

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ BULKHEAD ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ  
F-35 ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INVENTOR



Κατσέλης Παναγιώτης του Αντωνίου ΑΜ: 35359

Ενζαϊπάν Σάμου του Μουτουακέλ ΑΜ: 38869

Επιβλ. Καθ. Φιλήμων Σκιττίδης

Σαγιάς Βασίλειος

Αιγάλεω 2018

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αρχικά γίνεται ιστορική αναδρομή στα προγενέστερα, του F-35 πολεμικά αεροπλάνα, με σκοπό να φανεί η αλματώδη τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων χρόνων πάνω στην αεροναυπηγική. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην ιστορία της τεχνολογίας jet καθώς και στο πρόγραμμα F-35, αναλύοντας ξεχωριστά τις εκδόσεις του και αναδεικνύοντας τις μεταξύ τους διαφορές. Τέλος αναλύεται η χρησιμότητα και η κατασκευή των διαφραγμάτων (bulkheads) και παρουσιάζονται τα βήματα μοντελοποίησης του εμπρόσθιου διαφράγματος (bulkhead) της ατράκτου του F-35. Αυτό κατέστη δυνατό με την χρήση σύγχρονου τρισδιάστατου υβριδικού μοντελοποιητή.

## **SUMMARY**

In this undergraduate thesis, there is a look through time at previous jet aircrafts and also the program of F-35, as an attempt to present the rapid evolution of aeronautic technology. All versions of the F-35 program will be presented and analyzed, in order to point out all main differences. Concluding, analysis on bulkhead's usage and construction is made, through 3D modeling of front bulkhead reference will made on the usefulness of the bulkheads and the technology to produce them.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τους φοιτητές Κατσέλη Παναγιώτη και Ενζαϊπάν Σάμου του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 υπό την επίβλεψη των καθηγητών κύριο Σκιττίδη Φιλήμων και κύριο Σαγιά Βασίλειο.

Θα θέλαμε λοιπόν να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας και την ευγνωμοσύνη μας στους καθηγητές μας για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθειά τους, το ενδιαφέρον τους αλλά και τον χρόνο που διαθέσανε για την διεκπεραίωση της πτυχιακής μας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε στους σχεδιαστές της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN (Καμάρι), κύριο Ιατρόπουλο Πέτρο και κύριο Δημητριάδη Σπύρο για την πολύτιμη βοήθειά τους στο να μας μάθουν τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να οργανώνουμε και να σχεδιάζουμε στο πρόγραμμα Inventor.

Ευχαριστίες θα θέλαμε επίσης να απευθύνουμε στον υποσμηναγό μηχανικό και φίλο κύριο Κοπίτα Γεώργιο της 112 Π.Μ. Ελευσίνας για την βοήθεια του πάνω στα πολεμικά αεροπλάνα.

Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μας που στάθηκαν δίπλα μας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή .....	6
Τα πρώτα jet .....	6
Μαχητικά αεροπλάνα 2ης γενιάς .....	8
Μαχητικά αεροπλάνα 3ης γενιάς .....	9
Μαχητικά αεροπλάνα 4ης γενιάς .....	9
Μαχητικά αεροπλάνα 5ης γενιάς .....	10
F-35 Lightning II .....	11
Εκδόσεις του F-35 .....	14
Οπλισμός .....	25
Αντίστροφη Μηχανική (Reverse Engineering).....	27
Λόγοι αντιστροφής μηχανικής.....	28
Bulkhead.....	30
Διαδικασία μοντελοποίησης μπροστινού διαφράγματος (Bulkhead) του F-35.....	32
Σχεδίαση του διαφράγματος με δημιουργία όγκου .....	38
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ F-35 .....	41
Συζήτηση - Συμπεράσματα .....	43
Βιβλιογραφία.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

εικόνα 1 Το Ar-234 .....	6
εικόνα 2. Το Σοβιετικό TR-1 .....	7
εικόνα 3 Το Σοβιετικό Tu-77 .....	8
εικόνα 4 N.C 1071 .....	8
εικόνα 5 English Electric Canberra .....	8
εικόνα 6 Το πρώτο μαχητικό 5ης γενιάς, το αμερικανικό F-22 Raptor.....	10
εικόνα 7 F-35 Lightning II .....	11
εικόνα 8 F-35 A .....	17
εικόνα 9 F-35B.....	18
εικόνα 10. Απεικόνιση του εσωτερικού του F-35B .....	19
εικόνα 11 Μέθοδος probe and drogue .....	20
εικόνα 12 F-35 C.....	21
εικόνα 13 Όψεις του F-35 C.....	21
εικόνα 14 F-35 I της Ισραηλινής αεροπορίας.....	23
εικόνα 15 CF-35 της Καναδικής αεροπορίας.....	25
εικόνα 16 Οπλισμός F-35 ανάλογα με την αποστολή του .....	26
εικόνα 17 Ένα από τα bulkheads του F-22 Raptor .....	30
εικόνα 18 Το εμπρόσθιο bulkhead του F-35 .....	31
εικόνα 19 Το εμπρόσθιο bulkhead και η θέση του στο αεροπλάνο.....	31
εικόνα 20 Πρώτη σχεδίαση .....	33
εικόνα 21 Περίγραμμα μισού διαφράγματος σε 2D.....	34
εικόνα 22 Τοποθέτηση νεύρων στο μοντέλο .....	35
εικόνα 23 Το διάφραγμα με τα νεύρα.....	36
εικόνα 24 Το διάφραγμα με την προσθήκη των οπών .....	37
εικόνα 25 Ολόκληρο το διάφραγμα .....	38
εικόνα 26 Ένα από τα Bulkheads του F-35 .....	39
εικόνα 27 Bulkhead της ατράκτου του F-35.....	39
εικόνα 28 Το διάφραγμα σε solid μορφή.....	40
εικόνα 29 Σύγκριση εικόνας Bulkhead με μοντέλο .....	41
εικόνα 30 Μηχανολογικό Σχέδιο διαφράγματος .....	42

## Εισαγωγή

### Τα πρώτα jet



εικόνα 1 Το Ar-234

Στις 15/6/1943 η Γερμανία πραγματοποίησε επιτυχώς την πρώτη του πτήση, το πρώτο αεριωθούμενο βομβαρδιστικό στον κόσμο, το Ar-234 (εικ.1).

Ερχόμενοι σε θέματα δομής και αεροδυναμικής, τα πρώτα χρόνια μετά τον πόλεμο διατηρήθηκε η ολομεταλλική άτρακτος. Η τεχνολογία αυτή δημιουργήθηκε από την Γερμανική Αεροπορία το 1915 η οποία αφορούσε την αλλαγή της ατράκτου του αεροπλάνου από ξύλινη , που χρησιμοποιούταν μέχρι τότε από όλες τις χώρες, σε μεταλλική. Στα υποσυστήματα, κατά τα πρώτα μεταπολεμικά χρόνια γενικεύτηκε σε παγκόσμια κλίμακα η χρήση συμπιεζόμενων καμπινών, για ασφαλής πτήσεις άνω των οκτώ χιλιάδων ποδιών (8.000) χωρίς την χρήση μάσκας οξυγόνου, ενώ προστέθηκε τηλεχειριζόμενος αμυντικός οπλισμός και ραδιοεντοπιστή αεροπλάνων. Ταυτόχρονα περίπου το 1950 υιοθετήθηκε και ο σωλήνας ανεφοδιασμού εν πτήση. Στον επιθετικό οπλισμό οι υδρογονοβόμβες ή H-bombs έγιναν διαθέσιμες για ρίψη από αεροσκάφη

την άνοιξη του 1956, αφού στο έδαφος είχαν δοκιμαστεί ήδη από το 1952. Επρόκειτο για πυρηνικά όπλα δεύτερης γενιάς (θερμοπυρηνικά) και τελικά έγιναν ο βασικός οπλισμός όλων των στρατηγικών βομβαρδιστικών.

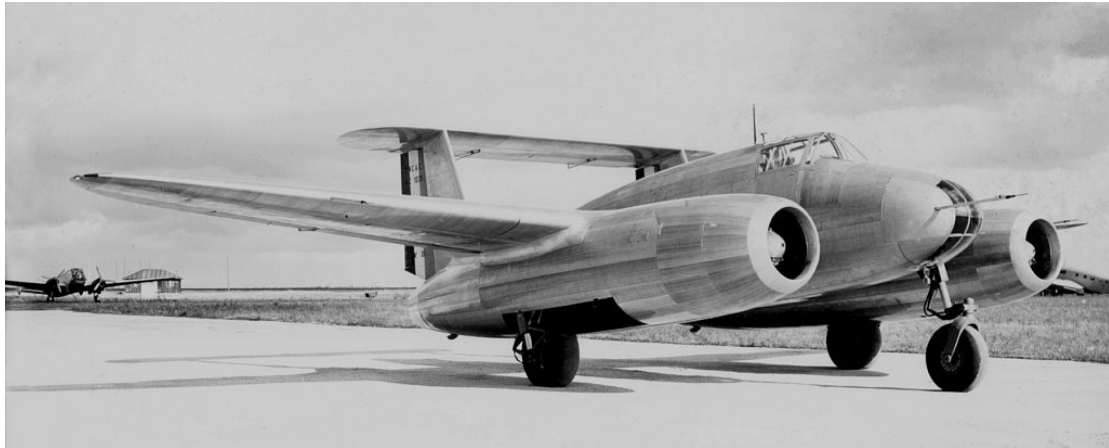
Το 1947, η Ε.Σ.Σ.Δ. κατασκεύασε το TR-1 (εικ.2) και το δικινητήριο Tu-77(εικ.3) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_aircraft](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_aircraft), 2018). Στη Δυτική Ευρώπη, η Γαλλία από το 1948 ως το 1951 προσπάθησε χωρίς επιτυχία να τελειοποιήσει το δικό της jet . Συγκεκριμένα, οι Γάλλοι, κατασκεύασαν το ογκώδες μαχητικό αεροσκάφος N.C 1071(εικ.4) με μέγιστη ταχύτητα μόλις 795,00 km/h. σε αντίθεση με τη Βρετανία, που κατασκεύασε βομβαρδιστικό. Η Μεγάλη Βρετανία κατασκεύασε το English Electric Canberra(εικ.4), το πρώτο της jet, το οποίο και απογειώθηκε στις 13/5/1949.



εικόνα 2. Το Σοβιετικό TR-1



εικόνα 3 Το Σοβιετικό Tu-77



εικόνα 4 N.C 1071



εικόνα 5 English Electric Canberra

### Μαχητικά αεροπλάνα 2ης γενιάς

Η ανάπτυξη μαχητικών δεύτερης γενιάς διαμορφώθηκε από τεχνολογικές ανακαλύψεις και διδάγματα από τις εναέριες μάχες του Κορεατικού πολέμου. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην αεροδυναμική, τα προωστικά και τα αεροδιαστημικά οικοδομικά υλικά (κυρίως τα κράματα αλουμινίου) επέτρεψαν στους σχεδιαστές να πειραματιστούν με αεροναυτικές καινοτομίες, όπως τα σαρωμένα πτερύγια και τα



πτερύγια τύπου δέλτα. Η ευρεία χρήση κινητήρων turbojet έκανε αυτά τα αεροσκάφη να σπάζουν το ηχητικό φράγμα και ταυτόχρονα να έχουν την δυνατότητα να διατηρούν τις υπερηχητικές ταχύτητες σε επίπεδο πτήσης.

#### Μαχητικά αεροπλάνα 3ης γενιάς

Η τρίτη γενιά ακολούθησε τη συνέχιση της ωρίμανσης των καινοτομιών δεύτερης γενιάς, αλλά είναι πιο έντονη με έμφαση στην ικανότητα ελιγμών καθώς και την δυνατότητα επίγειας επίθεσης. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, η αυξανόμενη εμπειρία μάχης με καθοδηγούμενους πυραύλους, απέδειξε ότι η μάχη θα μεταβιβαστεί σε κοντινές αποστάσεις. Αναλογικά αερο-ηλεκτρονικά άρχισαν να εισάγονται, αντικαθιστώντας τα παλαιότερα όργανα πιλοτηρίου που χρησιμοποιούσαν ατμόμετρο. Οι βελτιώσεις της αεροδυναμικής απόδοσης των μαχητικών τρίτης γενιάς συμπεριλάμβαναν όργανα ελέγχου πτήσης και νέου τύπου φτερά. Ορισμένες τεχνολογίες θα δοκιμάζονταν σε πειραματικό στάδιο για κατακόρυφη σύντομη απογείωση και προσγείωση.

#### Μαχητικά αεροπλάνα 4ης γενιάς

Η τέταρτη γενιά είναι μια γενική ταξινόμηση των αεριωθούμενων μαχητικών τα οποία βρίσκονται σε υπηρεσία από το 1980 μέχρι σήμερα και αντιπροσωπεύει κατασκευαστικά σχέδια και τεχνολογίες της δεκαετίας του 1970. Τα σχέδια της τέταρτης γενιάς επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τα διδάγματα που αντλήθηκαν από την προηγούμενη γενιά των πολεμικών αεροσκαφών. Οι πύραυλοι αέρος-αέρος μεγάλου βεληνεκούς, αποδείχθηκε πως έχουν μικρότερη επιρροή από ό, τι αναμενόταν, κατακρημνίζοντας την ανανεωμένη έμφαση στον ελιγμό. Εν τω μεταξύ, το αυξανόμενο κόστος των στρατιωτικών αεροσκαφών εν γένει και η αποδεδειγμένη επιτυχία κάποιων, όπως το F-4 Phantom II, δημιούργησαν την κατασκευή αεροσκαφών πολλαπλών ρόλων. Αυτά τα αεροσκάφη έχουν περισσότερες αρμοδιότητες, πέρα της εναέριας μάχης, όπως κατασκοπεία, διεξαγωγή ηλεκτρονικού πολέμου και ικανότητα βομβαρδισμού επίγειων στόχων.

