

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΡΟΥΣ ΤΗΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ (FUSELAGE)
ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ**



**ΔΗΜΟΥ ΜΙΧΑΗΛ
Α.Μ.: 40106**

Επιβλέπων καθηγητής : Φιλήμων Σκιπτίδης , Καθηγητής

**ΑΘΗΝΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2016**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	σελ.
ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ	5
1.1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΟΥ	5
1.1.2 ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΟΥ	5
2. ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ Α400Μ	6
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ Α400Μ	6
3. ΜΕΡΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ	10
3.1 ΑΤΡΑΚΤΟΣ (FUSELAGE) ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ	10
4. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΣ ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ Α400Μ	17
4.1 ΜΕΛΕΤΗ , ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ	17
4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ FUSELAGE-FRAMES	19
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

ABSTRACT

This specific essay is the culmination of my studies in the Mechanical Engineering department of the University of Piraeus (with supervisor professor Mr. Skittidis). The purpose of this project is the design of the structural elements of the fuselage of a transport aircraft in an attempt to approach the actual procedure followed by a manufacturing company.

In the first stage, I conducted a brief research on the technical details and the designing process of an aircraft. The research was based on real-market information that were drawn from reliable sources. Afterwards, I moved on with the main part of the essay which was the design of the structural elements (struts, frames, etc.) that precisely apply on the fuselage and that compose the mechanical frame of an aircraft. The designs were made with the use of a 3D program, the Inventor Autodesk.

In conclusion, after the preparation of this essay I enhanced my knowledge on the technical details of essential parts from which an aircraft is consisted of and I acquainted myself with the designing methodology that is being used by long-range construction companies.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί την κορύφωση των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΑΕΙ Πειραιά (με επιβλέποντα καθηγητή τον κο Σκιπτιδή). Ο σκοπός της εργασίας είναι η σχεδίαση των δομικών στοιχείων της ατράκτου ενός μεταγωγικού αεροσκάφους στα πλαίσια προσομοίωσης της πραγματικής διαδικασίας σχεδίασης που ακολουθείται από μια κατασκευάστρια εταιρεία.

Σε πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη των τεχνικών λεπτομερειών και του τρόπου σχεδίασης ενός αεροσκάφους αντλώντας πραγματικά δεδομένα της αγοράς από αξιόπιστες πηγές. Στη συνέχεια, προχώρησα στο κύριο στάδιο της εργασίας που ήταν η σχεδίαση των δομικών στοιχείων (αντηρίδες, frames κλπ) που εφαρμόζονται επακριβώς πάνω στην άτρακτο και αποτελούν τον μηχανολογικό σκελετό ενός αεροσκάφους. Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος 3D (Inventor Autodesk).

Συμπερασματικά, με την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής απέκτησα γνώσεις πάνω στις τεχνικές λεπτομέρειες σχεδίασης των βασικών μερών που απαρτίζουν ένα μεταγωγικό αεροσκάφος και ήρθα σε επαφή με τη μεθοδολογία σχεδίασης που ακολουθείται από μεγάλου βεληνεκούς κατασκευαστικές εταιρείες.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ

Η Αεροναυπηγική είναι η επιστήμη και το επάγγελμα που ασχολείται με την ανάπτυξη, στο 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.

1.1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΟΥ

Το αεροσκάφος είναι το πιο ασφαλές μεταφορικό μέσο για τον άνθρωπο, το οποίο του δίνει την ιδιότητα να μεταφέρεται μέσω του αέρα. Ωστόσο για την κατασκευή του υπεύθυνος είναι ο αεροναυπηγός ο οποίος απαιτείται να έχει τις εξής ιδιότητες:

Ασχολείται με την έρευνα και τον σχεδιασμό αεροσκαφών ή άλλων ιπτάμενων οχημάτων και επιβλέπει τόσο την πορεία κατασκευής τους όσο και τη διαδικασία επισκευής ή συντήρησής τους.

Είναι υπεύθυνος για τη γενική σχεδίαση του αεροσκάφους και συγκεκριμένα για τη μορφή και τον τύπο που θα έχει, για τον εξοπλισμό που θα το συνοδεύει, καθώς και για την εσωτερική διαρρύθμισή του.

Μελετά την αεροδυναμική, την ταχύτητα, τη σταθερότητα, την ακτίνα δράσης και τα άλλα χαρακτηριστικά που θα έχει το σκάφος, ενώ στη συνέχεια κάνει τα προκαταρκτικά σχέδια για το μέγεθος και το σχήμα της ατράκτου, το σύστημα προσγείωσης και απογείωσης καθώς και για άλλα συστήματα ή εξαρτήματα.

Διορθώνει ή/και τροποποιεί τα πρωτότυπα σχέδια, αφού πρώτα δοκιμάζονται κάτω από εργαστηριακές συνθήκες ανάλογες με αυτές που επικρατούν στην πραγματικότητα.

Επιβλέπει τη διαδικασία κατασκευής των τμημάτων του αεροσκάφους και τη συναρμολόγησή τους και φροντίζει να πραγματοποιούνται σωστά τα βήματα που περιγράφονται στη μελέτη και στα σχέδια που έχει δημιουργήσει.

Εποπτεύει την τοποθέτηση των μηχανών και των υπόλοιπων συστημάτων-εξαρτημάτων.

Επιβλέπει τη διαδικασία συντήρησης του αεροσκάφους, σε συνεργασία με τους υπόλοιπους ειδικούς για τους κινητήρες, τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα.

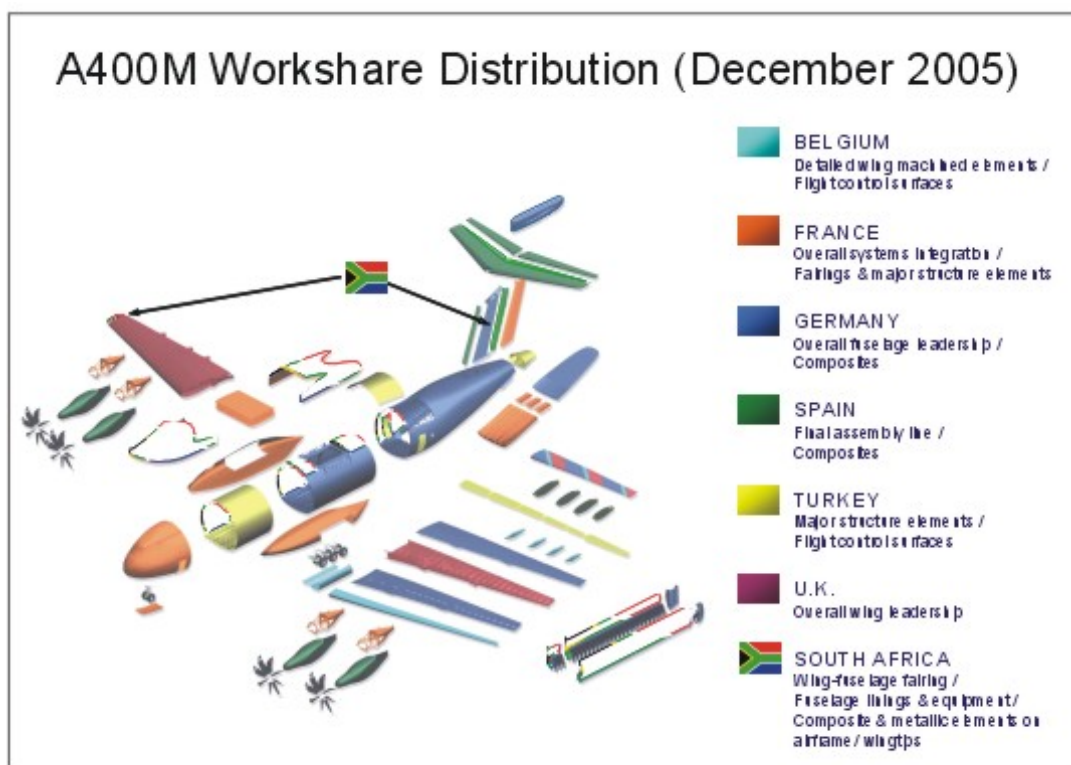
1.1.2 ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΟΥ

Ο αεροναυπηγός για την σωστή μελέτη και σχεδίαση των αεροσκαφών απαιτείται να έχει καλή γνώση Η/Υ με εξειδικευμένα προγράμματα σχεδίασης και εξωμείωσης σε ακραίες καταστάσεις, ώστε να αποτυπώσει με ακρίβεια τις ιδέες του για τη σχεδίαση του αεροσκάφους, καθώς και ειδικά όργανα μεγάλης ακρίβειας στη φάση της δοκιμής των σχεδίων σε φυσικές συνθήκες.

2. ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ A400M

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ A400M

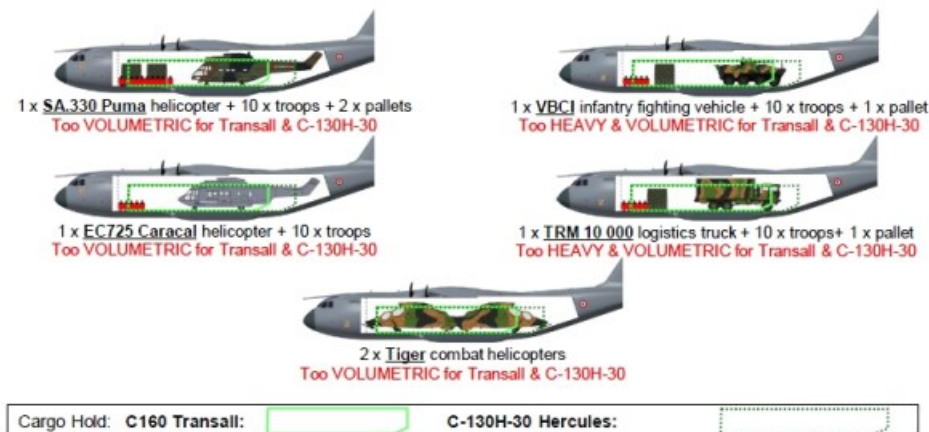
Το Airbus A400M είναι ένα μεσαίου βεληνεκούς αεροσκάφος στρατιωτικών μεταφορών, το οποίο είναι ένα πολυεθνικό τετρακινητήριο turboprop. Το A400M διατάχθηκε από 10 χώρες. Οι κύριες κατασκευάστριες χώρες του αεροσκάφους A400M είναι η Γερμανία, η Γαλλία, η Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Τουρκία. Η Airbus Military είχε ως σκοπό το A400M να αντικαταστήσει μια ποικιλία αεροσκαφών συμπεριλαμβανομένων το Lockheed Martin C-130 Hercules και Transall C-160.



Εικόνα 2.1 : Οι χώρες κατασκευάστριες του A400M.
(Πηγή: <http://www.aviation-news.co.uk/archive/a400m.html>)

Το A400M έκανε την παρθενική του πτήση 11 Δεκέμβρη 2009 καθώς είχε αρχικά προγραμματιστεί για το 2008. Οι πρώτες παραδόσεις αναμένονταν το 2009, ωστόσο αναβλήθηκαν λόγω κάποιων επιπλοκών. Ωστόσο το 2013 το Μάρτιο του 2013 δόθηκε πιστοποίηση κατασκευής. Τα πρώτα αεροσκάφη δόθηκαν στην Γαλλική Πολεμική Αεροπορία τον Αύγουστο του 2013, καθώς επίσης την ίδια χρονιά το Γαλλικό A400M είδε δράση. Το A400M χρησιμοποιήθηκε για την παράδοση φορτίου κατά την μάχη που γινόταν στο Μάλι. Το πρώτο A400M παραδόθηκε από την Airbus το 2014 στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Ο κύριος ρόλος του A400M είναι η μεταφορά στρατευμάτων και φορτίων καθώς και ιατρικές αποστολές εκκένωσης.



Εικόνα 2.2 : Αποθηκευτικός χώρος σε σύγκριση A400M , C160 , C-130H-30.

(Πηγή: <http://defence.pk/threads/airbus-military-delivered-first-a400m-to-turkey.307763/page-2>)

Το A400M της Airbus τροφοδοτείται από υψηλής απόδοσης TP400-D6 στροβιλοκινητήρες νέας γενιάς. Κάθε ένας στροβιλοκινητήρας εκτιμάται σε πάνω από 11.000 SHP. Αυτές οι μηχανές έχουν αναπτυχθεί από EuroProp International. Τα πτερύγια του έλικα είναι σύνθετων κατασκευών καθώς επίσης ο προηγμένος σχεδιασμός της Airbus A400M ενσωματώνει εκτεταμένη χρήση των σύνθετων υλικών. Οι στροβιλοκινητήρες επελέγησαν λόγω ενός αριθμού πλεονεκτημάτων, όπως η αποδοτικότητα πτήσης - καυσίμου και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Η ταχύτητα πλεύσης του A400M Atlas είναι σχεδόν τόσο γρήγορη όσο είναι η διπλής ροής τροφοδοσίας - μεταφορών.

Αυτό το αεροσκάφος μεταφοράς μπορεί να μεταφέρει μέχρι 116 πλήρως εξοπλισμένα στρατεύματα ή 66 φορεία και 25 ιατρικές συνοδούς. Το κύτος φορτίου μπορεί να πάρει εννέα πρότυπες στρατιωτικές παλέτες καθώς και δύο ακόμη μπορούν να φορτωθούν στην πίσω ράμπα. Ταυτόχρονα 54 στρατιώτες μπορούν να κάθονται στα πλευρικά καθίσματα. Το A400M μπορεί επίσης να μεταφέρει τροχοφόρα οχήματα, συνήθως δύο 8x8 τεθωρακισμένα οχήματα μεταφοράς προσωπικού. Η απόσταση με μέγιστο ωφέλιμο φορτίο είναι 3.300 km.



Εικόνα 2.3 : Ανεφοδιασμός δύο F-18.

(Πηγή: <http://www.defencetalk.com/wp-content/uploads/2015/02/>)

Ακόμη το A400M μπορεί να απογειώνεται και να προσγειώνεται σε μαλακό και έδαφος και σε ημιπαρασκευασμένα αεροδρόμια και απαιτείται σχετικά μικρός διάδρομος. Καθώς επίσης έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με περιορισμένη ή και ακόμη καθόλου επίγεια προσεδάφιση .

Το A400M της Airbus μπορεί να ανεφοδιάσει άλλα αεροσκάφη κατά την πτήση σε ελάχιστο χρόνο . Δηλαδή ένας ανεφοδιασμός μπορεί να γίνει μέσα σε δύο ώρες.



Εικόνα 2.4 : Κατασκευή μπροστινών πτερυγίων και ατράκτου.

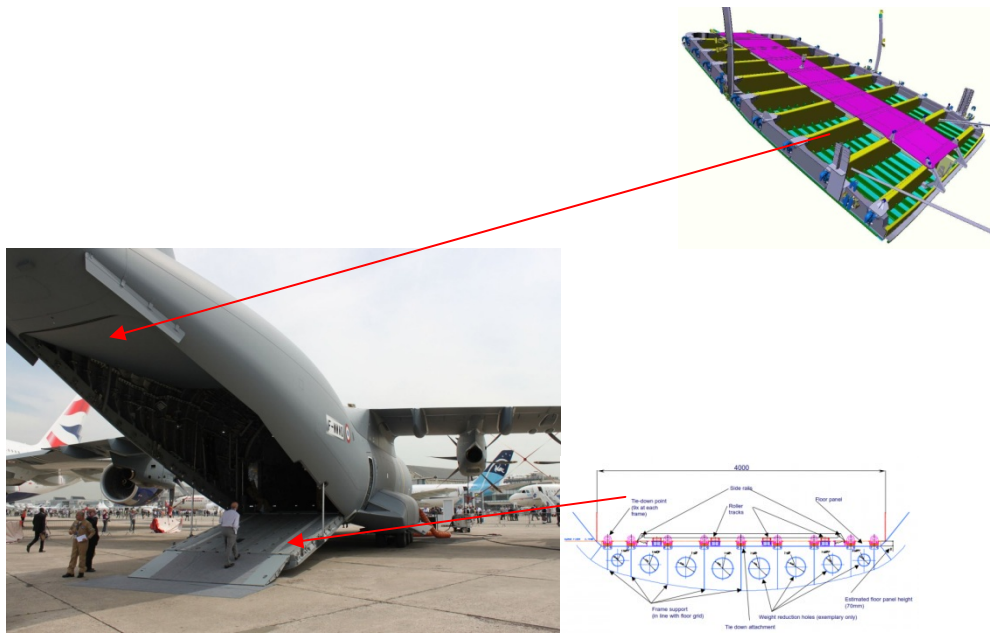
(Πηγή:

<http://operacoesmilitaresguia.blogspot.gr/2013/09/operacoes-militares-parte-1.html>)



Εικόνα 2.5 : Κατασκευή ατράκτου και πίσω μέρος πτερυγίων.

(Πηγή: <http://www.aero-mag.com/features/181/201511/3497/>)



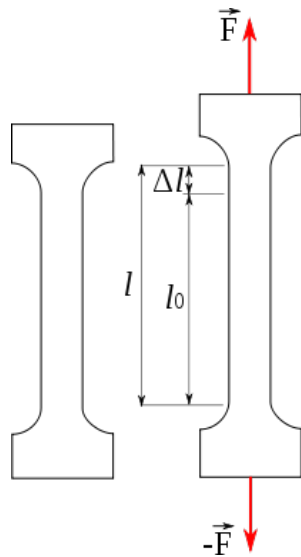
Εικόνα 2.6:Πορτες A400M
(Πηγή: www.compositesworld.com , periergaa.blogspot.com)

3. ΜΕΡΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

3.1 ΑΤΡΑΚΤΟΣ (FUSELAGE) ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

Η λέξη ατράκτος (fuselage) βασίζεται στη γαλλική λέξη fuseler, που σημαίνει «για τον εξορθολογισμό». Η ατράκτος πρέπει να είναι ισχυρή και να εκσυγχρονίζεται, δεδομένου ότι πρέπει να αντέχουν στις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την πτήση. Στεγάζει το πλήρωμα πτήσης, τους επιβάτες και το φορτίο. Οι ατράκτοι ταξινομούνται σύμφωνα με τη διάταξη της δομής δυνάμεων που αντιστέκονται σε αυτές. Τα είδη των ατράκτων θα μελετήσουμε είναι το truss και το semi-monocoque. Πέντε τύποι στρες δυνάμεων δέχεται το αεροσκάφος κατά την πτήση: εφελκυσμός, θλίψη, κάμψη, διάτμηση και στρέψη. Παρακάτω θα δούμε κάθε ένα ξεχωριστά.

Εφελκυσμός ονομάζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν (πάνω σχήμα). Ο εφελκυσμός είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι η θλίψη.



**Εικόνα 3.1 : Αναπαράσταση αξονικού εφελκυσμού
(Πηγή:**

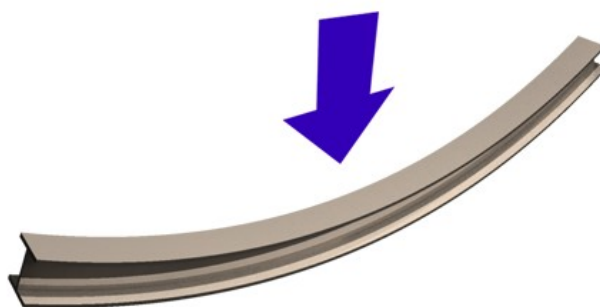
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eprouvette_traction_force_elongation.svg

Θλίψη ονομάζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το συμπίεσουν (σχήμα). Η θλίψη είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι ο εφελκυσμός.



Εικόνα 3.2 : Αναπαράσταση θλίψης
(Πηγή: <http://www.epoxysetinc.com/tag/epoxy-adhesive/>)

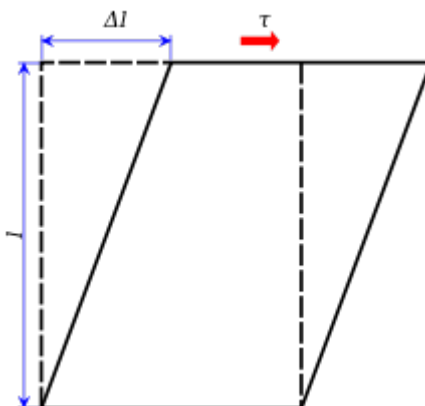
Κάμψη είναι το αποτέλεσμα κάθετων δυνάμεων ή ροπών που ασκούνται σε ένα μακρόστενο σώμα. Όπως το σώμα τείνει να καμπυλωθεί στη μία πλευρά του προκαλείται θλίψη (συμπίεση) και στην άλλη εφελκυσμός (τράβηγμα). Η κάμψη προκαλεί την παραμόρφωση ή ακόμα και την θραύση του σώματος.



Εικόνα 3.3 : Αναπαράσταση κάμψης μιας δοκού που στηρίζεται στα δυο ακρα .
(Πηγή: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Savijanje>)

Διάτμηση ονομάζεται η καταπόνηση που εμφανίζεται σε ένα σώμα όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονα του.

Στη μηχανική διατμητική τάση ονομάζεται το πηλίκο της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που εφαρμόζεται σε μια διατομή του υλικού προς την επιφάνεια της διατομής. Δηλαδή η διατμητική τάση είναι η τάση που είναι παράλληλη στο επίπεδο της διατομής. Συμβολίζεται δε με το ελληνικό μικρόγραμμο τ (ταυ). Μονάδα μέτρησης της διατμητικής τάσης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το πασκάλ που είναι ίσο με 1 Νιούτον (μονάδα ασκούμενης δύναμης) ανά τετραγωνικό μέτρο (μέτρο επιφάνειας εφαρμογής στο SI).



Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση διάτμησης

(Πηγή:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CF%84%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7>)

Στη μηχανική, στρέψη προκαλείται σε ένα σώμα όταν ασκείται μια ροπή στον άξονά του, που τείνει να τον στρίψει. Μονάδα μέτρησης της στρέψης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το Νιούτον επί μέτρο ($N \cdot m$). Η στρέψη προκαλεί διατμητικές τάσεις στην επιφάνεια της διατομής του σώματος.

Η στρέψη συναντάται συχνά σε άξονες μετάδοσης κίνησης, σε κτήρια, στο ανθρώπινο σώμα και αλλού.



Εικόνα 3.5: Αναπαράσταση στρέψης.

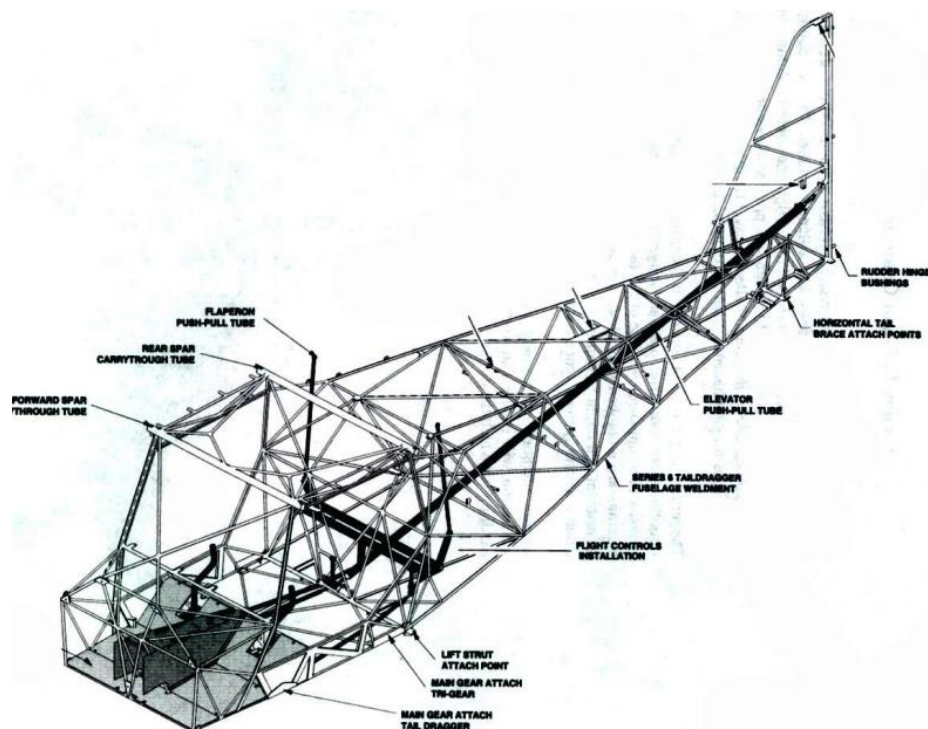
(Πηγή: <http://clasience2.weebly.com/architecture.html>)

Στρέψη είναι το η δύναμη που τείνει να νοθεύθει από συστροφή. Όπως μπορεί να παράγουμε μια στρεπτική δύναμη όταν σφίγγουμε το παξιμάδι σε ένα μπουλόνι. Ο κινητήρας του αεροσκάφους ασκεί στρεπτική δύναμη στον άξονα στροφαλοφόρου άξονα ή του στροβίλου.

