



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
(Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.)
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕ CAD ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ
(INVENTOR)

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΦΩΤΗΣ

ΣΤΑΥΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

A.M:41816

A.M:42611

Επόπτης : Καθηγητής Δρ. ΦΙΛΗΜΩΝ ΣΚΙΤΤΙΔΗΣ

Αιγάλεω 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, με τίτλο «Σχεδίαση με CAD δομικών στοιχείων πτέρυγας μικρού μεγέθους αεροπλάνου (Inventor)», παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της πτέρυγας αεροπλάνου με το πρόγραμμα «Inventor» σε συμπαγή μορφή, αλλά και σε μηχανολογικό σχέδιο.

Γίνεται ιστορική αναφορά για την κατασκευή αεροσκάφους βαρύτερο απ' τον αέρα. Επίσης, περιγράφονται τα μέρη ενός ανεμόπτερου, καθώς και τα μέρη των αεροτομών. Η πτέρυγα του αεροπλάνου είναι το σημαντικότερο τμήμα του, γιατί σε αυτήν αναπτύσσονται αεροδυναμικές δυνάμεις. Οι πιο κύριες δυνάμεις είναι η άντωση, η οπισθέλκουσα και η ροπή πρόνευσης. Έπειτα, αναφέραμε τα είδη των πτερυγίων και έγινε ο υπολογισμός των πλευρών της πτέρυγας αεροπλάνου με μαθηματικά μοντέλα.

Τέλος, με τη βοήθεια του προγράμματος «Inventor», παρουσιάζονται 57 μηχανολογικά σχέδια της πτέρυγας αεροπλάνου.

SUMMARY

In this dissertation, entitled “Design with CAD structural elements of a small-size airplane wing (Inventor)”, is presented an airplane wing design with the program “Inventor” at compact form, but also with mechanical design.

It's historical referred about aircraft construction heavier than air. Also, it's contained the description about the parts of a glider, and lots of airfoils. The wing of an airplane is the most important part, because there are developed aerodynamic forces. The main forces are the lift, the drag and the pitch moment. Then, we mentioned the types of the wings and we calculated the sides of the airplane wing with mathematical models.

Finally, with the assistance of “Inventor” program, they are presented 57 mechanical designs of the airplane wing.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την πτυχιακή αυτή τα χρόνια μας ως φοιτητές έφτασαν στο τέλος. Κατά τη διάρκεια όλης της πτυχιακής, δεν θα τα είχαμε καταφέρει χωρίς τη βοήθεια του καθηγητή μας Δόκτωρ Φιλήμων Σκιττίδη.

Σε προσωπικό βαθμό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους αυτούς που στάθηκαν δίπλα μας και πιο πολύ τις οικογένειες μας. Θα θέλαμε να τους ευχαριστήσουμε όλους, αλλά δυστυχώς δεν χωράνε μόνο σε μία σελίδα.

Ευχαριστούμε, λοιπόν όλους αυτούς που έκαναν την ζωή μας μέσα στο Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. υπέροχη. Ήταν μία τέλεια διαδρομή γεμάτη με αξέχαστες αναμνήσεις.

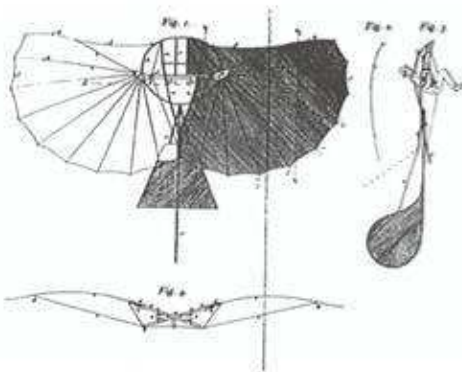
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
	1.1. Ανεμόπτερο	6
2	ΑΕΡΟΤΟΜΕΣ.....	10
	2.1. Η Αεροτομή	10
	2.2. Ανάλυση Αεροτομής	11
	2.3. Οπισθέλκουσα, Άντωση και Ροπή Προένευσης	13
3	ΠΤΕΡΥΓΑ.....	14
	3.1. Η Πτέρυγα	14
	3.2. Γεωμετρία της Πτέρυγας	15
	3.3. Αεροδυναμική και Χαρακτηριστικά	17
	3.4. Είδη Πτερυγίων	20
4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ	
	ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ.....	21
	4.1. Παράδειγμα Υπολογισμών	21
	4.2. Σχηματική Επεξήγηση Λεπτομερειών Πτέρυγας	
	Αεροπλάνου	25
5	ΔΙΑΣΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ	
	ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	
	(INTENTOR).....	27
	5.1. Ribs (Νεύρα)	27
	5.2. Εμπρόσθια και Οπίσθια Δοκός (Front and Rear Spar)	28
	5.3. Εξωτερική Επιφάνεια Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους	
	Αεροσκάφους (Skin)	29
	5.4. Wing Box	31
6	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΜΙΚΡΟΥ	
	ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ.....	32
	6.1. Σχέδια Πτέρυγας	32
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

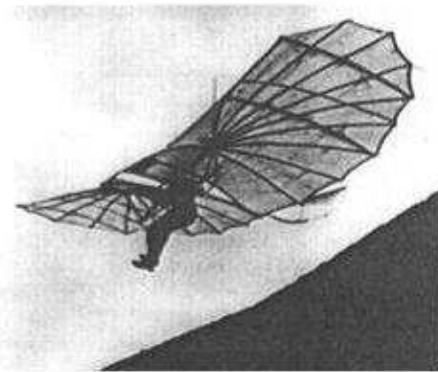
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μύθος των πρώτων αεροπόρων του Δαίδαλου και του Ίκαρου που πέταξαν με ανθρώπινα και όχι υπερφυσικά και θεία μέσα, ενέπνευσαν καταρχήν τον Άγγλο μηχανικό George Cayley (Κέιλυ, 1773-1857) να κατασκευάσει το 1853 ένα αεροσκάφος, σύμφωνα με τις δικές του προδιαγραφές, το οποίο αξιοποιούσε για την πτήση του τα ανοδικά ρεύματα στον αέρα. Αυτό το σκάφος ονομάστηκε ανεμόπτερο ή ανεμοπλάνο., το οποίο και πέταξε για περίπου 500 μ. Στη συνέχεια τους αδελφούς Ράιτ το 1903, να πραγματοποιήσουν την 17η Δεκεμβρίου 1903 την πρώτη στην ιστορία μηχανοκίνητη πτήση, πλήρως ελεγχόμενη η οποία διήρκεσε μόλις 12 sec.

Όμως έπειτα από άκαρπες προσπάθειες πρώτος ο Λίλιενταλ, βασιζόμενος στο πέταγμα των πουλιών, μελέτησε πρακτικά και θεωρητικά τις δυνατότητες του ανεμόπτερου, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις στην επιστήμη της ανεμοπορίας. Διατυπώνει την άποψη ότι ο πλέον πρακτικός τρόπος πτήσης είναι η κατολισθήση από λόφους με αεροσκάφη χωρίς κινητήρα. Κάνει εκτεταμένες δοκιμές μοντέλων πτερύγων για το προσδιορισμό των αεροδυναμικών δυνάμεων πάνω σε κινούμενες πτέρυγες και την επιλογή του βέλτιστου σχήματος αεροτομής. Ακολούθως σχεδιάζει και κατασκευάζει ένα μονοπλάνο με σταθερές ουραίες επιφάνειες και έλεγχο μέσω μετακίνησης του σώματος του χειριστή, με αλλαγή του κέντρου βάρους. Το μονοπλάνο αυτό είναι ουσιαστικά το πρώτο αιωρόπτερο, ένα πολύ απλό ανεμόπτερο – ολισθητής από ξύλο και πανί. Το βελτιωμένο μοντέλο του 1893 έχει άνοιγμα πτερύγων 7m και βάρος μόλις 20kgf (Εικ.1). Με τα ανεμόπτερά του ο Lilienthal πραγματοποιεί μέχρι το 1986 πάνω από 2000 κατολισθήσεις από χαμηλούς λόφους (Εικ.2). Οι πρωτοποριακές πτήσεις του και η δημοσίευση των πειραμάτων του επηρεάζει όλους τους σύγχρονους του [Κανάκης Κ., 2012].



Εικόνα 1. Το ανεμόπτερο του 1893
[Κανάκης Κ., 2012].



Εικόνα 2. Ο Lilienthal σε πτήση
[Κανάκης Κ., 2012].

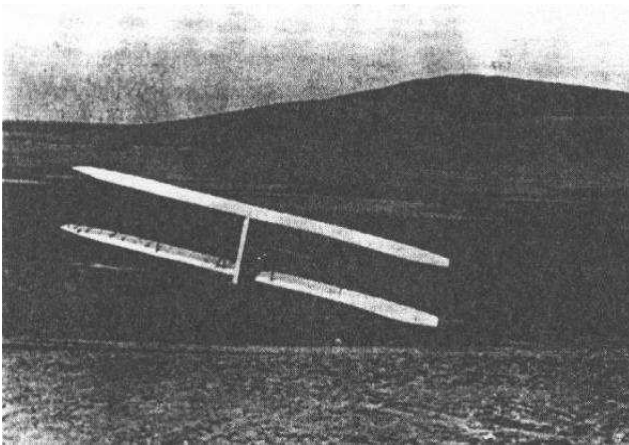
Απ' την άλλη, ο Octave Chanute πρωτοπόρος στην αεροπορία όπως και οι Louis Mouillard , Gabriel Voisin , John J. Μοντγκόμερι , Louis Blériot , Ferdinand Ferber , Lawrence Hargrave , και Alberto Santos Dumont με ανεμόπτερα – ολισθητές που σχεδίασε ο ίδιος ο Octave

Chanute , κάνει γνωστή την εργασία του Lilienthal και πραγματοποιεί πολλές κατολισθήσεις με μια ομάδα νέων πειραματιστών λόγω της μεγάλης ηλικίας του απ' το 1896 και μετά. Έπειτα με αφορμή τη δημοσιότητα που παίρνουν τα επιτεύγματα του Lilienthal , οι αδελφοί Wright γοητεύονται με την ιδέα της πτήσης. Δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στο Lilienthal και αλληλογραφώντας με τον Chanute από το 1900-1910 με εκατοντάδες γράμματα για τεχνικά θέματα [Κανάκης Κ., 2012].

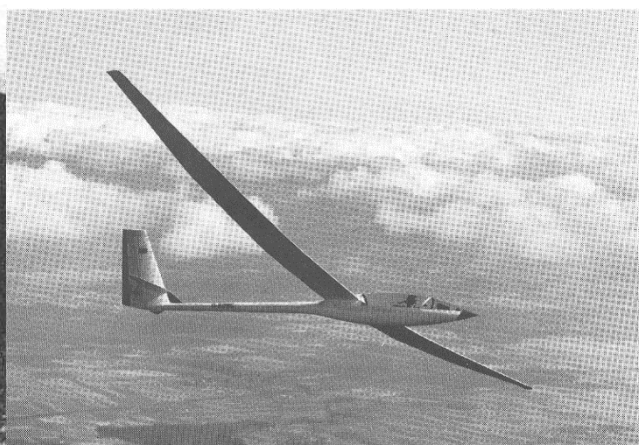
Η περίοδος που η ανεμοπορία αναπτύσσεται ραγδαία είναι ο μεσοπόλεμος. Μετά την ήττα του Α' Παγκοσμίου Πολέμου έχουν επιβληθεί ασφυκτικοί περιορισμοί στην Γερμανία που ουσιαστικά απαγορεύουν τις πτήσεις αεροπλάνων. Η διέξοδος για τους αεροπόρους είναι τα ανεμόπτερα με τα οποία γίνεται εκπαίδευση νέων χειριστών μέσω λεσχών. Τα χρησιμοποιούμενα ανεμόπτερα ποικίλουν από ολισθητές αρχικής εκπαίδευσης έως βελτιωμένα ανεμόπτερα επιδόσεων που παίρνουν μέρος σε αγώνες* (Βλέπε Παράρτημα: Εικόνες 7 έως 11 και Σχήμα 104). Τα τελευταία, σχεδιασμένα σε στενή σχέση με τα ερευνητικά κέντρα, σταδιακά πετυχαίνουν αξιόλογες επιδόσεις που επιτρέπουν πραγματικές ανεμοπορικές πτήσεις.

Στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου στρατιωτικά ανεμόπτερα χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις και από τις δυο πλευρές.