Κατά την εξεταζόμενη περίοδο, η ευελιξία ενισχύθηκε η οποία κατέστη δυνατή με την εισαγωγή του συστήματος ελέγχου πτήσης, το οποίο με τη σειρά του ήταν δυνατό λόγω της εξέλιξης των ψηφιακών υπολογιστών. Η αντικατάσταση της αναλογικής

αερο-ηλεκτρονικής με την νέα αυτή τεχνολογία , έγινε βασική ανάγκη, καθώς τα παλαιά αναλογικά συστήματα πληροφορικής άρχισαν να αντικαθίστανται από ψηφιακά συστήματα ελέγχου πτήσης στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1980. Η περαιτέρω πρόοδος των μικροϋπολογιστών στη δεκαετία του '80 και του '90 επέτρεψε την ταχεία αναβάθμιση των αεροσκαφών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής αυτών των μαχητικών.

### Μαχητικά αεροπλάνα 5ης γενιάς



*εικόνα 6 Το πρώτο μαχητικό 5ης γενιάς, το αμερικανικό F-22 Raptor*

Τα μαχητικά πέμπτης γενιάς αποτελούν ταξινόμηση μαχητικών που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και περιλαμβάνει την πιο εξελιγμένη γενιά . Τα ακριβή χαρακτηριστικά τους είναι αμφιλεγόμενα και αόριστα, με την εταιρεία Lockheed Martin να τα χαρακτηρίζει, αεροσκάφη υψηλής απόδοσης με εξαιρετικά ολοκληρωμένα συστήματα πληροφορικής. (<https://www.lockheedmartin.com>, 2017)

Από τον Μάιο του 2018, τα μόνα σκάφη πέμπτης γενιάς που είναι έτοιμα για μάχη είναι το Lockheed Martin F-22 Raptor (εικ.6), το οποίο τέθηκε σε υπηρεσία με την Πολεμική Αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών το 2005, το Lockheed Martin F-35 Lightning II, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία το 2015 και το Chengdu J-20, το οποίο

τέθηκε σε λειτουργία από την Πολεμική Αεροπορία της Κίνας τον Σεπτέμβριο του 2017. Το Sukhoi Su-57 είναι έτοιμο προς παράδοση στη Ρωσική Πολεμική Αεροπορία το 2019. Τα HAL AMCA, TAI TFX, Shenyang J-31 και Mitsubishi X-2 Shinshin βρίσκονται σήμερα σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης.

## F-35 Lightning II



εικόνα 7 F-35 Lightning II

Έπειτα από καθυστέρηση τριών ετών, το μαχητικό F-35 Lightning II (εικ.7) τέθηκε, στα μέσα του καλοκαιριού του 2015, στην διάθεση των αμερικανικών Ενόπλων Δυνάμεων, ενώ στις 8/9/2015 πραγματοποίησε και την πρώτη του πτήση εκτός αμερικανικού εδάφους, σε ασκήσεις της ιταλικής Πολεμικής Αεροπορίας. Η μακρά περίοδος αναμονής, που χαρακτηρίστηκε τόσο από θετικά όσο και αρνητικά σχόλια, έφτασε στο τέλος της και το F-35 πλέον θα κληθεί να αποδείξει τις δυνατότητές του, αλλά και αν και κατά πόσον άξιζε η τεράστια επένδυση χρόνου και χρήματος.

Το F-35 συγκαταλέγεται στα αεροσκάφη που ανήκουν στην 5η γενιά. Τα αεροσκάφη αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζονται ως τα πλέον ανεπτυγμένα καθώς διαθέτουν τεράστιες δυνατότητες σε σχέση με τα παλαιότερα, ακόμα και από αυτά της 4ης. Οι σημαντικότερες είναι οι εξής:

- Δυνατότητα ολοκληρωτικής «αόρατης» λειτουργίας (full stealth mode) ακόμα και όταν το αεροσκάφος είναι οπλισμένο. Το στίγμα του είναι σχεδόν μη ανιχνεύσιμο ενώ ο οπλισμός του βρίσκεται εντός της ατράκτου.
- Υπερηχητικές ταχύτητες με ταυτόχρονη ευκινησία. Δηλαδή η ικανότητα του να αλλάζει κατευθύνσεις ενώ βρίσκεται σε μεγάλη ταχύτητα.
- Δυνατότητες fully-fused sensors information (εξαιρετικά γρήγορη μετάδοση πληροφοριών από και προς τον πιλότο). Ο πιλότος είναι σε θέση να γνωρίζει άμεσα τους κινδύνους καθώς και τον τρόπο δράσης στο πεδίο της μάχης.
- Βελτίωση αυτονομίας, καθώς έχει βελτιωθεί η απόδοση του κινητήρα σε σχέση με τα μαχητικά προηγούμενων γενεών.
- Δυνατότητες ηλεκτρονικού πολέμου. Χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με σκοπό την παρεμπόδιση επιθέσεων του εχθρού μέσω του φάσματος ή ακόμα και την πρόσβαση σε αυτό.
- Αυξημένη διαλειτουργικότητα (επικοινωνία και διαμοιρασμός πληροφοριών μεταξύ των αεροσκαφών αλλά και του εδάφους)
- Βελτίωση των δυνατοτήτων επιβίωσης τόσο του αεροσκάφους όσο και του πιλότου. Γρήγορη ενημέρωση του χειριστή σε περίπτωση κινδύνου από εχθρικά πυρά με μεγάλη πιθανότητα αποφυγής αυτών.

Στην κατηγορία των αεροσκαφών 5ης γενιάς, πέραν του F-35, ανήκει επίσης το αμερικάνικο F-22, το ρωσικό Sukhoi PAX-FA και το κινέζικο J-20. Το F-35 ωστόσο θεωρείται το πιο ολοκληρωμένο αεροσκάφος σήμερα, αν και δεν έχει ακόμα χρησιμοποιηθεί σε επιχειρησιακές αποστολές. () Ο ισχυρισμός αυτός πηγάζει από την κατασκευάστρια εταιρία Lockheed Martin και από αναλυτές που έχουν παρουσιάσει τις δυνατότητές του. Άλλωστε αυτός ήταν ο στόχος τόσο των ΗΠΑ όσο και των υπόλοιπων οκτώ χωρών (Αυστραλία, Καναδάς, Δανία, Ισραήλ, Ιταλία, Ιαπωνία, Ολλανδία, Νορβηγία, Τουρκία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ν. Κορέα) που συμμετείχαν στην δωδεκαετή διαδικασία κατασκευής του. Το μεγάλο αυτό χρονικό διάστημα αποδίδεται στην μέθοδο Concurrency (συγχρονισμός) που χρησιμοποιήθηκε από την Lockheed. Σύμφωνα με αυτήν, η διαδικασία κατασκευής ξεκινούσε με βάση την

έρευνα και την ανάπτυξη του αεροσκάφους στα πλαίσια μη υπάρχουσας τεχνολογίας. Κάθε φορά που η διαδικασία έφτανε σε τέλος λόγω τεχνολογικού κενού, σταματούσε και ξεκινούσε ξανά όταν τα τεχνολογικά μέσα είχαν ωριμάσει. Η ίδια μέθοδος ακολουθήθηκε και κατά την κατασκευή του F-22, το πρόγραμμα του οποίου πάντως ολοκληρώθηκε σε τέσσερα χρόνια (2008-2012).

Η μεγάλη καθυστέρηση του F-35 (το πρόγραμμα του οποίου ξεκίνησε το 1997) επέφερε δύο βασικά προβλήματα: τεράστιο οικονομικό κόστος (που υπολογίζεται άνω του ενός τρισεκατομμυρίου δολαρίων) και γενική δυσαρέσκεια τόσο από αναλυτές όσο και από φορολογούμενους. Επικρίθηκε η επιμονή στην κατασκευή του αεροσκάφους, κυρίως λόγω της ύπαρξης του εξαιρετικού F-22, αλλά και η συνολική ανάγκη δημιουργίας του, δεδομένης της υπάρχουσας υπεροχής των ΗΠΑ στον χώρο της αεροπορίας. Ειπώθηκε επίσης πως το F22 ήταν σε θέση να αποτελέσει την αιχμή του δόρατος της αμερικανικής Πολεμικής Αεροπορίας και να ανταγωνιστεί επί ίσοις όροις τα αντίπαλα μαχητικά. Οι ΗΠΑ και η Lockheed ωστόσο έβλεπαν την κατάσταση διαφορετικά. (Hamilton, 2012)

Η εταιρία σε κάθε ευκαιρία υπεραμύνεται (<https://www.lockheedmartin.com>, 2017) της μεθόδου **Concurrency (Συγχρονισμός)**, υποστηρίζοντας πως αποτελεί την τελειότερη εξελικτική μορφή για ένα αεροσκάφος αυτού του βεληνεκούς και αυτών των απαιτήσεων.

Στην επιστήμη των υπολογιστών, **συγχρονισμός** είναι η ικανότητα διαφορετικών τμημάτων ή μονάδων ενός προγράμματος, ενός αλγορίθμου ή ενός προβλήματος να εκτελούνται εκτός τάξης ή με μερική σειρά, χωρίς να επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα. Αυτό επιτρέπει την παράλληλη εκτέλεση των ταυτόχρονων μονάδων, οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη συνολική ταχύτητα εκτέλεσης σε συστήματα πολλαπλών επεξεργαστών και πολλαπλών πυρήνων. Σε πιο τεχνικούς όρους, η ταυτότητα αναφέρεται στην ιδιότητα αποσυνθέσεως ενός προγράμματος, ενός αλγορίθμου ή ενός προβλήματος σε εξαρτήματα ή μονάδες ανεξάρτητες από την τάξη ή μερικώς διατεταγμένες.

([https://en.wikipedia.org/wiki/Concurrency\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Concurrency_control), 2018)

Σχεδιασμένο στο παρόν για το μέλλον, το F-35 στην ουσία αποτελεί αυτοεκπληρούμενη προφητεία για τους δημιουργούς του που οραματίστηκαν δυνατότητες σε εποχή που αυτές βρίσκονταν σε εμβρυακό στάδιο και το αεροσκάφος εξελίχθηκε μαζί με αυτές. Σύμφωνα με πηγές της εταιρίας αλλά και με αναλυτές, το αεροπλάνο θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά κάθε εχθρική καινοτομία μέσα στα επόμενα 10 χρόνια. Σε επόμενο στάδιο, οι ΗΠΑ είχαν επίσης διαφορετικό σκεπτικό από τους επικριτές της. Με δεδομένο πως τα σχέδια του F-22 δεν είναι προς πώληση ούτε σε συμμάχους, στήριξαν στο F-35 το μέλλον της Νατοϊκής άμυνας υπό ένα κοινό όπλο. Ο επιχειρησιακός του ρόλος έγκειται στα πλαίσια των αποφάσεων της αμερικανικής πλευράς για αναδιάρθρωση της Πολεμικής Αεροπορίας και πιο συγκεκριμένα στην αντικατάσταση του τεράστιου στόλου με έναν σαφώς μικρότερο, αλλά πολλαπλάσια ισχυρό.

### **Εκδόσεις του F-35**

Το F-35 θα διατίθεται για τις αμερικανικές Ένοπλες Δυνάμεις σε τρεις διαφορετικές εκδόσεις:

- Στην έκδοση F-35A για την Πολεμική Αεροπορία (USAAF), συμβατικής απογείωσης και προσγείωσης, όπου και θα αντικαταστήσει τα A-10 THUNDERBOLT (1972) και τα F-16 FIGHTING FALCON(1974)
- Στην έκδοση F-35B για τις μονάδες Πεζοναυτών (US MARINES), σύντομης απογείωσης και κάθετης προσγείωσης, όπου και θα αντικαταστήσει τα F/A-18 HORNET και SUPER HORNET όπως και τα AV-8B HARRIER (1981).
- Στην έκδοση F-35C για το Πολεμικό Ναυτικό (USN), για επιχειρήσεις με βάση αεροπλανοφόρα, όπου και θα αντικαταστήσει τα (1983) F/A-18 HORNET 12.

Οι τρεις παραλλαγές του F-35 έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά απόδοσης , και ξεχωρίζουν κυρίως από τις διαφοροποιημένες βασικές απαιτήσεις τους στο πεδίο μάχης.

Η διαφορετικότητα ανάμεσα στα μοντέλα δίνει τη δυνατότητα στις στρατιωτικές δυνάμεις να επιτύχουν συγκεκριμένες αποστολές, ενώ παράλληλα εκμεταλλεύονται την οικονομία λόγω των εξαρτημάτων τα οποία είναι κοινά και στις τρεις παραλλαγές. Και οι τρεις εκδόσεις είναι υπερηχητικά μαχητικά, τεχνολογίας στελθ χαμηλής ανίχνευσης και όλα έχουν τα ίδια εξελιγμένα αεροπορικά ηλεκτρονικά συστήματα που απαιτούνται για την εκτέλεση αποστολών πολλαπλών ρόλων.