Όλα τα μέλη ενός αεροσκάφους υποβάλλεται σε μία ή περισσότερες από αυτές τις καταπονήσεις. Ωστόσο μερικές φορές ένα μέλος έχει εναλλακτικές τάσεις, όπως η συμπίεση στιγμιαία. Μερικά μέλη μπορεί να έχουν μόνο ένα είδος από τις τάσεις αυτές. Σύρματα και καλώδια, για παράδειγμα, συνήθως φέρουν μόνο τον εφελκυσμό.

Δεδομένου ότι κάθε μέλος είναι ισχυρότερη σε συμπίεση ή ένταση από ό, τι σε κάμψη, τα μέλη ασκούν τέλικά φορτία καλύτερα από πλευρικά φορτία. Για να γίνει αυτό, οι σχεδιαστές έχουν στοιχίσει τα μέλη με τη μορφή truss (αντιρίδες), ή άκαμπτο πλαίσιο. Προκειμένου οι αντηρίδες να είναι άκαμπτες, θα πρέπει να αποτελείται εξ ολοκλήρου από τρίγωνα. Όταν το φορτίο σε ένα δικτύωμα δρα σε μία κατεύθυνση, κάθε αναπληρωματικό μέλος μεταφέρει την ένταση, ενώ τα υπόλοιπα μέλη φέρουν συμπίεση. Όταν το φορτίο αντιστρέφεται, τα μέλη τα οποία μεταφέρουν συμπίεση υποβάλλεται σε ένταση και εκείνα τα οποία μετέφεραν ένταση είναι υπό συμπίεση. Το ίδιο το δικτύωμα αποτελείται από συγκολλημένα σωληνοειδή χάλυβα με longerons (οριζόντια μέλη) και διαγώνια τيرانτες.

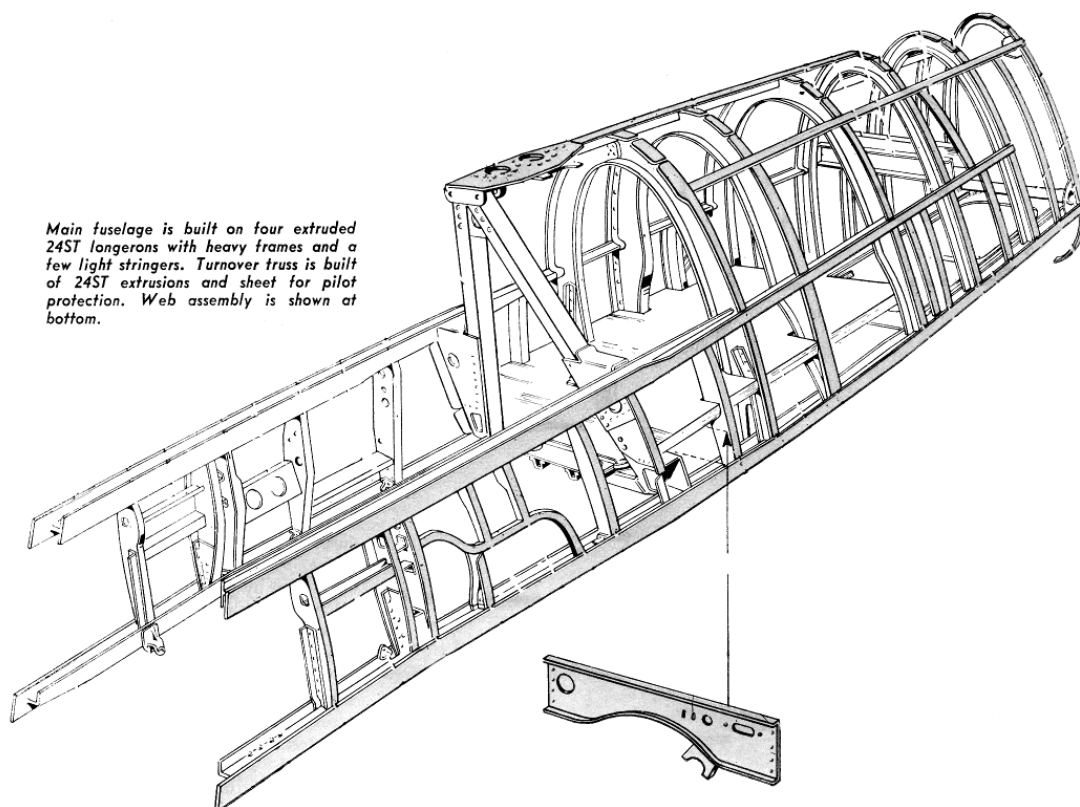
Το δικτύωμα καλύπτεται με ένα μέταλλο ή ύφασμα κάλυμμα έτσι ώστε θα παράγεται μικρότερη αντίσταση. Για να παραχθεί μια λεία επιφάνεια, το κάλυμμα ύφασμα τίθεται σε fairing λωρίδες, οι οποίες είναι λεπτές επίπεδες λωρίδες από ξύλο ή μέταλλο. Αυτά τα φέρινγκ λωρίδες είναι κατα μήκος της ατράκτου, σύμφωνα με την κατεύθυνση της πτήσης.



Εικόνα 3.6: Αναπαράσταση truss άτρακτος.

(Πηγή: <http://www.homebuilairplanes.com/forums/tube-fabric/12796-truss-geometric-efficiency-2.html>)

Ο semi-monocoque είναι ο πιο συχνός τύπος ο οποίος χρησιμοποιείται για τις σύγχρονες κατασκευές, για αεροσκάφη υψηλών επιδόσεων. Semi-monocoque σημαίνει κυριολεκτικά το μισό ένα ενιαίο κέλυφος. Εδώ, οι εσωτερικές τσιράντες καθώς και το ίδιο το δέρμα φέρουν τις τάσεις. Τα εσωτερικά σιδεράκια περιλαμβάνουν επιμήκη (μήκος) μέλη τα οποία καλούνται νευρώσεις και κατακόρυφο διαφράγμα.



Εικόνα 3.7 : Αναπαράσταση semimonocoque άτρακτος.
(Πηγή: http://legendsintheirowntime.com/P51/P51_index.html)

Η ημι αυτοφερόμενη (semimonocoque) άτρακτος είναι ευκολότερο να εκσυγχρονιστεί από τη δομή και τις αντηρίδες. Δεδομένου ότι το δέρμα της ημι ολόσωμη δομής πρέπει να φέρει ένα μεγάλο μέρος της δύναμης της άτρακτος του, θα είναι παχύτερο σε ορισμένες περιοχές από ό, τι σε άλλα μέρη. Με άλλα λόγια, θα είναι παχύτερο στα σημεία εκείνα όπου το stress σε αυτό είναι η μεγαλύτερο.

Εικόνα 3.8 : f-16 semimonocoque άτρακτος.
(Πηγή: <http://www.nap.edu/read/5917/chapter/6#97>)

Τα πρώτα αεροσκάφη ήταν κατασκευασμένα από ξύλινα πλαίσια που καλύπτονται με ύφασμα. Όπως monoplanes τα οποία έγιναν δημοφιλή, μεταλλικό σκελετό για να βελτιωθεί η αντοχή, η οποία οδήγησε τελικά σε all-metal αεροσκάφη με μεταλλικό skin έτσι ώστε να καλύπτουν όλες τις επιφάνειες. Μερικά σύγχρονα αεροσκάφη κατασκευάζονται με σύνθετα υλικά για τις μεγάλες επιφάνειες ελέγχου, τα φτερά, ή το σύνολο της ατράκτου, όπως το Boeing 787. Από την 787, καθιστά μεγάλης αντοχής με υψηλότερα επίπεδα πίεσης και μεγαλύτερα παράθυρα για την άνεση των επιβατών, καθώς και μεικρότερο βάρος για τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Το Boeing 787 ζυγίζει 1500 λίβρες λιγότερο από ό, τι αν ήταν ένα συγκρότημα από αλουμίνιο.

Στην άτρακτο του αεροσκάφους, τα stringers που συνδέονται με διαμορφωτές (ονομάζονται επίσης κουφώματα) τα οποία βρισκονται στη διαμήκη κατεύθυνση του αεροσκάφους. Αυτά είναι κυρίως υπεύθυνα για τη μεταφορά των αεροδυναμικών φορτίων που δρουν στο δέρμα πάνω στα πλαίσια και τους διαμορφωτές της. Στα φτερά ή στον οριζόντιο σταθεροποιητή, τα longerons βρίσκονται από άκρο σε άκρο και επισυνάπτονται μεταξύ των πλευρών. Η πρωταρχική λειτουργία εδώ είναι να μεταφέρουν τα φορτία κάμψης που δρουν στα φτερά πάνω από τα πλευρά και δοκαριού.



Εικόνα 3.9 : Stringers

(Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Longeron>)

Μερικές φορές οι όροι «longeron» και «stringers» χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Ιστορικά, όμως, υπάρχει μια λεπτή διαφορά μεταξύ των δύο όρων. Αν τα διαμήκη μέλη σε μια άτρακτο είναι λίγες σε αριθμό και βρίσκονται σε όλο το μήκος της ατράκτου (συνήθως 4 έως 8), τότε ονομάζονται «longerons». Το σύστημα απαιτεί επίσης longeron όπου τα πλαίσια της άτρακτου να απέχουν στενά (περίπου κάθε 4 έως 6 ή 10 έως 15 cm). Αν τα διαμήκη μέλη είναι πολλά (συνήθως 50 έως 100) και τοποθετούνται ακριβώς ανάμεσα σε δύο διαμορφωτές / καρέ, τότε ονομάζονται «νευρώσεων» (stringers). Στο σύστημα stringers τα διαμήκη μέλη είναι μικρότερα και τα πλαίσια σε απόσταση μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους (περίπου 15 έως 20 ή 38 να 51 cm). Σε γενικές γραμμές, longerons είναι της μεγαλύτερης διατομής σε

σύγκριση με νευρώσεων. Σε μεγάλα σύγχρονα αεροσκάφη το σύστημα Stringer είναι πιο κοινό, επειδή είναι περισσότερο αποδοτικό, παρά το γεγονός ότι είναι πιο πολύπλοκο να κατασκευαστεί και να αναλύσει. Μερικά αεροσκάφη χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό και των δύο δοκών και longerons.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΣ ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ A400M

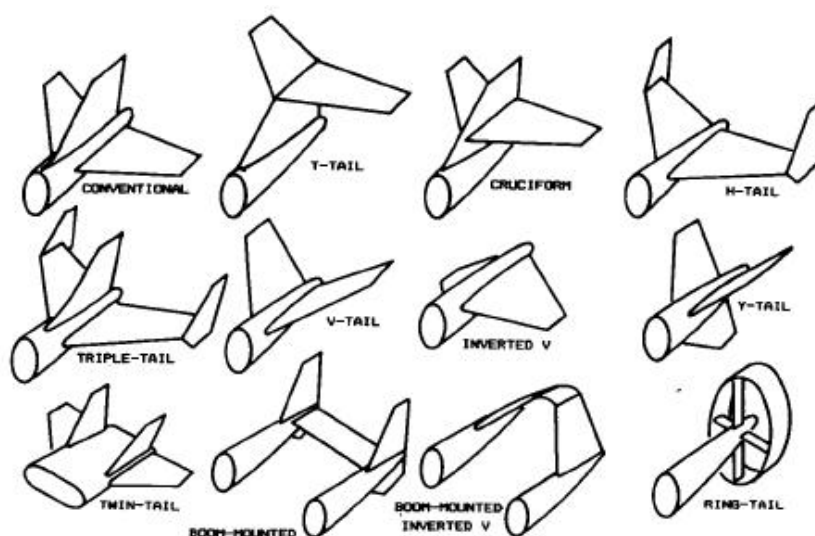
4.1 ΜΕΛΕΤΗ , ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Η ουρά αποτελεί την προέκταση της ατράκτου στην οποία τοποθετούνται τα ουραία πτερύγια. Πρόκειται επι της ουσίας για μικρές πτέρυγες όπου όλα τα παραπάνω αναφερθέντα χαρακτηριστικά παίζουν και εδώ μικρό ή και μεγαλύτερο ρόλο. Η βασική διαφορά μεταξύ τους είναι το ότι η πτέρυγα έχει σχεδιαστεί για να παράγει το μεγαλύτερο ποσοστό άντωσης του αεροσκάφους ενώ τα ουραία το μικρότερο δυνατό. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι περιπτώσεις όπου τα ουραία πτερύγια λειτουργούν με υψηλή δυνατότητα άντωσης είναι μάλλον προβληματικές και δυσχερείς για το αεροσκάφος.

Τα ουραία χρησιμοποιούνται κυρίως για ευστάθεια , έλεγχο διεύθυνσης και ειδικά τα οριζόντια και για εξισορρόπηση (trim). Η εξισορρόπηση είναι αναγκαία για πιθανές ροπές που παράγονται από τις πτέρυγες και οδηγούν σε μη επιθυμητή κλίση το αεροσκάφος.

Τα ουραία πτερύγια είναι επίσης «το κλειδί» της διατήρησης ευστάθειας λειτουργώντας περίπου όπως τα πούπουλα στην ουρά ενός βέλους. Πάρα το γεγονός ότι υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ευσταθών αεροσκαφών χωρίς την ύπαρξη ουράς, σοβαρά μειωνεκτήματα περιορίζουν την χρήση τους όπως στενή επιλογή γεωμετρίας, πολύ εκτεταμένη επιφάνεια πτέρυγας ή οπισθόκλιση ή τέλος πολύ μικρό φάσμα κέντρου βάρους.

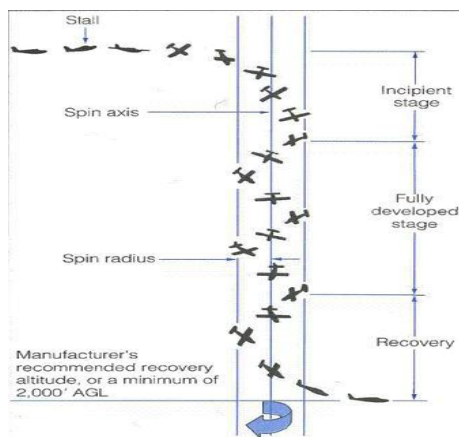
Η άλλη σπουδαία χρήση των ουραίων είναι για τον έλεγχο της διεύθυνσης του αεροσκάφους. Η ουρά πρέπει να σχεδιάζεται για να παρέχει δυνατότητα ελέγχου σε όλες τις δυσχερείς περιπτώσεις. Τέτοιες είναι συνήθως κατά την έξοδο των τροχών προσγείωσης, χαμηλής ταχύτητας πτήση με χρήση flaps και διηχητικοί ελιγμοί.



Εικόνα 4.1: Διατάξεις ουράς.

(Πηγή: http://home.anadolu.edu.tr/~gdurmus/hyo413/book/Aircraft-Design-A-Conceptual_Approach.pdf)

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε διάφορες διατάξεις ουράς που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα αεροσκάφη. Όπως βλέπουμε στις διατάξεις τα κάθετα ουραία βρίσκονται σε σχετική απόσταση προς τα μπροστά σε σχέση με τα οριζόντια. Αυτή η τοποθέτηση δεν είναι τυχαία . Το κάθετο ουραίο παίζει σπουδαίο ρόλο στην επαναφορά του σκάφους από περιστροφή. Όταν το σκάφος βρίσκεται σε τέτοια προβληματική κατάσταση συνήθως πέφτει κάθετα , προς τον ορίζοντα και περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα με τις πτερυγές του σε πλήρη αποκόλληση.

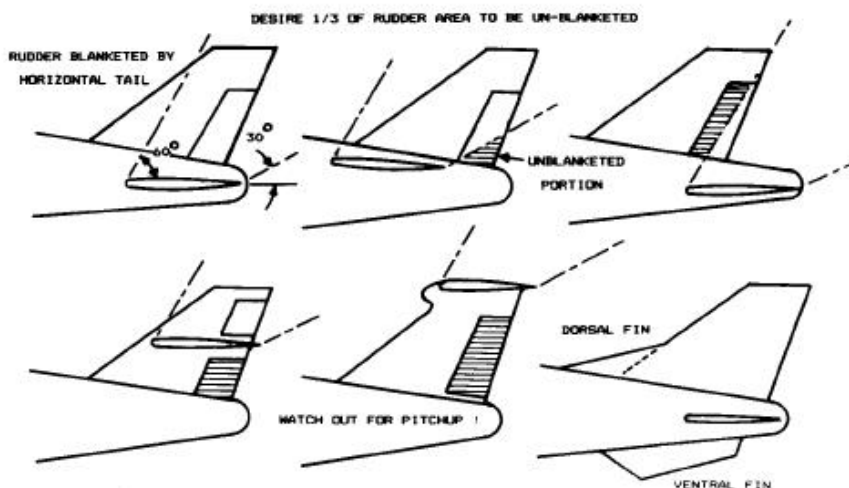


Εικόνα 4.2: «Spin» Αεροσκάφους σε διάφορα στάδια.

(Πηγή: http://home.anadolu.edu.tr/~gdurmus/hyo413/book/Aircraft-Design-A-Conceptual_Approach.pdf)

Για να επιστρέψει σε φυσιολογική λειτουργία απαιτείται, σε πρώτη φάση να τερματιστεί η κατάσταση αποκόλλησης. Άρα, πρέπει να μειωθεί η γωνία προσβολής. Δυστυχώς αν δεν τερματιστεί πρώτα η περιστροφή και μετά η γωνία του αεροσκάφους με την ευθεία πορεία, η κατάσταση αυτή θα επανέλθει. Έτσι απαιτείται ικονοποιητικός έλεγχος διεύθυνσης (rudder control) από τα πηδάλια ακόμα και σε πολύ μεγάλες γωνίες προσβολής.

Παρακάτω βλέπουμε την επίδραση της διάταξης του κάθετου ουραίου στην δυνατότητα ελέγχου του σκάφους σε περιπτώσεις υψηλών γωνιών προσβολής των οριζόντιων πτερυγιών. Σε υψηλές γωνίες τα οριζόντια ουραία μπάνουν σε φάση αποκόλλησης παράγοντας τυρβώδη απόρροο ο οποίος επεκτείνεται προς τα άνω σε γωνία 45 μοιρών. Έτσι λοιπόν από τα παραπάνω βλέπουμε την σπουδαιότητα της ουράς και την μελέτη που κάναμε για την σχεδίαση της ουράς του A400M.



Εικόνα 4.3: Επίδραση αποκόλλησης οριζόντιου ουραίου σε διαφορετικές διατάξεις καθέτου.

(Πηγή: http://home.anadolu.edu.tr/~gdurmus/hyo413/book/Aircraft-Design-A-Conceptual_Approach.pdf)

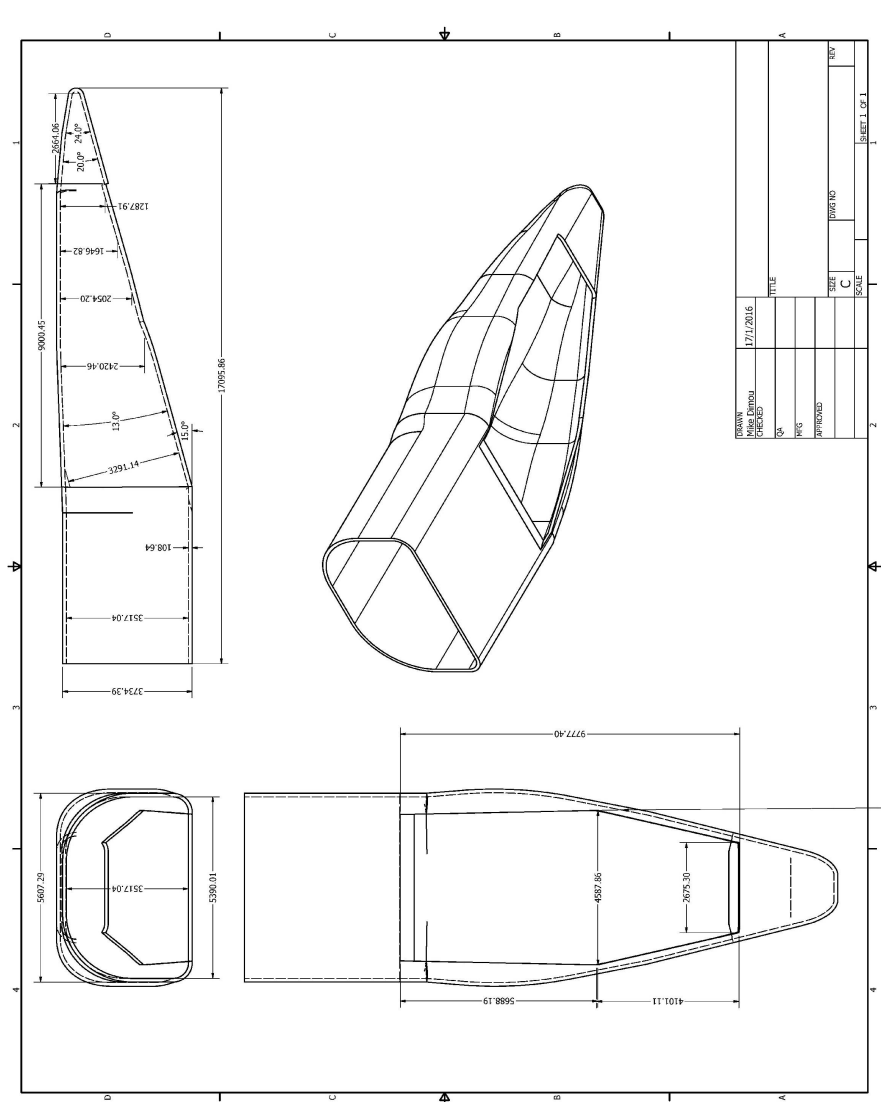
4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ FUSELAGE-FRAMES

Το βασικότερο όλων , είναι η σωστή εφαρμογή των δομικών στοιχείων στο skin του αεροσκάφους . Αρχικά για την σωστή εφαρμογή των στοιχείων στην άτρακτο του A400M χρειάστηκε ο σχεδιασμός του skin που περιβάλλει τα δομικά στοιχεία του A400M . Στην συνέχεια βρήκα το ίχνος που αφήνει το frame στο εσωτερικό του A400M και δημιούργησα από την αρχή το σχέδιο του frame με βάση αυτο. Έτσι λοιπόν δημιούργησα και τα υπόλοιπα frame και γενικότερα όλα τα δομικά στοιχεία με σκοπό να εφαρμόζουν όλα σωστά στην άτρακτο του αεροσκάφους με ακρίβεια + - 5cm αποσταση frame με skin. Παρακάτω υπάρχουν κάποιες παραπάνω πληροφορίες στα σχέδια που φτιάξαμε καθώς και λεπτομέρειες του αεροσκάφους που φτιάξαμε.

