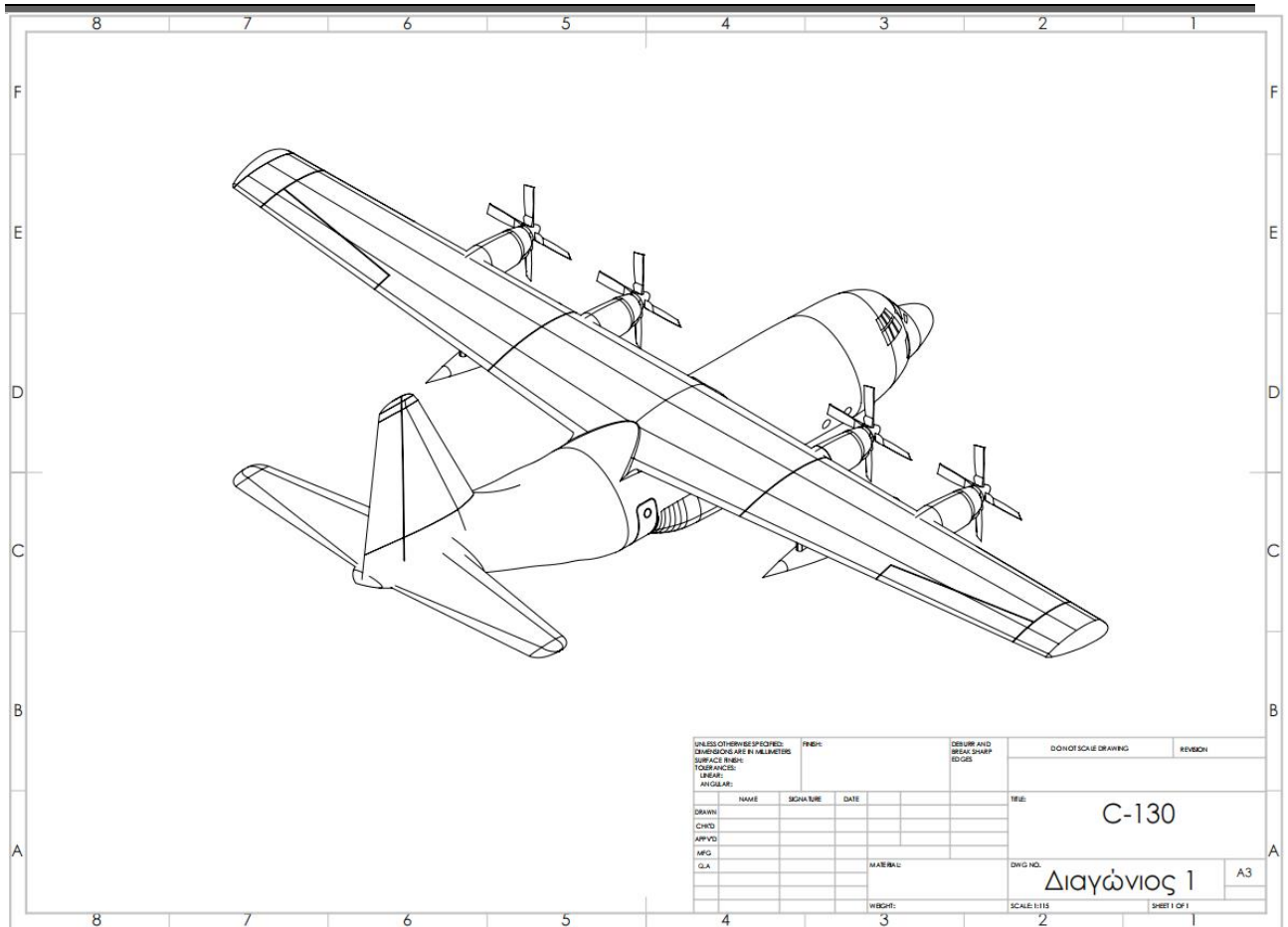


Εικόνα 54. C-130 2D κάτοψη



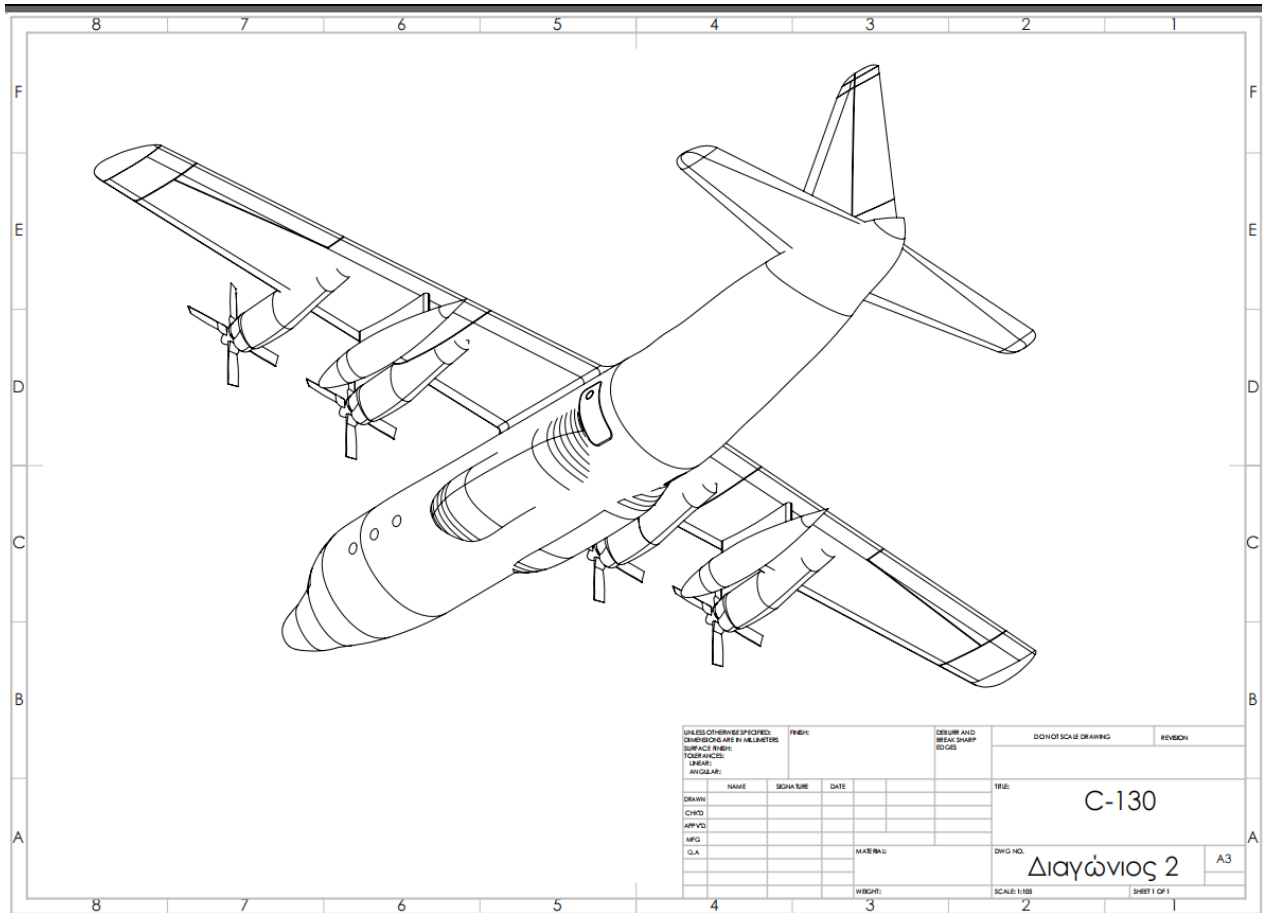
Εικόνα 55. C-130 2D πίσω όψη





Εικόνα 56. C-130 διαγώνιος 1 2D





Εικόνα 58. C-130 διαγώνιος 2 2D

## Βιβλιογραφία

Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (2008). «Title 14: Aeronautics and Space - Part 1 — Definitions And Abbreviations»

«Aviation Maintenance Technician Handbook - Airframe». [www.faa.gov](http://www.faa.gov).

«Dynamics of Flight». [www.grc.nasa.gov](http://www.grc.nasa.gov)

From the Ground Up (27η (αναθεωρημένη) έκδοση). Aviation Publishers Co. Limited.