Η αγγλική μετάφραση της λέξης stealth (στελθ) δεν βρίσκει αντιστοιχία στα ελληνικά. Σαν αγγλικός όρος αναφέρεται στο γεγονός ότι κάποιος δεν γίνεται αντιληπτός όσο κινείται. Τα αεροσκάφη stealth έχουν σχεδιαστεί για να αποφεύγουν την ανίχνευση χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνολογιών που μειώνουν την αντανάκλαση / εκπομπή ραντάρ, υπέρυθρων, ορατού φωτός, φάσματος ραδιοσυχνοτήτων (RF) και ήχου. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας stealth άρχισε πιθανότατα στη ναζιστική Γερμανία κατά τη διάρκεια του Β Παγκοσμίου Πολέμου με το πρωτότυπο Horten Ho 229 ως το πρώτο αεροσκάφος στελθ. Τα γνωστά μοντέρνα παραδείγματα αμερικανικών αεροσκαφών είναι τα F-117 Nighthawk (1981-2008) των Ηνωμένων Πολιτειών, το B-2, το F-22 Raptor και το F-35 Lightning II. Παρόλο που κανένα αεροσκάφος δεν είναι εντελώς αόρατο για ραντάρ, τα αεροσκάφη τύπου στελθ καθιστούν δυσκολότερο το συμβατικό ραντάρ να ανιχνεύει ή να παρακολουθεί αποτελεσματικά το αεροσκάφος, αυξάνοντας τις πιθανότητες ενός αεροσκάφους να αποφύγει επιτυχώς την ανίχνευση με ραντάρ του εχθρού ή και να αποφευχθεί η στόχευσή του με ραντάρ. Το στελθ είναι ο συνδυασμός παθητικών χαρακτηριστικών χαμηλής παρατήρησης και ενεργών εκπομπών, όπως ραντάρ χαμηλής πιθανότητας ανίχνευσης, ραδιόφωνα και λέιζερ. Συνήθως αυτές συνδυάζονται με ενεργά μέτρα, όπως ο προσεκτικός σχεδιασμός όλων των ελιγμών αποστολής, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διατομή του ραντάρ του αεροσκάφους, καθώς οι κοινές ενέργειες όπως σκληρές στροφές ή ανοίγματα πορτών μπορούν να διπλασιάσουν την επιστροφή ραντάρ κατά άλλο

τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σύνθετης φιλοσοφίας σχεδίασης για τη μείωση της ικανότητας των αισθητήρων του αντιπάλου να ανιχνεύουν, να παρακολουθούν ή να επιτίθενται στα αεροσκάφη τύπου stealth. Αυτή η φιλοσοφία λαμβάνει επίσης υπόψη τις εκπομπές θερμότητας, ήχου και άλλων εκπομπών του αεροσκάφους, καθώς αυτές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό του. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Stealth\\_technology](https://en.wikipedia.org/wiki/Stealth_technology), 2018)

Συνολικά η Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία έχει σκοπό την κατασκευή χιλίων εφτακοσίων εξήντα τριών (1763) F-35A, τριακοσίων σαράντα (340) F-35 B και ογδόντα (80) F-35 C μαχητικών. (<https://www.f-35.com/>, 2017)

Εκτός των τριών αυτών εκδόσεων υπάρχουν άλλες τρεις που είτε χρησιμοποιούνται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά. Αυτά είναι:

- Η έκδοση F-35I , για την Ισραηλινή Πολεμική Αεροπορία.
- Η έκδοση CF-35, για την Καναδική Πολεμική Αεροπορία, με την μόνη διαφορά από το F-35 η ενσωμάτωση ουριαίου αλεξίπτωτου.
- Η έκδοση F-35D, για την Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για να αναβαθμίσει τα F-35 από το 2035.



F-35 A



εικόνα 8 F-35 A

Η παραλλαγή F-35A (εικ.8) συμβατικής απογείωσης και προσγείωσης (CTOL) είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να λειτουργεί σε συμβατικούς διαδρόμους αεροδρομίου, και είναι το μοναδικό μοντέλο το οποίο φέρει εσωτερικό οπλισμό. Το F-35A αποτελεί την πιο επικρατούσα παραλλαγή του F-35.

Σχεδόν άορατο, το F-35A συμβατικής απογείωσης και προσγείωσης (CTOL) δίνει στην Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ τη δυνατότητα να κυριαρχήσουν στους ουραμούς. Είναι ένα ευκίνητο, πολύμορφο, υψηλής απόδοσης μαχητικό αεροσκάφος πολλαπλών ρόλων, 9G, το οποίο παρέχει απaráμιλλη δυνατότητα και πρωτοφανή επίγνωση των καταστάσεων γύρω του. (Hamilton, 2012)

Ο εξελιγμένος αισθητήρας του F-35A είναι σχεδιασμένος να συλλέγει και να διανέμει περισσότερες πληροφορίες από οποιαδήποτε μαχητικό στην ιστορία, δίνοντας έτσι στους χειριστές του μεγάλο πλεονέκτημα έναντι όλων των αντιπάλων. Η τεράστια επεξεργαστική ισχύς του, η αρχιτεκτονική του, οι εξελιγμένοι αισθητήρες, η σύντηξη των πληροφοριών και οι ευέλικτες επικοινωνιακές συνδέσεις καθιστούν το F-35 ως

ένα απαραίτητο εργαλείο στο μέλλον της άμυνας και στις μεγάλες πολεμικές επιχειρήσεις.

Με την συμβατική δυνατότητα απογείωσης και προσγείωσης, το F-35A είναι φτιαγμένο για παραδοσιακές βάσεις πολεμικής αεροπορίας. Το F-35A χρησιμοποιεί την μέθοδο boom για εναέριο ανεφοδιασμό και είναι η μόνη παραλλαγή που φέρει εσωτερικό οπλισμό.

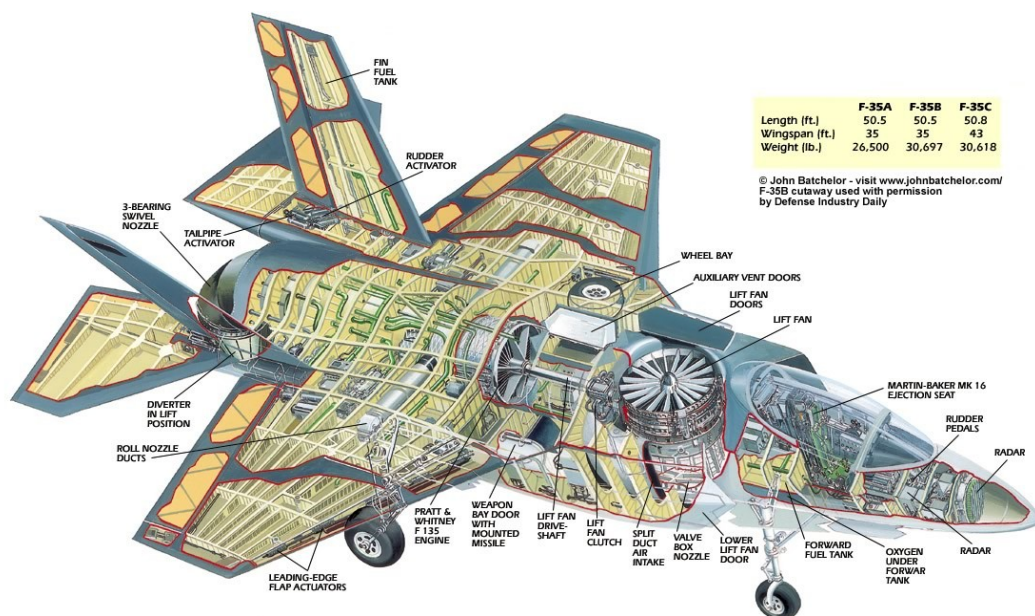
Η μέθοδος boom ή ανεφοδιασμός εν πτήση, είναι ο εναέριος ανεφοδιασμός καυσίμων, από αεροπλάνο σε αεροπλάνο.

#### *F-35 B*



*εικόνα 9 F-35B*

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ BULKHEAD ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ F-35 ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INVENTOR



εικόνα 10. Απεικόνιση του εσωτερικού του F-35B

Το μοντέλο F-35B (εικ.9) σύντομης απογείωσης/κάθετης προσγείωσης (STOVL) είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε απλές, μικρού μήκους βάσεις και σε μερικά πλοία ικανά να δεχθούν αεροσκάφη κοντά στην πρώτη γραμμή εμπόλεμων ζωνών. Το F-35B μπορεί επίσης να απογειωθεί και να προσγειωθεί συμβατικά και σε μακρύτερους διαδρόμους σε μεγάλες βάσεις.

Η παραλλαγή F-35B σύντομης απογείωσης/κάθετης προσγείωσης (STOVL) είναι παγκοσμίως το πρώτο υπερηχητικό STOVL αεροσκάφος τεχνολογίας στέλθ. Τα αεροσκάφη F-35B του Σώματος Πεζοναυτών των ΗΠΑ έκαναν την έναρξη της επιχειρησιακής τους δυνατότητας στις 31 Ιουλίου 2015, όταν μια μοίρα αποτελούμενη από δέκα (10) F-35B ανακηρύχθηκε ως έτοιμη για παράταξη σε οποιοδήποτε σημείο παγκοσμίως.

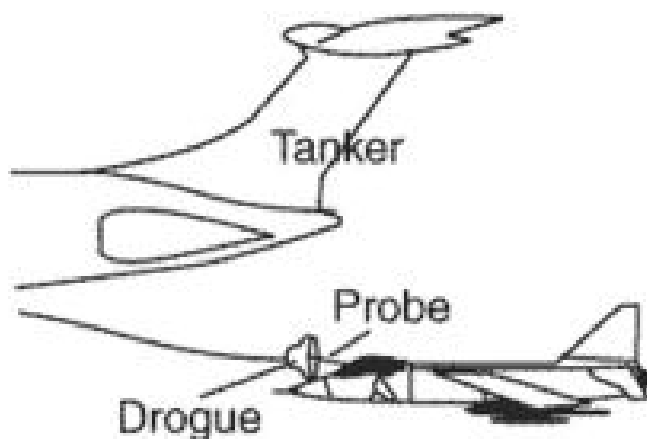
Η λειτουργία του F-35B STOVL είναι δυνατή μέσω του συστήματος προώθησης LiftFan® με άξονα, ευρεσιτεχνίας της Rolls-Royce, καθώς και ενός κινητήρα που

μπορεί να περιστρέφεται κατά 90 μοίρες όταν το σκάφος βρίσκεται σε λειτουργία σύντομης απογείωσης/κάθετης προσγείωσης.

Το lift fan είναι μια διάταξη στο αεροπλάνο στην οποία ανεμιστήρες ανύψωσης βρίσκονται σε μεγάλες οπές στο κέντρο της ατράκτου. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Lift-fan>, 2018)

Λόγω του LiftFan, η παραλλαγή STOVL έχει μικρότερη αποθήκη σπλισμού και μικρότερη χωρητικότητα καυσίμου από το F-35A. Χρησιμοποιεί τις μεθόδους εναέριου ανεφοδιασμού probe and drogue.

Η μέθοδος εναέριου ανεφοδιασμού probe and drogue (εικ.10) είναι ένας τρόπος μεταφοράς καυσίμων, με την χρήση σωλήνα, από ένα σκάφος ανεφοδιασμού σε ένα άλλο.



εικόνα 11 Μέθοδος probe and drogue

F-35 C



εικόνα 12 F-35 C



εικόνα 13 Όψεις του F-35 C

Για πρώτη φορά στην ιστορία της ναυτικής αεροπορίας των ΗΠΑ, η δυνατότητα αποφυγής ραντάρ με τεχνολογία στελθ εμφανίζεται στα μεταγωγικά. Το F-35C (εικ.12) αποτελεί το πρώτο μαχητικό τεχνολογίας στελθ του Ναυτικού και το μοναδικό 5ης γενιάς παγκοσμίως, μεγάλης εμβέλειας μαχητικό τεχνολογίας στελθ το οποίο κατασκευάστηκε αποκλειστικά για επιχειρήσεις με βάση αεροπλανοφόρα. Τα αεροπλανοφόρα παραμένουν στο προσκήνιο της στρατιωτικής δύναμης των ΗΠΑ, και η ραχοκοκαλιά οποιασδήποτε ομάδας κρούσης αεροπλανοφόρου είναι τα αεροσκάφη που μεταφέρει στη μάχη. Το 5ης Γενιάς F-35C Lightning II είναι το μοναδικό μαχητικό που μπορεί να ανταποκριθεί σε αυτές τις ανάγκες και να διατηρήσει την ναυτική υπεροχή του ναυτικού των ΗΠΑ.

Στο F-35C κορυφώνονται πάνω από 50 χρόνια εξέλιξης στα μαχητικά αεροσκάφη με βάση αεροπλανοφόρα. Ποτέ πριν δεν ήταν διαθέσιμη στη θάλασσα η τεχνολογία στελθ χαμηλής ανίχνευσης. Το F-35C συνδυάζει τη μοναδική ικανότητα λειτουργίας από το κατάστρωμα αεροπλανοφόρου με τις απαραίτητες ικανότητες 5ης Γενιάς στελθ, αισθητήρες και αξιοπιστία, καθιστώντας το F-35C ως το μελλοντικό μαχητικό κρούσης για την πρώτη ημέρα του πολέμου.

Το Ναυτικό και οι Πεζοναύτες χρειάζονται ένα αεροσκάφος ικανό να ξεπερνά ποικίλες απειλές – πυραύλους εδάφους-αέρος, πυραύλους αέρος-αέρος και αεροσκάφη μαχητικής τακτικής. Με τη μόχλευση αυτού του ισχυρού συνδυασμού της τεχνολογίας στελθ, της εξελιγμένης παρεμβολής και της καταστροφής απειλητικών συστημάτων, το F-35C βελτιώνει τις πιθανότητες επιβίωσης και αυξάνει τις πιθανότητες επιτυχίας της αποστολής.

Η παραλλαγή F-35C έχει μεγαλύτερα φτερά και πιο εύρωστο εξοπλισμό προσγείωσης από τις άλλες παραλλαγές, καθιστώντας το κατάλληλο για εκτοξεύσεις τύπου καταπέλτη και συγκράτηση του σκάφους με γάντζο κατά την προσγείωση σε αεροπλανοφόρο. Οι άκρες των φτερών αναδιπλώνονται για εξοικονόμηση χώρου στο κατάστρωμα των αεροπλανοφόρων.

Το F-35C έχει επίσης τη μεγαλύτερη χωρητικότητα καυσίμων από τις άλλες τρεις παραλλαγές του F-35. Το F-35C μεταφέρει σχεδόν 20.000 λίβρες εσωτερικού καυσίμου για μεγαλύτερη εμβέλεια και καλύτερη ανθεκτικότητα από οποιοδήποτε

άλλο μαχητικό σε συνθήκες μάχης. Και, όπως το F-35B, το F-35C χρησιμοποιεί τη μέθοδο ανεφοδιασμού probe and drogue. Αυτό επιτρέπει στα αεροπλανοφόρα του Ναυτικού να λειτουργούν σε ασφαλή απόσταση από την απειλή ενώ τα μαχητικά του προσεγγίζουν απομακρυσμένους στόχους.