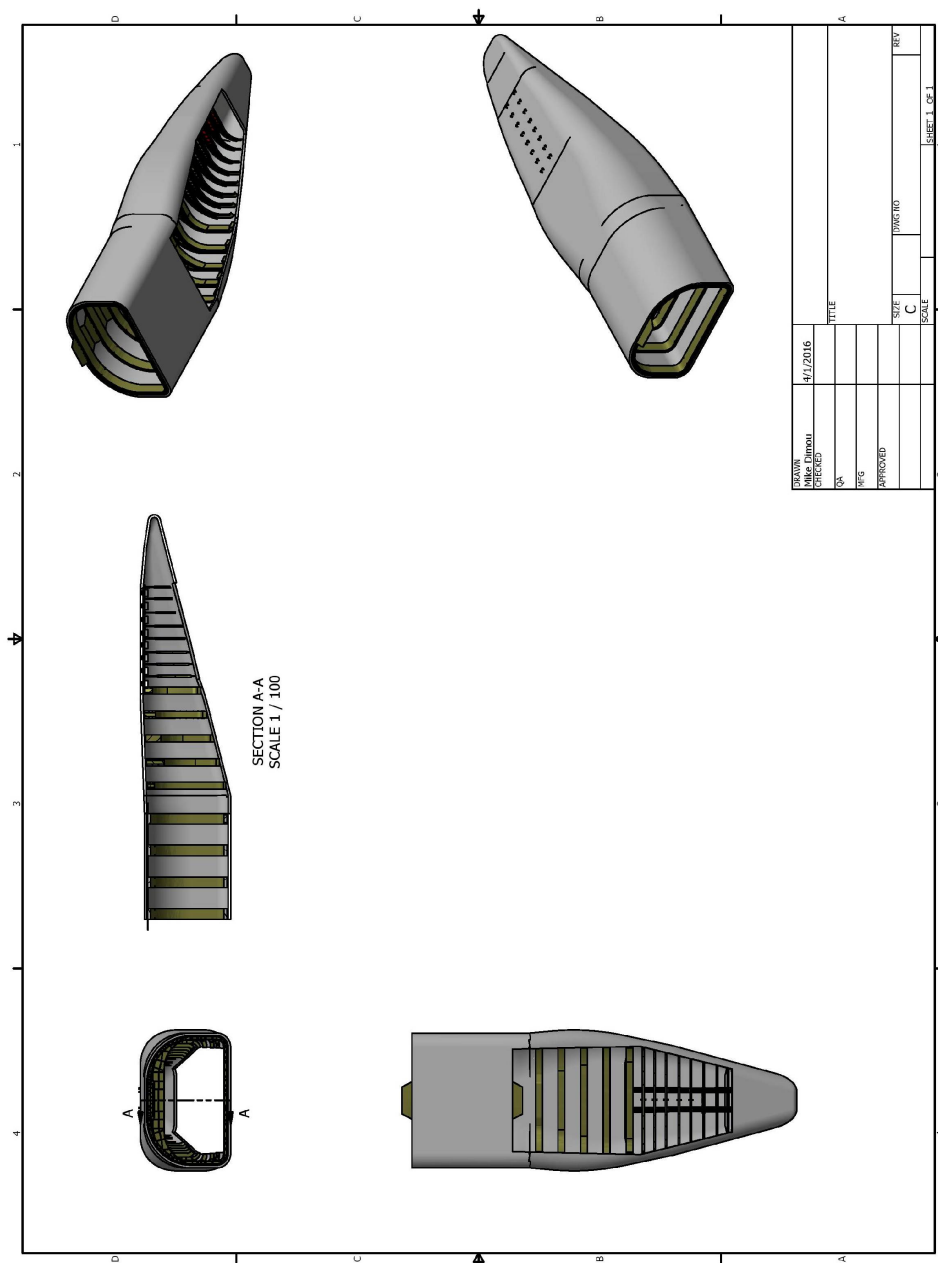
Για την σωστή σχεδίαση των δομικών στοιχείων του αεροσκάφους έκανα κάποιες απαραίτητες ενέργειες . Αρχικά , άνοιξα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Inventor το σχέδιο που εικονίζεται στην Εικόνα 4.4 το οποίο σχεδίασα υπό κλίμακα , εκτυπώνοντας πλάγια όψη και κάτοψη από φωτογραφίες που βρήκα στο διαδίκτυο . Αφου έκανα το σχέδιο του skin του A400M δημιούργησα ένα plane στο μπροστινό ανοιχτό μέρος του skin . Έπειτα , δημιούργησα ένα sketch και γύρισα το σχέδιο σε 2D στη πρόσοψη , με την εντολή project geometry βρήκα το αποτύπωμα που μπορεί να αφήσει το frame.Εν συνεχεία έκλεισα το sketch και το έκανα copy , Ακόμη , άνοιξα ένα καινούργιο αρχείο σχεδίασης και επικόλλησα το σχέδιο (sketch που είχα φτιάξει από το προηγούμενο σχέδιο) . Επίσης , ξεκίνησα να φτιάχνω τα rockets (τους θύλακες) του frame και τα πλευρά που απαιτούσε το σχέδιο . Το επόμενο στάδιο είναι να δώσω στο σχέδιο μου ένα solid σώμα και να το εφαρμόσω στο αρχικό σχέδιο μου (Εικόνα 4.4) για να κάνω τις απαραίτητες αλλαγές. Αυτή λοιπόν είναι η διαδικασία για την δημιουργία των frames έτσι κι έκανα τα υπόλοιπα frames.

Το A400M είναι ένα ιδιαίτερο αεροσκάφος , η ιδιαιτερότητα του είναι το πίσω μέρος του αεροσκάφους ,δηλαδή η ουρά . Το παραπάνω προέκυψε επειδή οι καμπύλες του αεροσκάφους είναι διαφορετικές από τα υπόλοιπα μεταγωγικά αεροσκάφη , ακόμη και οι δυο πίσω πόρτες είναι ιδιαίτερες διότι η μια πόρτα ανοίγει προς τα επάνω και η άλλη προς τα κάτω . Για την σχεδίαση του A400M χρειάστηκε αρχικά να μαζέψουμε πληροφορίες , φωτογραφίες και βίντεο για εξοικειωθούμε με την μορφή του αεροσκάφους.

Το πίσω μέρος του αεροσκάφους διαπιστώθηκε ότι στην πλάγια όψη του A400M είχε 4 διαφορετικές ακτίνες κύκλων ολοκληρώνουν την τελική καμπυλότητα της «ουράς» , ακόμη στην κάτοψη που μελετήσαμε είδαμε πως ήταν ποιο «φουσκωμένη» η ουρά εν συγκρίσει με την κύρια άτρακτο. Επίσης , κατά την δημιουργία του σχεδίου που κάναμε παρατηρήσαμε πως το πίσω μέρος την ατράκτου , δηλαδή η ουρά ήταν τελείως διαφορετική και ποιο στιβαρή από το υπόλοιπο αεροσκάφος και αυτό διότι η «ουρά» του A400M είναι το πηδάλιο του A400M καθώς έχει και την λειτουργία της ισορροπίας του στον αέρα.



**Εικόνα 4.4 : Μηχανολογικό σχέδιο της «ουράς» του A400M.
(Πηγή: Συγγραφέας)**



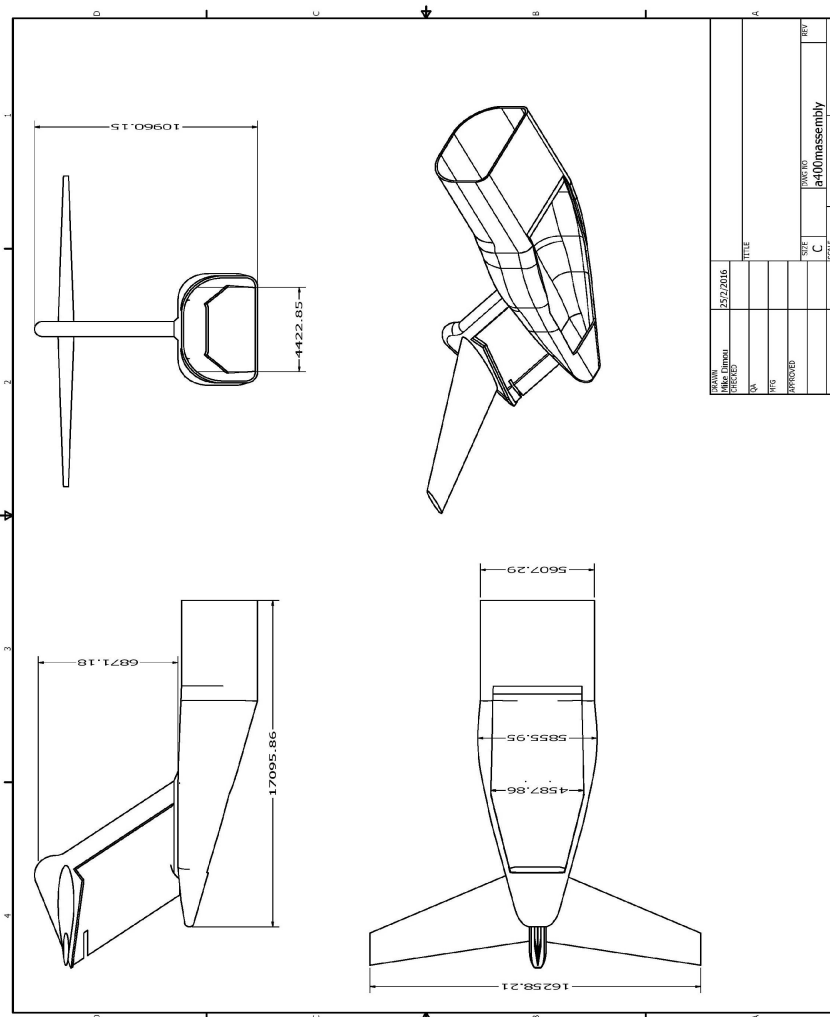
Εικόνα 4.5 : Μηχανολογικό σχέδιο σε solid και με τα frames .
(Πηγή: Συγγραφέας)

Στα σχέδια παραπάνω διακρινουμε τις καμπύλες του αεροσκάφους και την ανατομία της «ουράς» του A400M , επίσης φαίνεται ποσο ιδιαίτερο είναι διότι μοιάζει με κήτος με πολλές καμπύλες να το διακρίνουν.

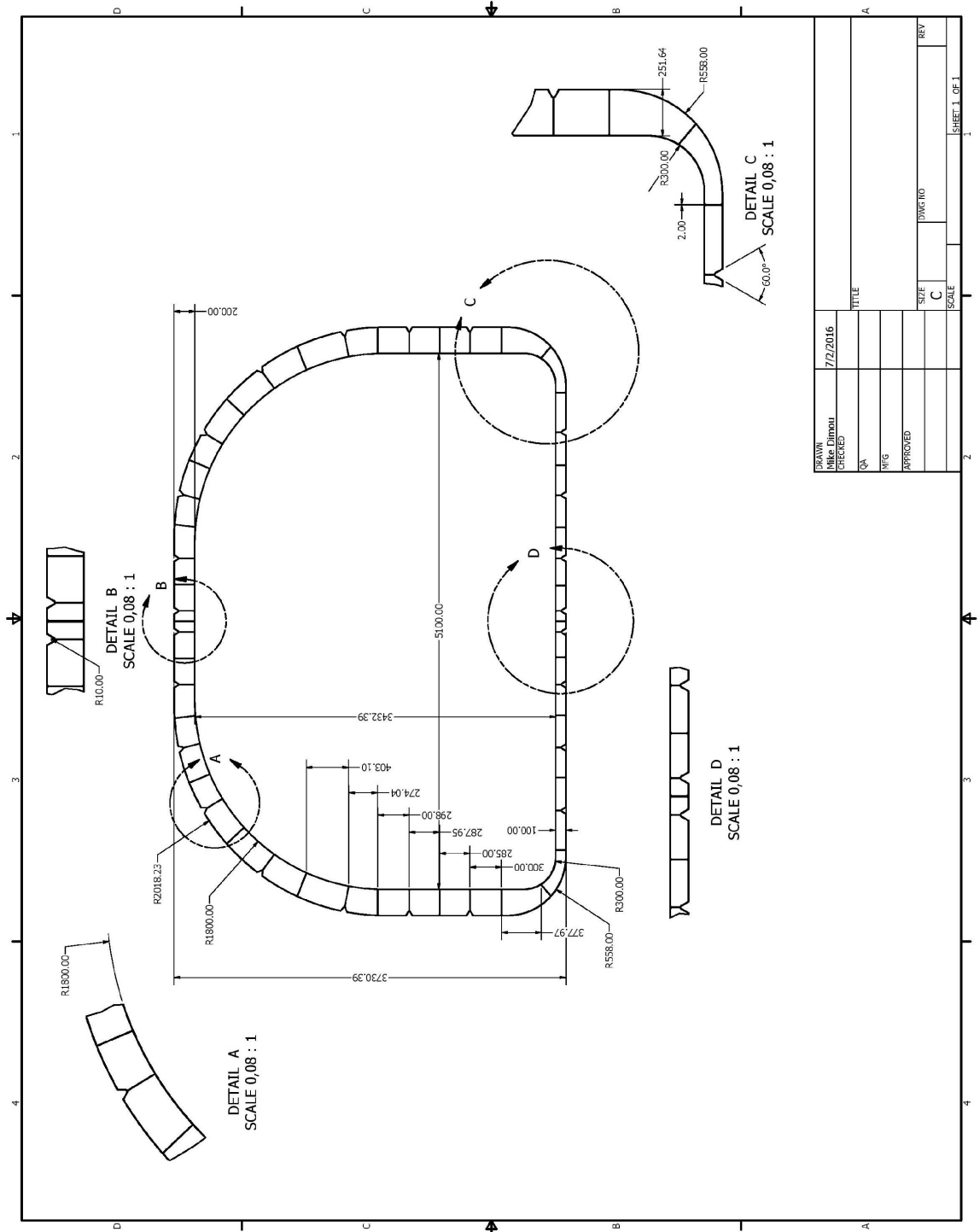
Διακρινουμε στην παραπάνω εικόνα ότι έχω τοποθετήσει και τα πτερύγια της ουράς του A400M . Στο Μηχανολογικό Σχεδιο παραπάνω έχει ήδη πάρει μορφή και μοιάζει αρκετά με το κανονικό A400M. Το άνοιγμα το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος της ατράκτου βρίσκονται οι 2 πόρτες του A400M. Ακόμη , μπορούμε να διακρίνουμε στην τρισδιάστατη όψη ότι έχει περίπου 5 διαφορετικά ραδια του κύκλου , μια ακόμη αποδειξει λοιπόν ότι το αεροπλάνο μας έχει σχεδιαστεί με μέγαλη μελέτη και πως είναι το πιο χρησιμο μερος του αεροσκάφους μας , καθως και το πιο δύσκολο σχεδιαστικά.

Για την εσωτερική του υποστήριξη του αεροσκάφους και την γενικότερα επένδυση εσωτερικά της ατράκτου για την σωστή μορφολογία του χρειάστηκε να σχεδιάσουμε τον σκελετό του A400M όπου εκεί πάνω τοποθετούνται οι λαμαριμες του αεροσκαφους και φτιαχνουν το τλικο σχημα . Τα παρακάτω μηχανολογικά σχέδια είναι η αποτύπωση των frames («πλευρά» όπου αποτελούν τον σκελετο του A400M). Ακόμη έχω προσθέσει φωτογραφίες από την σχεδίαση των frames σε solid όπου εχω κανει τομές για την καλύτερη κατανόηση και οπτική των frames .

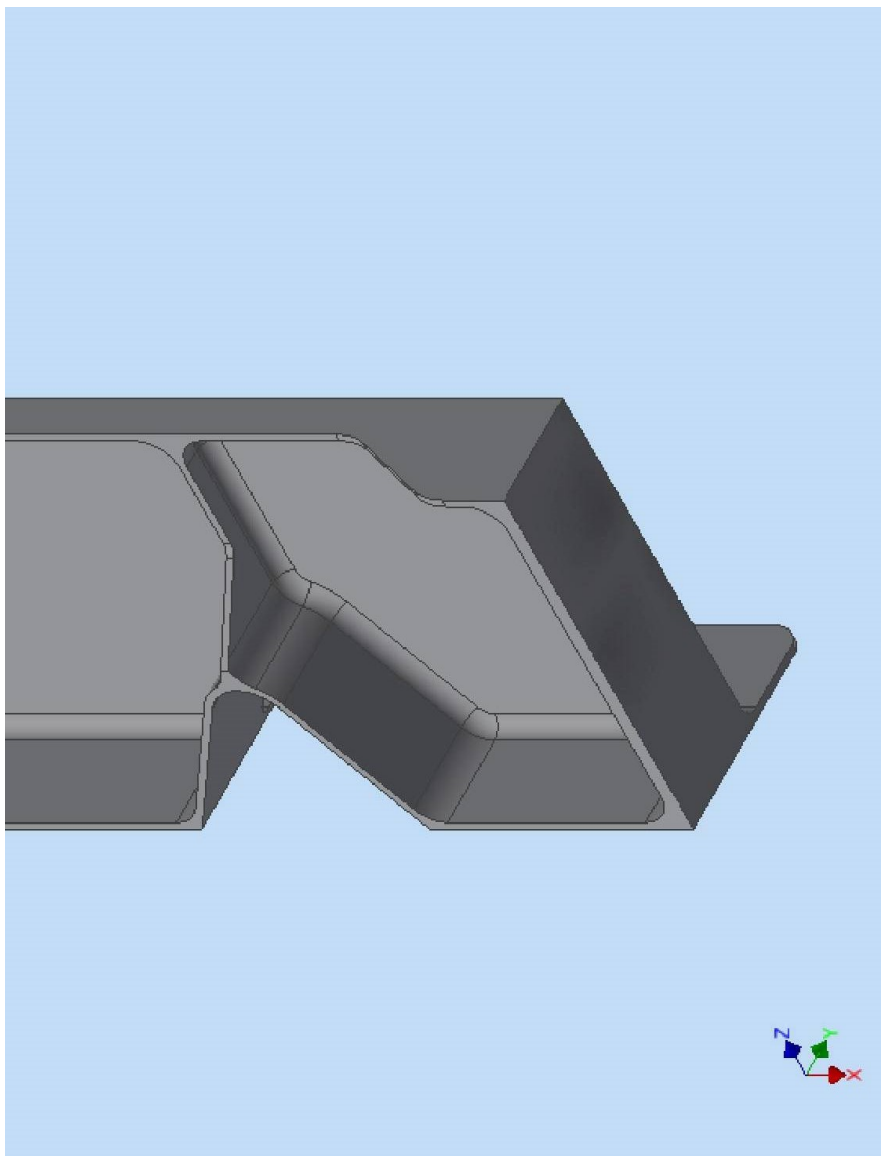
Το αεροσκάφος για την σωστή του δομή και την εσωτερική προστασία του , είναι πολύ σημαντικά τα frames . Παρακάτω στις τομές μπορούμε να δούμε καλύτερα τον σχεδιασμό των frames και αυτό διότι φαίνεται δομή τους , στις παρακάτω φωτογραφίες διακρίνουμε τα νέυρα που έχει τα συγκεκριμεν frame , τα οποία είναι πολύ σημαντικά επειδή δυσκολεύουν στην δημιουργία ρωγμών εγκάρσια στα rockets (εσοχές ανάμεσα στα νεύρα) . Ωστόσο για τον σχεδιασμό των frames απαιτεί ιδιαίτερη σημασια και ερευνα , επειδή αυτά είναι υπεύθυνα για την ασφάλεια του αεροσκάφους . Ακόμη για να αποτρέψουμε τάσεις που θα ασκούνται στα frames πρέπει να σχεδιαστούν με την λογική αυτή καθώς και να γίνει προσημείωση για να ελέγξουμε αν έχουν τις προδιαγραφές που απαιτείται για την δημιουργία ενός αεροσκάφους.



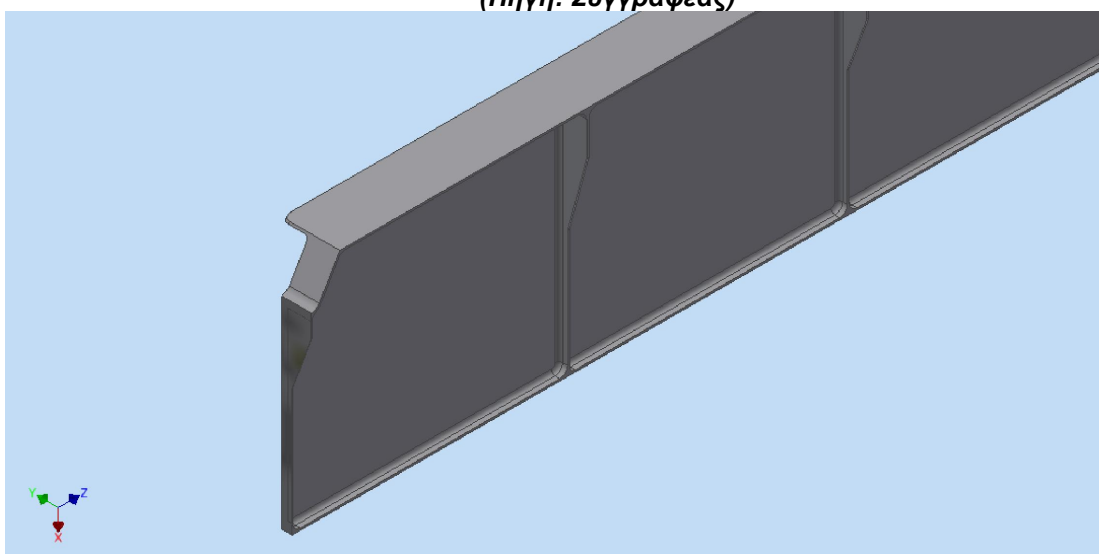
**Εικόνα 4.6:Μηχανολογικο σχέδιο skin fuselage.
(Πηγή: Συγγραφέας)**



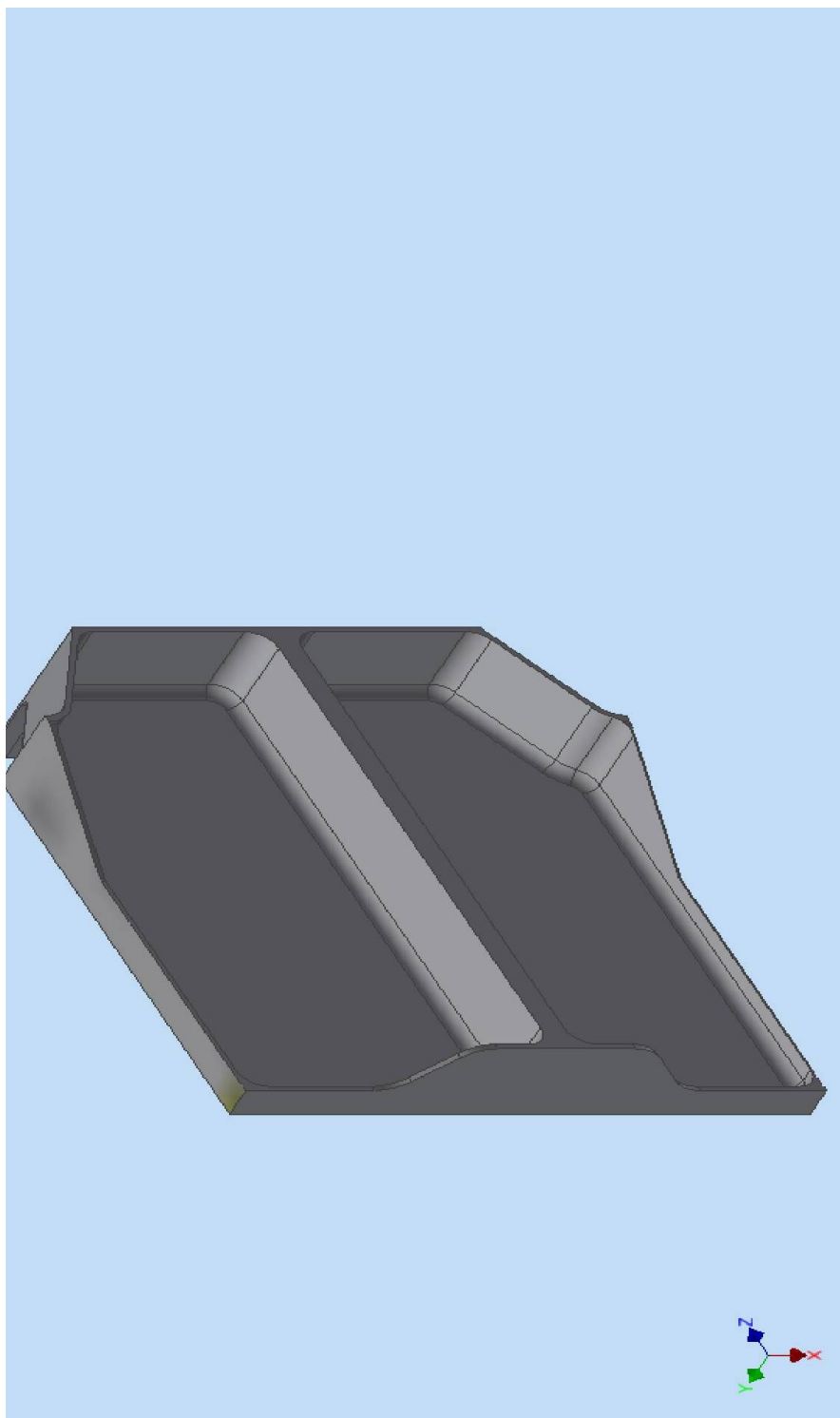
Εικόνα 4.7 : Μηχανολογικό σχέδιο για την Α ομάδα frame.
(Πηγή: Συγγραφέας)