Η υπεροχή των Γερμανών στη σχεδίαση και παραγωγή ανεμοπτέρων επιδόσεων συνεχίζεται και μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Τα σημερινά υπερ-ανεμόπτερα έχουν εκπληκτικές επιδόσεις αλλά και πολύ μεγάλο κόστος (Εικ.4). Το κунήγι των επιδόσεων σταδιακά μετατρέπει την ανεμοπορία σε πολύ ακριβό άθλημα. Η τάση αυτή αμφισβητείται έντονα μεταξύ των ανεμοπόρων [Κανάκης Κ., 2012]



Εικόνα 3. Το ανεμόπτερο των Wright (1902)
SB 10



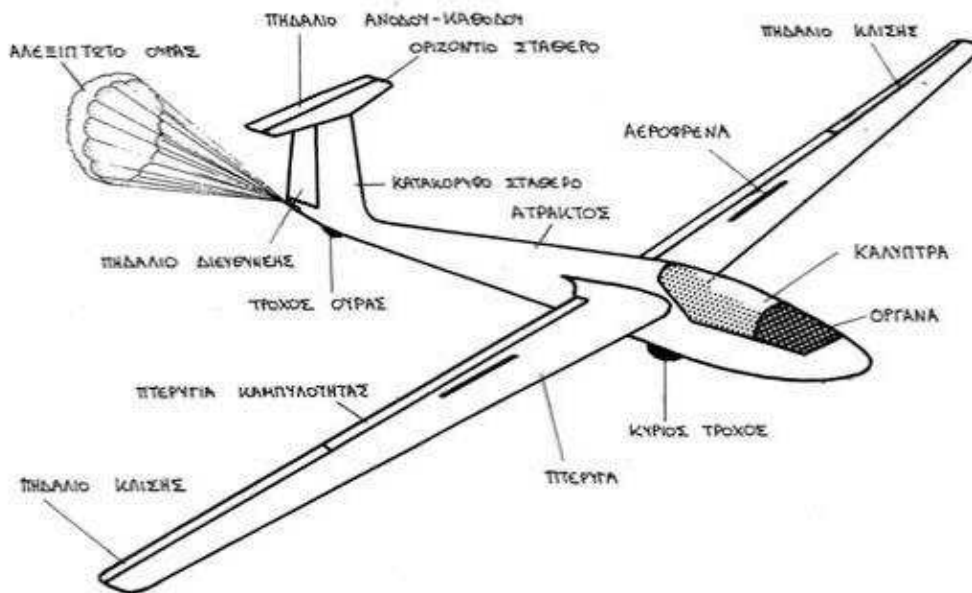
Εικόνα 4. Πειραματικό ανεμόπτερο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο (ΕΙΣΑΓΩΓΗ)

1.1 Ανεμόπτερο

Η μελέτη μας θα επικεντρωθεί κυρίως σε αυτή την κατηγορία των αεροσκαφών που είναι γνωστή ως αεροπλάνα, αλλά πρωτίστως θα πρέπει να εξετάσουμε λεπτομερώς συνολικά την κατασκευή ενός τυπικού αεροπλάνου. Το (σχήμα 1.11) απεικονίζει σε αναπτυγμένη μορφή, ένα αεροπλάνο με τα βασικά συστατικά στοιχεία:

- Άτρακτος (fuselage)
- Πτέρυγες (wings)
- Ουραίαπτερύγια(tail assembly)

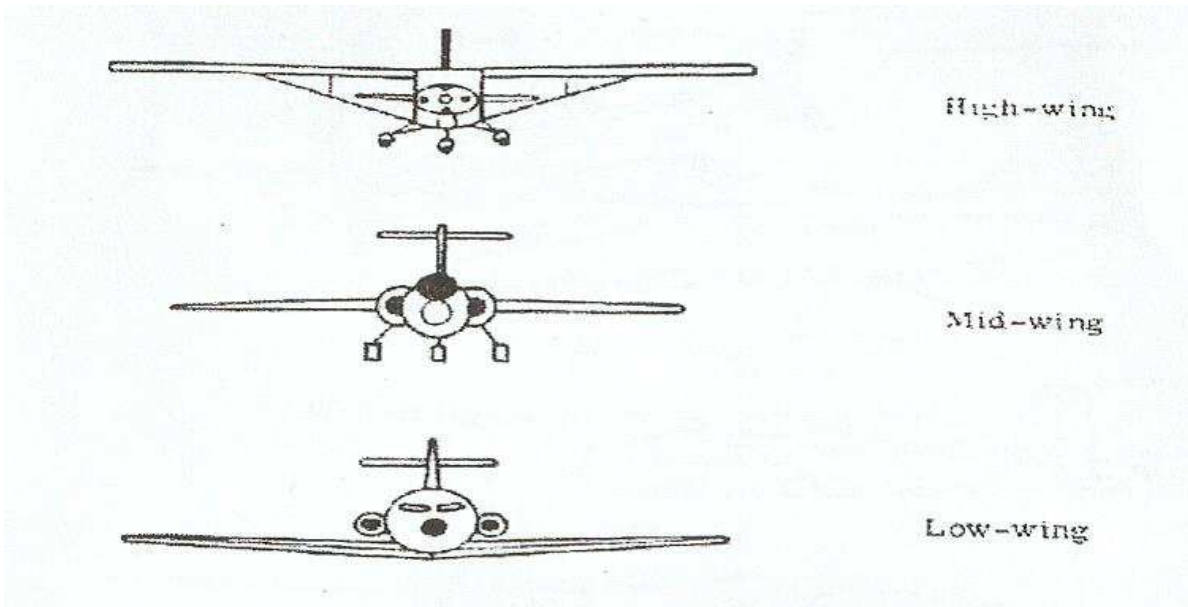
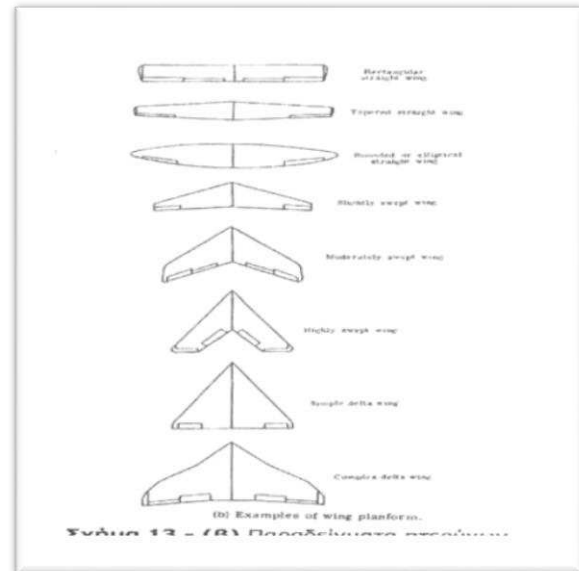
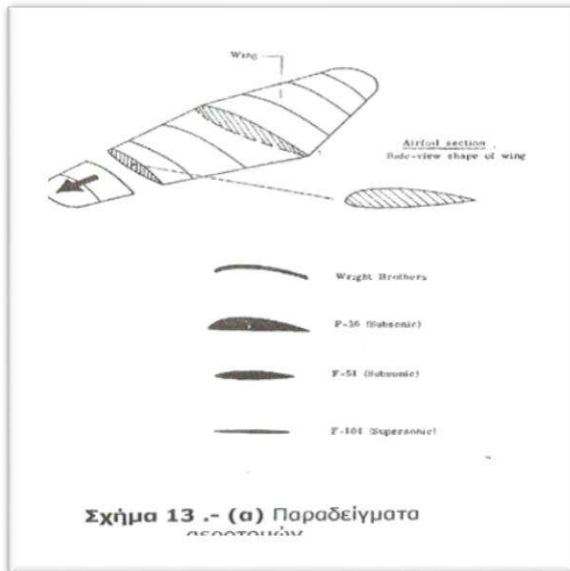


Σχήμα 1.1

Άτρακτος- Το σώμα ενός αεροπλάνου. Στεγάζει το πλήρωμα και τα όργανα ελέγχου που απαιτούνται για την λειτουργία και τον έλεγχο του αεροπλάνου. Μπορεί να παρέχει χώρο για φορτία, επιβάτες και εξοπλισμούς διαφόρων ειδών. Επιπλέον, μπορεί ο κινητήρας να στεγάζεται στην άτρακτο. Η άτρακτος είναι, κατά μια έννοια, η βασική δομή του αεροπλάνου δεδομένου ότι πολλά από τα άλλα μεγάλα στοιχεία επισυνάπτονται σε αυτήν. Είναι γενικά αεροδυναμικά βελτιωμένο όσο το δυνατόν περισσότερο για την μείωση της οπισθέλκουσας. Ο σχεδιασμός ποικίλει ανάλογα με την αποστολή που πρέπει να εκτελεστούν και οι παραλλαγές είναι ατέλειωτες, όπως φαίνεται και στο (σχήμα 1.12)[Κανάκης Κ., 2012].

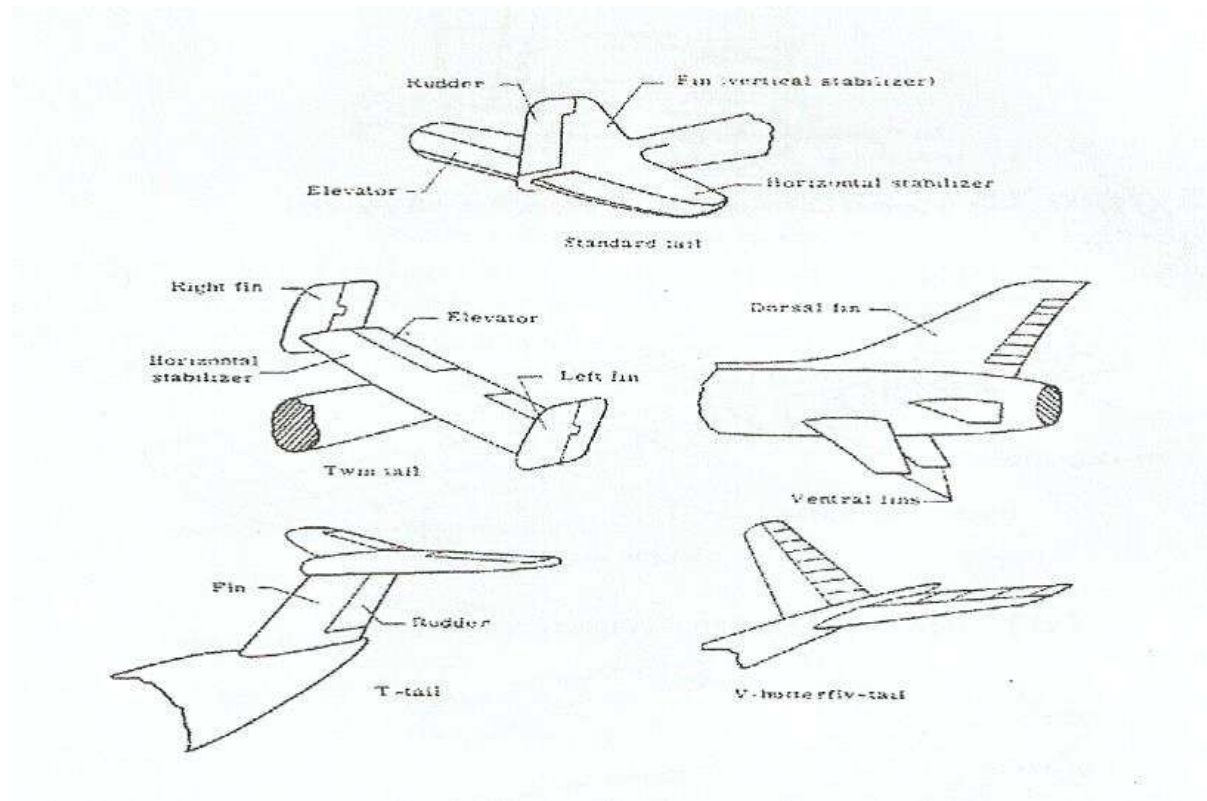


Πτέρυγα- Η πτέρυγα παρέχει την κύρια δύναμη άντωσης ενός αεροπλάνου. Η άντωση προέρχεται από τη δυναμική δράση της πτέρυγας σε σχέση με τον αέρα. Η διατομή της πτέρυγας είναι γνωστή ως τμήμα αεροτομής. Η αεροτομή, το σχήμα της ,το σχήμα των περυγών, και την τοποθέτηση τους στην άτρακτο εξαρτώνται από την αποστολή του αεροπλάνου. Τα (σχήματα 1.13) παρουσιάζει τα σχήματα και τις τοποθετήσεις περυγών που συχνά χρησιμοποιούνται[Κανάκης Κ., 2012].



Σχήμα 1.13 Παραδείγματα τοποθέτησης πτερύγων [Κανάκης Κ., 2012].

Ουραία πτερύγια και επιφάνειες ελέγχου-Τα ουραία πτερύγια αποτελούνται από διάφορα στοιχεία, όπως το κατακόρυφο σταθεροποιητή (fin) και τα πηδάλιο διεύθυνσης (rudder) ,και το οριζόντιο σταθεροποιητή (elevator). Το (σχήμα 1.14) δείχνει διάφορες μορφές από ουραία πτερύγια [Κανάκης Κ., 2012].



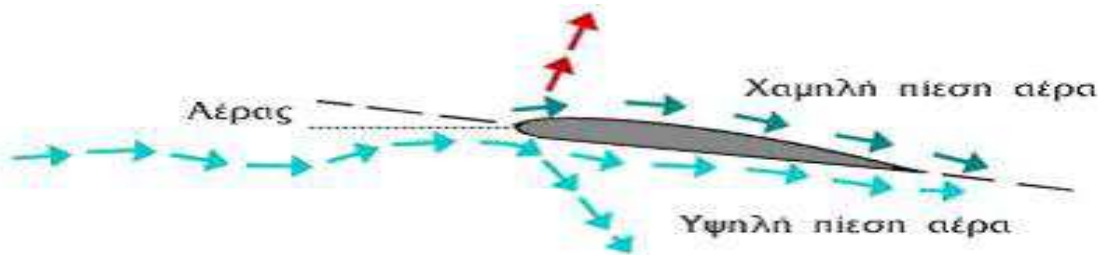
Σχήμα 1.14 Ουραία πτερύγια & επιφάνειες ελέγχου [Κανάκης Κ., 2012].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο (ΑΕΡΟΤΟΜΕΣ)

Η πτέρυγα είναι το σημαντικότερο τμήμα του αεροσκάφους. Ο ρόλος της είναι η παραγωγή της απαιτούμενης για τη πτήση άντωσης. Οι αεροδυναμικές ιδιότητες της πτέρυγας εξαρτώνται από το σχήμα της σε τομή και από τη γεωμετρία της [Κανάκης Κ., 2012].

2.1 Η Αεροτομή

Τα **πτερύγια** του αεροπλάνου, δεν είναι επίπεδα. Είναι ελαφρώς καμπύλα, κατά τρόπο αεροδυναμικό. Κατά την πτήση, ο αέρας περνάει πάνω και κάτω από κάθε πτερύγιο. Έτσι, τα πτερύγια έχουν μια ελαφρώς ανηφορική κλήση, ώστε να εξοστρακίζουν τον περισσότερο αέρα στο κάτω μέρος των πτερυγίων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πίεση κάτω από τα πτερύγια. εξοστρακίζουν τον περισσότερο αέρα στο κάτω μέρος των πτερυγίων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πίεση κάτω από τα πτερύγια [Κανάκης Κ., 2012].



Αυτή η πίεση ωθεί το αεροπλάνο να πάει προς τα πάνω. Αυτό γίνεται γιατί κάτω από τα πτερύγια υπάρχει πολύς αέρας, και πάνω από τα πτερύγια, λίγος αέρας. Έτσι, ο πολύς αέρας, προσπαθεί να πάει επάνω να καλύψει το κενό του λίγου αέρα. Αλλά επειδή μεσολαβεί το πτερύγιο, σπρώχνει και το πτερύγιο προς τα επάνω [Δενάρδου Πέτρου 2012].