F-35C βρίσκονται στο NAS Patuxent River για δοκιμασίες και στο Eglin AFB για εκπαίδευση.

#### *F-35 I*



*εικόνα 14 F-35 I της Ισραηλινής αεροπορίας*

Το Lockheed Martin F-35 Lightning II Israel (εικ.14) είναι αποτέλεσμα συμφωνίας για την ισραηλινή κυβέρνηση να προμηθεύσει το Lockheed Martin F-35 Lightning II για στην Ισραηλινή Πολεμική Αεροπορία. Τα πρώτα Ισραηλινά F-35 παρελήφθησαν από την Ισραηλινή Πολεμική Αεροπορία τον Μάιο του 2018.

Η Ισραηλινή Πολεμική Αεροπορία έχει εγκαταστήσει δικά της ηλεκτρονικά συστήματα πολέμου, αν και Ηνωμένες Πολιτείες αρνήθηκαν αρχικά να επιτρέψουν την ενσωμάτωση τους στην ηλεκτρονική σουίτα του αεροσκάφους. Ωστόσο, το Ισραήλ προγραμμάτισε την εισαγωγή ενός χαρακτηριστικού plug-and-play που προστέθηκε στον κύριο υπολογιστή, ώστε να επιτρέψει τη χρήση των ισραηλινών

ηλεκτρονικών συσκευών με πρόσθετο τρόπο και να ταιριάζει με το δικό του εξωτερικό φορέα παρεμπόδισης . Η IAF απέστειλε αξιωματούχους στις ΗΠΑ όπου συζήτησαν ζητήματα που αφορούσαν την ενσωμάτωση της ισραηλινής τεχνολογίας στο αεροπλάνο με αξιωματούχους του Πεντάγωνου και της Lockheed Martin. Τον Ιούλιο του 2011 αναφέρθηκε ότι οι Η.Π.Α. συμφώνησαν να επιτρέψουν στο Ισραήλ να εγκαταστήσει στο μέλλον συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου και πυραύλους στα F-35 του. Το 2012, η Lockheed ανατέθηκε σύμβαση για την πραγματοποίηση αλλαγών στις πρώτες Ισραηλινές F-35 για να επιτρέψει την εγκατάσταση ισραηλινού εξοπλισμού ηλεκτρονικού πολέμου που παράγεται από την Elbit Systems. Αυτός ο εξοπλισμός θα χρησιμοποιεί ειδικά ανοίγματα στην κάτω άτρακτο και την πρόσθια άκρη. Το Ισραήλ σχεδιάζει επίσης να εγκαταστήσει τις δικές του αυτοκατευθυνόμενες βόμβες καθώς και βλήματα αέρος-αέρος στον οπλισμό του F-35.

Η Israel Aerospace Industries θα κατασκευάσει τα εξωτερικά φτερά των Ισραηλινών F-35. Η IAI μπορεί επίσης να διαδραματίσει ρόλο στην ανάπτυξη ενός προτεινόμενου διπλού καθίσματος F-35. Αυτό αποτελεί μέρος της συμφωνίας Offset, της συμφωνίας δηλαδή μεταξύ της εταιρείας Lockheed Martin και της Κυβέρνησης των Η.Π.Α. με την ισραηλινή κυβέρνηση προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του Ισραήλ, παρά το γεγονός ότι η αγορά χρηματοδοτήθηκε εξ ολοκλήρου από αμερικανική βοήθεια. Η μυστικότητα του F-35 στην τρέχουσα μορφή του θα ξεπεραστεί σε 5-10 χρόνια, το αεροσκάφος θα είναι σε υπηρεσία για 30-40 χρόνια, και αυτός είναι ο λόγος που το Ισραήλ επέμεινε στην ικανότητα κάνει τις δικές του αλλαγές στα ηλεκτρονικά συστήματα πολέμου του αεροσκάφους. Τα πρώτα δεκαεννιά (19) αεροσκάφη θα παραδοθούν ως στάνταρ F-35A ενώ τα υπόλοιπα 31 θα είναι πλήρως εξοπλισμένα με F-35I.

([https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_F35\\_Lightning\\_II\\_Israeli\\_procurement](https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_F35_Lightning_II_Israeli_procurement), 2018)



## CF-35



εικόνα 15 CF-35 της Καναδικής αεροπορίας

Το CF-35 (εικ.15) της Καναδικής Πολεμικής Αεροπορίας είναι ίδιο με το F-35 με την μόνη διαφορά την ενσωμάτωση στην ουρά του αεροπλάνου ενός αλεξίπτωτου. Στόχος με την εισαγωγή του, είναι να αντικαταστήσει το μαχητικό CF-18 Hornet, που η χώρα αυτή χρησιμοποιεί ως κύριο πολεμικό σκάφος από την δεκαετία του 80.

Ο Καναδάς αποτέλεσε ένας από τους σημαντικότερους συνχρηματοδότες του προγράμματος F-35. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_F-35\\_Lightning\\_II\\_Canadian\\_procurement](https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_F-35_Lightning_II_Canadian_procurement), 2018)

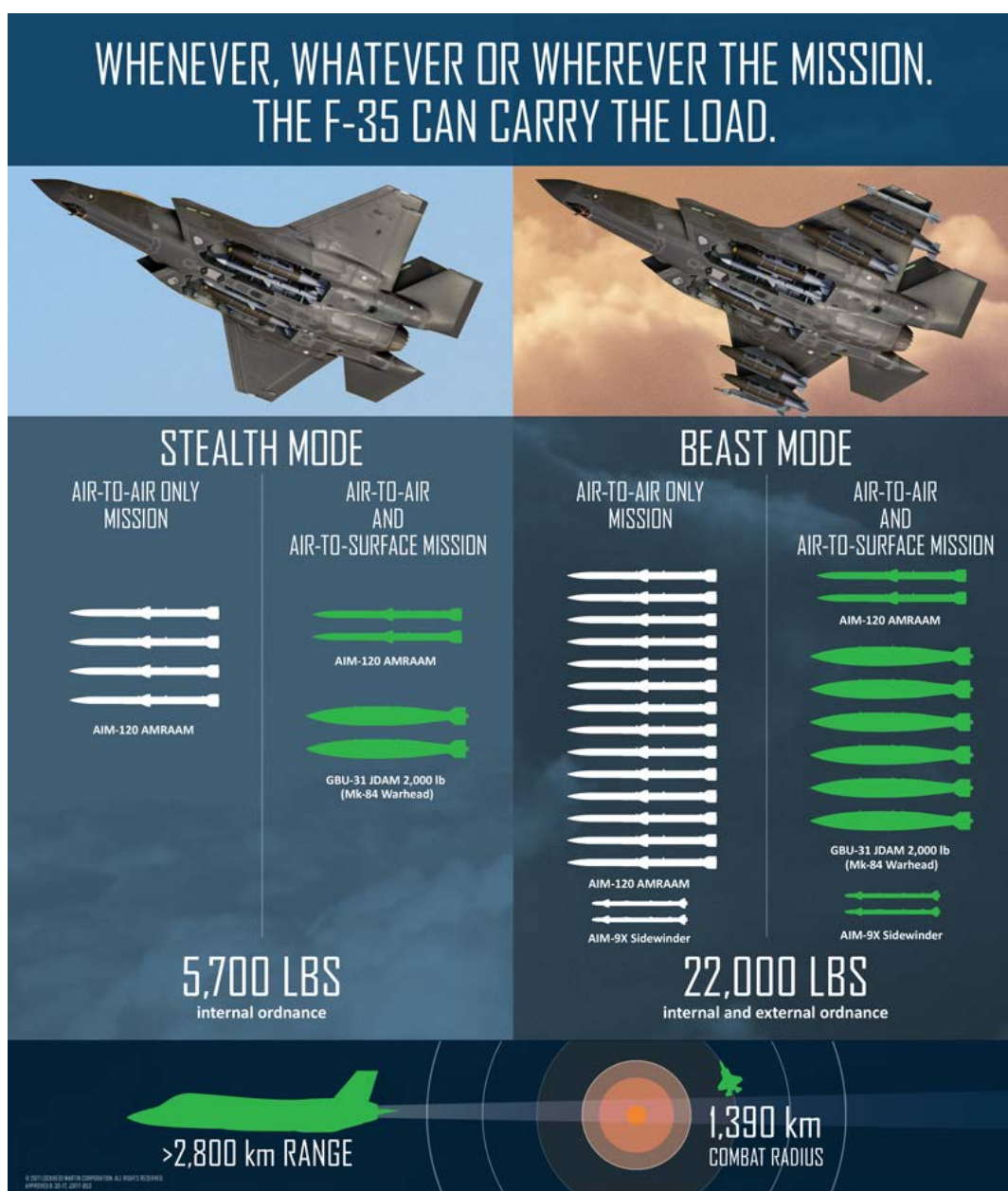
## Οπλισμός

Το F-35 μπορεί να φέρει πληθώρα όπλων ανάλογα με την αποστολή που του αναθέτουν. Γενικά ο οπλισμός τους μπορεί να αποτελείται από:

- 1 πολυβόλο των 25mm

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ BULKHEAD ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ F-35 ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INVENTOR

- Πύραυλους αέρος-αέρος (AIM – 120 AMRAAM, AIM – 132 ASRAAM ,AIM – 9X Sidewinder και MBDA Meteor)
- Πύραυλους αέρος-εδάφους (AGM – 88 AARGM, AGM – 158 JASSM, MBDA SPEAR 2, JAGM, JSM ,SOM)
- Πύραυλοι κατά πλοίων (NSM και LRASM)
- Βόμβες (Mark84, Mark 83, Mark 82, GP bombs, Mk 20, AGM-154 JSOW, B61, πυρηνικές βόμβες , JDAM και SDB)



εικόνα 16 Οπλισμός F-35 ανάλογα με την αποστολή του

## Αντίστροφη Μηχανική (Reverse Engineering)

Η αντίστροφη μηχανική είναι η διαδικασία, με την οποία γίνεται προσπάθεια ανάγνωσης και ανακάλυψης των τεχνικών χαρακτηριστικών μιας συσκευής, ενός προϊόντος ή ακόμη και ενός συστήματος αναλύοντας επιμέρους στοιχεία του, όπως η δομή, η λειτουργία ή ακόμη και η απόκρισή του ως διάταξη. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται άλλες φορές για να κατασκευαστεί ένα προϊόν αντίστοιχο και εφάμιλλο αυτού, που ήδη υπάρχει αλλά δεν διαθέτουμε αρκετά στοιχεία και άλλες φορές για να συμπληρώσουμε τις γνώσεις μας με σκοπό την συντήρηση και επέκταση αυτού του προϊόντος και άλλων αντίστοιχων στην ομάδα, που περιλαμβάνεται. Ο απώτερος στόχος είναι να εξάγουμε συμπεράσματα, που δεν θα απαιτούν περαιτέρω μελέτη του υλικού για να προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε επεκτατική ενέργεια συνδέεται με αυτό. (Κουμούσης Β., 2018)

Η απαρχή της αντίστροφης μηχανικής εμφανίστηκε από την ανάγκη κατανόησης της ραγδαία αναπτυσσόμενης τεχνολογίας για τις συσκευές και τα προϊόντα, που είχαν κατασκευαστεί. Φυσικά αυτό ήταν το προαπαιτούμενο για την ανάλυση κόστους, αναγκών, τεχνικών προδιαγραφών και άλλων στοιχείων με σκοπό την επέκταση της βιομηχανίας και της παροχής προϊόντων στο καταναλωτικό κοινό με σκοπό την κάλυψη αναγκών του. Τα πρώτα εγχειρήματα σαφώς και έγιναν σε στρατιωτικές διατάξεις με σκοπό την ανάγνωση τεχνολογίας και την παροχή τεχνογνωσίας στην συνέχεια στους εκάστοτε στρατούς, που προσπαθούσαν να αναγνώσουν συγκεκριμένες διατάξεις άλλων κρατών.

Πάντοτε ο απώτερος στόχος ήταν η παροχή τεχνογνωσίας στην κατασκευαστική και παραγωγική βιομηχανία υλικών και την παροχή νέων καινοτόμων και κατά το δυνατόν που θα μπορούν να είναι πλεονεκτικά έναντι αυτών, που βρίσκονται ήδη σε κυκλοφορία. Φυσικά ο επόμενες διαδικασίες, που αφορούν επιμέρους στοιχεία της παραγωγής, της προώθησης, κτλ. παραμένουν ίδιες.

Η αντίστροφη μηχανική στην Ιαπωνία εισήχθη για αντιγραφή προϊόντων και όπως ήταν φυσικό αντιμετωπίστηκε αρνητικά τόσο από τις επιχειρήσεις παραγωγής και εμπορίας, όσο και από το κοινό, που δεν αναγνώριζε κανένα δείγμα καινοτομίας και

ανάπτυξης. Όπως ήταν λογικό έμεινε ως ένα δείγμα έλλειψης πρωτότυπων ιδεών και τέλματος που είχε επέλθει στην τεχνολογία σχεδίασης και υλοποίησης προϊόντων.

Σύντομα, ωστόσο ακολούθησαν και οι πρώτες μέθοδοι σχεδίασης προϊόντων και υλικών, που είχαν ως βασικό τέχνασμα την λογική της αντίστροφης σχεδίασης και της αντίστροφης μηχανικής με απώτερο στόχο βελτίωση υλικών τους και κέρδος έναντι ανταγωνιστών. Φυσικά κάθε νέο προϊόν υπερτερούσε του προκατόχου του έστω και σε ελάχιστα σημεία, που αποτελούσαν το σήμα κατατεθέν του.