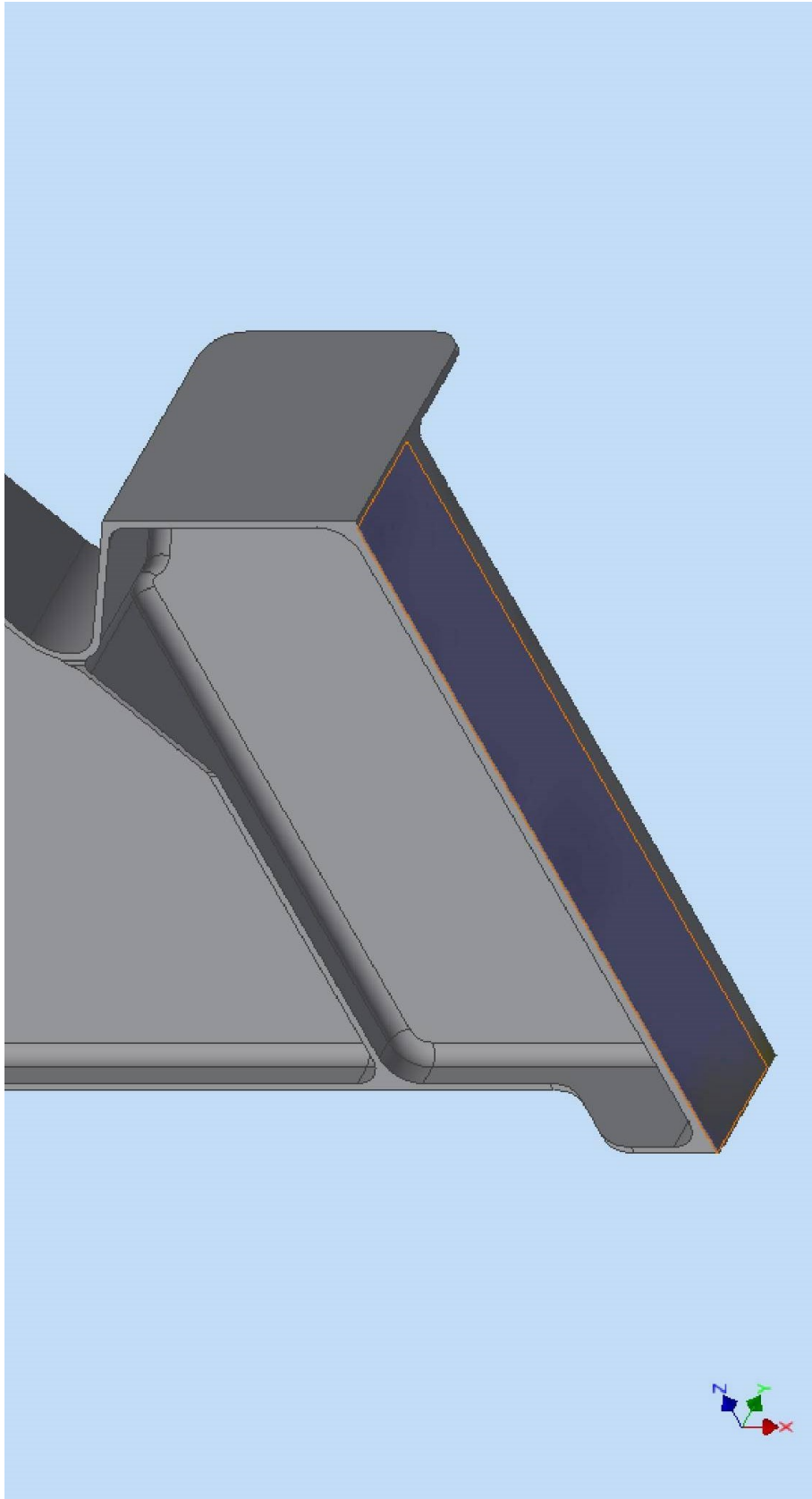
**Εικόνα 4.8 : 1η τομή του frame της ομάδας A
(Πηγή: Συγγραφέας)**



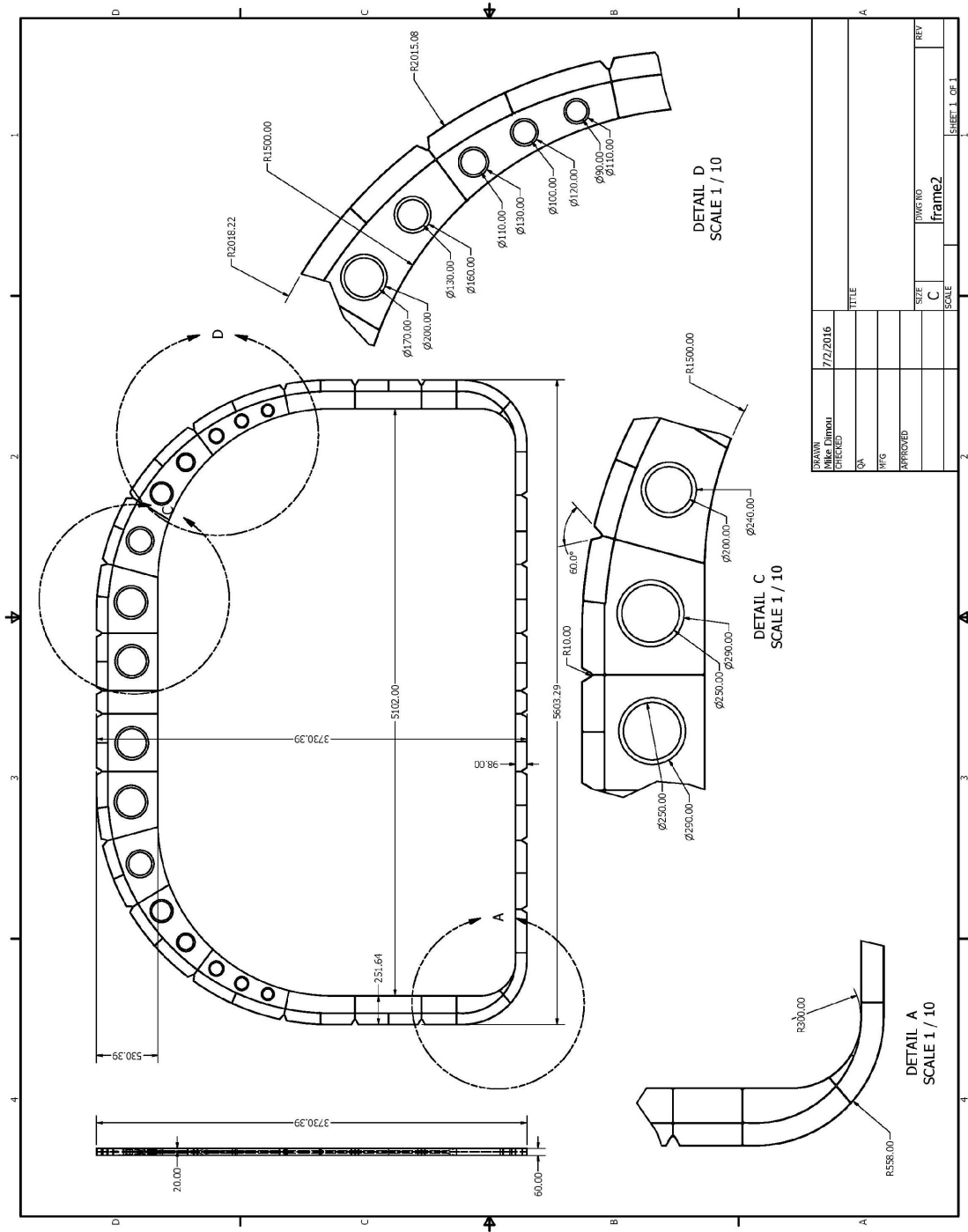
**Εικόνα 4.9 : 2η τομή του frame της ομάδας A
(Πηγή: Συγγραφέας)**



**Εικόνα 4.10 : 3η τομή του frame της ομάδας A
(Πηγή: Συγγραφέας)**



**Εικόνα 4.11: 4η τομή του frame της ομάδας A
(Πηγή: Συγγραφέας)**

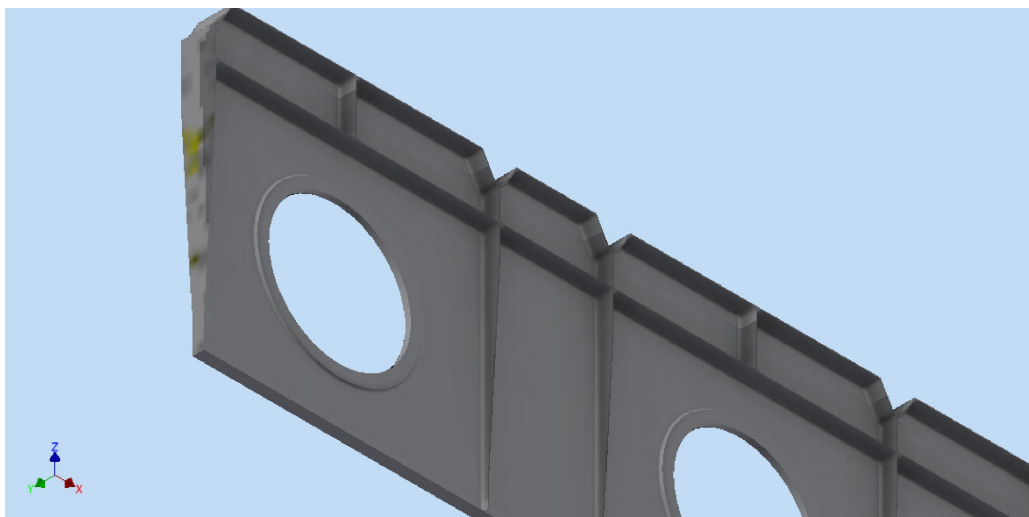


DATE	7/2/2016	TITLE	
DRAWN	QA	SIZE	C
CHECKED	QA	SCALE	frame2
DATE		REV	
APPROVED			

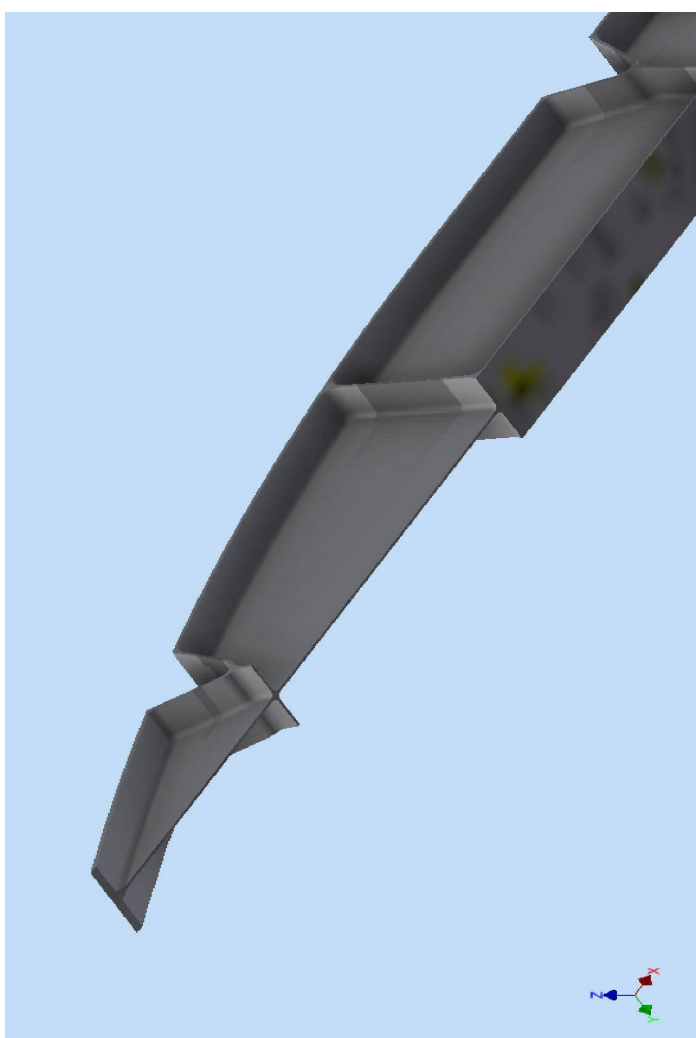
Εικόνα 4.12 : Μηχανολογικό σχέδιο για την Β ομάδα frame.
(Πηγή: Συγγραφέας)



**Εικόνα 4.13 : 1η τομή του frame της ομάδας B
(Πηγή: Συγγραφέας)**



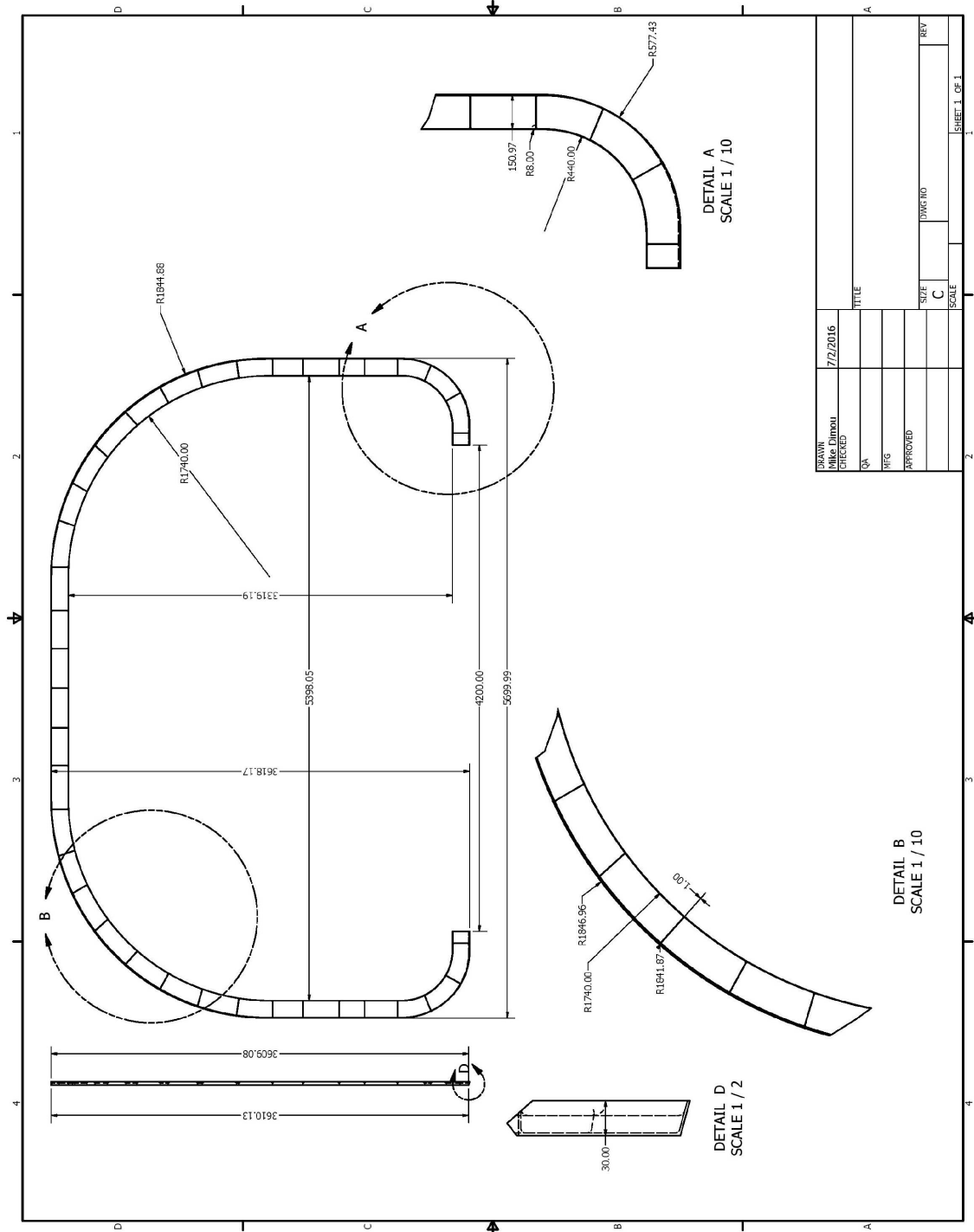
**Εικόνα 4.14 : 2η τομή του frame της ομάδας B
(Πηγή: Συγγραφέας)**



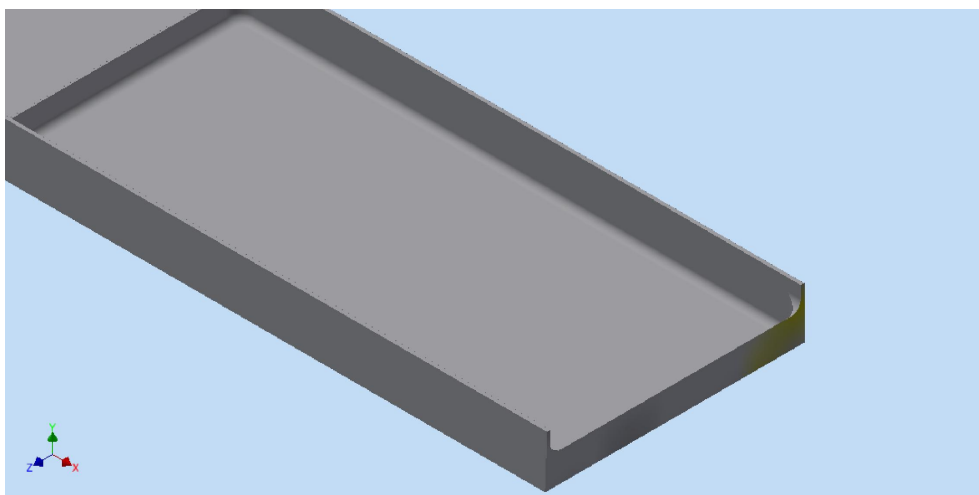
**Εικόνα 4.15 : 3η τομή του frame της ομάδας B
(Πηγή: Συγγραφέας)**



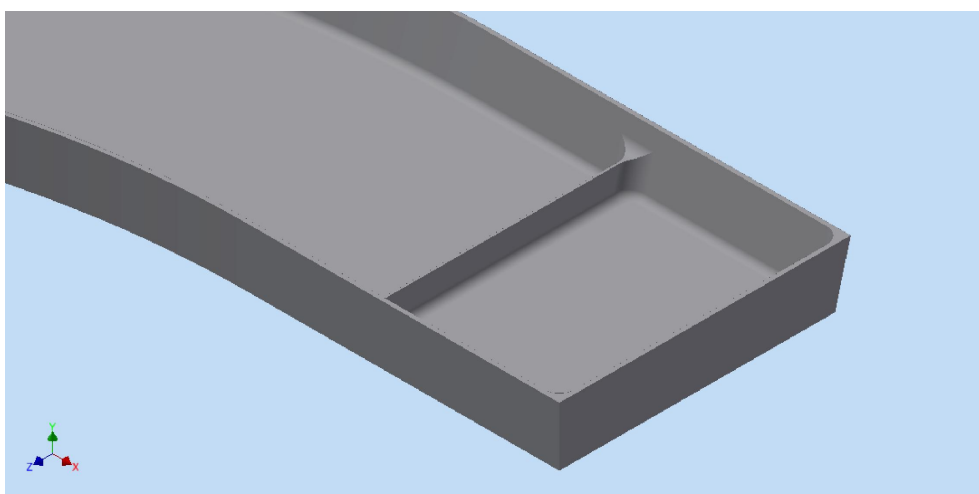
**Εικόνα 4.16 : 4η τομή του frame της ομάδας B
(Πηγή: Συγγραφέας)**



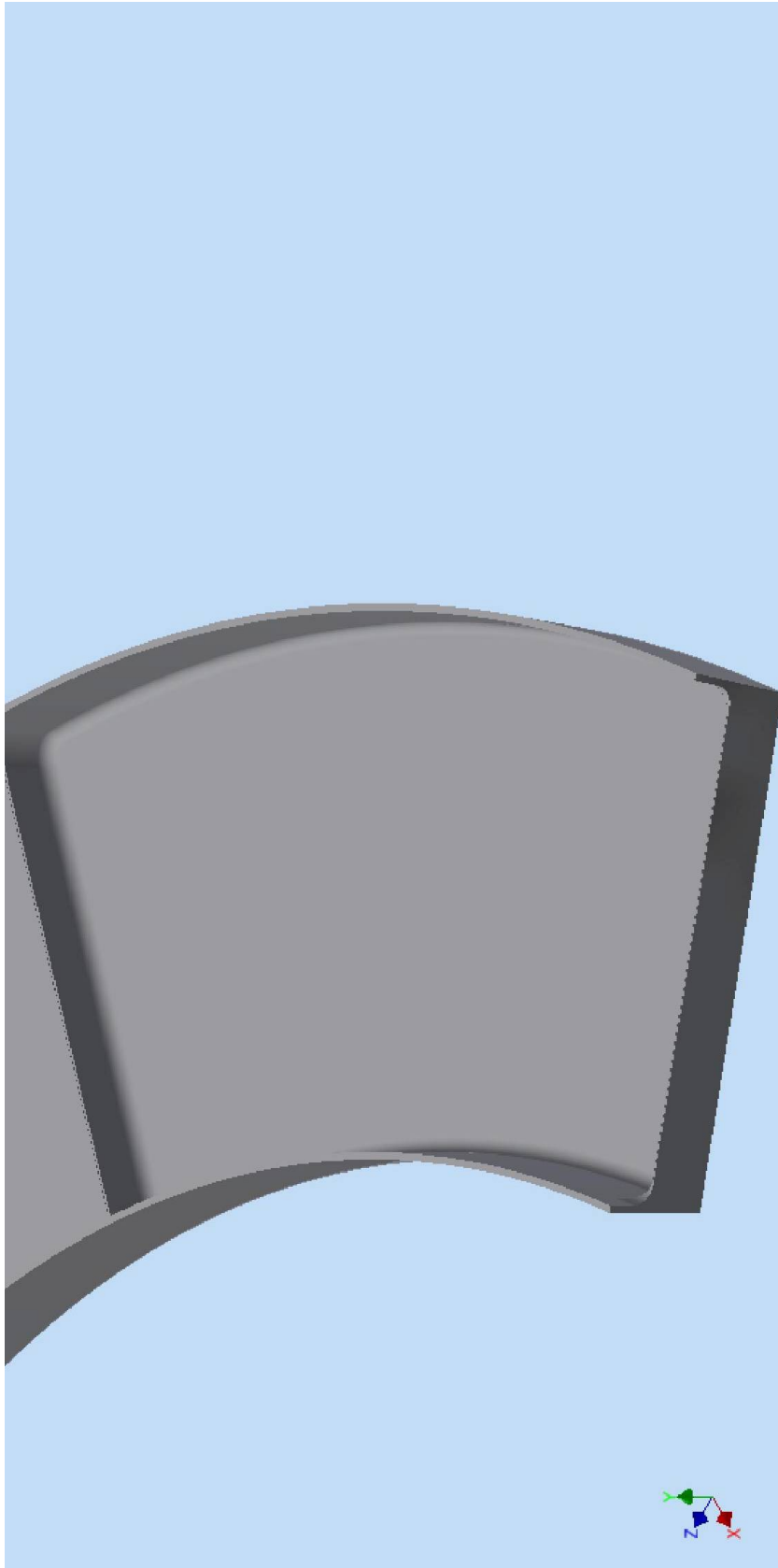
Εικόνα 4.17 : Μηχανολογικό σχέδιο για την C ομάδα frame.
(Πηγή: Συγγραφέας)