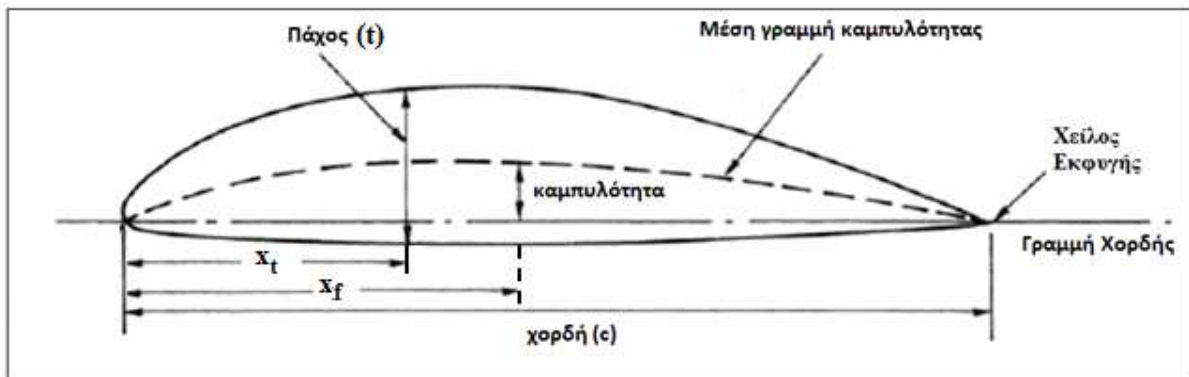


Τώρα, στο αεροπλάνο, όσο περισσότερη επιτάχυνση για **απογείωση** αποκτήσει, τόσο πιο έντονα γίνεται αυτό, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη πίεση δημιουργείται κάτω από τα πτερύγια και τόσο ελαχιστοποιείται η πίεση του αέρα από πάνω. Έτσι αυξάνετε η δύναμη της ανύψωσης. Βέβαια, παράλληλα όσο επιταχύνει το αεροπλάνο, τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η αντίσταση του αέρα στο σκάφος. Γι' αυτό το λόγο, όλο το σκάφος έχει πλήρως αεροδυναμική μορφή, ώστε να ελαχιστοποιεί όσο γίνεται την αύξηση της **αντίστασης του αέρα**, κατά την επιτάχυνση και την κίνησή του. Τώρα, για τον περαιτέρω χειρισμό του αεροπλάνου, εκμεταλλευόμαστε με

παρόμοιο τρόπο τον αέρα είτε για να το στρίψουμε, είτε για να το ανεβοκατεβάσουμε, είτε για να το "φρενάροουμε" [Δενάρδου Πέτρου 2012].

2.2 Ανάλυση Αεροτομής

Στο (Σχ. 2.1) βλέπουμε τη διαμήκη τομή μιας πτέρυγας που ονομάζεται αεροτομή. Το κύριο χαρακτηριστικό είναι το σχήμα της μέσης γραμμής καμπυλότητας. Το ακραίο εμπρόσθιο σημείο της λέγεται χείλος προσβολής (ΧΠ) και το ακραίο οπίσθιο σημείο της λέγεται χείλος εκφυγής (ΧΕ). Η ευθεία γραμμή που συνδέει ΧΠ και ΧΕ λέγεται χορδή. Η απόσταση f μεταξύ της μέσης γραμμής καμπυλότητας και της χορδής είναι η καμπυλότητα της αεροτομής. Εκφράζεται συνήθως με το λόγο f/c (%) που λέγεται σχετική καμπυλότητα. Με αυτό τον τρόπο εκφράζεται και το μέγιστο πάχος t ως σχετικό πάχος t/c (%). Οι συμμετρικές αεροτομές έχουν $f/c = 0\%$ και οι συνήθεις αεροτομές έχουν $f/c = 2 - 6\%$. Το σχετικό πάχος κυμαίνεται συνήθως από $8 - 18\%$. Σημαντικές επίσης είναι οι αποστάσεις x_t και x_f από το ΧΠ των σημείων που παρουσιάζονται το μέγιστο πάχος t και η μέγιστη καμπυλότητα f αντίστοιχα ως ποσοστό επί της % της χορδής. Για τις παλαιότερες τυπικές αεροτομές όπως η NACA 0012 και η NACA 4412 ισχύει $x_t/c = 30\%$ και $x_f/c = 40\%$. Για την νεώτερη αεροτομή στρωτής ροής NACA 64-212 ισχύει $x_t/c = 40\%$ και $x_f/c = 40\%$. Μια οικογένεια αεροτομών προκύπτει από διάφορους συνδυασμούς μέσης γραμμής καμπυλότητας και κατανομής πάχους [Αμοιράλης Ε., 2004].



Σχήμα 2.1 Γεωμετρία της αεροτομής [Αμοιράλης Ε., 2004].

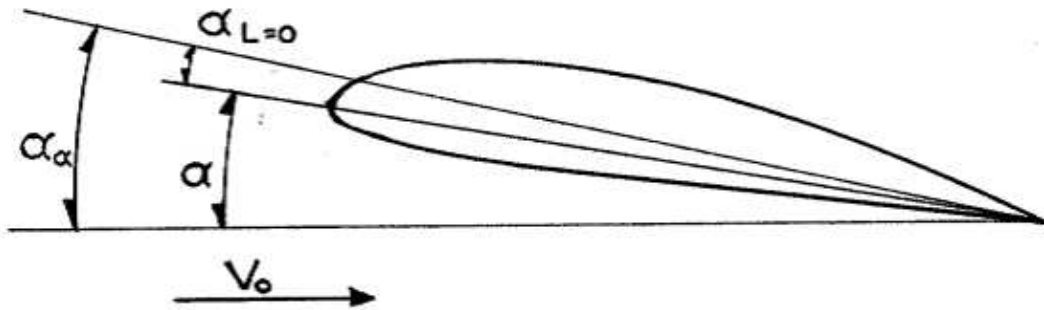
Στο (Σχ. 2.2) βλέπουμε :

- Γωνία προσβολής α είναι η γωνία μεταξύ της χορδής και της διεύθυνσης της ελεύθερης ροής του αέρα και είναι θετική όταν το ρεύμα αέρα προσβάλλει την αεροτομή από την κοιλία. Ονομάζεται και γεωμετρική γωνία προσβολής.

- Απόλυτη γωνία προσβολής α_a (absolute) είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης της ελεύθερης ροής του αέρα και εκείνης της ειδικής διεύθυνσης της ροής, για την οποία η συγκεκριμένη αεροτομή παράγει μηδενική άντωση.

Η μικρή αρνητική γωνία στην οποία η συνήθης αεροτομή παράγει μηδενική άντωση, ονομάζεται γωνία προσβολής μηδενικής άντωσης $\alpha_{L=0}$. Από το σχήμα, αλγεβρικά, ισχύει $\alpha_a = \alpha - \alpha_{L=0}$

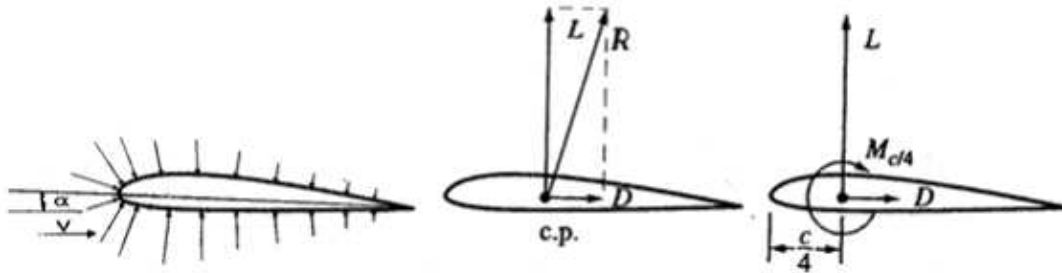
Για παράδειγμα αν $\alpha = 4^\circ$, $\alpha_{L=0} = -2^\circ$, τότε $\alpha_a = 6^\circ$. Η διαφορά μεταξύ γεωμετρικής α και απόλυτης γωνίας προσβολής α_a οφείλεται στην καμπυλότητα της αεροτομής. Ειδικά για τις συμμετρικές αεροτομές, $\alpha_{L=0} = 0^\circ$ και $\alpha_a = \alpha$. [Κανάκης Κ., 2012].



Σχήμα 2.2 Ορισμός γωνίας προσβολής [Κανάκης Κ., 2012].

2.3 Οπισθέλκουσα, Άντωση Και Ροπή Πρόνευσης.

Στο (Σχ.2.3) βλέπουμε την τομή μιας πτέρυγας που κινείται σε ρεύμα αέρα ταχύτητας V και γωνία προσβολής α . Οι πιέσεις που ασκεί ο αέρας σε κάθε σημείο της πτέρυγας, αναπτύσσονται δυνάμεις κάθετες σε κάθε σημείο της. Η αεροδυναμική δύναμη R είναι η συνισταμένη όλων αυτών των δυνάμεων και ασκείται πάνω στην πτέρυγα. Αναλύεται στην άντωση L που είναι κάθετη στη διεύθυνση της ροής και στην οπισθέλκουσα D που είναι παράλληλη με τη διεύθυνση της χορδής και έχει φορά προς τα πίσω. Αν περιστρεφόταν ελεύθερα η πτέρυγα από άξονα κάθετο στη διεύθυνση ροής που περνά από ένα τυχαίο σημείο της πτέρυγας η δύναμη R θα δημιουργούσε μια τάση περιστροφής δηλαδή μια ροπή ως προς τον άξονα. Κατά κανόνα οι ροπές λαμβάνονται ως προς ένα σημείο πάνω στη χορδή σε απόσταση $c/4$ από το ΧΠ, όταν αναφερόμαστε σε πτέρυγες. Η επιλογή αυτού του σημείου δεν είναι τυχαία. Το σημείο εφαρμογής της R που ονομάζεται κέντρο πιέσεων δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από τη γωνία προσβολής (ΓΠ). Για να αποφύγουμε τη δυσκολία προσδιορισμού του κέντρου πιέσεων, είναι ισοδύναμο να θεωρήσουμε ότι η R εφαρμόζεται στο σημείο $c/4$ και να προσθέσουμε τη ροπή περιστροφής της R ως προς το σημείο $c/4$. Η ροπή αυτή ονομάζεται ροπή πρόνευσης ή διαμήκης ροπή, συμβολίζεται $M_{c/4}$ και ορίζεται θετική όταν τείνει να αυξήσει τη ΓΠ [Κανάκης Κ., 2012].

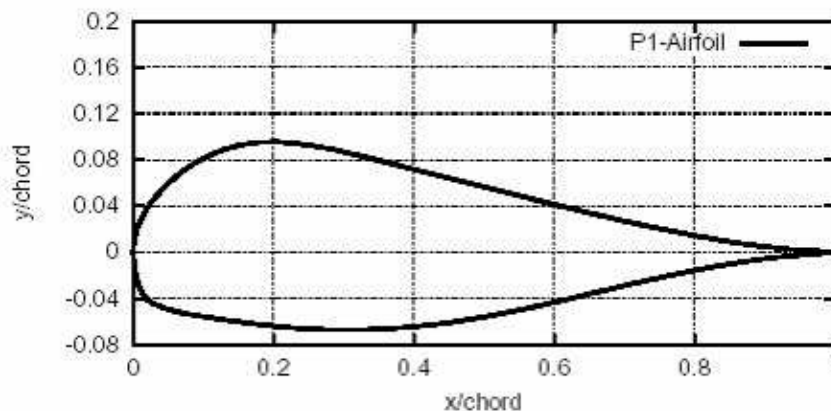


Σχήμα 2.3 Ισοδυναμία σημειακών φορτίων με άντωση, οπισθέλκουσα και ροπή Πρόνευσης[Κανάκης Κ., 2012].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο (ΠΤΕΡΥΓΑ)

Αεροτομές. Αεροτομή λέγεται κάθε κατάλληλα σχεδιασμένη επιφάνεια που δημιουργεί τη μεγαλύτερη δυνατή άντωση, σε σχέση με την αντίσταση που παρουσιάζει, όταν περνά μέσα από τον αέρα με κλίση ως προς τη ροή του. **Τομή αεροτομής λέγεται το σχήμα της διατομής μιας πτέρυγας.** Είναι γνωστό πως αν μια επίπεδη επιφάνεια σχηματίζει γωνία με ρεύμα αέρα, που περνά ολόγυρά της, δημιουργεί άντωση. Σ' αυτήν την περίπτωση, όμως, η επιφάνεια δε λέγεται **αεροτομή**, γιατί δε δίνει τη μεγαλύτερη δυνατή άντωση σε σχέση με την αντίσταση. Τούτη η γωνία της επιφανείας ως προς το ρεύμα του αέρα λέγεται γωνία προσβολής. **Η εξέλιξη των αεροτομών αποτελεί το Α και το Ω της εξέλιξης της αεροναυτικής.** Η τελειοποίησή τους και οι μελέτες πάνω σ' αυτές γίνονται μόνο μέσα σε αεροδυναμικές σήραγγες δοκιμών. Γι' αυτό όλα τα ισχυρά κράτη προσπαθούν ν' αποκτήσουν σήραγγες δοκιμών. **Πρώτος ο Οράτιος Φίλιπς κατασκεύασε αεροδυναμική σήραγγα**, τη μεγάλη όμως αξία της την κατανόησαν πρώτοι οι αδερφοί Ράιτ, που έκαναν και τις πρώτες έρευνες πάνω σε αεροτομές. Από τις χιλιάδες αεροτομές, που δοκιμάστηκαν σ' αυτές τις σήραγγες ως σήμερα, αποδείχτηκε πως για κάθε είδος αεροπλάνου υπάρχει ένας τύπος αεροτομής. Άλλες χρησιμοποιούνται για τα αεροπλάνα μικρής ταχύτητας, άλλες για τα υπερηχητικά, άλλες για τα βαριά αεροπλάνα (μεταγωγικά), άλλες για τα ελαφρά κ.λπ.