Κατά την διαδικασία επανασχεδιασμού θα πρέπει σε πρώτη φάση να ελεγχθεί το προϊόν σε εργαστηριακές συνθήκες, όπως ήταν εκείνες στις οποίες σχεδιάστηκε. Η αποσυναρμολόγησή του θεωρείται αναγκαία, ώστε να μελετηθεί αρχικά μακροσκοπικά και οπτικά για τα επιμέρους στοιχεία, που το αποτελούν. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να μελετηθεί η δομή του προϊόντος όπως και ο τρόπος με τον οποίο συνυπάρχουν και λειτουργούν όλα τα επιμέρους τμήματά του. Με τον τρόπο αυτό είμαστε πλέον σε θέση να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του και να προχωρήσουμε στην σχεδίαση ενός παρόμοιου με βάση φυσικά επιμέρους χαρακτηριστικά και ιδιότητες, είτε σε επίπεδο υποσυστήματος (προσαρμοστικό), είτε διαφορετικά σε επίπεδο εξαρτήματος (διαφοροποίηση).

([http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2015-0248/DT2015-0248.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2015-0248/DT2015-0248.pdf), 2018)

## Λόγοι αντιστροφής μηχανικής

### 1. Διαλειτουργικότητα.

Είναι η δυνατότητα ενός προϊόντος ή συστήματος του οποίου οι επαφές (δηλαδή το κοινό σύνορο επικοινωνίας μεταξύ δύο λειτουργικών μονάδων που διαθέτει καθορισμένα χαρακτηριστικά σχετικά με την λειτουργία των μονάδων και την μεταξύ τους επικοινωνία) είναι πλήρως και δημοσίως τεκμηριωμένες, συνδέονται και λειτουργούν με άλλα προϊόντα ή συστήματα χωρίς περιορισμούς στην πρόσβαση ή φραγμούς στην υλοποίηση.

### 2. Χαμένα έγγραφα.

Η αντίστροφη μηχανική συχνά γίνεται διότι τα έγγραφα μιας συσκευής έχουν χαθεί (ή ποτέ δεν γράφτηκαν) και το πρόσωπο που δημιούργησε την συσκευή δεν είναι πλέον εν ζωή.

### **3. Ολοκληρωμένα κυκλώματα.**

Πολλά από αυτά σχεδιάστηκαν για απαρχαιωμένα ιδιόκτητα συστήματα και πλέον δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οπότε ο μονός τρόπος για την ενσωμάτωσή τους σε καινούργια συστήματα και νέες τεχνολογίες είναι μέσω της αντίστροφης μηχανικής όπου το ολοκληρωμένο κύκλωμα ξανασχεδιάζεται.

### **4. Ανάλυση προϊόντων.**

Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται εξέταση του τελικού προϊόντος για το πώς λειτουργεί, καθώς γίνεται ανάλυση στα συστατικά μέρη από τα οποία αποτελείται και υπολογισμός του κόστους, αλλά και προσδιορισμός της πιθανής παραβίασης δικαιωμάτων και ευρεσιτεχνίας.

### **5. Ασφάλεια λογισμικού.**

### **6. Στρατιωτική ή εμπορική κατασκοπία.**

Λήψη πληροφοριών από μια καινοτόμο έρευνα του εχθρού ή του ανταγωνιστή. Συνήθως γίνεται με κλοπή ή σύλληψη ενός προτύπου και αποσυναρμολόγηση του.

### **7. Ψηφιακή αναπροσαρμογή-διόρθωση.**

Σκοπός της είναι το καινούργιο προϊόν να ταιριάζει με το προηγούμενο.

### **8. Αφαίρεση της προστασίας κατά την αντιγραφή και παράκαμψη οποιονδήποτε περιορισμών πρόσβασης.**

### **9. Δημιουργία, χωρίς άδεια, μη εγκεκριμένων αντίγραφων.**

### **10. Σκοποί εκμάθησης.**

### **12. Απόκτηση εμπειρίας.**

Μαθαίνοντας από λάθη του παρελθόντος, είναι δυνατή η αποφυγή τους ώστε να μην ξαναγίνουν ή να διορθωθούν. (Κουμούσης Β., 2018)

## Bulkhead

Bulkhead ονομάζεται το όρθιο τοίχωμα μέσα στο κύτος ενός πλοίου ή την άτρακτο ενός αεροπλάνου και η ελληνική του μετάφραση είναι διάφραγμα. Τόσο στα πλοία όσο και στα αεροπλάνα τα διαφράγματα υπάρχουν σε όλο το μήκος του σκελετού τους.

Ιστορικά φαίνεται πως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν διαφράγματα ήταν οι Κινέζοι στα εμπορικά πλοία τους με σκοπό τον διαχωρισμό των εμπορευμάτων τους αλλά και την καλύτερη χωροταξία αυτού. Έπειτα η τεχνογνωσία μεταφέρθηκε από Ευρωπαίους περιηγητές της Ασίας στα ευρωπαϊκά κράτη.

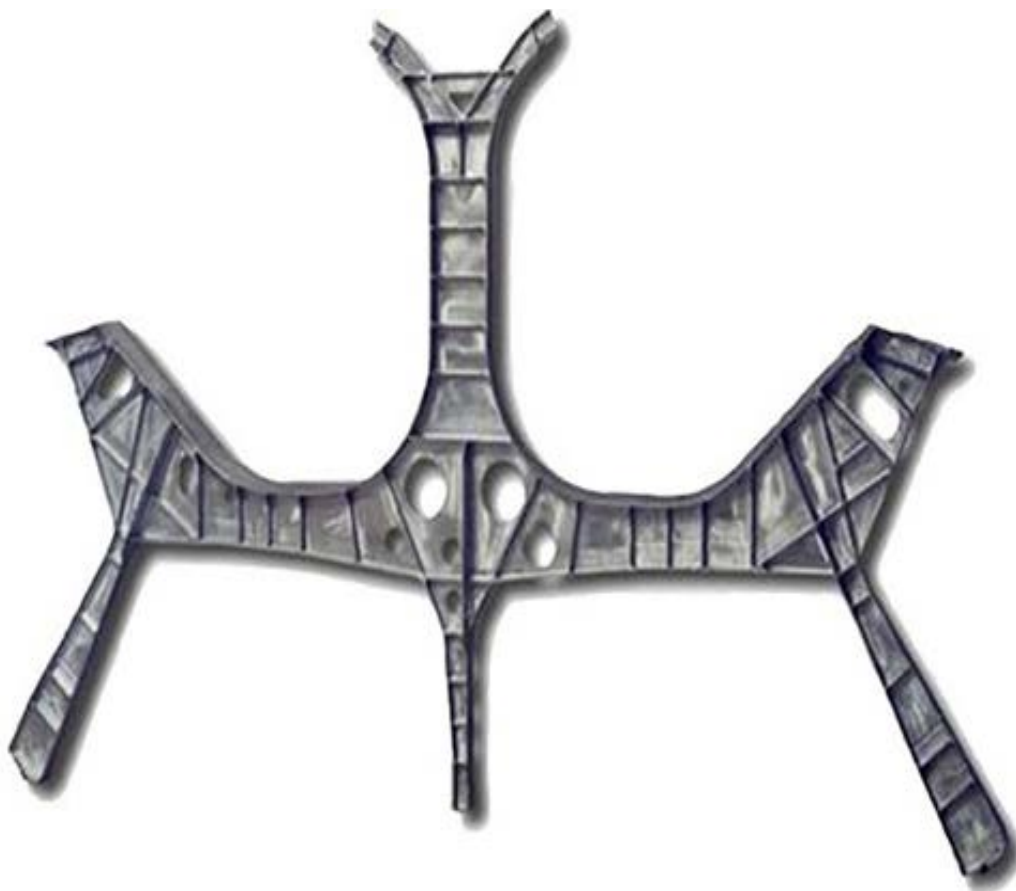
Στην περίπτωση των πολεμικών αεροπλάνων τα διαφράγματα είναι πλαίσια της ατράκτου τα οποία δέχονται τις μεγαλύτερες καταπονήσεις συμβάλλοντας στην δομική σταθερότητα και ακαμψία του.

Ένας σημαντικός λόγος για να εγκαταστήσετε ένα bulkhead είναι η ασφάλεια. Το διαμερισματοποιημένο σχέδιο που δημιουργήθηκε με τα bulkheads επιτρέπει στους ανθρώπους να περιορίζουν την φωτιά, πλημμύρες και άλλα θέματα, έτσι ώστε ένα ολόκληρο σκάφος να μην καταστρέφεται όταν συμβαίνουν ατυχήματα ή δολιοφθορά.

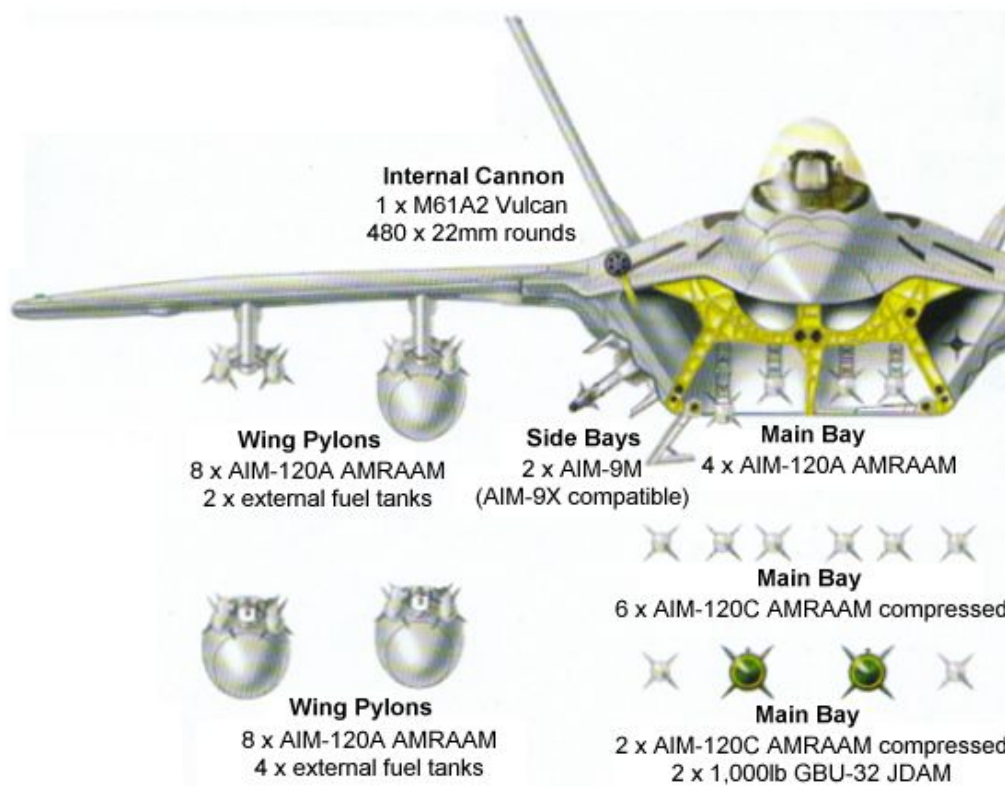


εικόνα 17 Ένα από τα bulkheads του F-22 Raptor

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ BULKHEAD ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ F-35 ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INVENTOR



εικόνα 18 Το εμπρόσθιο bulkhead του F-35



εικόνα 19 Το εμπρόσθιο bulkhead και η θέση του στο αεροπλάνο

## Διαδικασία μοντελοποίησης μπροστινού διαφράγματος (Bulkhead) του F-35.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του Bulkhead είναι το Inventor της Autodesk. Το πρόγραμμα αυτό είναι ένας σύγχρονος τρισδιάστατος υβριδικός μοντελοποιητής ο οποίος επιτρέπει την ενσωμάτωση δεδομένων 2D και 3D σε ένα ενιαίο περιβάλλον, δημιουργώντας μια εικονική αναπαράσταση του τελικού προϊόντος που επιτρέπει στους χρήστες να επικυρώσουν τη μορφή, την εφαρμογή και τη λειτουργία του προϊόντος προτού κατασκευαστεί. Το Inventor περιλαμβάνει ισχυρά εργαλεία παραμετρικής, άμεσης επεξεργασίας και ελευθέρως μορφοποίησης, καθώς και δυνατότητες μετάφρασης πολλαπλών CAD και στα τυπικά σχέδια DWG™. Το Inventor χρησιμοποιεί το ShapeManager, τον ιδιόκτητο πυρήνα γεωμετρικής μοντελοποίησης της Autodesk.