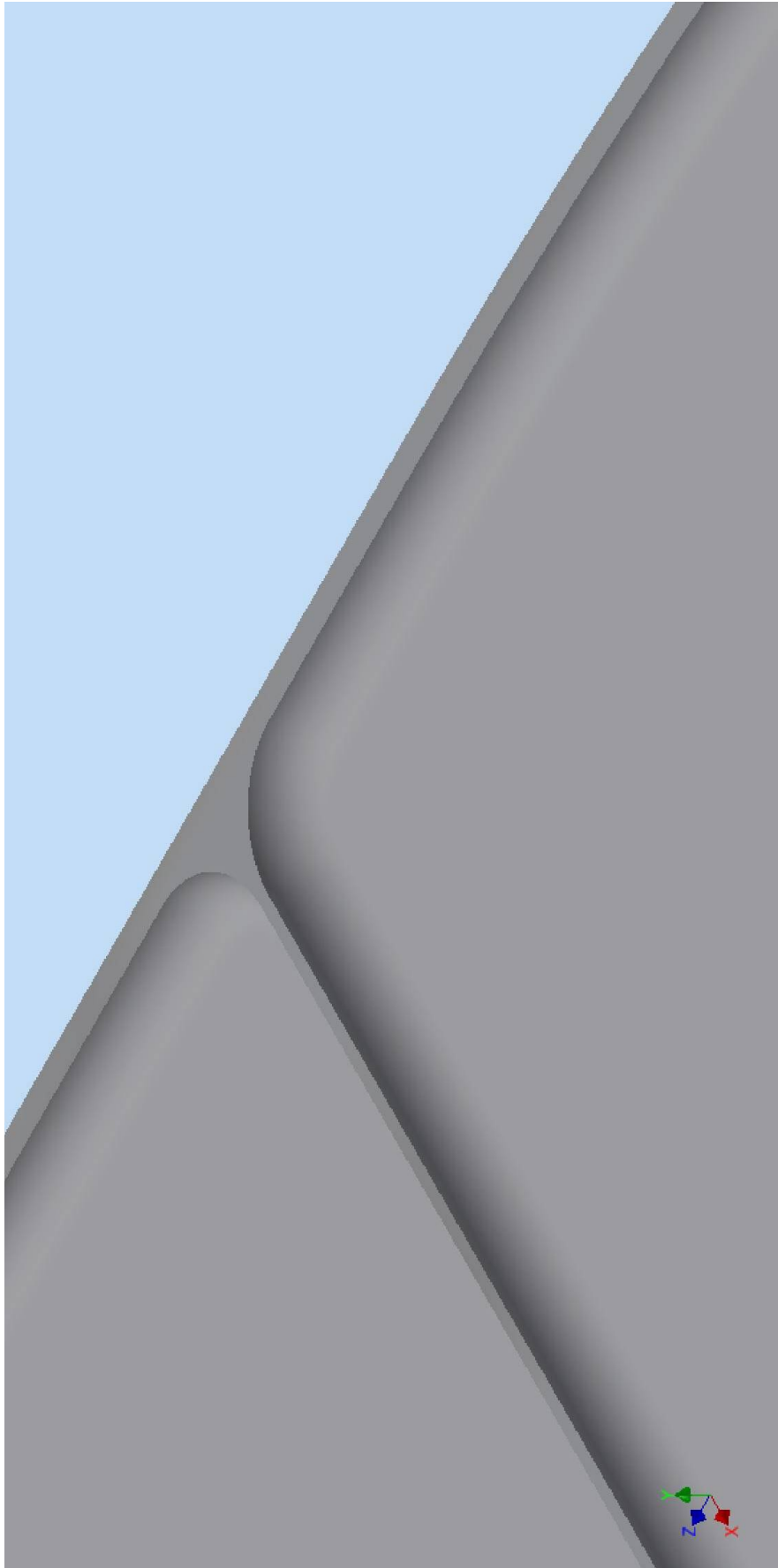
Εικόνα 4.14 : 1η τομη του frame της ομάδας C



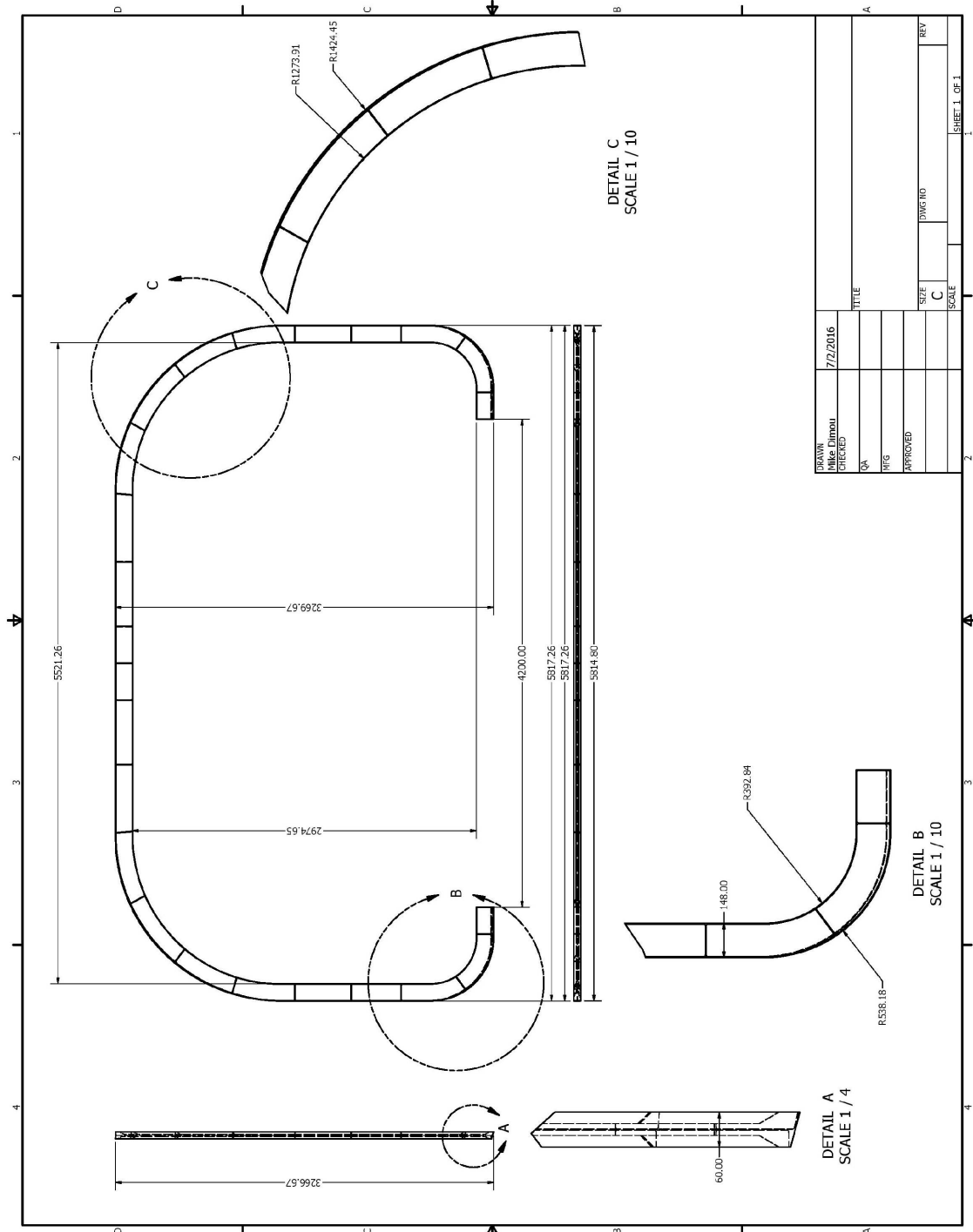
**Εικόνα 4.18 : 2η τομη του frame της ομάδας C
(Πηγή: Συγγραφέας)**



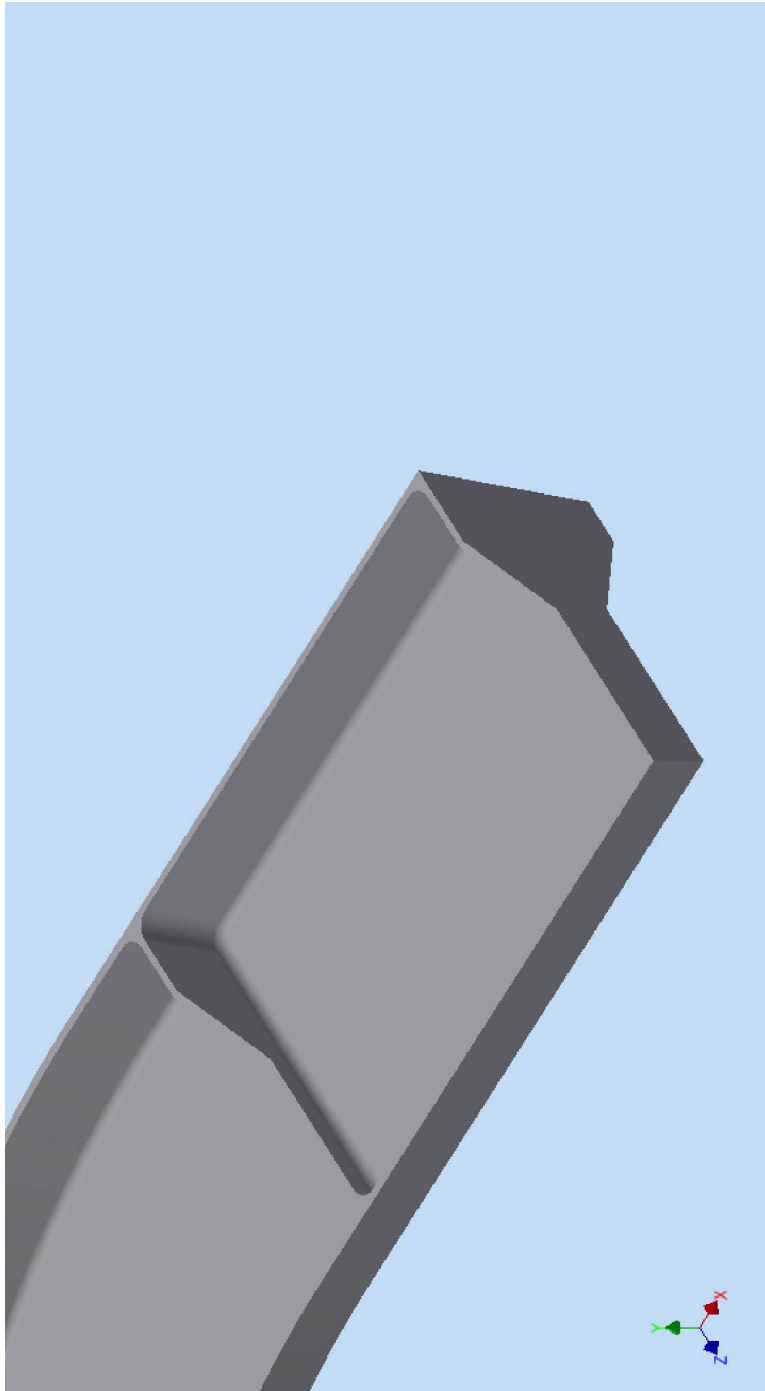
**Εικόνα 4.19 : 3η τομή του frame της ομάδας C
(Πηγή: Συγγραφέας)**



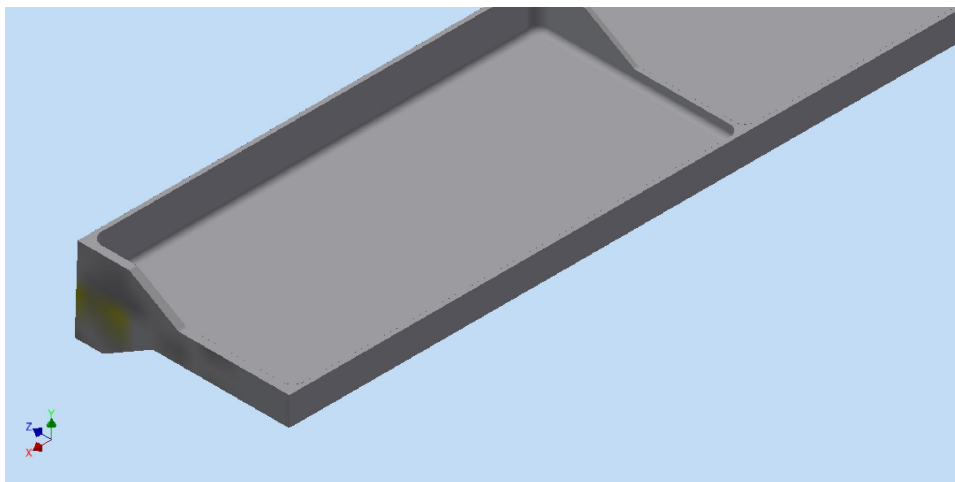
**Εικόνα 4.20 : 4η τομή του frame της ομάδας C
(Πηγή: Συγγραφέας)**



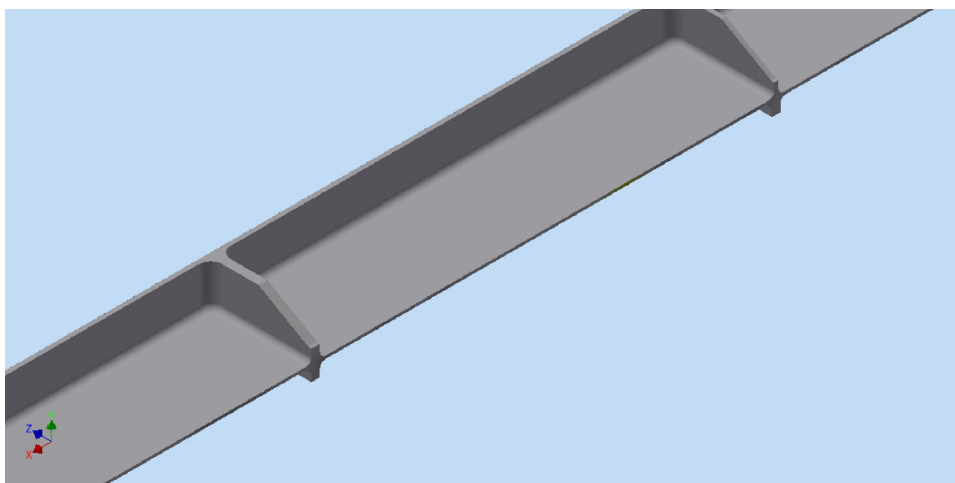
**Εικόνα 4.21 : Μηχανολογικό σχέδιο για την D ομάδα frame.
(Πηγή: Συγγραφέας)**



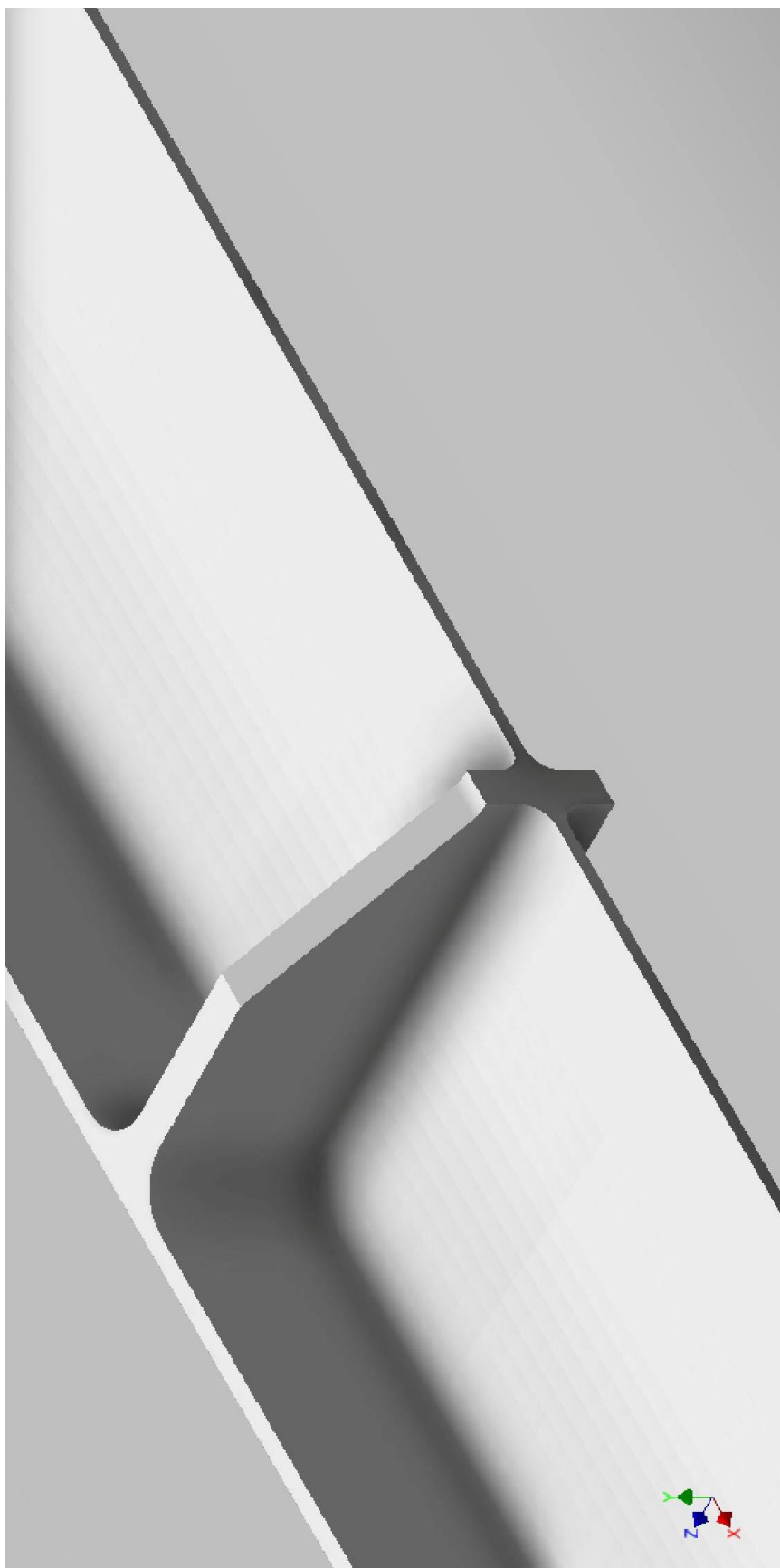
**Εικόνα 4.22 : 1η τομή του frame της ομάδας D
(Πηγή: Συγγραφέας)**