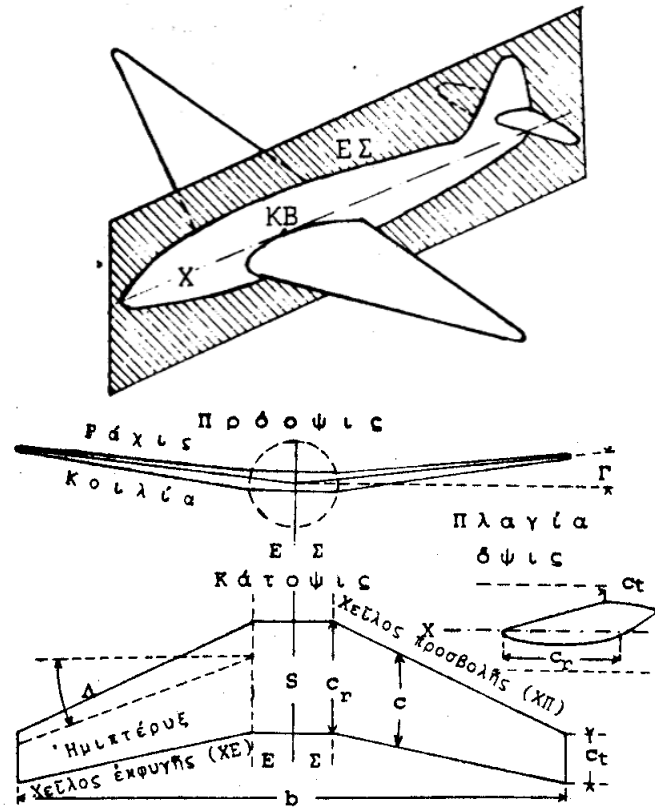
Ονοματολογία Αεροτομών... **Χείλος προσβολής** λέγεται το μπροστινό χείλος της πτέρυγας. Στα αεροπλάνα μικρών ταχυτήτων είναι σχεδόν στρογγυλεμένο. Όσο η ταχύτητα μεγαλώνει, τόσο το χείλος προσβολής λεπταίνει και τελικά γίνεται αιχμηρό. **Χείλος εκφυγής** λέγεται το πίσω χείλος της πτέρυγας, που κατασκευάζεται σε όλους τους τύπους των αεροπλάνων, αιχμηρό σαν κόψη μαχαιριού, γιατί από τη διαμόρφωσή του εξαρτιέται ο σχηματισμός δινών στο πίσω μέρος της πτέρυγας. **Χορδή** λέγεται η ευθεία που ενώνει το χείλος προσβολής με το χείλος εκφυγής της τομής μιας αεροτομής. Συνήθως βρίσκεται ολόκληρη μέσα στην αεροτομή. **Μέση γραμμή καμπυλότητας** λέγεται η γραμμή από το χείλος προσβολής προς το χείλος εκφυγής. Αυτή απέχει εξίσου από την πάνω και κάτω επιφάνεια της αεροτομής. **Καμπυλότητα** λέγεται η μεγαλύτερη δυνατή απόσταση της μέσης γραμμής καμπυλότητας από τη χορδή [Μόσχος Βασίλης 2012].



Σχηματική παράσταση αεροτομής [Μόσχος Βασίλης 2012].

3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΗΣ ΠΤΕΡΥΓΑΣ

Το (Σχ. 3.2.1) δείχνει το επίπεδο συμμετρίας (ΕΣ) που περιλαμβάνει το διαμήκη άξονα του αεροσκάφους και το διαιρεί σε δύο όμοια τμήματα. Στη πτέρυγα διακρίνουμε τη πάνω επιφάνεια ή ράχη και τη κάτω επιφάνεια ή κοιλία. Η πτέρυγα καθορίζεται από το μέγεθος και το σχήμα της (Σχ. 3.2.2). [Κανάκης Κ., 2012].



Σχήμα 3.2.1. Επίπεδο συμμετρίας Σχήμα 3.2.2. Γεωμετρία πτέρυγας [Κανάκης Κ., 2012].

Όσον αφορά το μέγεθος βασικά στοιχεία είναι τα παρακάτω:

- Εκπέτασμα b (άνοιγμα πτερύγων): η απόσταση κάθετα στο ΕΣ από το ένα άκρο της πτέρυγας στο άλλο
- Χορδή c . Το μήκος της χορδής συχνά μεταβάλλεται κατά μήκος του εκπετάσματος και τότε διακρίνουμε τη χορδή ρίζας c_r και τη χορδή άκρο πτερυγίου c_t .
- Πτερυγική επιφάνεια S : το εμβαδόν της προβολής της πτέρυγας σε επίπεδο κάθετο στο ΕΣ και παράλληλο με το διαμήκη άξονα. Τυχόν διακοπή της πτέρυγας από την άτρακτο αγνοείται και το τμήμα αυτό συνυπολογίζεται στη πτερυγική επιφάνεια. Ο λόγος W/S , όπου W είναι το βάρος του αεροσκάφους, ονομάζεται πτερυγικός φόρτος.

Όσον αφορά το σχήμα της πτέρυγας σε κάτοψη τα πιο βασικά χαρακτηριστικά είναι τα παρακάτω:

- Διάταμα AR (aspect ratio) : ο λόγος του τετραγώνου του εκπετάσματος ως προς τη πτερυγική επιφάνεια

Ειδικά για ορθογώνια πτέρυγα (με σταθερή χορδή c)

Το διάταμα εκφράζει το λόγο της μέσης χορδής της πτέρυγας ως προς το εκπέτασμα.

- Λόγος εκλέπτυνσης λ : ο λόγος της χορδής άκρο πτερυγίου προς τη χορδή ρίζας: $\lambda = ct / c^2$

- Γωνία βέλους $\Lambda c/4$: η γωνία μεταξύ ευθείας που απέχει από το ΧΠ $c/4$ και ευθείας κάθετης στο ΕΣ. Πτέρυγες με γωνία βέλους χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε αεροσκάφη υψηλών ταχυτήτων.

- Μέση αεροδυναμική χορδή: η χορδή μιας ισοδύναμης ορθογώνιας πτέρυγας που έχει τα ίδια αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, δηλαδή ίδια άντωση και ροπή πρόνευσης, και το ίδιο σημείο εφαρμογής της άντωσης με τη πραγματική πτέρυγα. Όσον αφορά το σχήμα της πτέρυγας σε πρόσθια όψη χαρακτηριστική είναι η:

- Δίεδρη γωνία Γ : η γωνία μεταξύ επιπέδου κάθετου στο ΕΣ και ευθείας που εκτείνεται κατά το ημικπέτασμα στο μέσο μεταξύ ράχης και κοιλίας της πτέρυγας.

Σε πλάγια όψη χαρακτηριστικές είναι οι:

- Γωνία πρόσπτωσης (ή σφήνωσης) i_w της πτέρυγας: η γωνία μεταξύ της χορδής της πτέρυγας στη ρίζα και του διαμήκους άξονα X του ανεμοπτέρου.

Αντίστοιχα ορίζεται η i_t για το οριζόντιο ουραίο πτέρωμα.

- Διαμήκης δίεδρη: η διαφορά μεταξύ των γωνιών πρόσπτωσης της πτέρυγας και του οριζόντιου ουραίου πτερώματος. [Κανάκης Κ., 2012].

3.3 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Κατά την κίνηση του αεροπλάνου στον αέρα δημιουργείται τριβή στις επιφάνειές του και επιπλέον μια αντίσταση στην κίνησή του, που οφείλεται στη δημιουργία πίσω του μιας τυρβώδους κίνησης του αέρα, ειδικότερα στα άκρα των πτερύγων, όπου το φαινόμενο σχετίζεται με την επαγωγική οπισθέλκουσα που είναι αισθητή στις υποηχητικές ταχύτητες. Το σύνολο των τριβών και των στροβιλισμών είναι η αιτία της αντίστασης του αέρα στην κίνηση του αεροπλάνου. Η συνιστώσα της αντίστασης κατά τη διεύθυνση της κίνησης και με αντίθετη φορά (δηλ. προς τα πίσω) λέγεται οπισθέλκουσα. Ένα μέρος της, που ονομάζεται ειδικότερα επαγωγική οπισθέλκουσα, οφείλεται στην οριζόντια (με φορά προς τα πίσω) συνιστώσα της άντωσης, η οποία δεν είναι κατακόρυφη αλλά κλίνει προς τα πίσω, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο αέρας πίσω από την πτέρυγα ωθείται λοξά προς τα κάτω.

Η επαγωγική οπισθέλκουσα μειώνεται όσο μεγαλύτερη γίνεται η μάζα του αέρα που ωθείται προς τα κάτω κατά την κίνηση της πτέρυγας και όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα της κίνησης αυτής. Είναι φανερό ότι για δεδομένη ταχύτητα η μάζα του αέρα που εκτοπίζεται προς τα κάτω είναι ανάλογη με το εκπέτασμα της πτέρυγας και για το λόγο αυτό τα αεροπλάνα μικρής ταχύτητας έχουν πτέρυγες με μεγάλο εκπέτασμα και μεγάλη αεροδυναμική λεπτότητα. Αντίθετα, επειδή η επαγωγική οπισθέλκουσα είναι ασήμαντη στις πολύ μεγάλες ταχύτητες, τα υπερηχητικά αεροπλάνα κατασκευάζονται με πτέρυγες σχετικά μικρού εκπετάσματος, που είναι απαραίτητες και λόγω των απαιτήσεων μικρής αεροτομής, ευελιξίας και ανθεκτικότητας.

Αεροδυναμική λεπτότητα είναι ο λόγος του τετραγώνου του εκπετάσματος της πτέρυγας προς την επιφάνειά της.

Για τους παραπάνω λόγους γίνεται πλατιά χρήση της πτέρυγας δέλτα στα υπερηχητικά αεροπλάνα, που, εκτός από το μικρό εκπέτασμα και τη μεγάλη πτερυγική επιφάνεια (που δίνουν ιδιαίτερα μικρή αεροδυναμική λεπτότητα), χαρακτηρίζονται από ελάχιστη οπισθέλκουσα κατά την υπερηχητική πτήση και επομένως βελτιωμένη επιτάχυνση, ενώ παρέχει και τα πλεονέκτηματα της συμπαγέστερης και ισχυρότερης δομής του σκάφους, μικρότερο βάρος σχετικά με την επιφάνεια, μεγαλύτερη χωρητικότητα καυσίμου, περισσότερες θέσεις για εξωτερικά φορτία και μικρότερο ίχνος ραντάρ.

Στην αεροδυναμική συμπεριφορά του αεροπλάνου μεγάλη σημασία έχουν και οι αλληλεπιδράσεις των διάφορων επιφανειών του, λόγω της ιδιαίτερης διαμόρφωσης απ' αυτές της ροής του αέρα. Ειδικότερα, η αμοιβαία θέση των πτερύγων και των οριζόντιων σταθερών του ουραίου τμήματος, μπορεί να επηρεάζει δυσμενώς τη λειτουργία των τελευταίων. Για το λόγο αυτό τα οριζόντια σταθερά σε πολλά αεροπλάνα τοποθετούνται στη βάση του κατακόρυφου σταθερού, ψηλότερα ακόμη ή και στην κορυφή του.

Για την ομαλή ροή του αέρα, βασικής σημασίας είναι ο τρόπος της σύνδεσης ατράκτου και πτερύγων εξωτερικά, καθώς και το σχήμα της ατράκτου πίσω από τα χείλη προσβολής, όπου συχνά στενεύει χαρακτηριστικά και κατόπι γίνεται πάλι φαρδύτερη, όπως συμβαίνει στα μαχητικά **Εικόνα 3.3.1 "Νόρθροπ F - 5 E Tiger"**, στη σειρά των δελταπτερύγων "Μιράζ" και στο "Ραφάλ".



Εικόνα 3.3.1 Northrop F5 Tiger

Σε ορισμένα αεροπλάνα υψηλών επιδόσεων δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός της ατράκτου με την πτέρυγα, αλλά η πάνω εξωτερική επιφάνεια στην περιοχή της σύνδεσης έχει καμπύλη διατομή.

Η διαμόρφωση αυτή συναντάται ήδη στο στρατηγικό αναγνωριστικό **Εικόνα 3.3.2 "Λόκχιντ SR - 71 Blackbird"**, του οποίου ο σχεδιασμός ανάγεται στη δεκαετία του 60, στο μαχητικό F - 16, της ΤζένεραλΝταϊνάμικς και στο νέο αμερικανικό στρατηγικό βομβαρδιστικό Rockwell B - 1B.



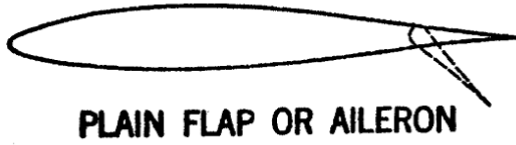
Εικόνα 3.3.2 Λόκχιντ SR - 71 Blackbird

Μια καινοτομία στη διαμόρφωση της πτέρυγας είναι τα ανασηκωμένα ακροπτερύγια, ή οι φράχτες των ακροπτερυγίων, που επιτελούν την ίδια λειτουργία και προκαλούν μείωση της οπισθέλκουσας μέχρι 6%. Ιδιαίτερα μεγάλη είναι η βελτίωση που επέρχεται με τη μέθοδο αυτή της κατασκευής σε αεροπλάνα των οποίων ο πτερυγικός φόρτος κατανέμεται μέχρι και τα ακροπτερύγια. Τέτοια ήταν για παράδειγμα τα πολιτικά αεριωθούμενα της πρώτης γενιάς και πολλά απ' αυτά ενδέχεται να τροποποιηθούν για τη σχετικά εύκολη αυτή βελτίωση των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών τους, στις περιπτώσεις τουλάχιστο που η προσθήκη φραχτών στα ακροπτερύγια δε δημιουργεί σοβαρά προβλήματα καταπόνησης της βάσης της πτέρυγας, εξαιτίας της αύξησης της άντωσης στα ακραία πτερυγικά τμήματα και της καμπτικής ροπής που ασκείται στην κύρια δομή της πτέρυγας.

Με τα ανασηκωμένα ακροπτερύγια, που εφαρμόστηκαν σε αρκετούς τύπους σχετικά μικρών αεροπλάνων επιχειρήσεων (executive), αλλά δοκιμάζονται και σε μεγάλα μεταγωγικά, καθώς και με τους φράχτες ακροπτερυγίων που τοποθετήθηκαν σε μικρότερα πολιτικά αεριωθούμενα, όπως και σε μεγάλα επιβατικά αεροπλάνα ("Ερμπάς A 310 - 300), αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της επαγωγικής οπισθέλκουσας που δημιουργείται εξαιτίας των μεγάλων στροβίλων στα άκρα της πτέρυγας, των οποίων η γένεση οφείλεται στη διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο πτερυγικές επιφάνειες και την κατά συνέπεια γύρω από το ακροπτερύγιο ολίσθηση του μεγαλύτερης πίεσης αέρα της κάτω επιφάνειας προς τη μικρότερης πίεσης επάνω. Αυτό ακριβώς το ρεύμα που ανεβαίνει και μετατοπίζεται προς τα πίσω δημιουργεί τους ανεπιθύμητους στροβιλισμούς, που εμποδίζονται από μια κάθετη επιφάνεια στο άκρο της πτέρυγας.