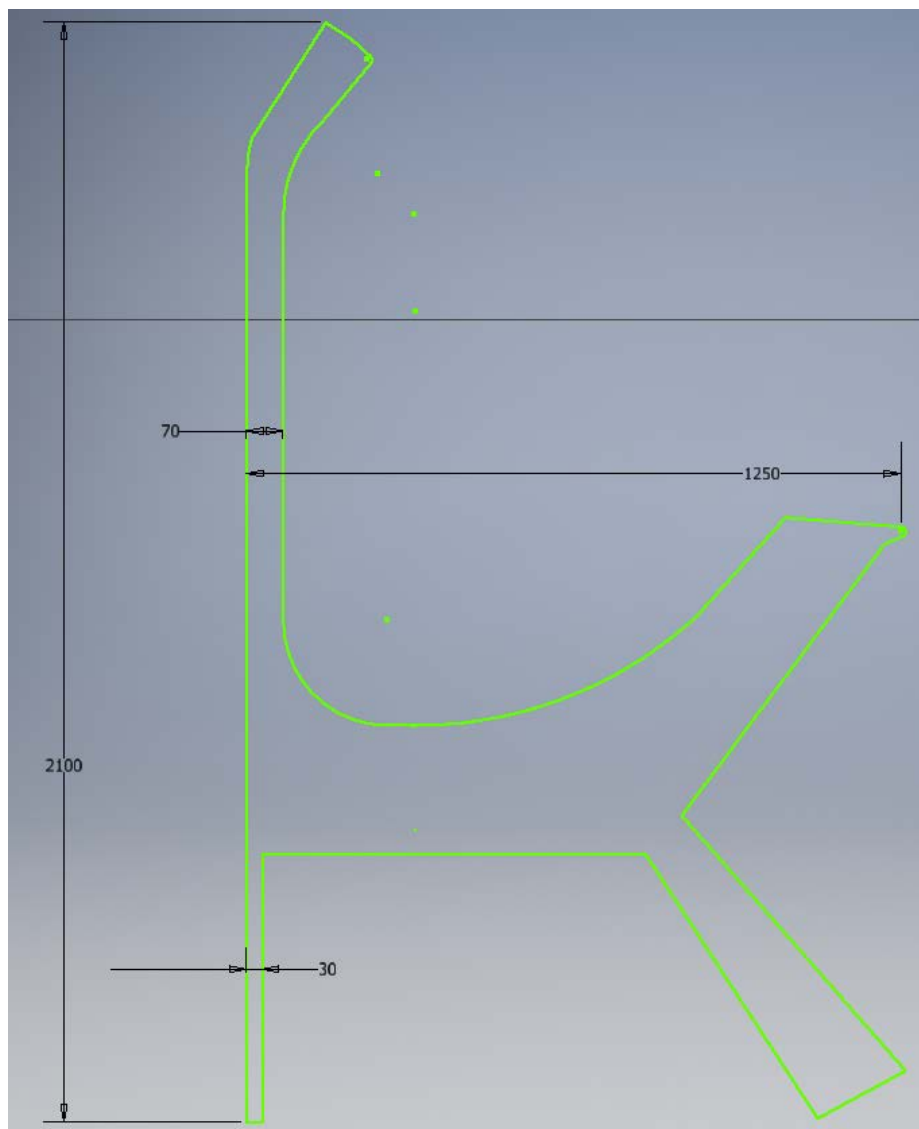
Η σειρά που ακολουθήθηκε ήταν πρώτα η μοντελοποίηση σε δύο διαστάσεις (2D) με την επιλογή 2D sketch και έπειτα η μοντελοποίηση σε τρεις διαστάσεις (3D) καθώς το πρόγραμμα σου δίνει την δυνατότητα δημιουργίας στερεής μορφής με σάρωση (**solid**).

Το πρώτο πρόβλημα που δημιουργήθηκε είναι πως δεν υπήρχαν καθόλου διαστάσεις για το διάφραγμα πράγμα που είναι λογικό εφόσον το πρόγραμμα κατασκευής του συγκεκριμένου μαχητικού αεροπλάνου είναι απόρρητο.

Έχοντας γνωστές μόνο τις βασικές διαστάσεις (άνοιγμα φτερών, ύψος αεροπλάνου) ξεκινήσαμε την δημιουργία του μισού περιγράμματος με την χρήση της επιλογής 2-d sketch. Ο λόγος που μελετήθηκε το μισό τμήμα του διαφράγματος είναι γιατί στο σχήμα υπάρχει συμμετρία.

Βάζοντας τυχαίες τιμές και κοιτάζοντας μόνο την εικόνα 17, καθώς δεν υπήρχε άλλο φωτογραφικό υλικό, έγινε προσπάθεια να τοποθετηθούν οι διαστάσεις σε μια λογική σειρά. Όπως φαίνεται στην φωτογραφία το διάφραγμα είναι υπό γωνία. Γνωρίζοντας την γωνία και φέρνοντας προβολές γίνεται μια διαστασιολόγηση που χρησιμοποιείται για να γίνει η πρώτη μοντελοποίηση(εικ.20).

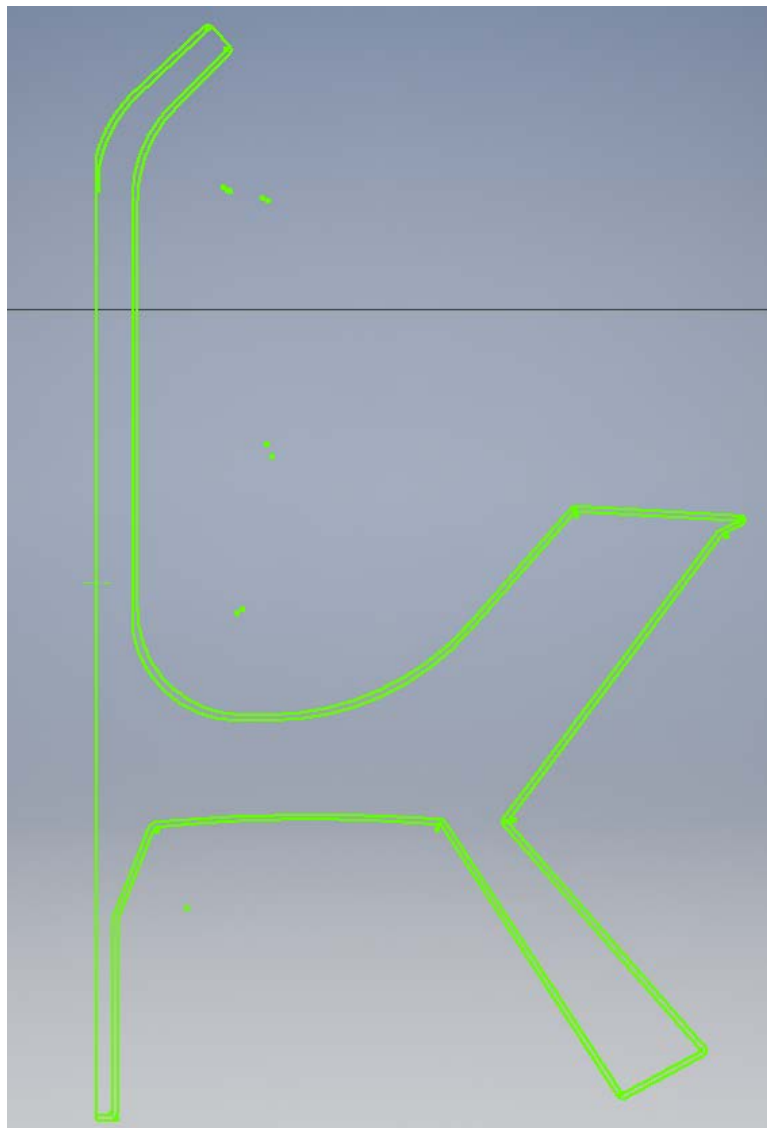




εικόνα 20 Πρώτη σχεδίαση

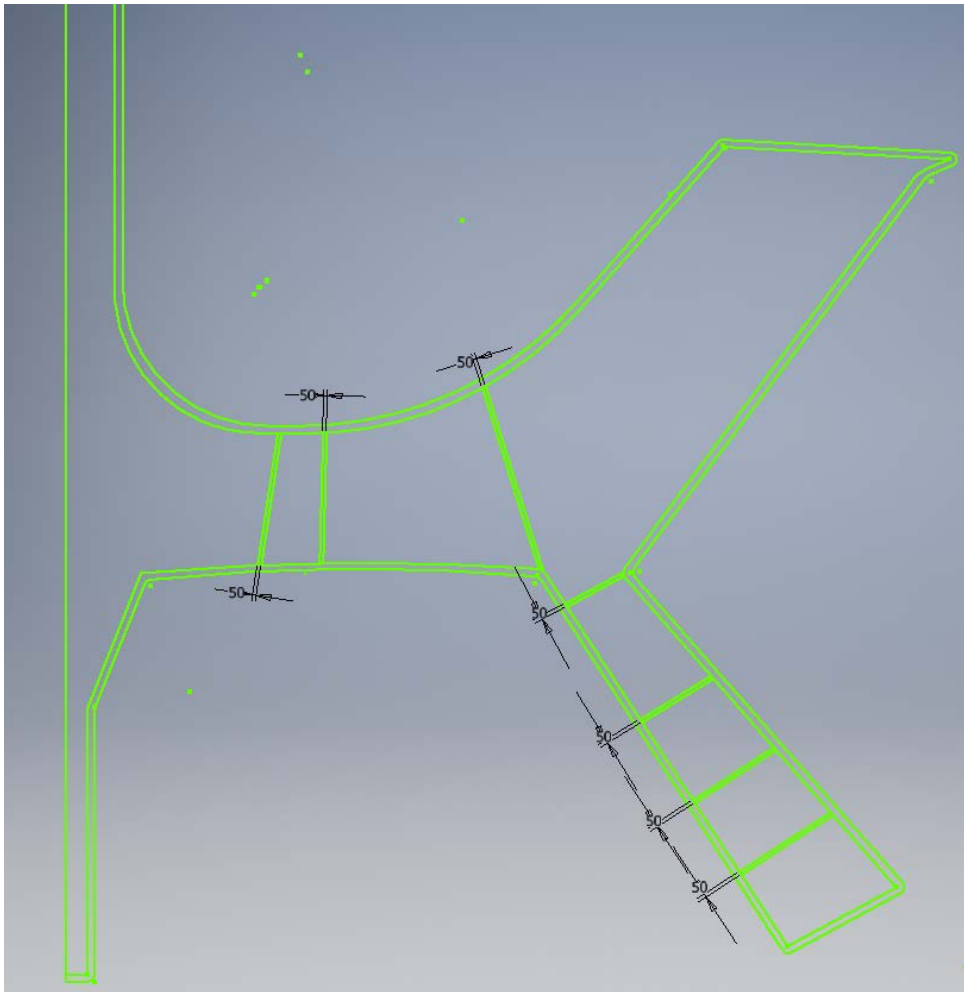
Επιπλέον, τα σημεία εκείνα του διαφράγματος που δημιουργούσαν γωνίες αλλά και καμπυλότητες, ήταν δύσκολο να αποτυπωθούν. Επειδή τα σημεία αυτά ήταν αρκετά, χρειάστηκε να γίνουν αρκετές αλλαγές στην δομή του σχεδίου, έως ότου να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Έπειτα, μετά από αρκετές προσπάθειες και αλλαγές, τόσο στις διαστάσεις όσο και στις γωνίες, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση του μισού περιγράμματος του μοντέλου F-35 (εικ.21).



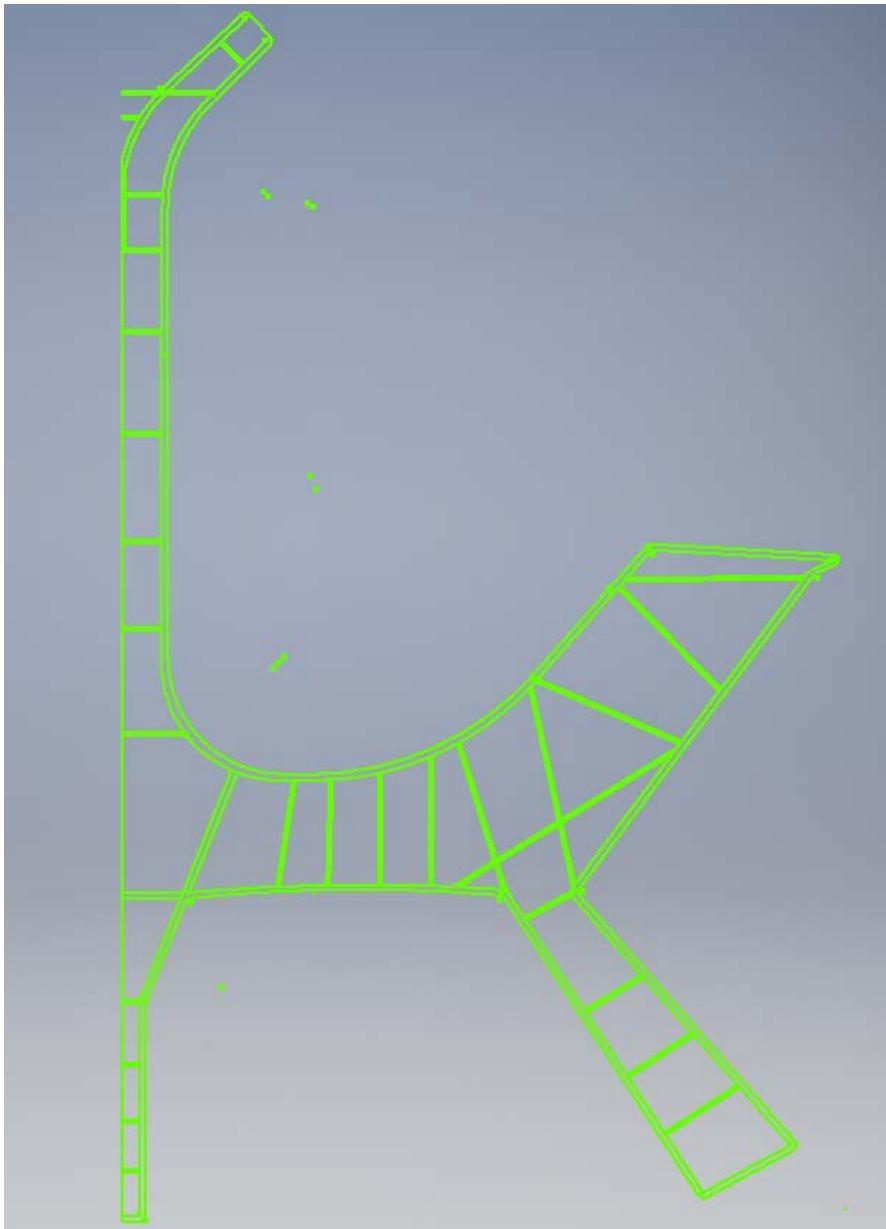
εικόνα 21 Περίγραμμα μισού διαφράγματος σε 2D

Στην συνέχεια, άρχισε η σχεδίαση των νεύρων (**ribs**). Εκεί παρουσιάστηκε το επόμενο πρόβλημα, που αφορούσε και πάλι τις διαστάσεις του. Επιλύθηκε όμως με την μέθοδο της απλής αναλογικής. Αυτό σημαίνει ότι, έχοντας τις διαστάσεις του περιγράμματος από πριν, προχώρησε η σχεδίαση των νεύρων σε τιμές κοντά στις πραγματικές. Η διάταξη τους στο εσωτερικό της κατασκευής έγινε και πάλι βάσει της εικόνας(εικ.22).