**Εικόνα 3.23 : 2η τομή του frame της ομάδας D
(Πηγή: Συγγραφέας)**

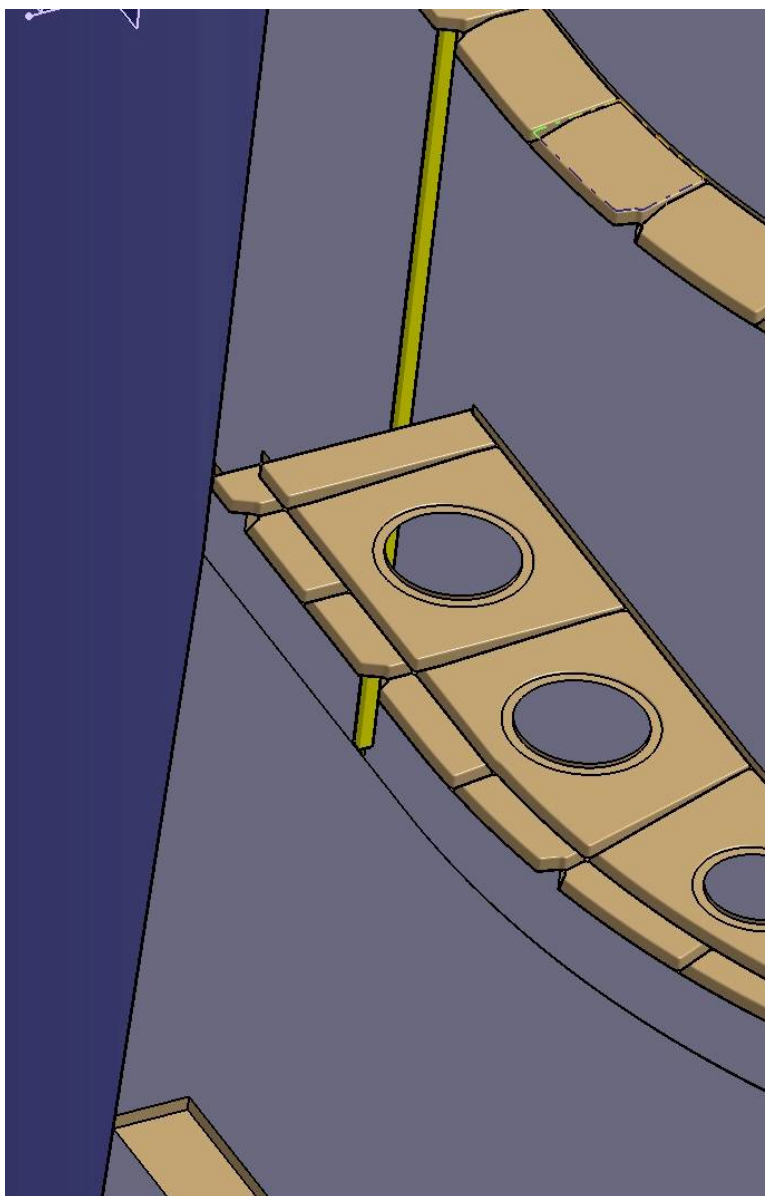


**Εικόνα 4.23 : 3η τομή του frame της ομάδας D
(Πηγή: Συγγραφέας)**

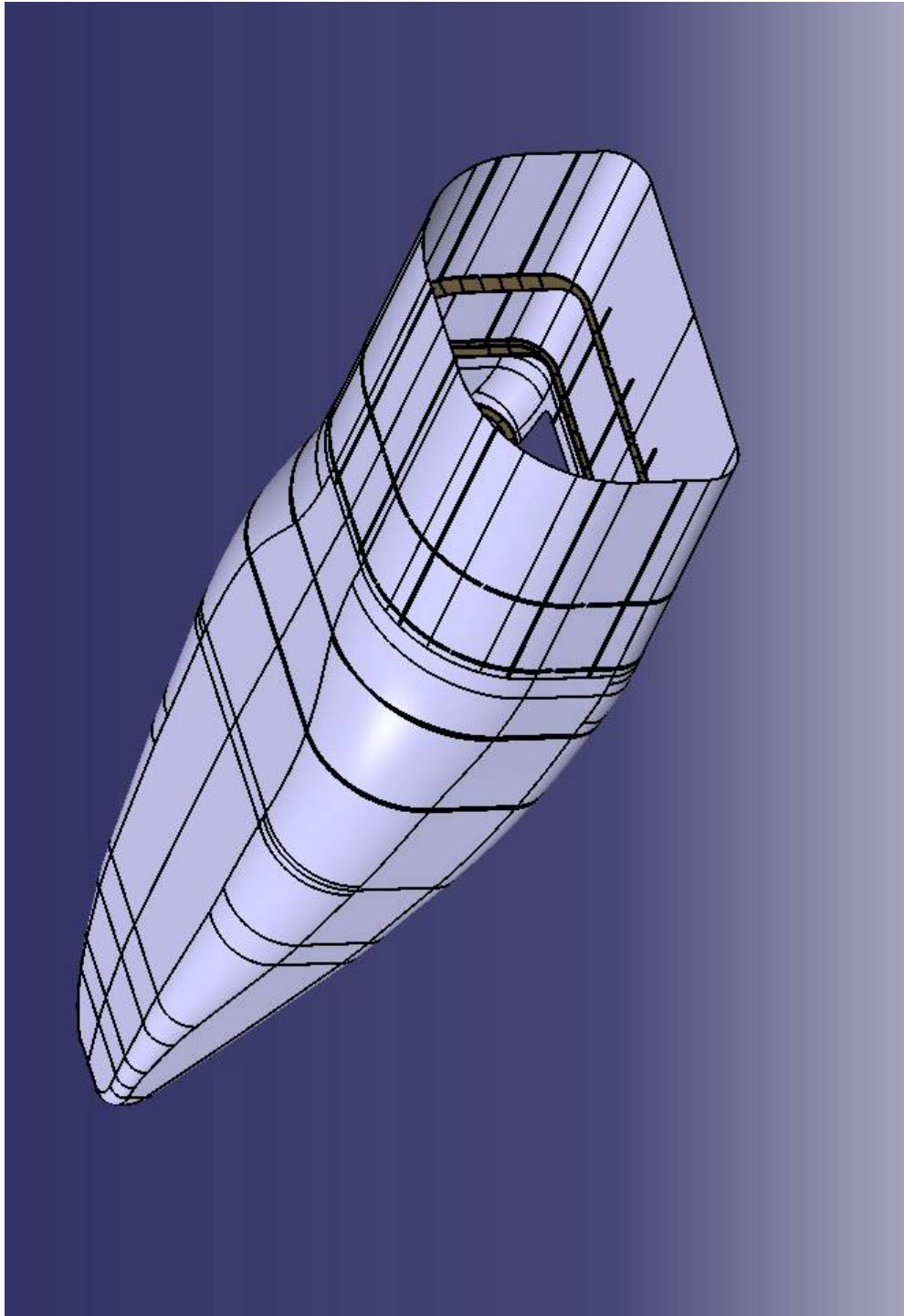


**Εικόνα 4.24 : 4η τομή του frame της ομάδας D
(Πηγή: Συγγραφέας)**

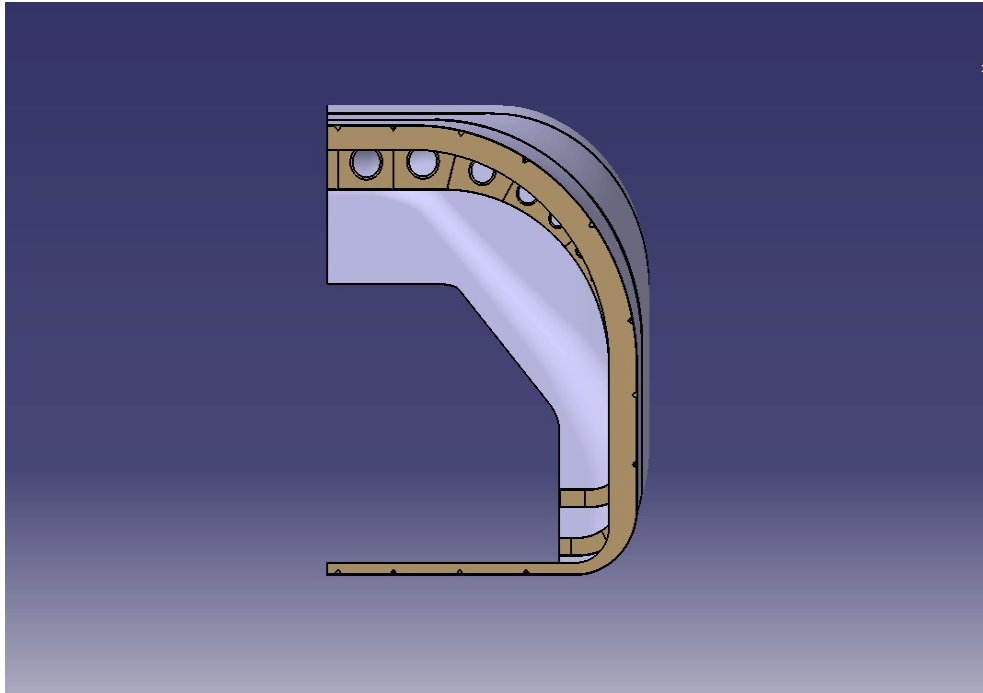
Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζουμε και τα 4 frames μονταρισμένα και συνδεδεμένα τα οποία φτιάχνουν το σύνολο του σκελετού του αεροπλανου skin + longeron +frames . Στις Εικόνες 3.39 – 3.42 βλέπουμε το τελικό σχέδιο της ατράκτου (fuselage) του A400M.



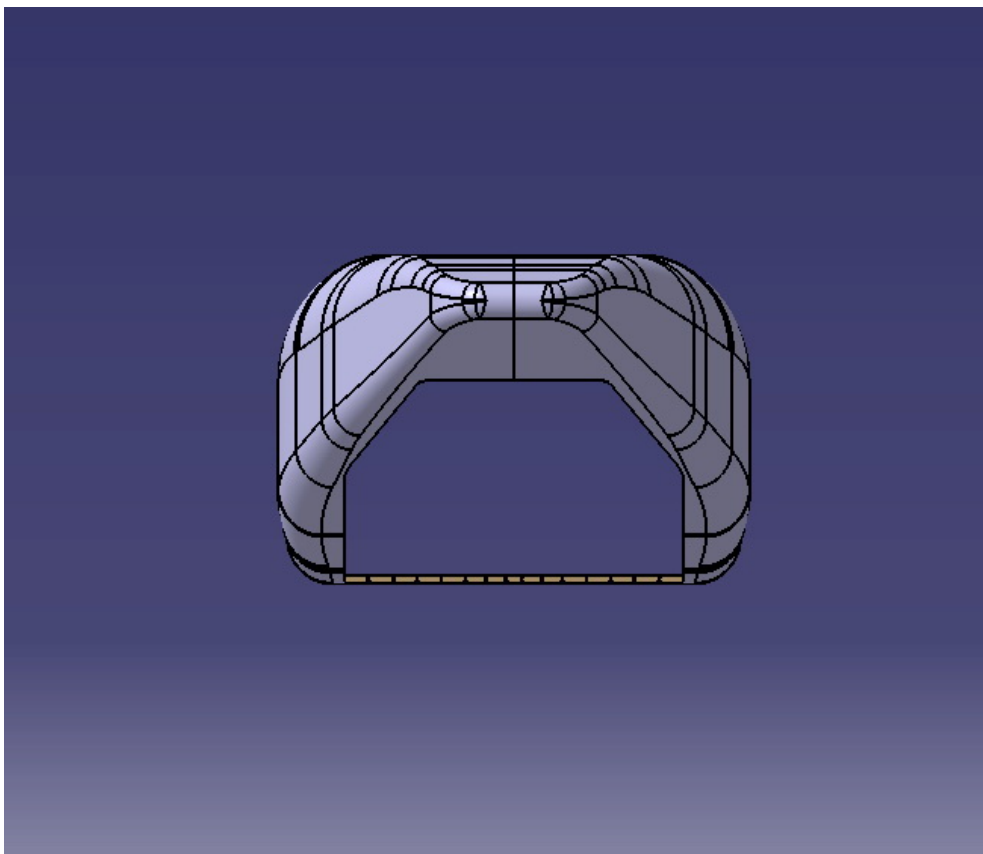
**Εικόνα 4.25 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



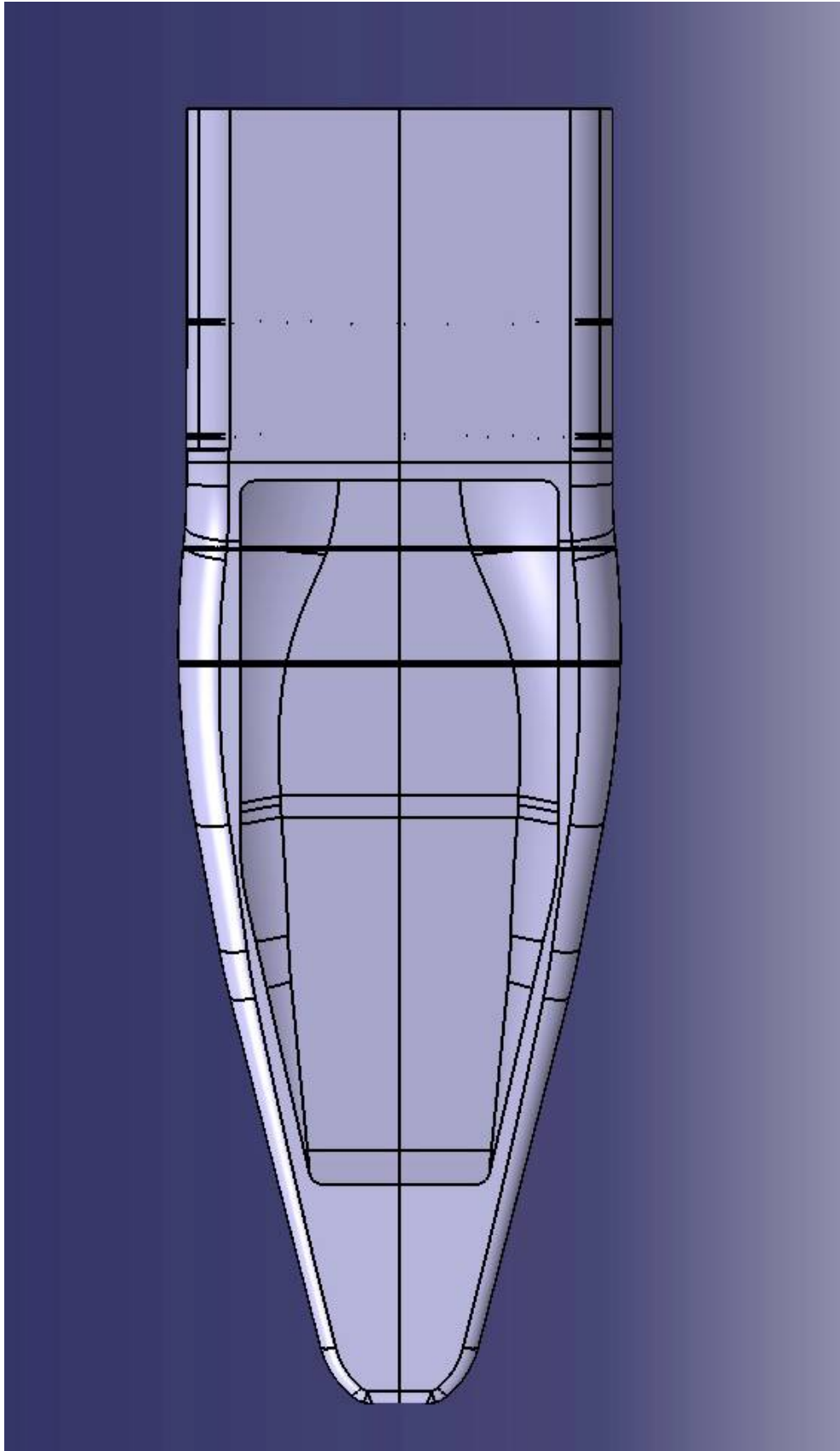
**Εικόνα 4.26 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



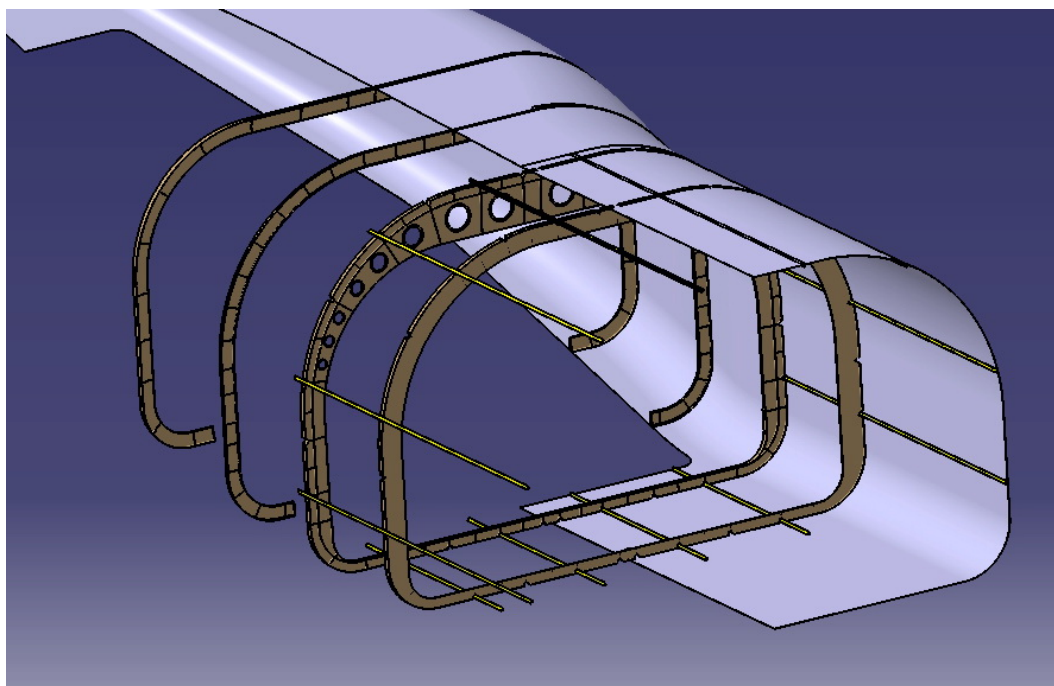
**Εικόνα 4.27 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



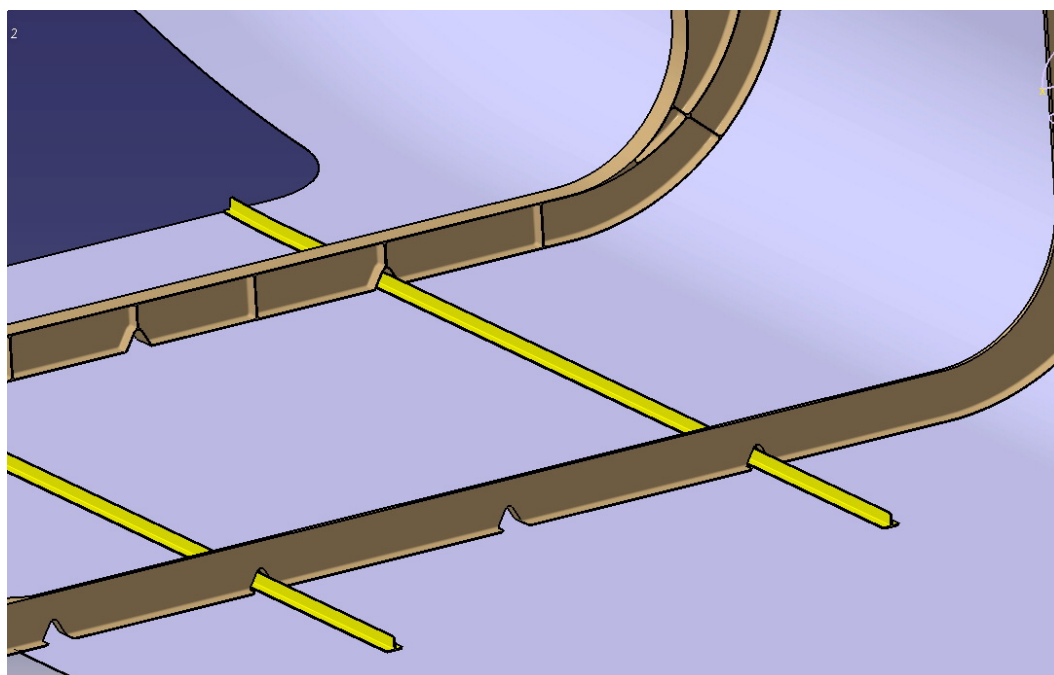
**Εικόνα 4.28 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



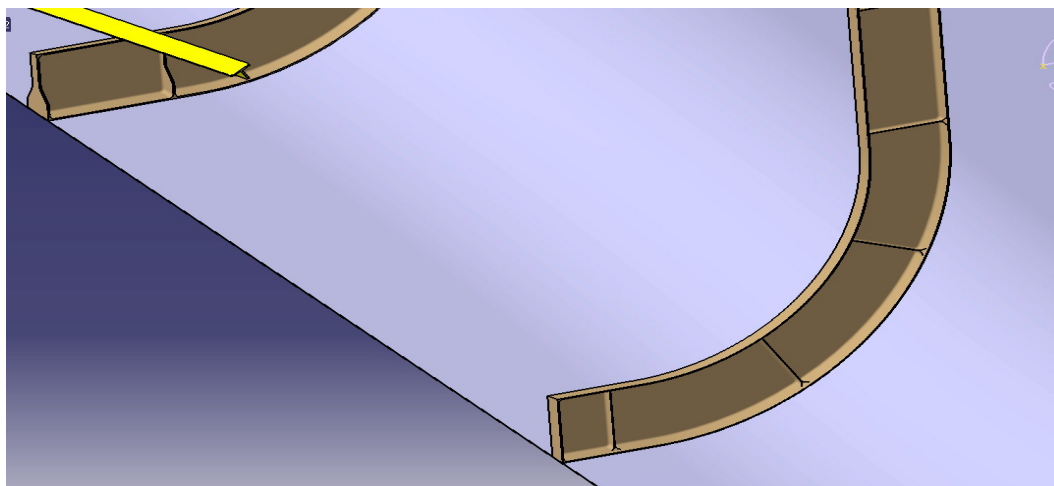
**Εικόνα 4.29 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



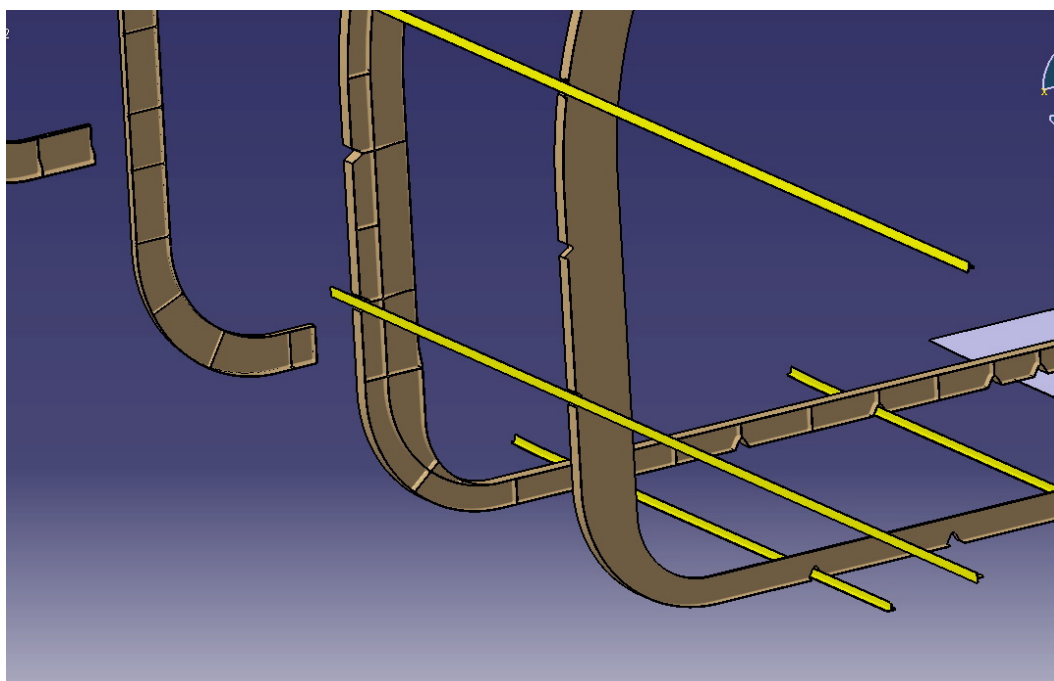
**Εικόνα 4.30 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



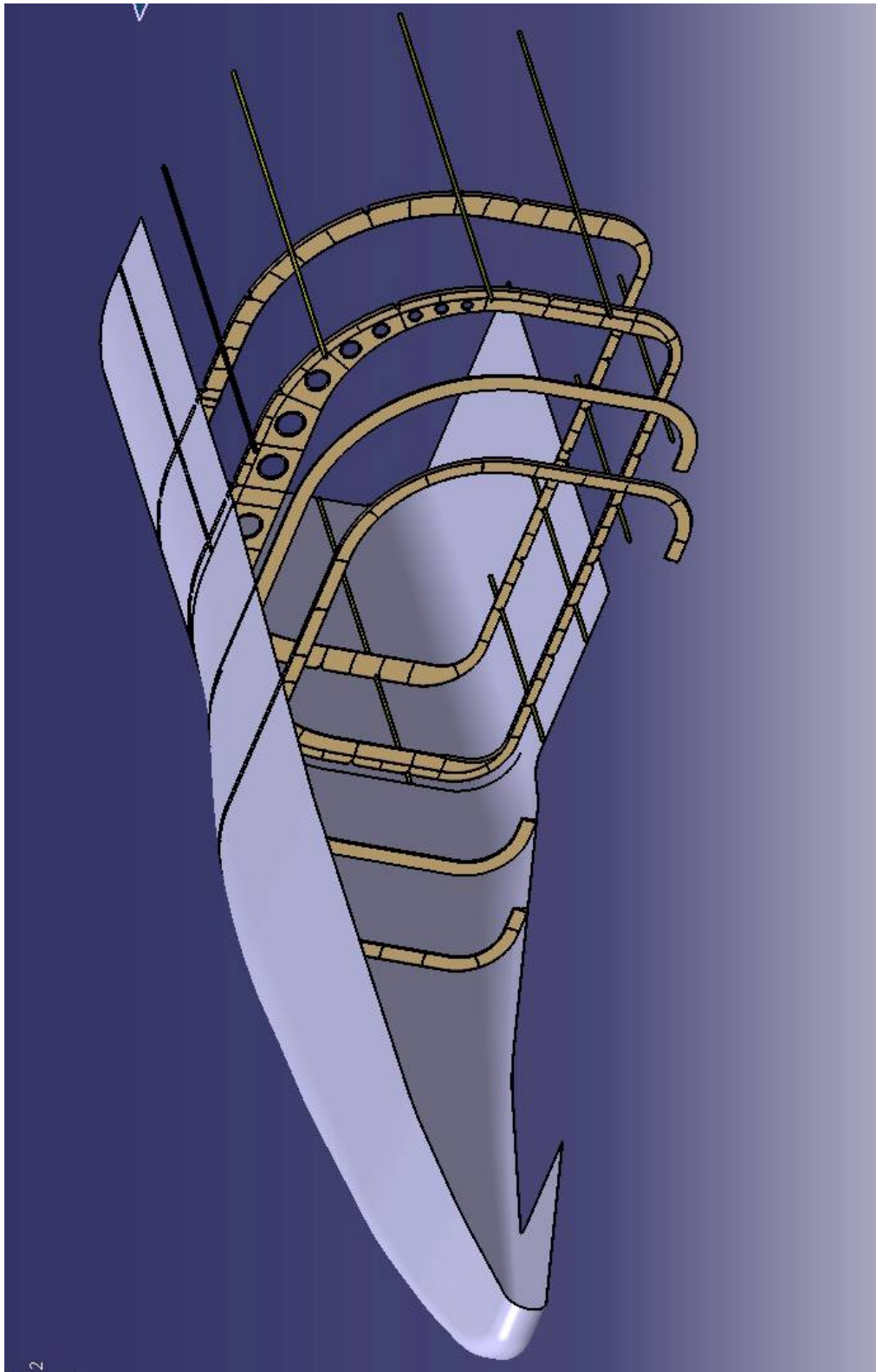
**Εικόνα 4.31 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