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, με τους φράχτες των ακροπτερυγίων στα "Ερμπάς" επιτυγχάνεται οικονομία της τάξης του 1,5%. Για τη διατήρηση του αεροπλάνου σε οριζόντια πτήση πρέπει να αντισταθμιστεί η οπισθέλκουσα, ενώ κατά την ανοδική πορεία πρέπει να εξουδετερωθεί επίσης η αντίθετη με την κατεύθυνσή της συνιστώσα του βάρους του. Κατά την καθοδική πτήση αντίθετα, η συνιστώσα του βάρους έχει αντίθετη φορά με την οπισθέλκουσα και υποβοηθεί την προώθηση του αεροπλάνου. Για την ομαλή, μη επιταχυνόμενη, πτήση πρέπει σε κάθε στιγμή να εξισορροπούνται αμοιβαία το βάρος του αεροπλάνου, η άντωση, η οπισθέλκουσα και η προωθητική δύναμη των κινητήρων του. Είναι αυτονόητο ότι για την επίτευξη επιταχυνόμενης κίνησης πρέπει κατά την οριζόντια πτήση να είναι η προωθητική δύναμη των κινητήρων μεγαλύτερη από την οπισθέλκουσα, κατά την ανοδική πτήση να είναι η προώθηση μεγαλύτερη από το άθροισμα της οπισθέλκουσας και της κατά τη διεύθυνσή της συνιστώσας του βάρους του αεροπλάνου, ενώ κατά την καθοδική να είναι μεγαλύτερο από την οπισθέλκουσα το άθροισμα της προωθητικής δύναμης και της κατά τη διεύθυνσή της συνιστώσας του βάρους του.

3.4 ΕΙΔΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ



Απλά πτερύγια καμπυλότητας



Σχιστά πτερύγια καμπυλότητας



Πτερύγια καμπυλότητας με σχισμή



Πτερύγια καμπυλότητας τύπου Fowler



Σχισμές χείλους προσβολής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο (ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ)

Για να γίνει η σχεδίαση της πτέρυγας αεροπλάνου είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι πλευρές της και οι κλίσεις της. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια συγκεκριμένων μαθηματικών μοντέλων

4.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Ένα αεροσκάφος έχει επιφάνεια πτερυγών (wing area) = 20 m², διάταμα (aspect ratio) AR=8, και λόγο εκλέπτυνσης (taper ratio) λ=0.6. Υπολογίζεται ότι το 50% της γωνίας βέλους της γραμμής χορδής (50% chord line sweep angle) είναι 30°. Υπολογίστε τη χορδή ακροπτερυγίου (tip chord), τη χορδή ρίζας (root chord), τη μέση αεροδυναμική χορδή (mean aerodynamic chord), το εκπέτασμα (span), το δραστικό εκπέτασμα (effective span), καθώς επίσης και τη γωνία βέλους του χείλους προσβολής (leading edge sweep), τη γωνία βέλους του χείλους εκφυγής (trailing edge sweep), και τη γωνία βέλους του τέταρτου της χορδής (quarter chord sweep angles) [Sadraey M., 2013].

Λύση:

Για τον προσδιορισμό των αγνώστων μεταβλητών χρησιμοποιούμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$AR = \frac{b^2}{S} \Rightarrow b = \sqrt{S * AR} = \sqrt{20 * 8} \Rightarrow b = 12.65 \text{ m}$$

$$AR = \frac{b}{\bar{C}} \Rightarrow \bar{C} = \frac{b}{AR} = \frac{12.65}{8} \Rightarrow \bar{C} = 1.58 \text{ m}$$

$$\bar{C} = \frac{2}{3} C_r \left(\frac{1 + \lambda + \lambda^2}{1 + \lambda} \right) \Rightarrow 1.58 = \frac{2}{3} C_r \left(\frac{1 + 0.6 + 0.6^2}{1 + 0.6} \right) \Rightarrow C_r = 1.936 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{C_t}{C_r} \Rightarrow 0.6 = \frac{C_t}{1.935} \Rightarrow C_t = 1.161 \text{ m}$$

Από τη στιγμή που το 50% της γωνίας βέλους της γραμμής χορδής είναι 30° ($\Lambda C/2 = 30 \text{ deg}$), το χείλος προσβολής, το χείλος εκφυγής, και η γωνία βέλους του τέταρτου της χορδής υπολογίζονται από το νόμο του τριγώνου (βλέπε εικόνα 5.45). Όμως πρώτα απαιτείται ο υπολογισμός κάποιων παραμέτρων.

Στο ορθογώνιο τρίγωνο CIF που περιέχει το 50% της γωνίας βέλους της γραμμής χορδής ($\Lambda C/2$), μπορούμε να γράψουμε:

$$\sin(\Lambda C/2) = \frac{FI}{b/2} \Rightarrow FI = \frac{12.65}{2} \sin(30) = \mathbf{3.1625 \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} (CI)^2 + (FI)^2 &= (CF)^2 \Rightarrow CI = \sqrt{(CF)^2 - (FI)^2} \Rightarrow \frac{beff}{2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{12.65}{2}\right)^2 - 3.1625^2} \Rightarrow \mathbf{beff = 10.955 \text{ m}} \end{aligned}$$

Ως εκ τούτου, το δραστικό εκπέτασμα είναι μικρότερο από το κανονικό εκπέτασμα. Συνεπώς, το δραστικό διάταμα μειώνεται και γίνεται ίσο με:

$$A_{Reff} = \frac{beff^2}{S} = \frac{10.955^2}{20} \Rightarrow A_{Reff} = 6$$

Σημειώνεται ότι το διάταμα AR έχει μειωθεί από 8 σε 6. Η απόσταση IH ισούται με:

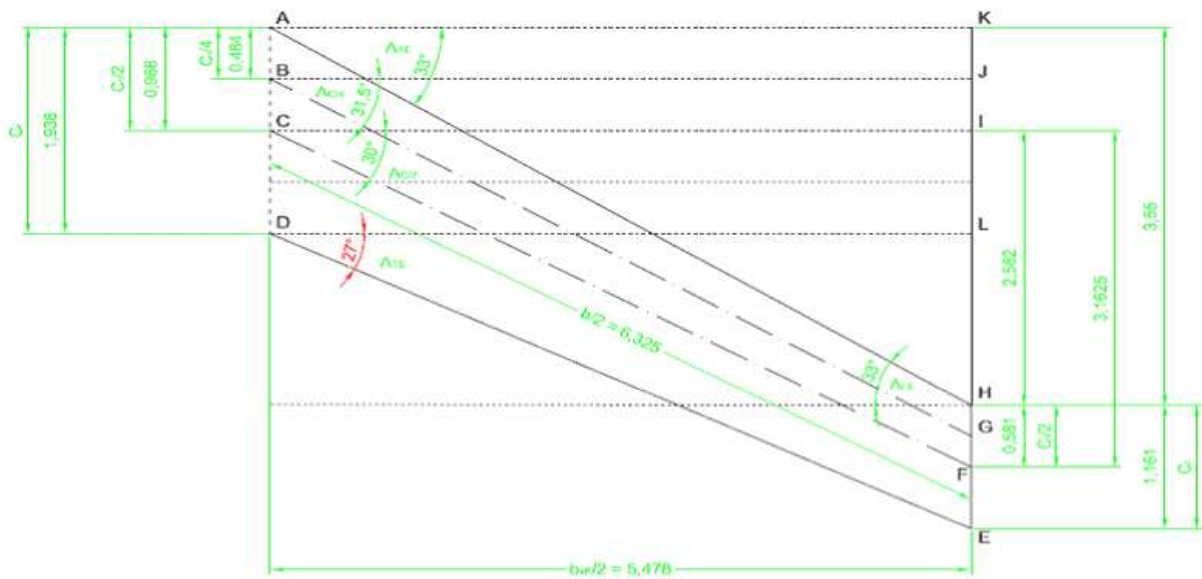
$$IH = FI - \frac{C_t}{2} = 3.1625 - \frac{1.161}{2} = \mathbf{2.582 \text{ m}}$$

Στο ορθογώνιο τρίγωνο AKH το οποίο περιέχει τη γωνία βέλους του χείλους προσβολής (Λ_{LE}), έχουμε:

$$\tan(\Lambda_{LE}) = \frac{KH}{AK} = \frac{KI + IH}{\frac{b_{eff}}{2}} = \frac{\frac{Cr}{2} + 2.582}{\frac{10.955}{2}} = \frac{\frac{1.936}{2} + 2.582}{\frac{10.955}{2}} = 0.648$$

$$\Rightarrow \Lambda_{LE} = 33 \text{ deg}$$

(πρόσθια γωνία βέλους).



Σχήμα 4.1. Κάτοψη της δεξιάς πτέρυγας του παραδείγματος [Sadraey M., 2013].

Στο ορθογώνιο τρίγωνο GJB το οποίο περιέχει τη γωνία βέλους του τέταρτου της χορδής ($\Lambda_{C/4}$), έχουμε:

$$\begin{aligned} \tan\left(\Lambda_{C/4}\right) &= \frac{GJ}{BJ} = \frac{GH + JH}{\frac{beff}{2}} = \frac{\frac{Cr}{4} + KH - KJ}{\frac{beff}{2}} = \frac{\frac{Cr}{4} + (KI + IH) - KJ}{\frac{beff}{2}} \\ &= \frac{\frac{Cr}{4} + \left(\frac{Cr}{2} + 2.582\right) - \frac{Cr}{4}}{\frac{beff}{2}} = \frac{\frac{1.161}{4} + \left(\frac{1.936}{2} + 2.582\right) - \frac{1.936}{4}}{\frac{10.955}{2}} \\ &\Rightarrow \Lambda_{C/4} = \mathbf{31.5 \text{ deg}} \end{aligned}$$

(οπίσθια γωνία βέλους).

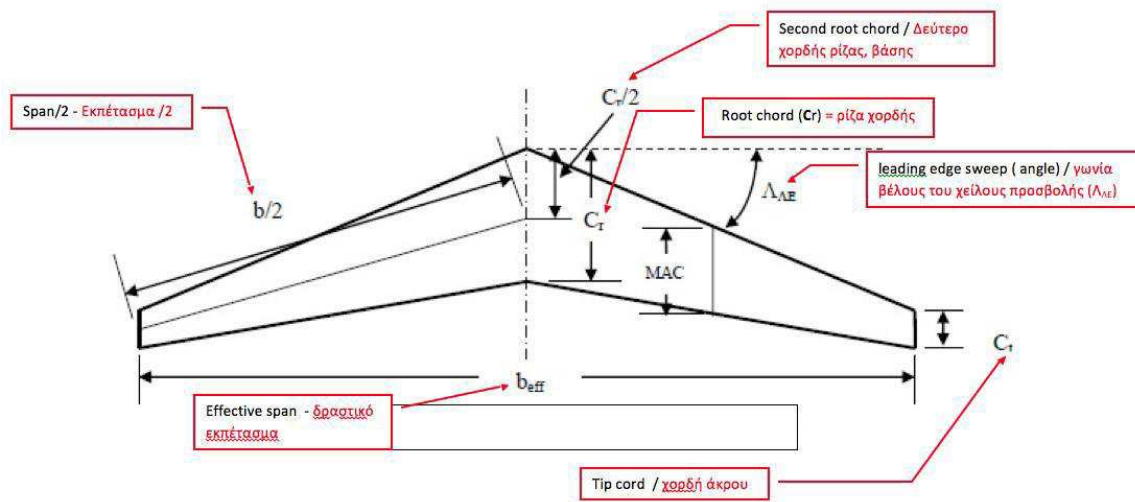
Αυτό αποκαλύπτει ότι οι γωνίες βέλους του χείλους προσβολής και του τέταρτου της χορδής είναι μεγαλύτερες από το 50% της γωνίας βέλους της γραμμής χορδής.

Τελικά, στο ορθογώνιο τρίγωνο DLE το οποίο περιέχει τη γωνία βέλους του χείλους εκφυγής (Λ_{TE}), έχουμε

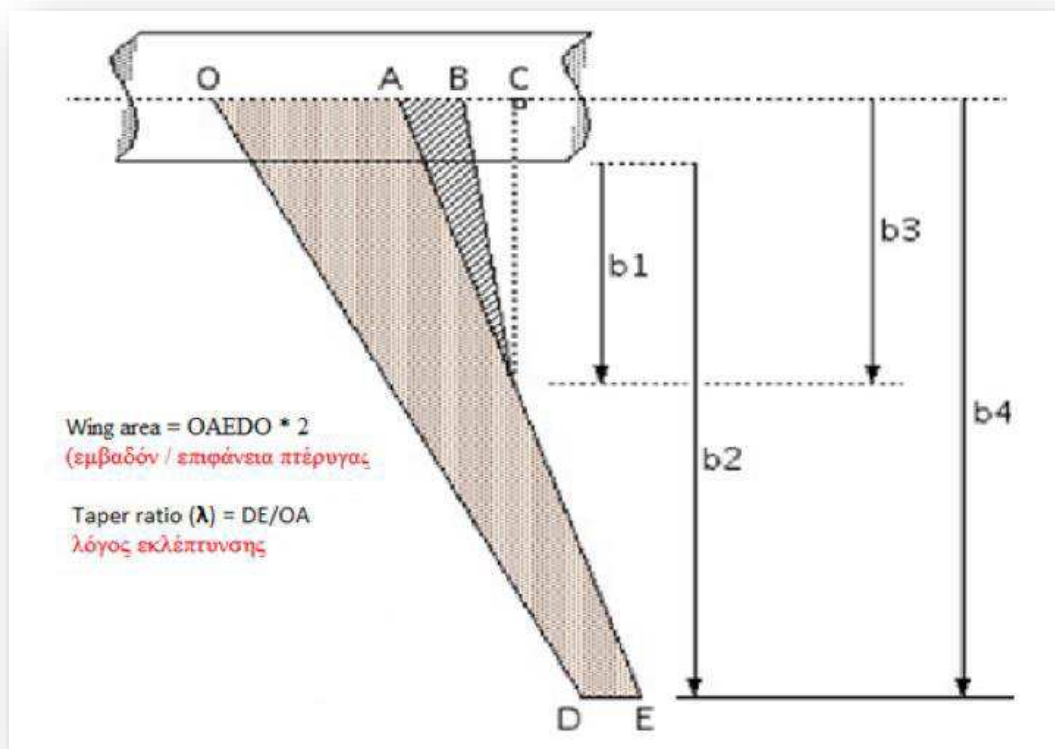
$$\begin{aligned} \tan(\Lambda_{TE}) &= \frac{EL}{LD} = \frac{EK - KL}{\frac{beff}{2}} = \frac{EK - Cr}{\frac{beff}{2}} = \frac{\frac{Ct}{2} + KH - Cr}{\frac{beff}{2}} \\ &= \frac{\frac{Ct}{2} + \left(\frac{Cr}{2} + 2.582\right) - Cr}{\frac{beff}{2}} = \frac{0.581 + (2.582) - 1.161}{5.488} = 0.541 \\ &\Rightarrow \Lambda_{TE} \simeq \mathbf{27 \text{ deg (aft sweep)}} \end{aligned}$$

Η γωνία βέλους του χείλους εκφυγής είναι σημαντικά μικρότερη από το 50% της γωνίας βέλους της γραμμής χορδής [Sadraey M., 2013].