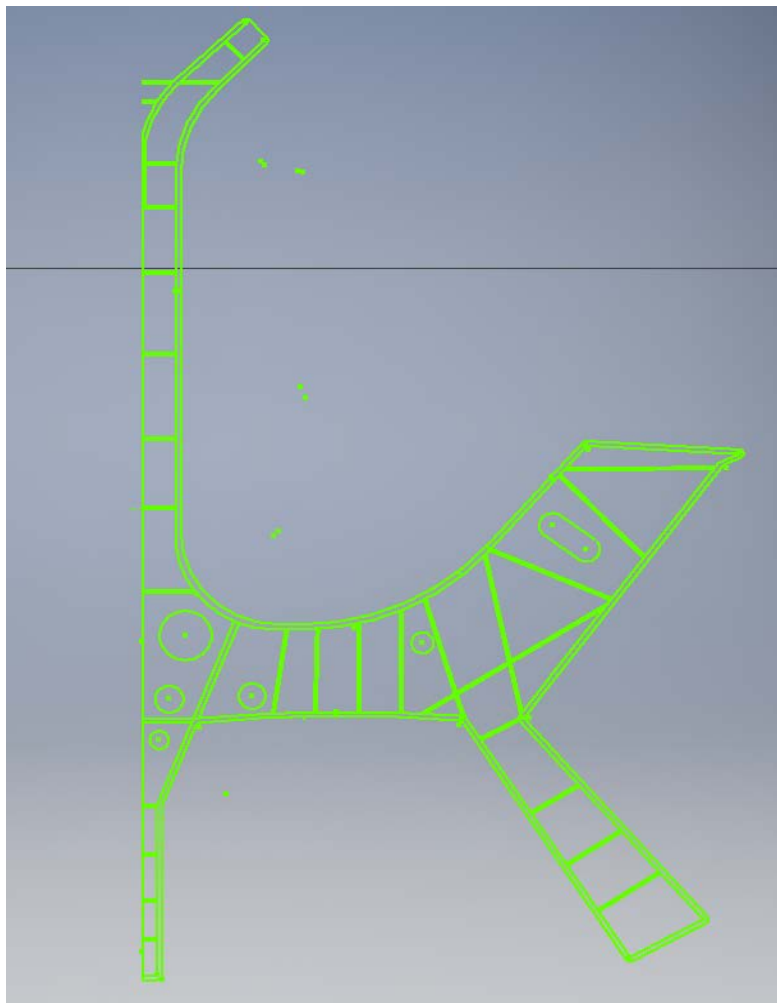
εικόνα 22 Τοποθέτηση νεύρων στο μοντέλο

Στην εικόνα 22 φαίνεται η τοποθέτηση των νεύρων σε θέσεις βάσει των προβολών. Στο τέλος έγινε και η καταμέτρηση του συνολικού αριθμού των νεύρων ώστε να γίνει επιβεβαίωση πως έχουν όλα τοποθετηθεί .



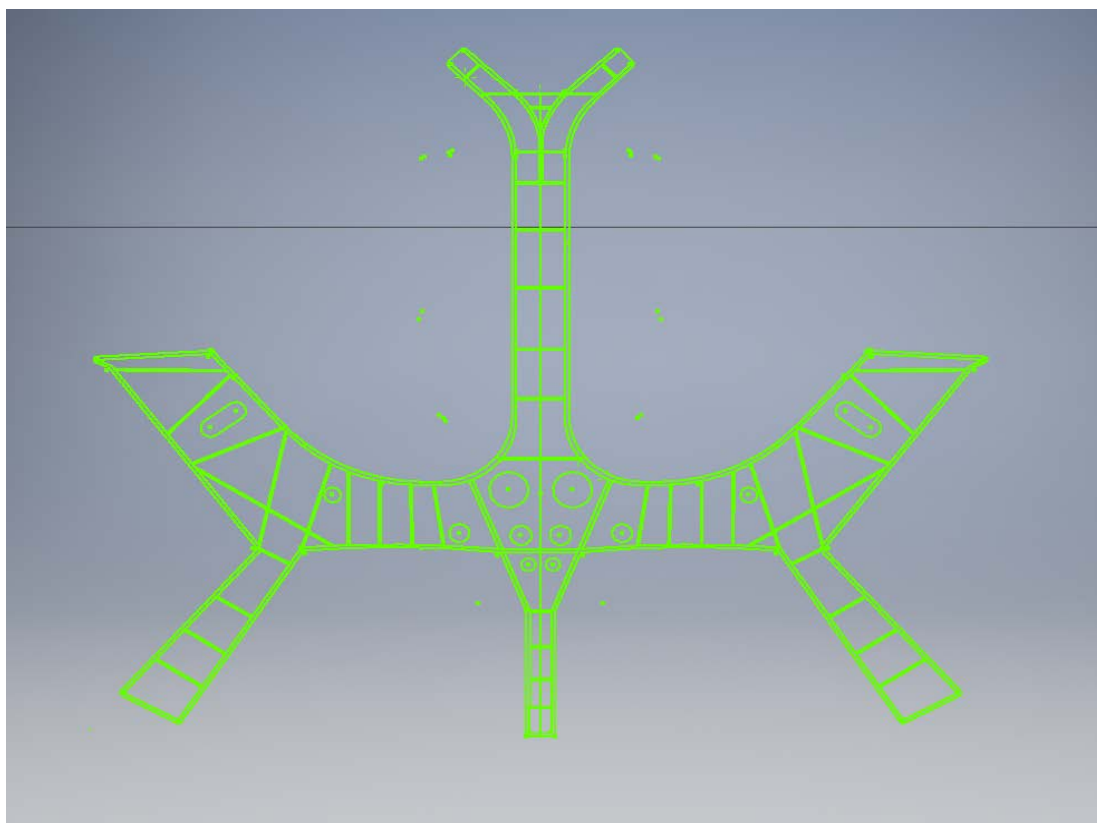
*εικόνα 23 Το διάφραγμα με τα νεύρα*

Για την ολοκλήρωση της σχεδίασης του μισού διαφράγματος έμενε η δημιουργία των οπών. Το διάφραγμα του μαχητικού έχει 6 διαφορετικές διαμπερείς οπές. Η θέση τους στο μοντέλο στηρίχθηκε στην μέτρηση της απόστασης που έχει ο άξονας συμμετρίας από τα κέντρα των κύκλων. Γνωρίζοντας την ακτίνα και με την επιλογή **circle**, δημιουργήθηκε μια σειρά από κύκλους.



εικόνα 24 Το διάφραγμα με την προσθήκη των οπών

Τέλος, για την ολοκλήρωση της σχεδίασης σε δύο διαστάσεις έμενε η δημιουργία και του άλλου μισού διαφράγματος. Με την επιλογή **mirror** (καθρεπτισμός), επιλέγοντας το υπάρχον κομμάτι και με άξονα περιστροφής τον κεντρικό άξονα του διαφράγματος δημιουργήθηκε όλο το σχήμα.



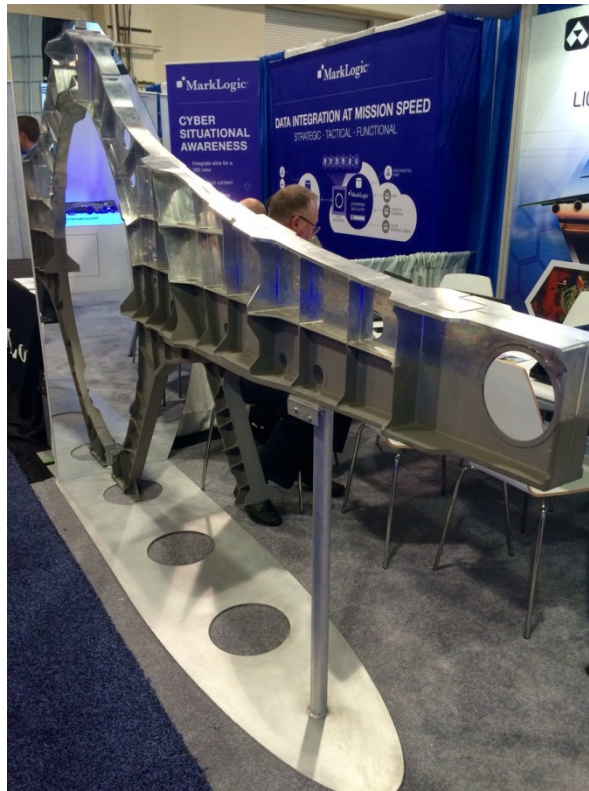
εικόνα 25 Ολόκληρο το διάφραγμα

#### Σχεδίαση του διαφράγματος με δημιουργία όγκου

Μετά τον σχεδιασμό του διαφράγματος σε δύο διαστάσεις, ακολούθησε η μοντελοποίηση με την δημιουργία όγκου. Για ακόμα μια φορά η έλλειψη διαστάσεων ήταν το κύριο πρόβλημα έτσι ώστε το σχέδιο να αποκτήσει το επιθυμητό σχήμα.

Βλέποντας και πάλι την εικόνα 17, φαίνεται πως αποτελείται από τρεις διαφορετικές διαστάσεις. Μια για το εξωτερικό του κομμάτι, μια για το εσωτερικό και μια για τα νεύρα. Φωτογραφίες διαφραγμάτων του F-35, από όσες έχουν δημοσιοποιηθεί, επιβεβαιώνεται πως έχει τουλάχιστον τρεις.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ BULKHEAD ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ F-35 ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INVENTOR



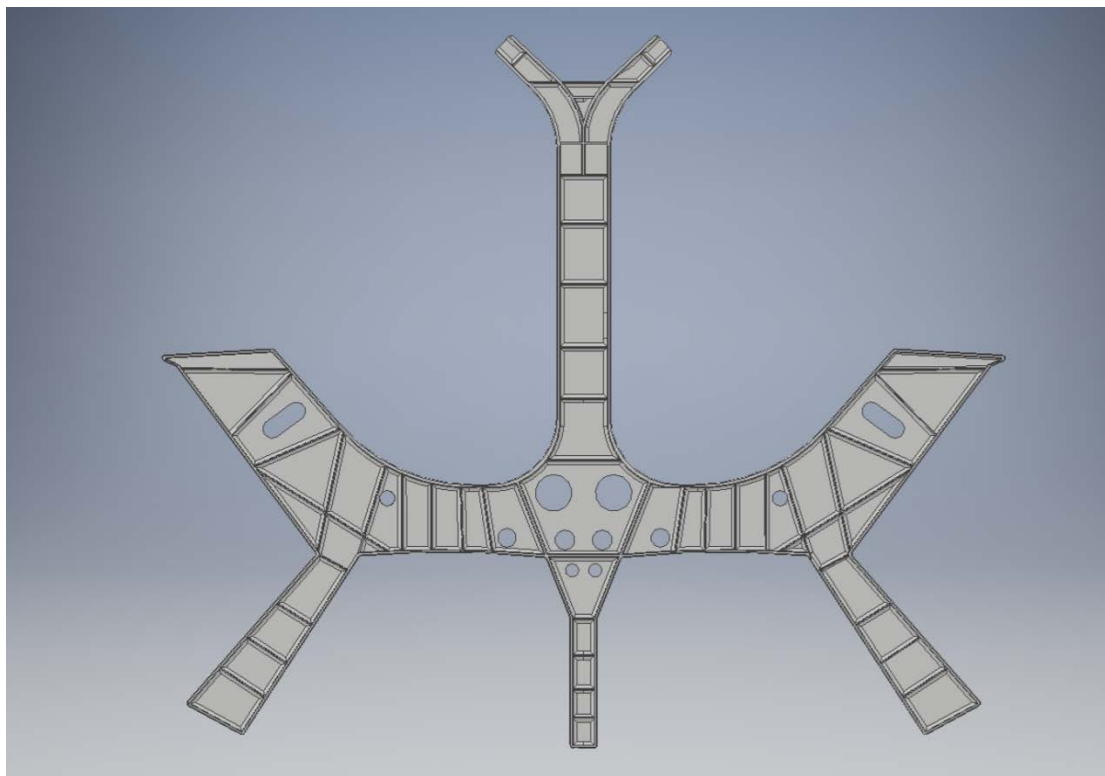
εικόνα 26 Ένα από τα Bulkheads του F-35



εικόνα 27 Bulkhead της ατράκτου του F-35

Έχοντας υπόψιν αυτές τις τιμές και με την επιλογή extrude (δηλαδή δημιουργία στερεάς μορφής με σάρωση), η οποία χρησιμοποιήθηκε τρεις φορές για τις τρεις διαφορετικές διαστάσεις, απεικονίσθηκε η τρισδιάστατη μορφή του.

Τέλος, με την εντολή **fillet** , διαμορφώθηκαν οι αιχμές στην βάση των εσοχών και οι αιχμές στα νεύρα, ώστε να έχουν ράδιο. Ράδιο επίσης έχει και περιμετρικά όλο το διάφραγμα.