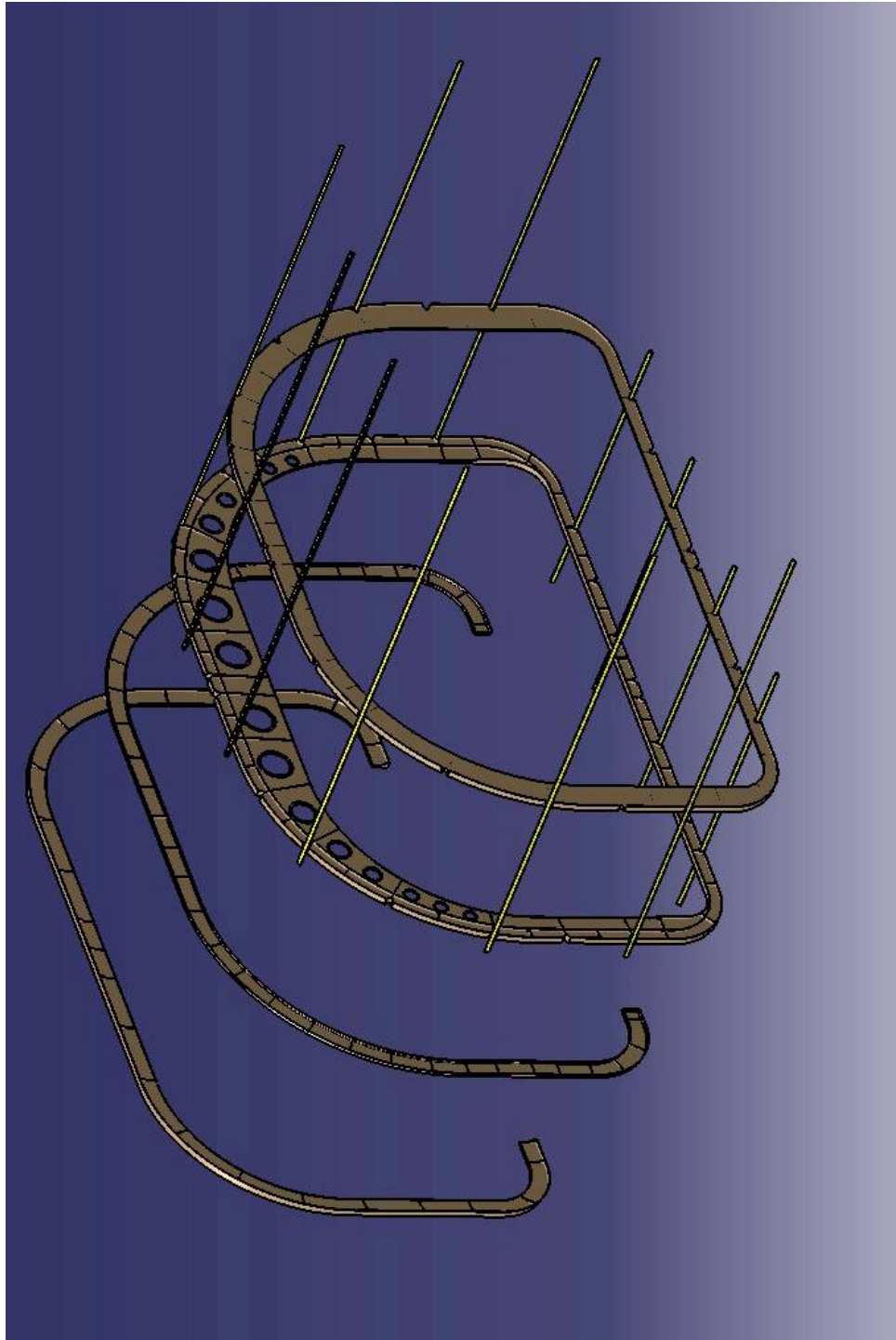
**Εικόνα 4.32 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



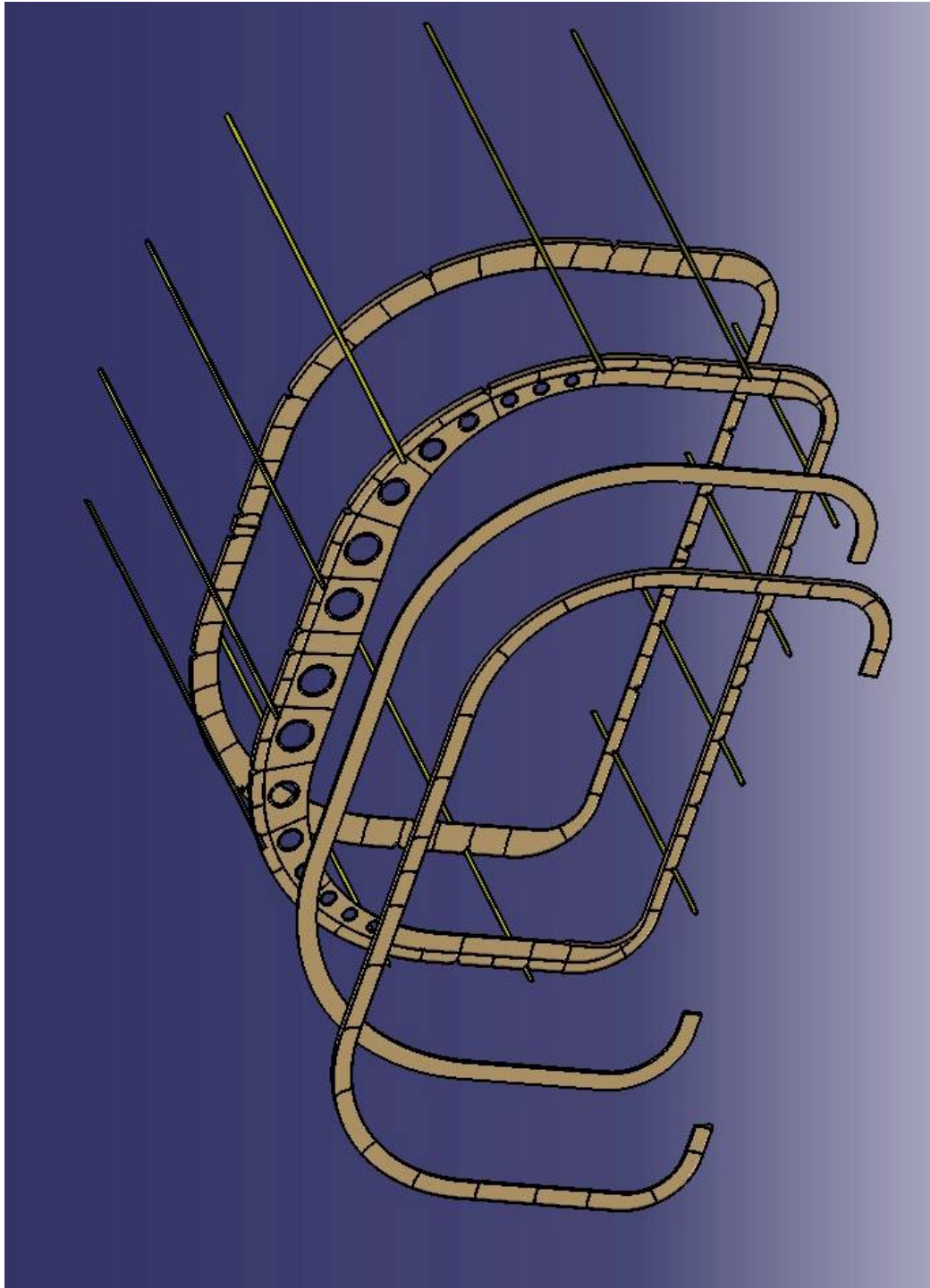
**Εικόνα 4.33: Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



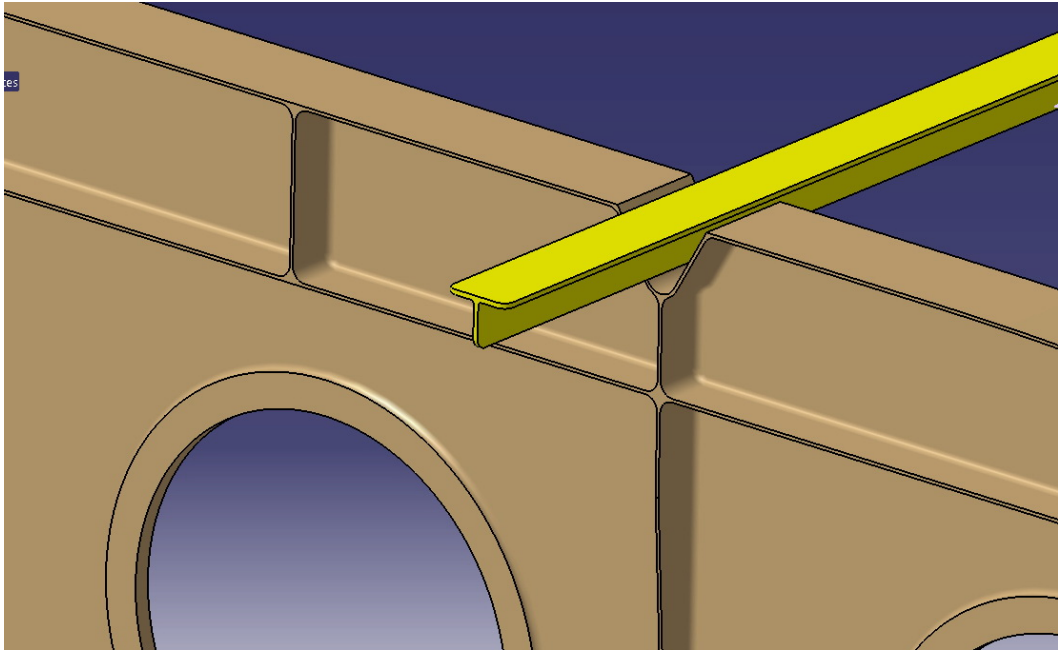
**Εικόνα 4.34 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



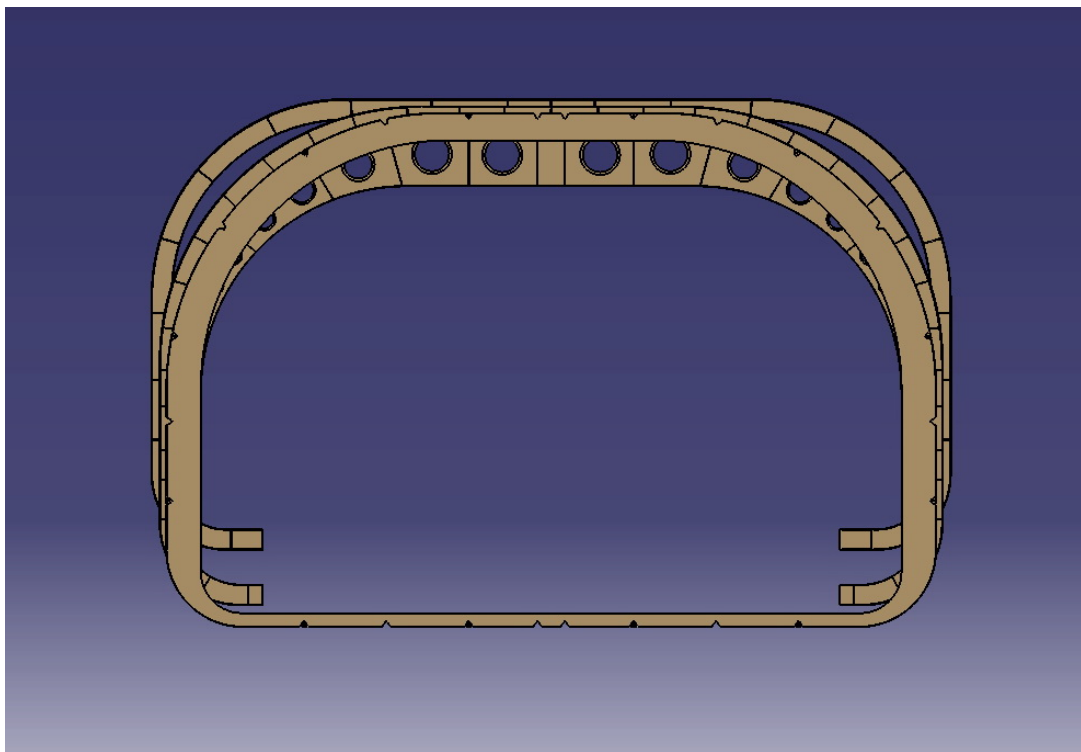
**Εικόνα 4.35 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



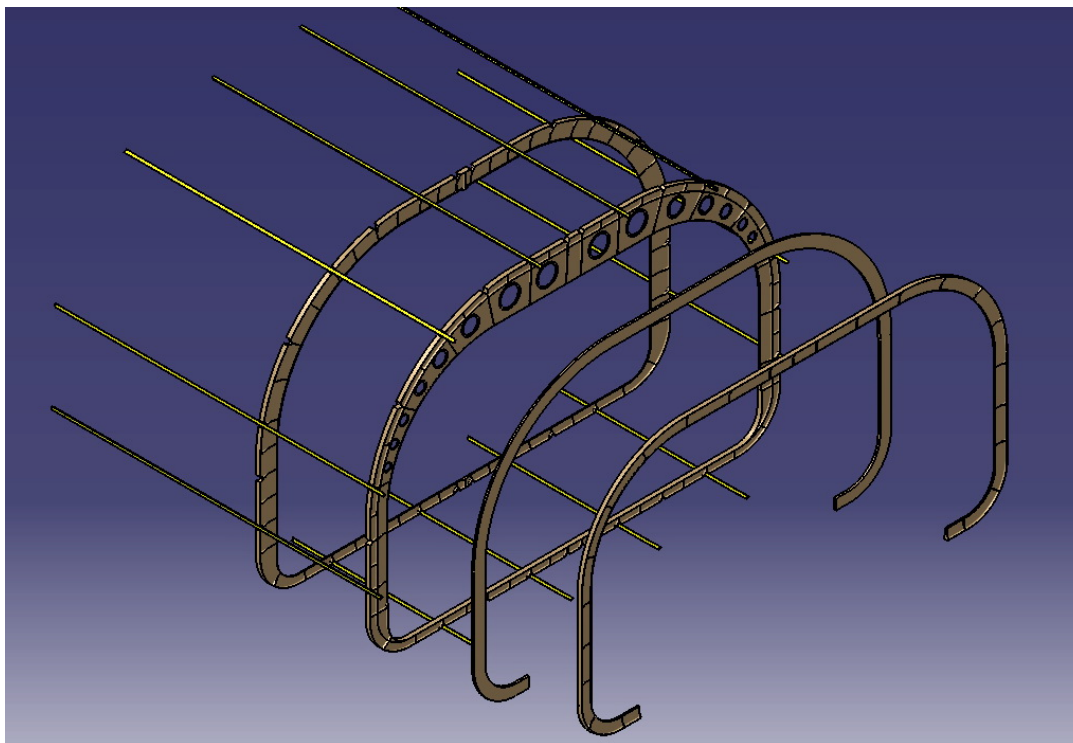
**Εικόνα 4.36 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



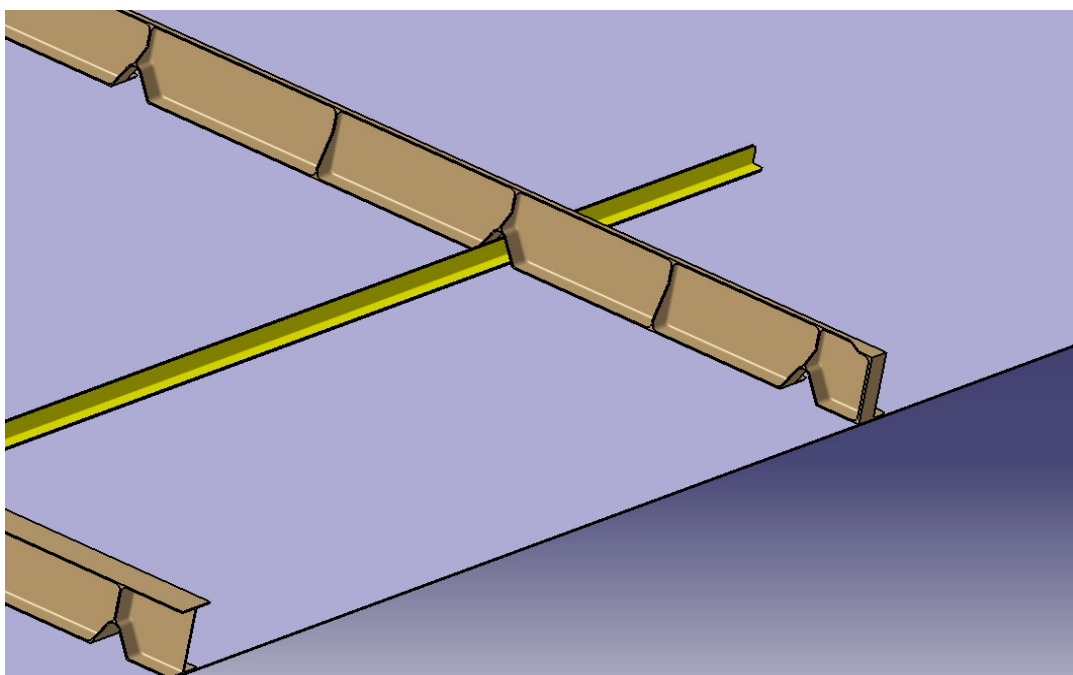
**Εικόνα 4.37 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



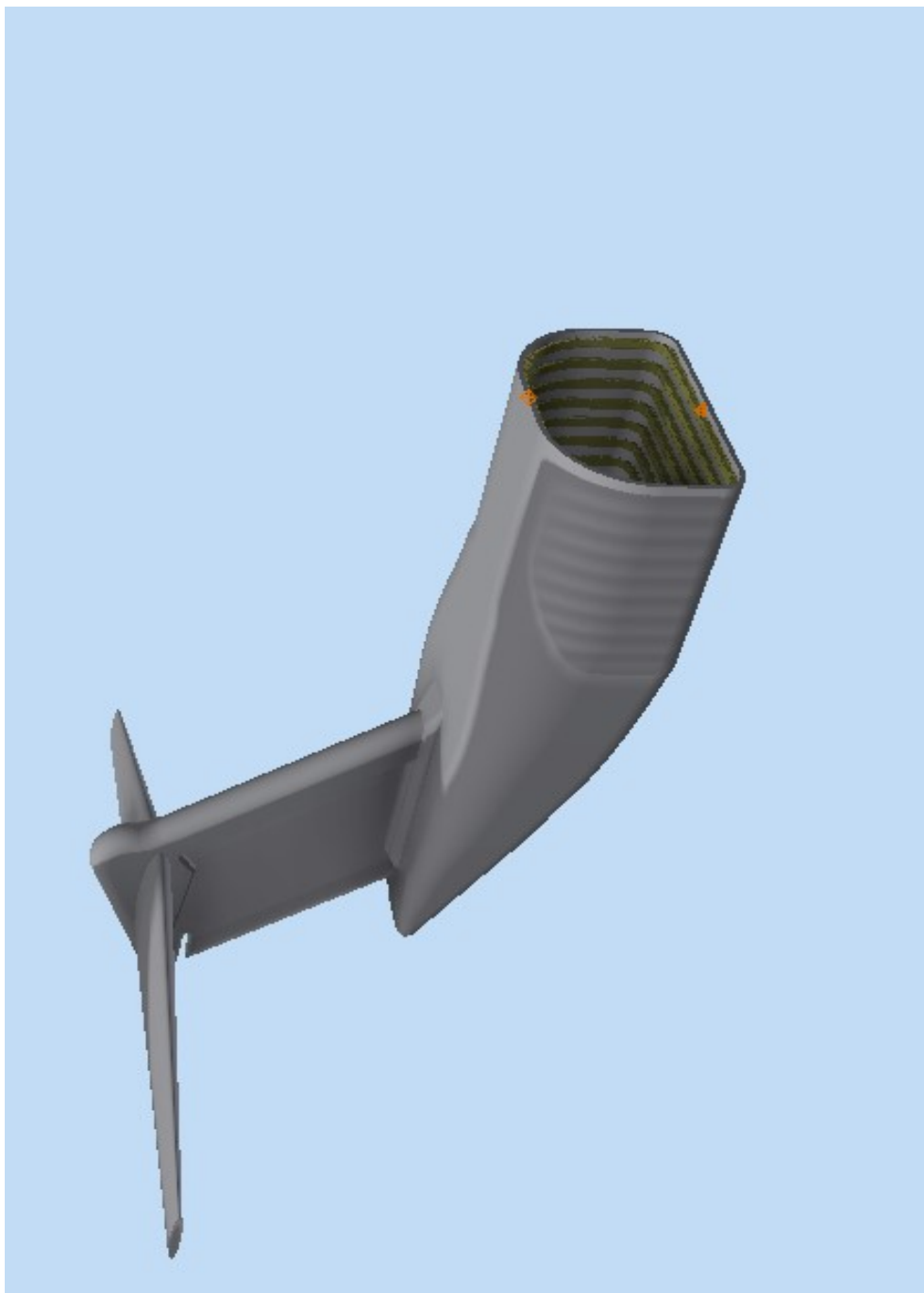
**Εικόνα 4.38 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



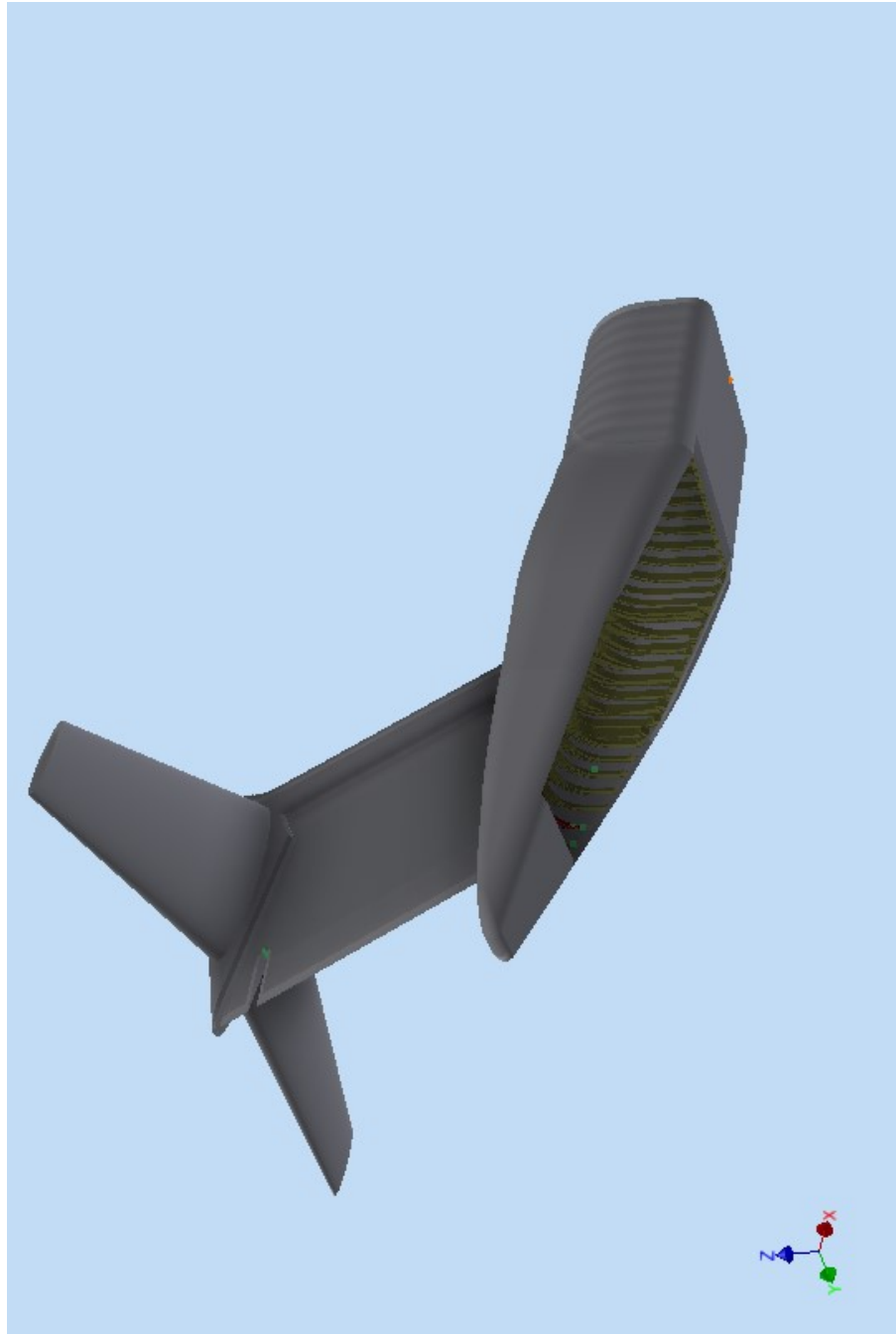
**Εικόνα 4.39 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