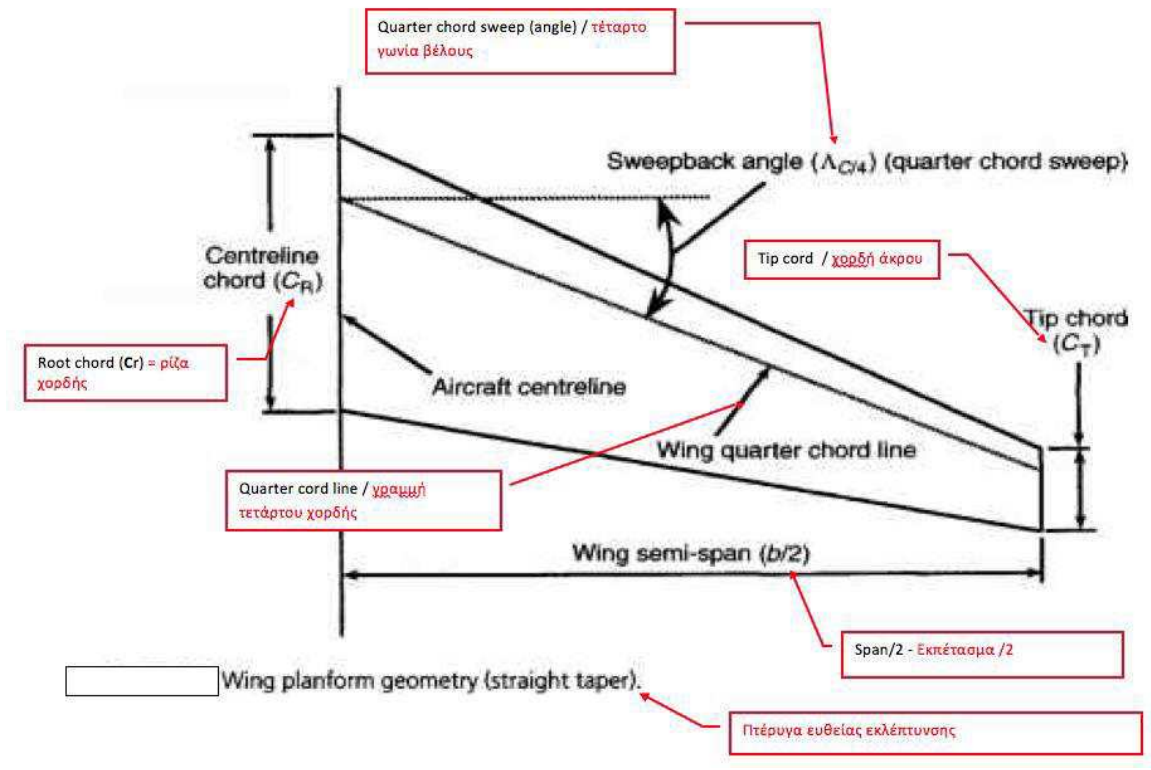
4.2 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ



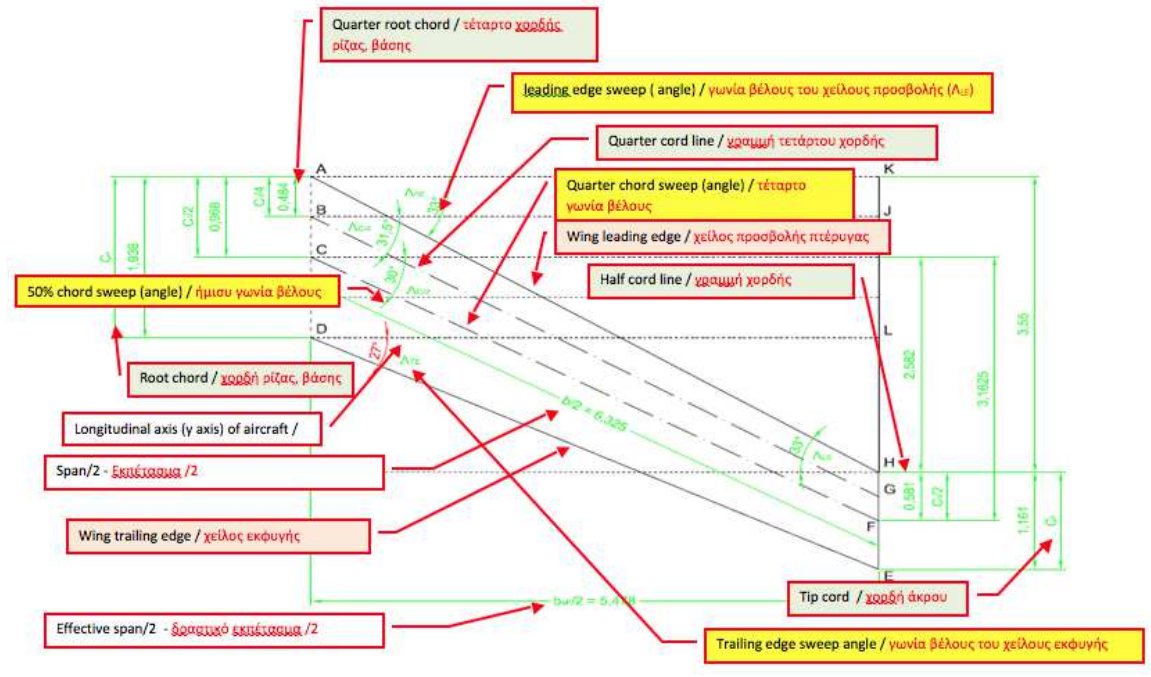
Σχήμα 6. Ονομασίες κάτοψης φτερού αεροπλάνου [Sadraey M., 2013].



Σχήμα 7. Αποστάσεις της πτέρυγας από την άτρακτο [Sadraey M., 2013].



Σχήμα 8. Γεωμετρικό σχέδιο φτερού [Sadraey M., 2013].

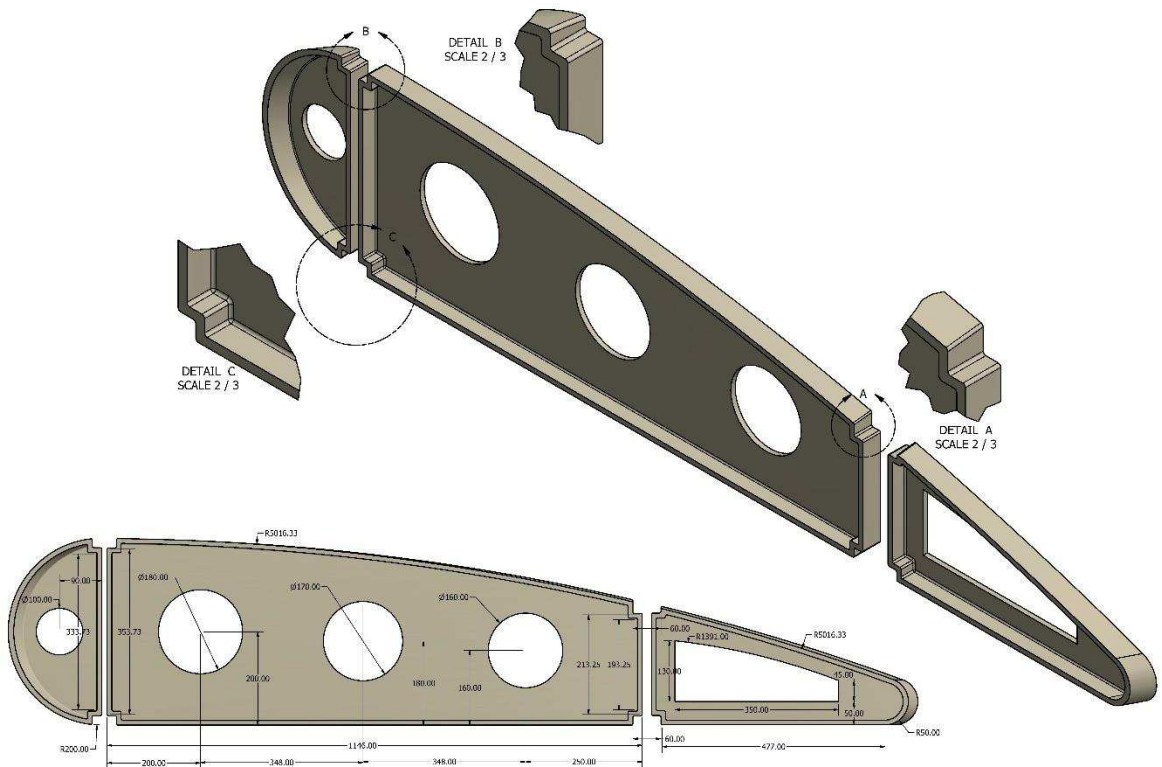


Σχήμα 9. Ονομασίες κάτοψης της δεξιάς πτέρυγας του παραδείγματος [Sadraey M., 2013].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο (ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ INVENTOR)

5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ (INVENTOR).

Η σχεδίαση της πτέρυγας αεροπλάνου έγινε με την χρήση του προγράμματος **Inventor** της Autodesk. Το πρόγραμμα αυτό σου δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού όλης της κατασκευής σε συμπαγή μορφή (**solid**) και την παρουσίαση του δημιουργώντας μηχανολογικά σχέδια. Αρχικά σχεδιάστηκαν τα Νεύρα (**Ribs**) της πτέρυγας με πειραματικές διαστάσεις (Εικ. 5) και με βάση τα νεύρα σχεδιάστηκαν η Εμπρόσθια και Οπίσθια Δοκός (**Front and Rear Spar**), η Εξωτερική Επιφάνεια (**Skin**) της πτέρυγας που την περιβάλλει και το **Wing Box**.



Εικόνα 5. Πειραματικές διαστάσεις νεύρου (Rib).

5.1 RIBS (NEYPA)

Τα νεύρα (**Ribs**) βρίσκονται στην πτέρυγα ενός αεροπλάνου και αποτελούν τον σκελετό του. Αρχικά είναι το νεύρο που εφάπτεται με την άτρακτο και σταδιακά μικραίνουν – έχοντας την ίδια κλίση – μέχρι και το τελευταίο που κλείνει η εξωτερική επιφάνεια (**Skin**) του αεροπλάνου [περιβεβλημένο άκρο πτερυγίου (**Shrouded Blade Tip**)].

Για τον σχεδιασμό των νEURων (**Ribs**), χρησιμοποιήθηκαν οι πειραματικές διαστάσεις. Αρχικά σχεδιάστηκαν το μεγαλύτερο και το μικρότερο νεύρο (**Rib**). Στη συνέχεια με την εντολή Loft του προγράμματος, δημιουργήθηκε η συμπαγή (**Solid**) μορφή της πτέρυγας με βάση τα νεύρα (**Ribs**), ενώνοντας τα δύο σχέδια. Για την δημιουργία των υπόλοιπων νEURων (**Ribs**) χρησιμοποιήθηκε η εντολή Extrude Cut. Η εντολή αυτή κόβει αναλόγως την επιθυμία του σχεδιαστή το υπάρχων σχέδιο σε κομμάτια. Έτσι κόβοντας κατασκευάστηκαν τα υπόλοιπα νεύρα (**Ribs**), έχοντας όλα την ίδια κλίση.

Στη συνέχεια, έγινε η διαμόρφωση των νEURων (**Ribs**) στο επιθυμητό σχήμα. Το κάθε νεύρο (**Rib**) έχει τρία μέρη που ενώνονται μεταξύ τους με την εμπρόσθια και οπίσθια δοκό (**Front and Rear Spar**). Σχεδιάζοντας στα νεύρα (**Ribs**) τα σημεία ένωσης, με την εντολή Loft Cut χωρίζεται σε τρία κομμάτια. Στα σημεία που θα περνάνε οι δοκοί δημιουργήθηκαν τρύπες (σπείρωμα) πάνω στα νεύρα (**Ribs**) για την ένωση τους με τους δοκούς με βίδες εξάγωνες. Επίσης δημιουργήθηκαν μεγάλες τρύπες πάνω στην επιφάνεια των νEURων (**Ribs**) για να είναι πιο ελαφρύ το κάθε νεύρο (**Rib**).

Τέλος, με την εντολή Filet του προγράμματος σχεδιάστηκαν όλα τα ράδια των νEURων (**Ribs**).