«Fuselage». [www.grc.nasa.gov](http://www.grc.nasa.gov)

«High wing, low wing». [www.flightglobal.com](http://www.flightglobal.com)

«How is an aircraft built?». [www.airbus.com](http://www.airbus.com)

«Introduction to the Aerodynamics of Flight: VII: Supersonic Flow». [history.nasa.gov](http://history.nasa.gov)

«NASA - Dryden Power Beaming Photo Collection». [www1.dfrc.nasa.gov](http://www1.dfrc.nasa.gov)

«NASA - Ramjet Propulsion». [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

«NASA - What's a Scramjet?». [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

«Propeller Thrust». [www.grc.nasa.gov](http://www.grc.nasa.gov)

«Quest for Performance: The Evolution of Modern Aircraft : Part II: The Jet Age».

[www.hq.nasa.gov](http://www.hq.nasa.gov)

«World War 2 Aircraft (1939-1945)». [www.militaryfactory.com](http://www.militaryfactory.com).

Μπιλάλης Νικόλαος, Μ. Ε., 2009. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ. 1η Έκδοση επιμ. ΑΘΗΝΑ: Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ

Συστήματα Ελέγχου Αεροσκαφών Βασίλης Σπαθόπουλος ΣΕΑΒ, ΚΑΛΛΙΠΟΣ 2015

Becker, Beril (1967). Dreams and Realities of the Conquest of the Skies. New York: Atheneum

Benedetti, François (2003). «FAI NEWS: 100 Years Ago, the Dream of Icarus Became Reality». [www.fai.org](http://www.fai.org)

Crouch, Tom (1982). Bleriot XI, The Story of a Classic Aircraft. Smithsonian Institution

Dale, Crane (1997). Dictionary of Aeronautical Terms (3η έκδοση). Aviation Supplies & Academics

Glancey, Jonathan (2014). «Boeing 707: The aircraft that changed the way we fly». [www.bbc.com](http://www.bbc.com).

Grady, Mary (2013). «Pipistrel Expands Electric Aircraft Line». [www.avweb.com](http://www.avweb.com). Ανακτήθηκε στις 2 Ιανουαρίου 2017.

Hallion, Richard P. «The NACA, NASA, and the Supersonic-Hypersonic Frontier». [www.yumpu.com](http://www.yumpu.com). NASA

Jones, Ernest. «Alberto Santos Dumont». [earlyaviators.com](http://earlyaviators.com).

Kundu, Ajoy Kumar (2010). Aircraft Design. Cambridge: Cambridge University Press. Grady,

Mary (2013). «Pipistrel Expands Electric Aircraft Line». [www.avweb.com](http://www.avweb.com)

Paur, Jason (2010). «June 15, 1919: First Nonstop Flight Crosses Atlantic». [www.wired.com](http://www.wired.com).

Pelt, Michel van (2012). Rocketing Into the Future: The History and Technology of Rocket Planes

Reverse Engineering: An Industrial Perspective Vinesh Raja Kiran J. Fernandes

Sands, Jeffrey (1985). «The Forgotten Ace, Lt. Kurt Wintgens and his War Letters». Cross & Cockade USA.

Wang, W., 2011. Reverse Engineering - Technology of Reinvention. 1η Έκδοση επιμ. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group.

Westcott, Richard (2013). «Could Concorde ever fly again? No, says British Airways»

<https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/history/hercules.html>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%BF>

[http://www.geocities.ws/sfetel/gr/flying\\_g.htm](http://www.geocities.ws/sfetel/gr/flying_g.htm)

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B1%CF%85%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE#cite\\_note-1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B1%CF%85%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE#cite_note-1)

<https://www.ebooks4greeks.gr/%cf%83%cf%85%cf%83%cf%84%ce%b7%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b1-%ce%b5%ce%bb%ce%b5%ce%b3%cf%87%ce%bf%cf%85-%ce%b1%ce%b5%cf%81%ce%bf%cf%83%ce%ba%ce%b1%cf%86%cf%89%ce%bd>

<https://www.goodday.work/v/gantt/XBZblU>

[drawingdatabase.com](http://drawingdatabase.com)  
[freercplans.com](http://freercplans.com)

[the48ers.com](http://the48ers.com)

wikipedia.org

enikos.gr

af.mil