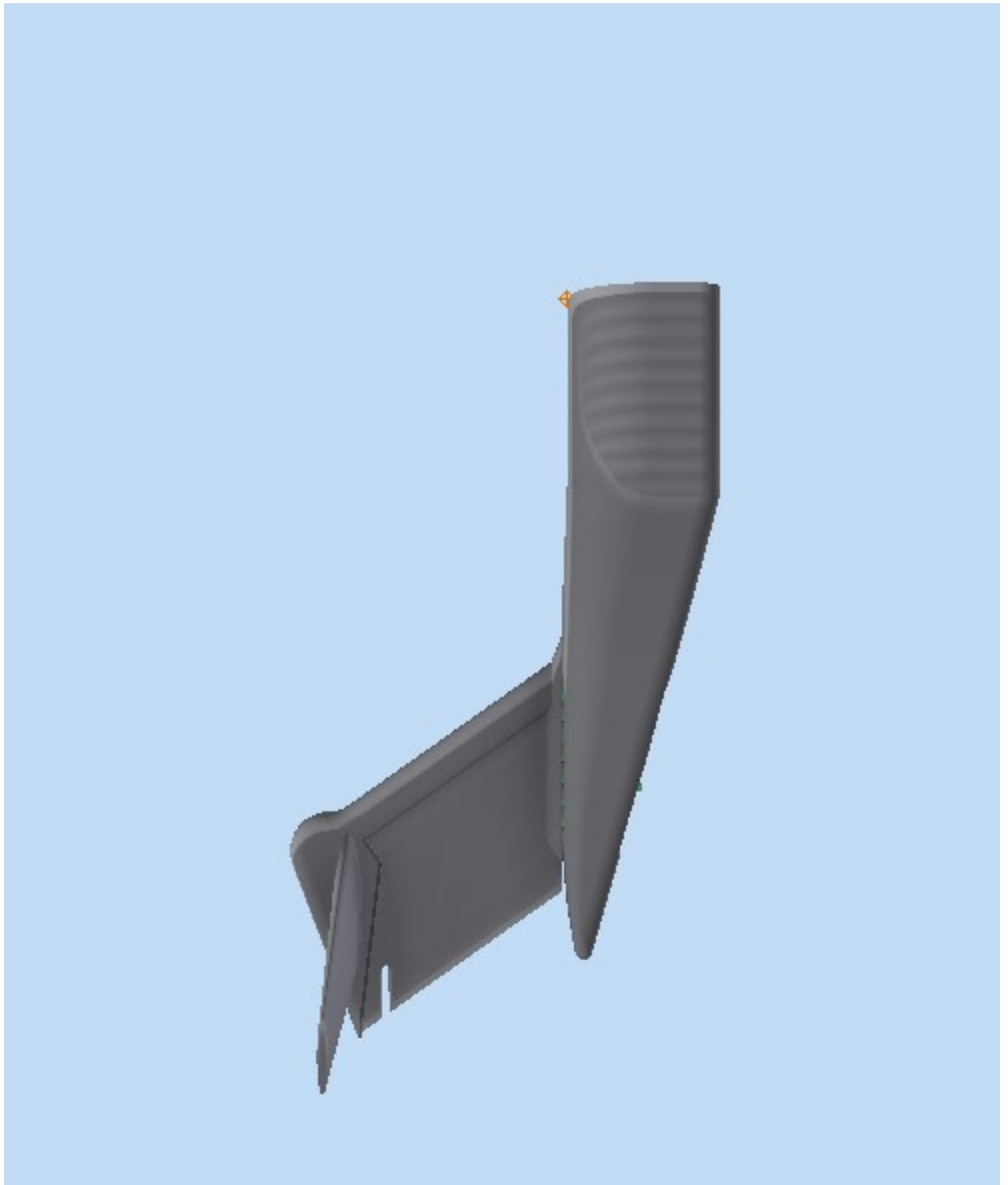
**Εικόνα 4.40 : Σχετική φωτογραφία σύνδεσης frames
(Πηγή: Συγγραφέας)**



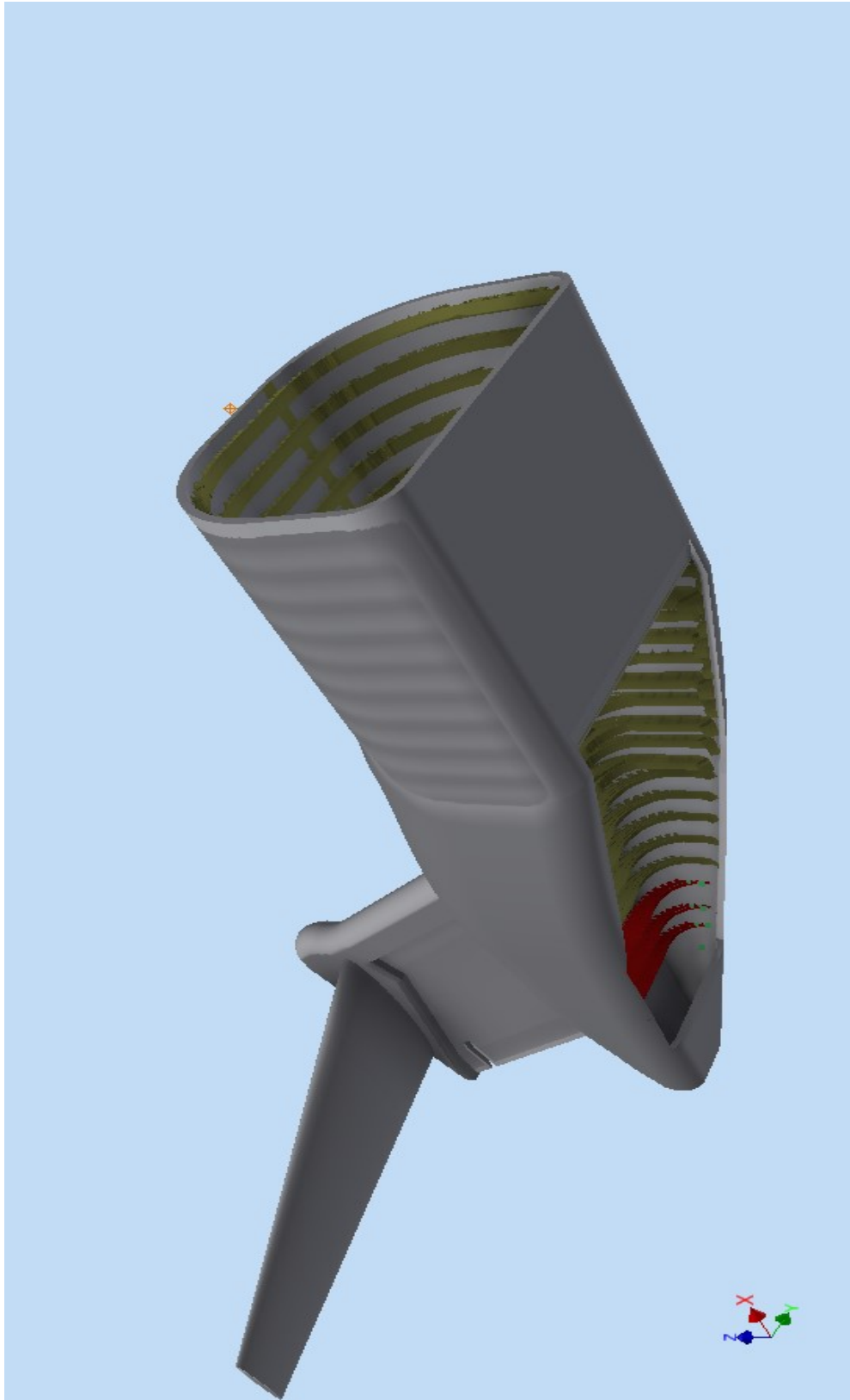
**Εικόνα 4.41 : Τελικό solid σχέδιο ατρακτου A400M
(Πηγή: Συγγραφέας)**



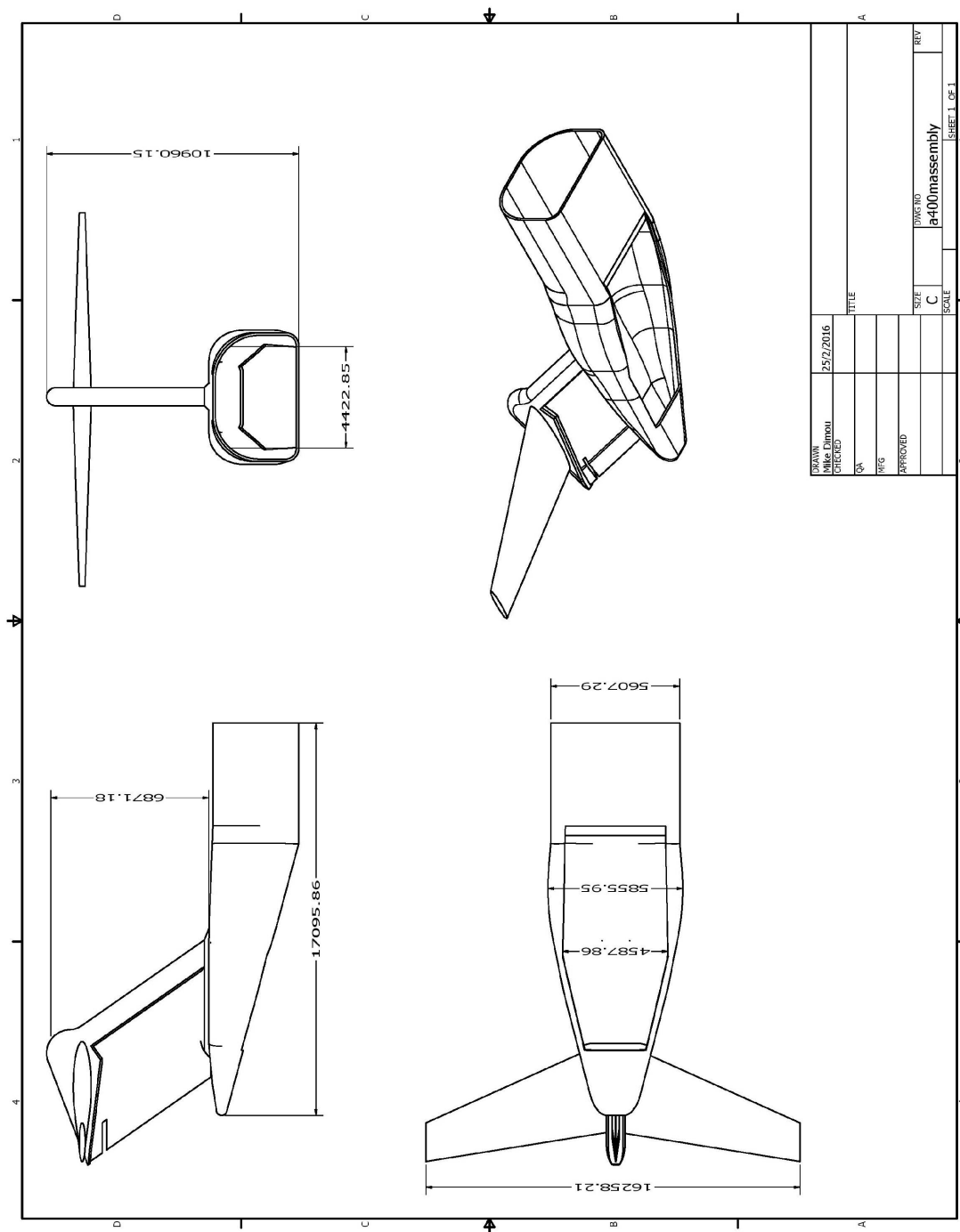
**Εικόνα 4.42 : Τελικό solid σχέδιο ατρακτου A400M
(Πηγή: Συγγραφέας)**



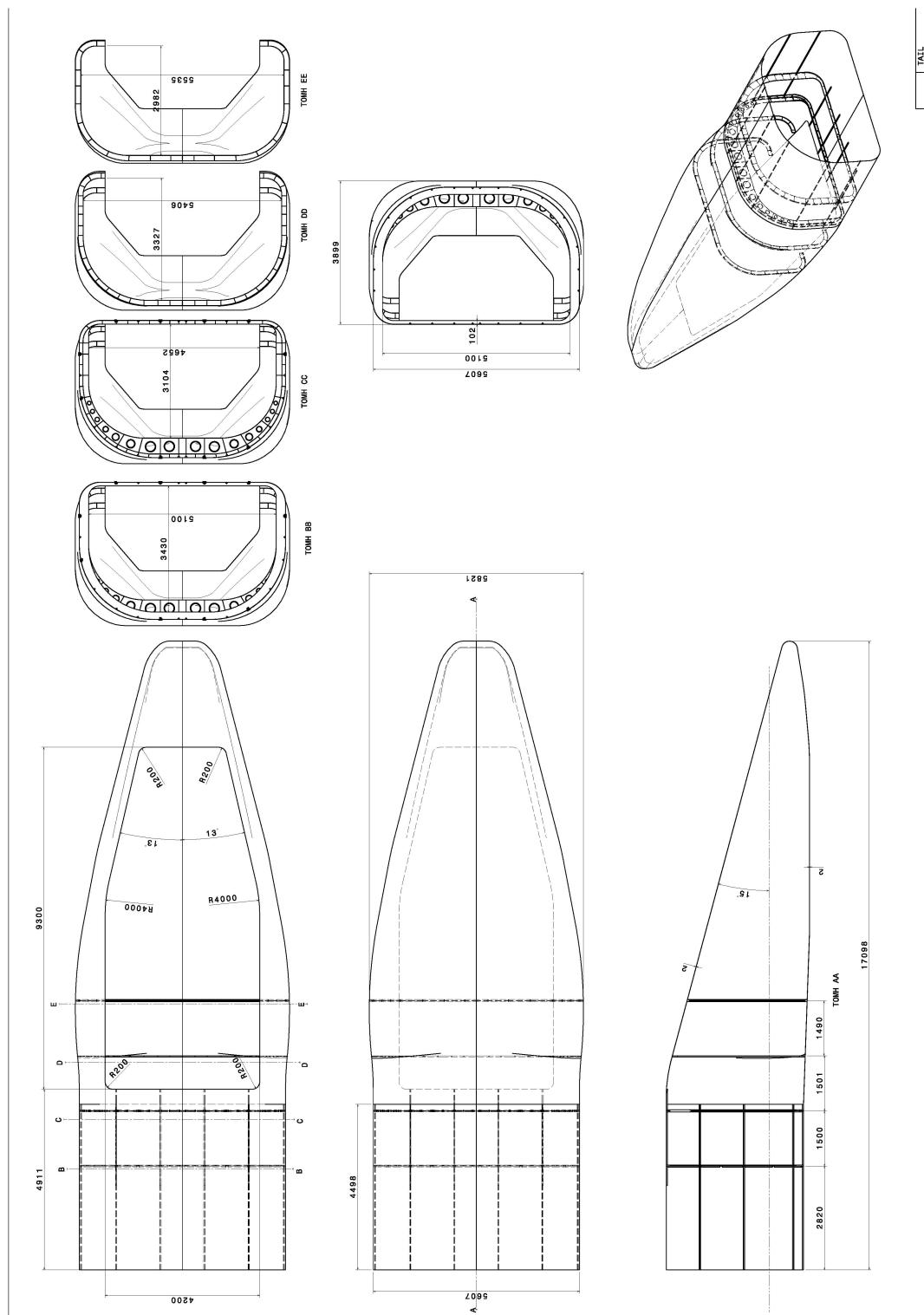
**Εικόνα 4.43 : Τελικό solid σχέδιο ατρακτου A400M
(Πηγή: Συγγραφέας)**



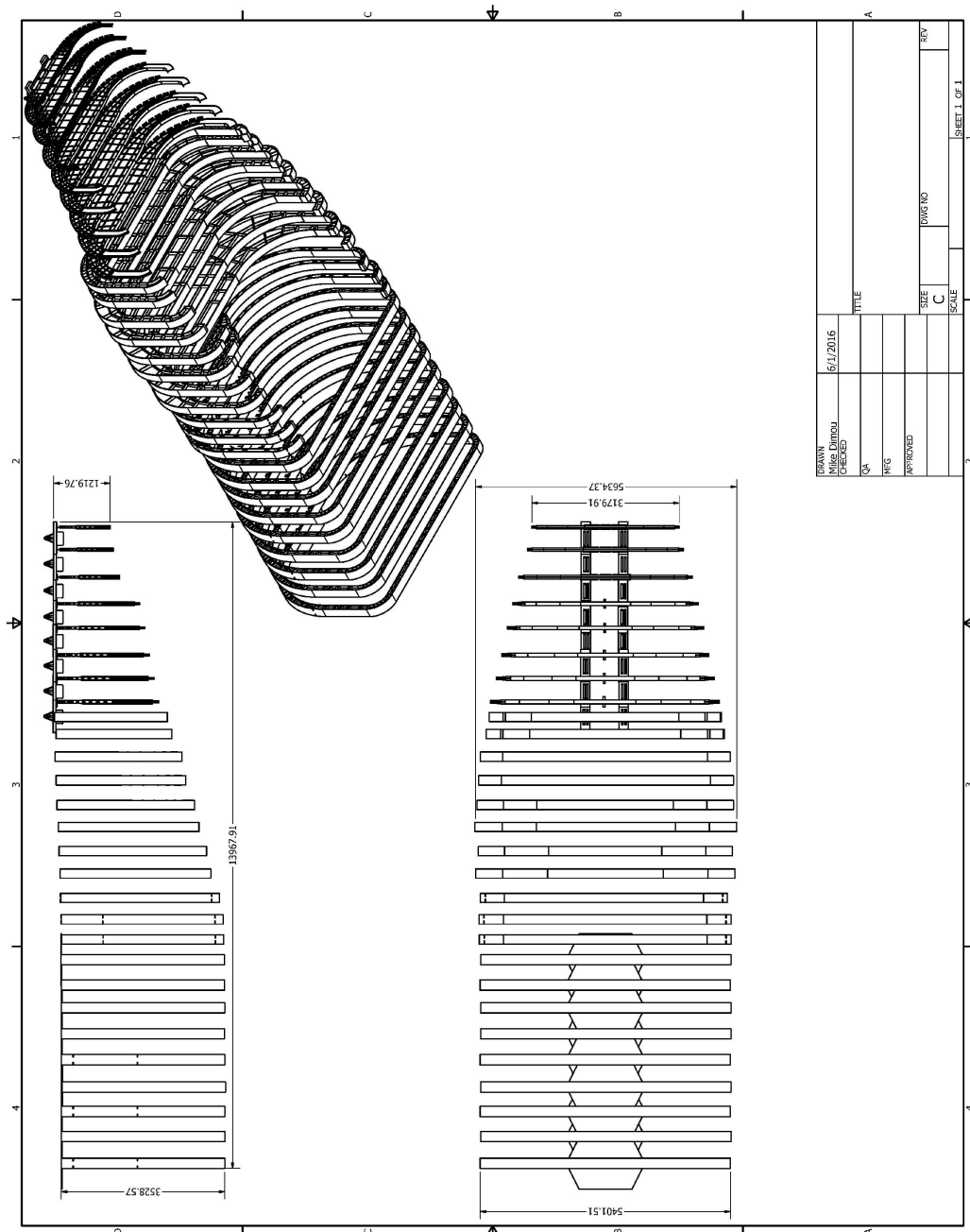
**Εικόνα 4.44 : Τελικό solid σχέδιο ατρακτου A400M
(Πηγή: Συγγραφέας)**



**Εικόνα 4.45 : Τελικό μηχανολογικό σχέδιο της ατράκτου του A400M.
(Πηγή: Συγγραφέας)**



Εικόνα 4.46 : Μηχανολογικό σχέδιο με τις 4 βασικές ομάδες frames. (Πηγή: Συγγραφέας)



Εικόνα 4.47 : Μηχανολογικό σχέδιο στοίχιση όλων των frames (Πηγή: Συγγραφέας)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογία του υπολογιστή και των σχεδιαστικών προγραμμάτων παρέχει εργαλεία άξια και πολύ σημαντικά για τον Μηχανολόγο Μηχανικό , με τα οποία μπορεί πλέον να σχεδιάσει κατασκευές σε οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε βαθμό δυσκολίας καθώς και να τις προσομοιώσει σε κίνηση , να κάνει stress analysis και να τις συνομολογήσει. Οπότε, το πιο βασικό εργαλείο στην πτυχιακή μου ήταν το Inventor και οι εναλλακτικοί τρόποι που σκέφτηκα να σχεδιάσω το A400M.

Έτσι λοιπόν σχεδίασα το A400M το οποίο είναι ένα σπάνιου είδος σχεδιασμού αεροσκάφος , καθώς έχει αρκετές καμπύλες και ιδιαίτερη μορφολογία. Ωστόσο κατά την διάρκεια της διεξαγωγής της πτυχιακής βρήκα τρόπο για την σχεδίαση του skin καθώς και των επί μέρους στοιχείων εσωτερικά του . Με αρκετό χρόνο , απόκτησης εμπειρίας και διαλλακτικούς τρόπους σχεδίασης που μου παρείχε το Inventor κατάφερα να σχεδιάσω την άτρακτο με τα frames σε κατασκευαστικό επίπεδο .

Η πτυχιακή και γενικότερα η προσπάθεια μου να αποτυπώσω το A400M όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα , με δίδαξε να μπορώ να σχεδιάζω με ελάχιστη απόκλιση τα frames , τις αντηρίδες κλπ. Δινοντάς μου μόνο το skin του αεροσκάφους , δηλαδή τον εξωτερικό του σχεδιασμό , μπορώ να σχεδιάσω τα απαραίτητα στοιχεία που το περιβάλλουν (frames) , σε ελάχιστη απόσταση μεταξύ του skin και των frames + - 5 cm.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.allstar.fiu.edu>
<https://en.wikipedia.org>
www.nap.edu
<http://www.aviation-news.co.uk/archive/a400m.html>
<http://defence.pk/threads/airbus-military-delivered-first-a400m-to-turkey.307763/page-2>
<http://operacoesmilitaresguia.blogspot.gr/2013/09/operacoes-militares-parte-1.html>
<http://www.epoxysetinc.com/tag/epoxy-adhesive/>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Epreuve traction force elongation.svg>
<https://bs.wikipedia.org/wiki/Savijanje>
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CF%84%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7>
<http://www.homebuilairplanes.com/forums/tube-fabric/12796-truss-geometric-efficiency-2.html>
http://legendsintheirowntime.com/P51/P51_index.html
<https://en.wikipedia.org/wiki/Longeron>
<http://www.nap.edu/read/5917/chapter/6#97>
<http://home.anadolu.edu.tr/~gdurmus/hyo413/book/Aircraft-Design-A-Conceptual Approach.pdf>