5.2 ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΚΑΙ ΟΠΙΣΘΙΑ ΔΟΚΟΣ (FRONT AND REAR SPAR)

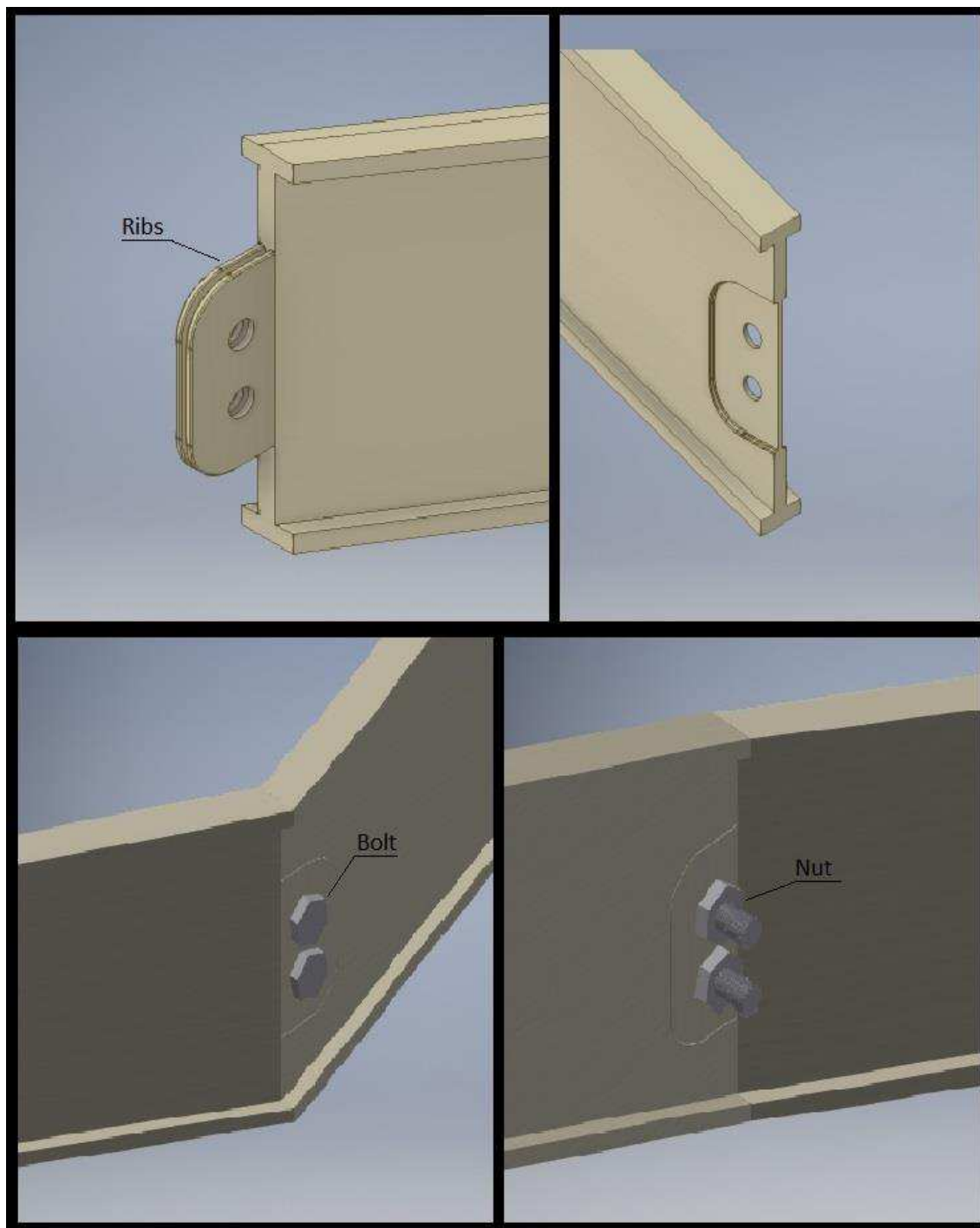
Η εμπρόσθια και οπίσθια δοκός (**Front and Rear Spar**) είναι τα κομμάτια της πτέρυγας τα οποία περνάνε ανάμεσα από τα νεύρα (**Ribs**) και τα ενώνουν μεταξύ τους.

Για τον σχεδιασμό των δοκών είναι απαραίτητο να είναι γνωστές οι διαστάσεις της αρχής και του τέλους της κάθε δοκού. Χρησιμοποιώντας την εντολή Loft δημιουργείται το συμπαγές σχήμα των δοκών.

Για να γίνει η συνδεσμολογία τους με τα νεύρα (**Ribs**) δημιουργήθηκαν τρύπες (σπείρωμα). Μέσα από αυτές τις τρύπες (σπείρωμα) θα περάσουν οι εξάγωνες βίδες (**Bolts**) και θα βιδωθούν με τα παξιμάδια (**Nuts**).

Έπειτα, κατασκευάστηκαν δύο νεύρα σε κάθε δοκό με δύο τρύπες (σπείρωμα), ώστε να ενωθούν με τους δύο δοκούς που βρίσκονται στο Wing Box (**Front and Rear Spar Extension for Wing Box**). Για την κατασκευή των νεύρων πάνω στους δοκούς (**Front and Rear Spar**) χρειάζεται τα κομμάτια να υποστούν συγκόλληση μεταξύ τους. Στους δοκούς αυτούς (**Front and Rear Spar Extension for Wing Box**) αφαιρέθηκε υλικό και έχουν γίνει δύο τρύπες (σπείρωμα) για να γίνει η σύνδεση μεταξύ των δοκών συρταρωτά καθώς και με βίδες εξάγωνες (**Bolts**) για να βιδωθούν με τα παξιμάδια (**Nuts**) (Εικ. 6).

Τέλος, με την εντολή Filet του προγράμματος σχεδιάστηκαν όλα τα ράδια των νεύρων (**Ribs**).



Εικόνα 6. Σύνδεση των δοκών

5.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ (SKIN)

Η εξωτερική επιφάνεια της πτέρυγας (**Skin**) είναι το περίβλημα που καλύπτει όλη την πτέρυγα του αεροπλάνου.

Η κατασκευή του γίνεται με τον ίδιο τρόπο κατασκευής των νεύρων (**Ribs**). Αρχικά φτιάχνεται το συμπαγές (**Solid**) κομμάτι. Οι διαστάσεις του πρέπει να είναι παραπάνω (περιμετρικά) από τα νεύρα (**Ribs**), στο επιθυμητό πάχος. Στη συνέχεια δημιουργείται το περιβεβλημένο άκρο πτερυγίου (**Shrouded Blade Tip**).

Για την ολοκλήρωση της επιφάνειας της πτέρυγας, με την εντολή του προγράμματος Shell, αφαιρούμε το εσωτερικό του συμπαγή (**Solid**) μέρος δημιουργώντας ένα κέλυφος με το επιθυμητό πάχος. Έτσι κατασκευάζεται η επιφάνεια της πτέρυγας στην οποία θα συναρμολογηθούν τα κομμάτια της εσωτερικά.

5.4 WING BOX

Το **Wing Box** είναι ένα δομικό εξάρτημα σε ένα αεροσκάφος που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει υποστήριξη και ακαμψία με τα φτερά. Σχέδια ποικίλλουν, ανάλογα με το μέγεθος και τη λειτουργία του αεροσκάφους, αλλά γενικά αυτό είναι το ισχυρότερο τμήμα της ατράκτου και μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά υποστηρικτικών δοκών, καθώς και θάλαμοι για την απομόνωση των επιπτώσεων. Συνήθως, το εξάρτημα αυτό δεν είναι άμεσα ορατό, παρόλο που οι άνθρωποι μπορούν να υποθέσουν ότι βρίσκεται μεταξύ της ρίζας της πτέρυγας (**Wing Root**), στα εξαρτήματα του αεροπλάνου όπου προσκολλάται η πτέρυγα [Mary McMahon, 2015].

6 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

Μετά τον σχεδιασμό της πτέρυγας αεροπλάνου σε συμπαγή μορφή, γίνεται η αναλυτική παρουσίαση της μέσα από 57 Μηχανολογικά Σχέδια. Στα μηχανολογικά σχέδια αναφέρεται το κάθε εξάρτημα ξεχωριστά αλλά και συναρμολογημένα μεταξύ τους με όλες τις διαστάσεις τους.

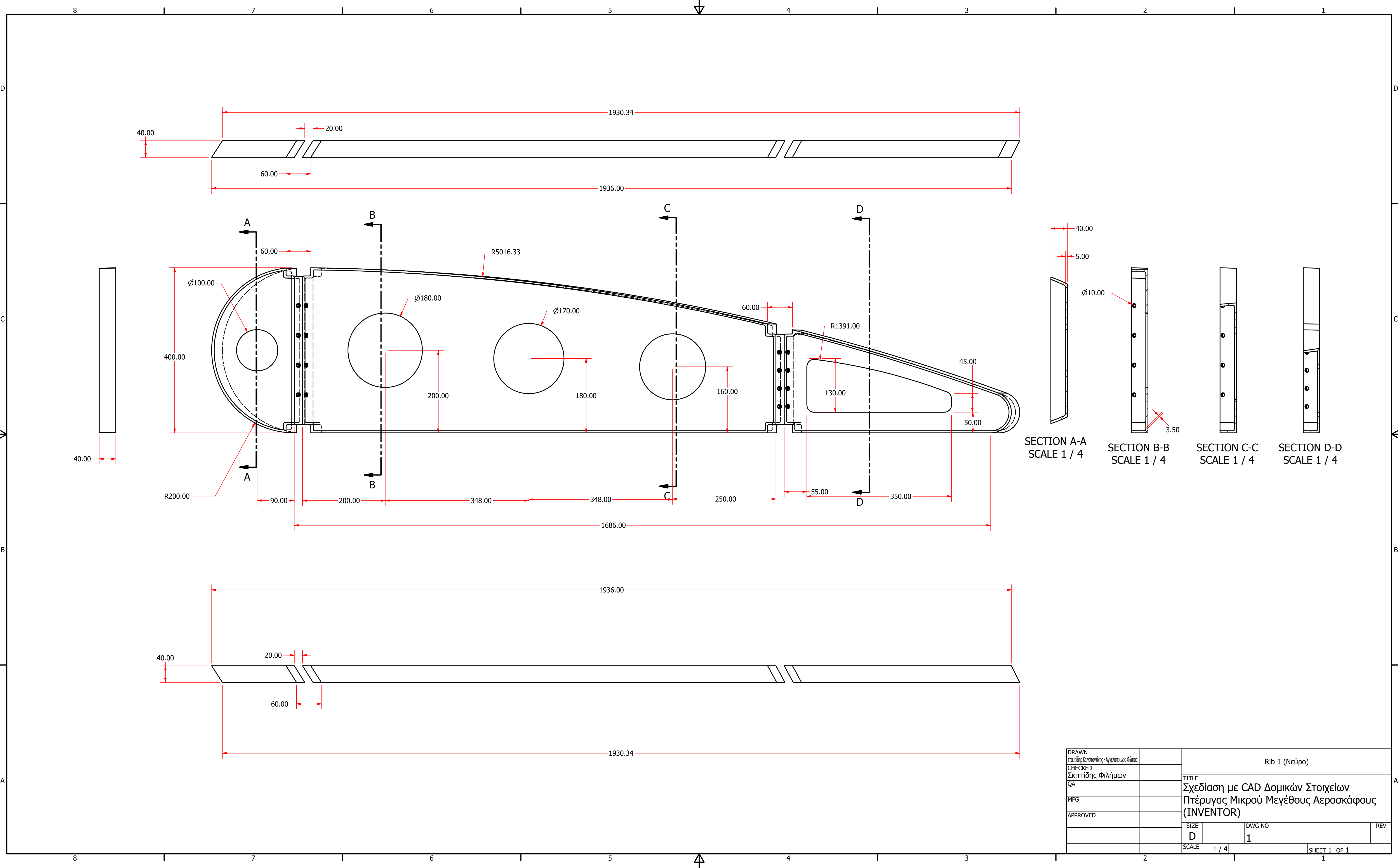
Αρχικά, παρουσιάζεται το κάθε νεύρο ξεχωριστά. Πρώτα σε μορφή μηχανολογικού σχεδίου αλλά και στην συμπαγή μορφή του ακόμα και όλα τα νεύρα μαζί. Στη συνέχεια φαίνεται η εμπρόσθια και οπίσθια δοκός και σε μηχανολογικό σχέδιο και σε συμπαγή μορφή.

Στο τέλος, παρουσιάζεται όλη η κατασκευαστική συνδεσμολογία της πτέρυγας του αεροπλάνου με όλες τις λεπτομέρειες. Επίσης πέρα από την δεξιά πτέρυγα του αεροπλάνου, γίνεται η συνδεσμολογία της δεξιάς και της αριστερής πτέρυγας, δημιουργώντας όλο το φτερό του.