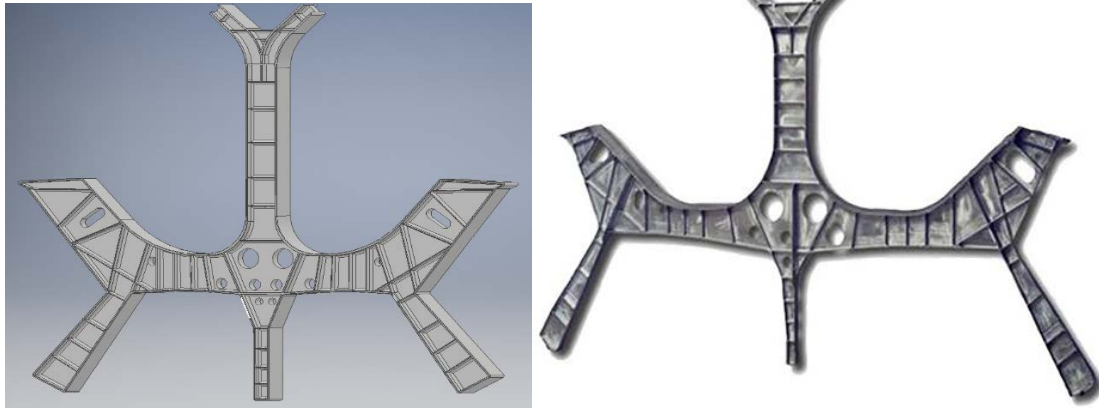


*εικόνα 28 Το διάφραγμα σε solid μορφή*

#### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Αξίζει να σημειωθεί πως τα bulkheads του F-35 είναι από αλουμίνιο. Τελευταία, χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο αντί αλουμινίου το τιτάνιο. Επειδή το τιτάνιο έχει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες ως προς τις διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στο αεροπλάνο ως αποτέλεσμα χρειάζονται και λιγότερα bulkheads άρα μικρότερο συνολικό βάρος.



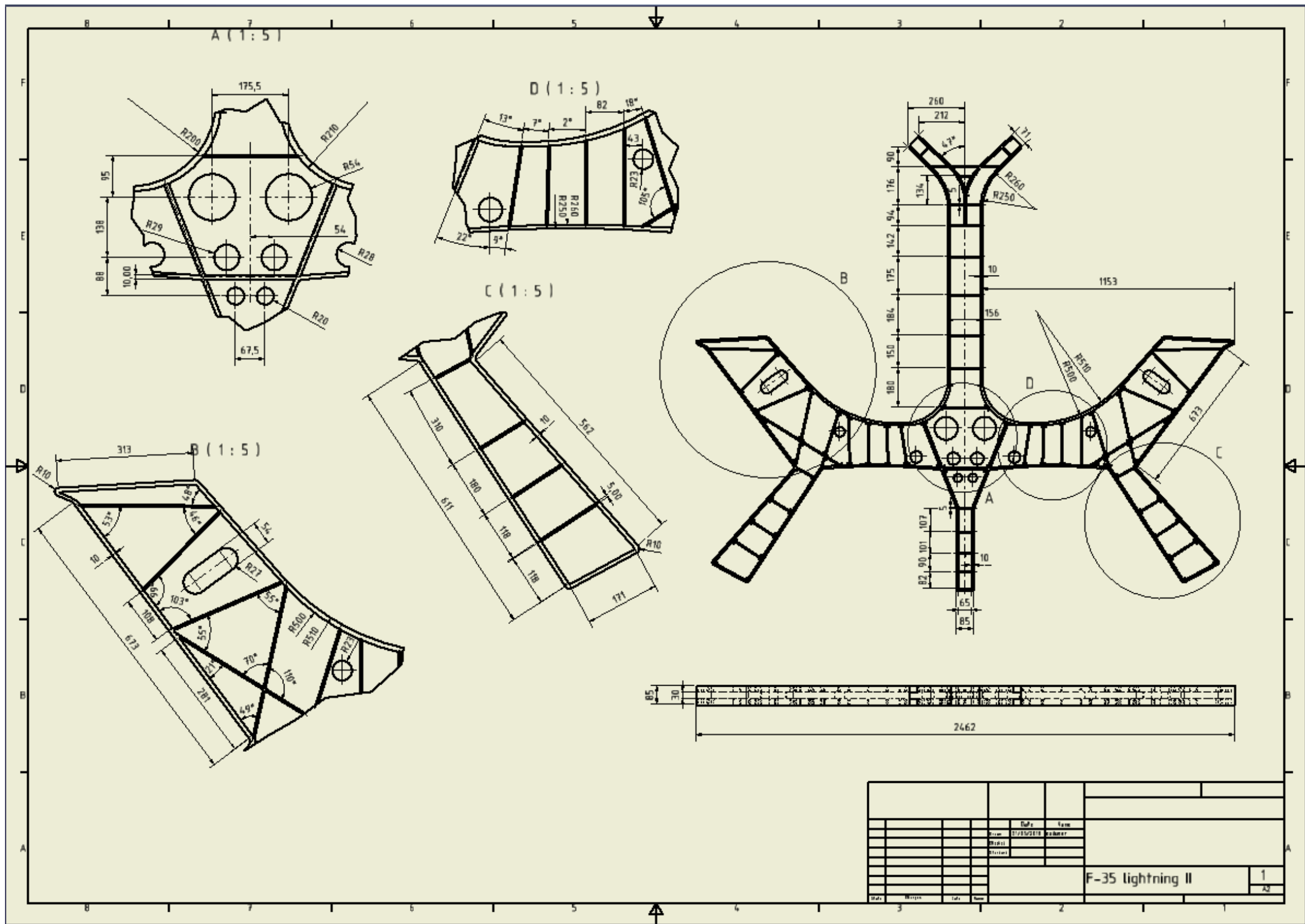


εικόνα 29 Σύγκριση εικόνας Bulkhead με μοντέλο

### Μηχανολογικό σχέδιο διαφράγματος F-35

Μετά τον σχεδιασμό του τρισδιάστατου bulkhead του F-35, σε συμπαγή μορφή γίνεται η αναλυτική παρουσίασή σε μηχανολογικό σχέδιό. Στο μηχανολογικό σχέδιο αναλύεται κάθε λεπτομέρεια (detail) ξεχωριστά και χρησιμοποιούνται τομές όπου χρειάζεται για την ανάδειξη των λεπτομερειών πάντα με τις απαραίτητες διαστάσεις τους (σε χιλιοστά).

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΒΥΛΚΗΕΔ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ F-35 ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INVENTOR



εικόνα 30 Μηχανολογικό Σχέδιο διαφράγματος

## Συζήτηση - Συμπεράσματα

Συμπερασματικά και ολοκληρώνοντας τον κύκλο των επιμέρους στοιχείων αυτής της μελέτης, σε αυτήν την πτυχιακή εργασία έγινε προσπάθεια να μοντελοποιηθεί ένα από τα βασικά εξαρτήματα του μαχητικού αεροπλάνου F-35.

Κύριος και βασικός στόχος σύνταξης της παρούσας μελέτης ήταν, η επίλυση των προβλημάτων, τα οποία προκύπτουν κατά την προσπάθεια μοντελοποίησης ενός μηχανολογικού εξαρτήματος, όταν εκλείπουν βασικά στοιχεία, όπως οι διαστάσεις. Ξεκινώντας την προσπάθεια αποτύπωσης, ήταν απαραίτητη η πρόοψη του διαφράγματος, καθώς η ευρεθείσα εικόνα του εξαρτήματος, το απεικόνιζε υπό γωνία. Βρίσκοντας τις μοίρες αυτής της γωνίας και φέρνοντας τις απαραίτητες προβολές σε όλο το σχήμα, δημιουργήθηκε η ζητούμενη όψη.

Έπειτα, μετρώντας όλο το μήκος και το ύψος του μοντέλου, έγινε η πρώτη διαστασιολόγηση. Κύριο μέλημα ήταν, οι διαστάσεις που θα προέκυπταν να ήταν όσο το δυνατόν περισσότερο κοντά στις πραγματικές.

Για αυτόν τον λόγο, έγινε μελέτη του αεροπλάνου ως προς την θέση του διαφράγματος. Αυτό σημαίνει ότι, θα ήταν άστοχο το bulkhead να είναι μεγαλύτερο από τρία μέτρα μήκος και λιγότερο από ενάμιση. Αντιστοίχως, το ίδιο ισχύει και για το ύψος του.

Ακολούθησε η μοντελοποίηση του, ξεκινώντας από το περίγραμμα, με την χρήση ενός σύγχρονου υβριδικού μοντελοποιητή. Επειδή το διάφραγμα έχει άξονα συμμετρίας, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση του μισού περιγράμματος. Στην συνέχεια και μετρώντας τις διαστάσεις των νεύρων στην πρόοψη της εικόνας, προστέθηκαν και τα νεύρα ενώ η θέση τους στο μοντέλο στηρίχθηκε από ένα σταθερό σημείο, τον άξονα συμμετρίας.

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία των οπών. Όπως φαίνεται στην εικόνα, υπάρχουν έξι διαφορετικές διαμερείς οπές. Η απόστασή τους από τον άξονα και η μέτρηση της ακτίνας για κάθε μια από τις περιπτώσεις, έδειξε το μέγεθος και την ακριβή τους θέση.

Τέλος, το μόνο κομμάτι του σχεδίου που βρισκόταν σε εκκρεμότητα, ήταν η δημιουργία του άλλου μισού διαφράγματος, η οποία και πραγματοποιήθηκε με την εντολή mirror.

Ολοκληρώνοντας την δισδιάστη απεικόνιση του εξεταζόμενου μοντέλου, ακολούθησε η τρισδιάστη μοντελοποίηση του σε μορφή solid .

Η εικόνα δεν μπορούσε να βοηθήσει ώστε να υπάρξει η δημιουργία της παραμέτρου του όγκου. Το μόνο που ήταν διακριτό ήταν πως το διάφραγμα έχει τρεις διαφορετικές διαστάσεις.

Οι διαστάσεις αυτές αφορούσαν : Τα νεύρα, το περίγραμμα και το εσωτερικό του. Για την επίλυση του εν λόγω προβλήματος, έγινε μελέτη σε περισσότερες φωτογραφίες από άλλα bulkheads του F-35 (εικόνα 25 , 26).

Με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώθηκε το σύνολο των τριών διαστάσεων. Για να μπορέσουν να απεικονισθούν οι τρεις διαστάσεις λοιπόν, χρησιμοποιήθηκε η εντολή extrude (δημιουργία όγκου με γραμμική σάρωση) και έτσι κατάφερε να ολοκληρωθεί η τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου.

Τέλος, χρησιμοποιώντας την εντολή fillet, διαμορφώθηκαν οι στρογγυλοποιήσεις στην βάση των εσοχών , στα νεύρα καθώς και σε όλο το διάφραγμα εσωτερικά και στο περίγραμμα.

Ολοκληρώνοντας λοιπόν την συγκεκριμένη εργασία, αποκτήθηκαν βασικά οφέλη, σημαντικότερο εκ των οποίων είναι το πως θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί η σχεδίαση και η μοντελοποίηση ενός ή και περισσότερων μηχανολογικών εξαρτημάτων, κατά την έλλειψη βασικών παραμέτρων για την ολοκλήρωση αυτής.

Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση του συγκεκριμένου μοντέλου, μέσω της κατανόησης και της μελέτης μιας μηχανολογικής κατασκευής, του πειραματισμού και ακολουθώντας μια συγκεκριμένη μεθοδολογία, με την χρήση ενός σύγχρονου υβριδικού μοντελοποιητή.

Προκειμένου το μοντέλο του εμπρόσθιου διαφράγματος να αποκτήσει την μορφή που χρειαζόταν, έπρεπε να γίνει έρευνα και συλλογή πληροφοριών, η οποία θα επέτρεπε την ακριβέστερη αντιγραφή του.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι της αντίστροφης μηχανικής, δηλαδή η προσπάθεια να αναγνωριστεί η δομή του διαφράγματος, αναλύοντας επιμέρους στοιχεία. Στην κατεύθυνση αυτή έγινε σύγκριση με άλλα διαφράγματα του ίδιου αεροπλάνου, με στόχο την βέλτιστη μοντελοποίηση του.

Αναφορικά με το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, είναι εύκολο να κατανοηθεί ότι η χρήση υβριδικού μοντελοποιητή βοηθάει τον χρήστη στην σχεδίαση μιας κατασκευής αφού, του επιτρέπει την δημιουργία εικονικής αναπαράστασης, την άμεση επεξεργασία δεδομένων καθώς και την ελευθερία στην μορφοποίηση, μέχρι την επικύρωση της τελικής μορφής.

Αυτό που προσφέρθηκε είναι η μέθοδος που μπορεί οποιοσδήποτε να χρησιμοποιήσει όταν δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για την μοντελοποίηση μιας μηχανολογικής κατασκευής. Η λύση εμφανίζεται τμηματικά ενώ εξηγούνται οι διαδικασίες και τα στάδια που πρέπει να ακολουθηθούν.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για περαιτέρω έρευνα. Υπάρχει η δυνατότητα να ενσωματωθεί μελλοντικά σε μελέτη, η οποία ενδεχομένως να αφορά όλα τα διαφράγματα του F-35 ή ακόμα και την μοντελοποίηση όλου του μαχητικού αεροπλάνου.

## Βιβλιογραφία

Hamilton, J., 2012. F-35 lightning II.

[http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2015-0248/DT2015-0248.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2015-0248/DT2015-0248.pdf), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Bulkhead\\_\(partition\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Bulkhead_(partition)), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Concurrency\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Concurrency_control), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fifth-generation\\_jet\\_fighter](https://en.wikipedia.org/wiki/Fifth-generation_jet_fighter), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth-generation\\_jet\\_fighter](https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth-generation_jet_fighter), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_aircraft](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_aircraft), 2018.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Lift-fan>, 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_F-35\\_Lightning\\_II\\_Canadian\\_procurement](https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_F-35_Lightning_II_Canadian_procurement), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_F-35\\_Lightning\\_II\\_Israeli\\_procurement](https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_F-35_Lightning_II_Israeli_procurement), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Stealth\\_technology](https://en.wikipedia.org/wiki/Stealth_technology), 2018.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Third-generation\\_jet\\_fighter](https://en.wikipedia.org/wiki/Third-generation_jet_fighter), 2018.

<https://www.f-35.com/>, 2017.

<https://www.lockheedmartin.com> 2017.

Κουμούσης Β. *Η αντίστροφη μηχανική ως μέθοδος σχεδιασμού και βελτίωσης συσκευών. 2018*