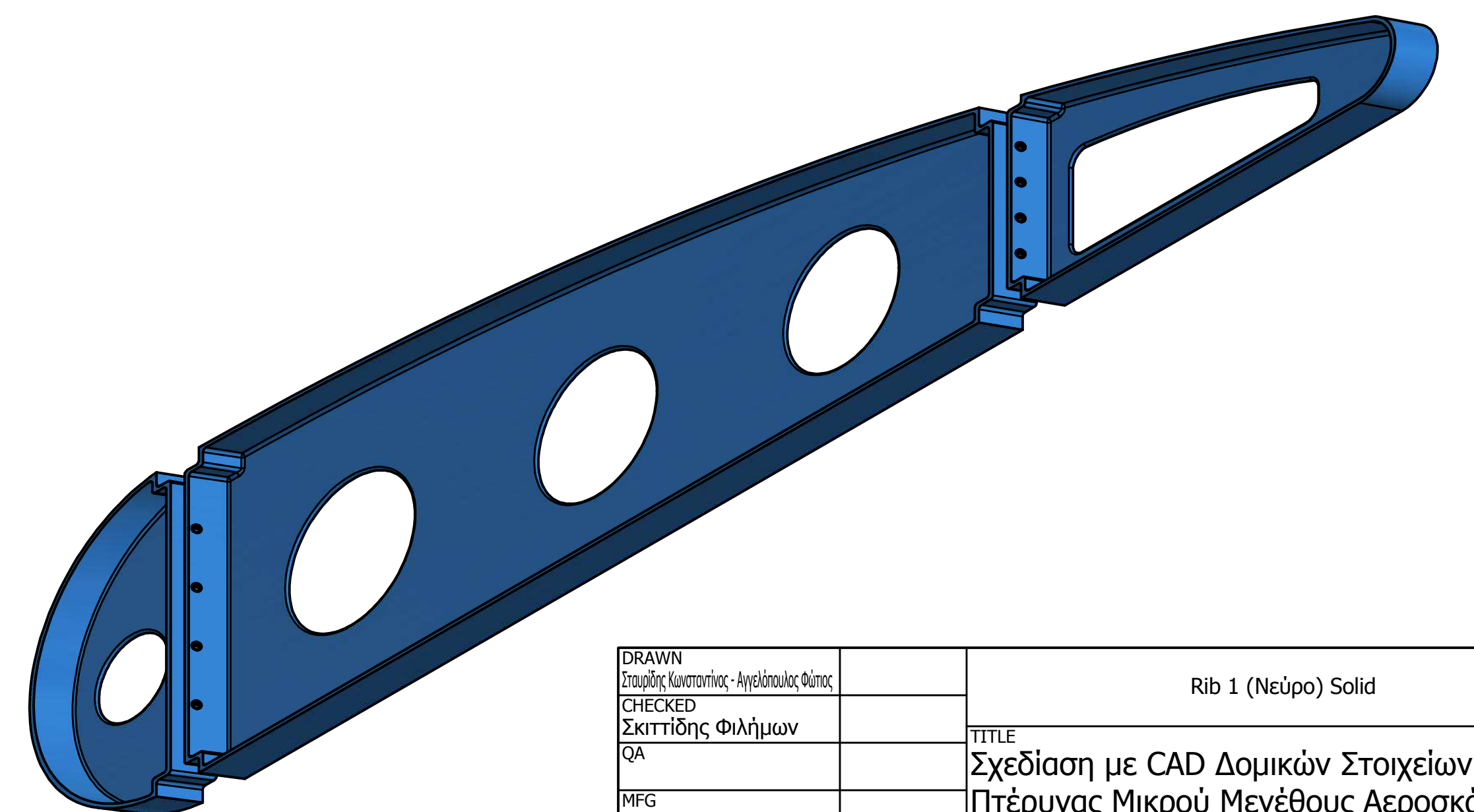
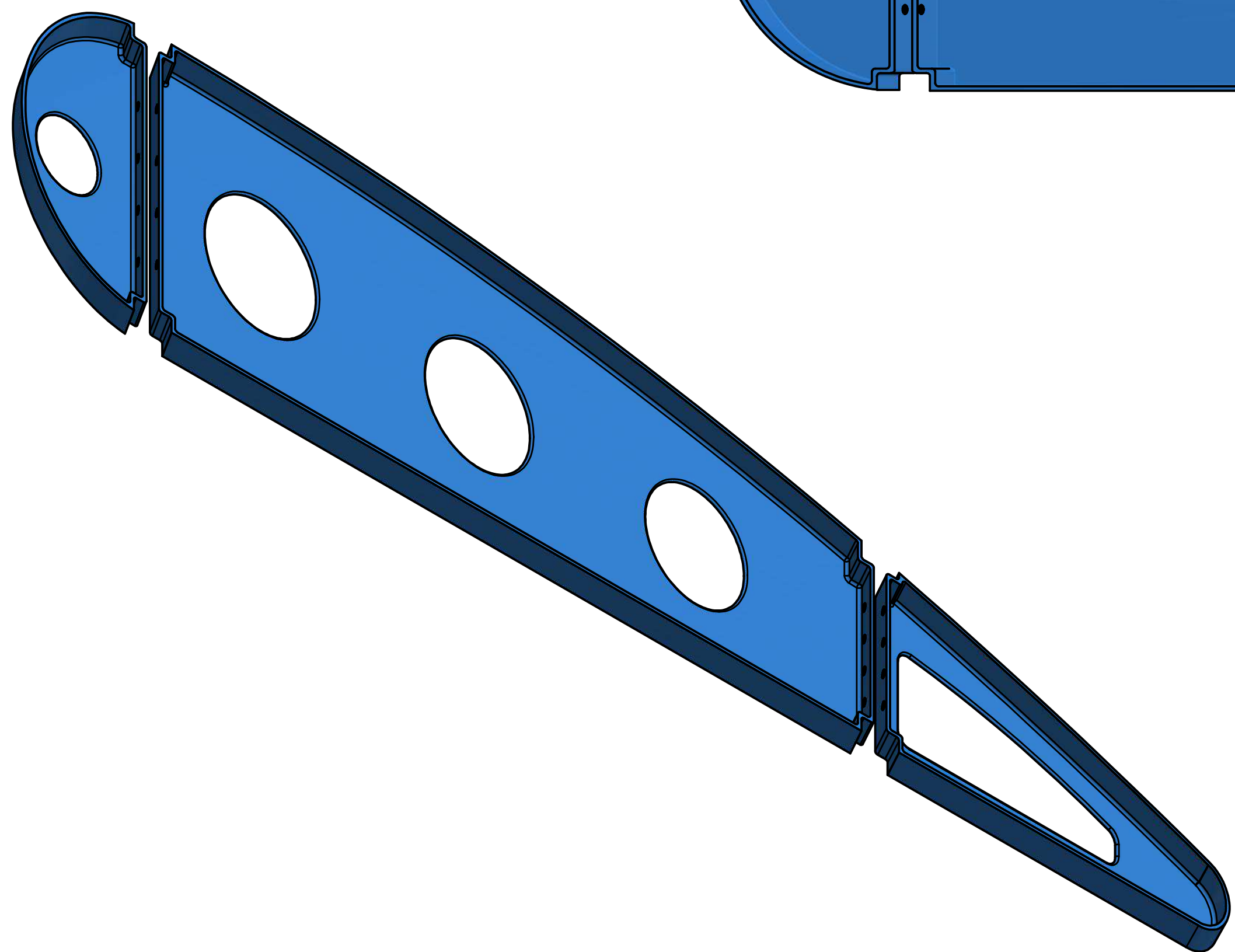
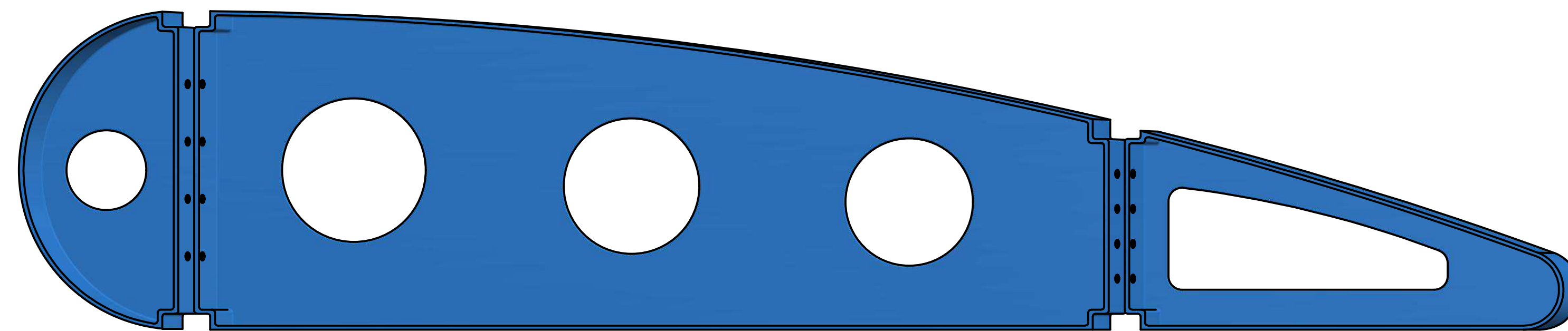
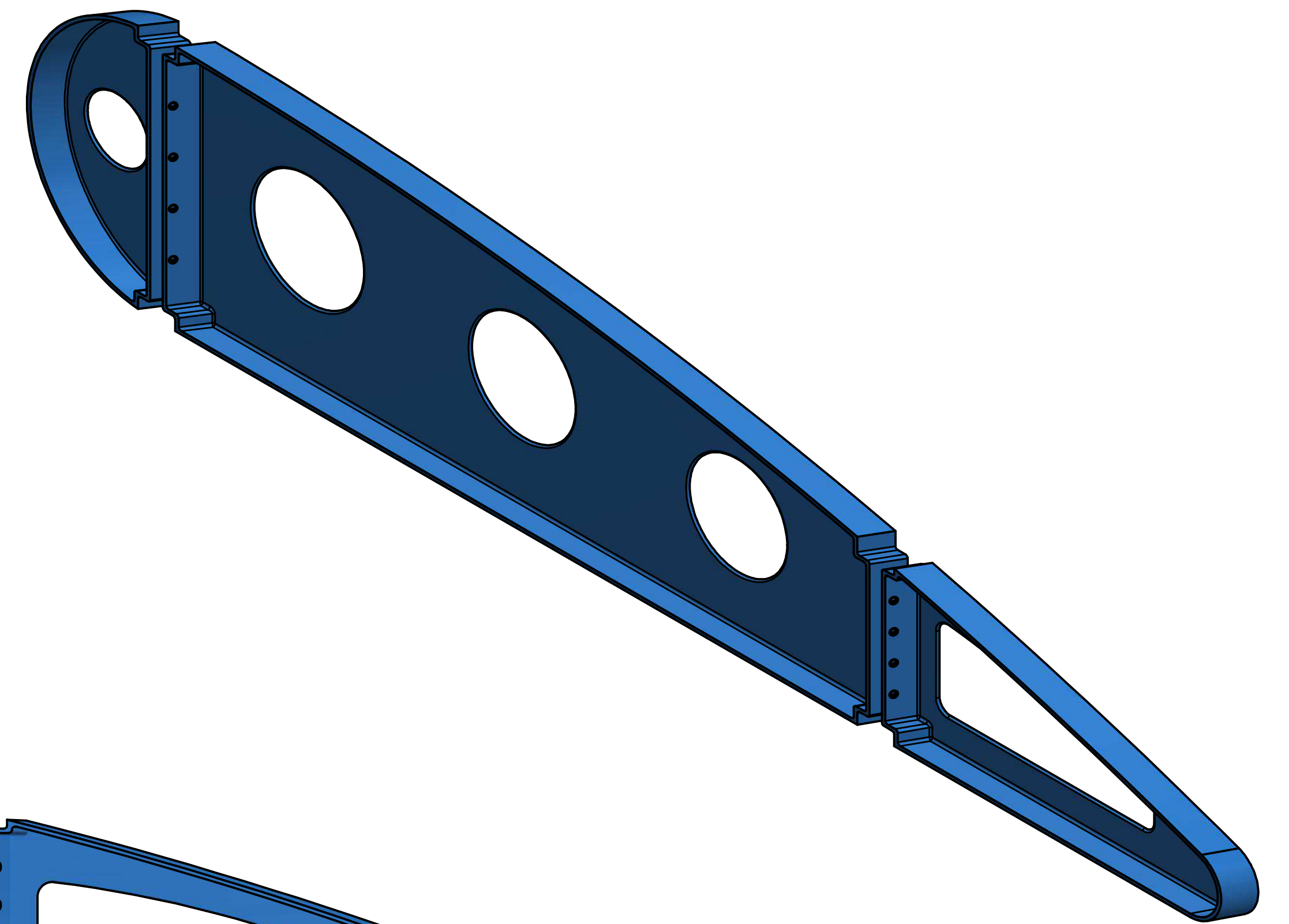
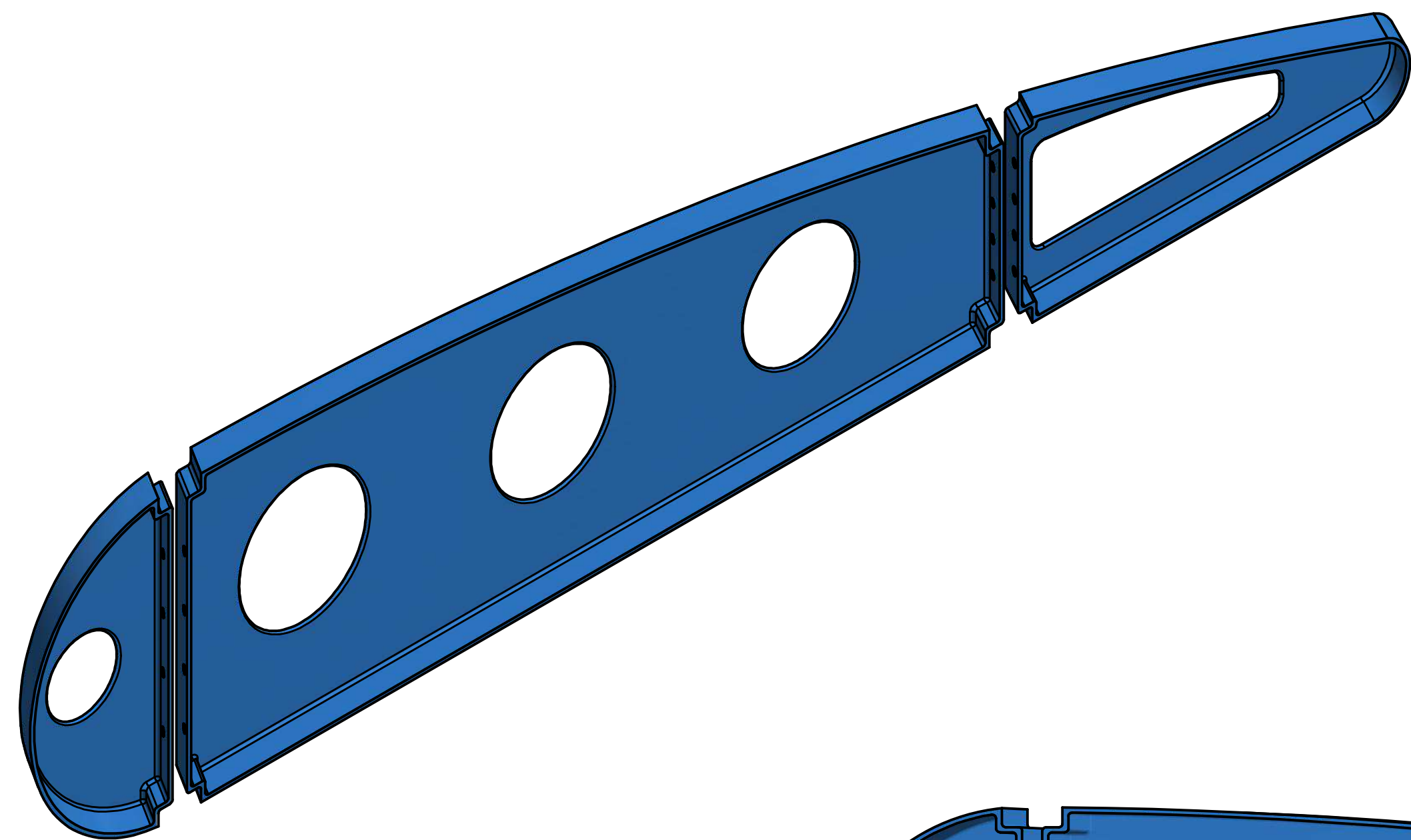
6.1 ΣΧΕΔΙΑ ΠΤΕΡΥΓΑΣ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

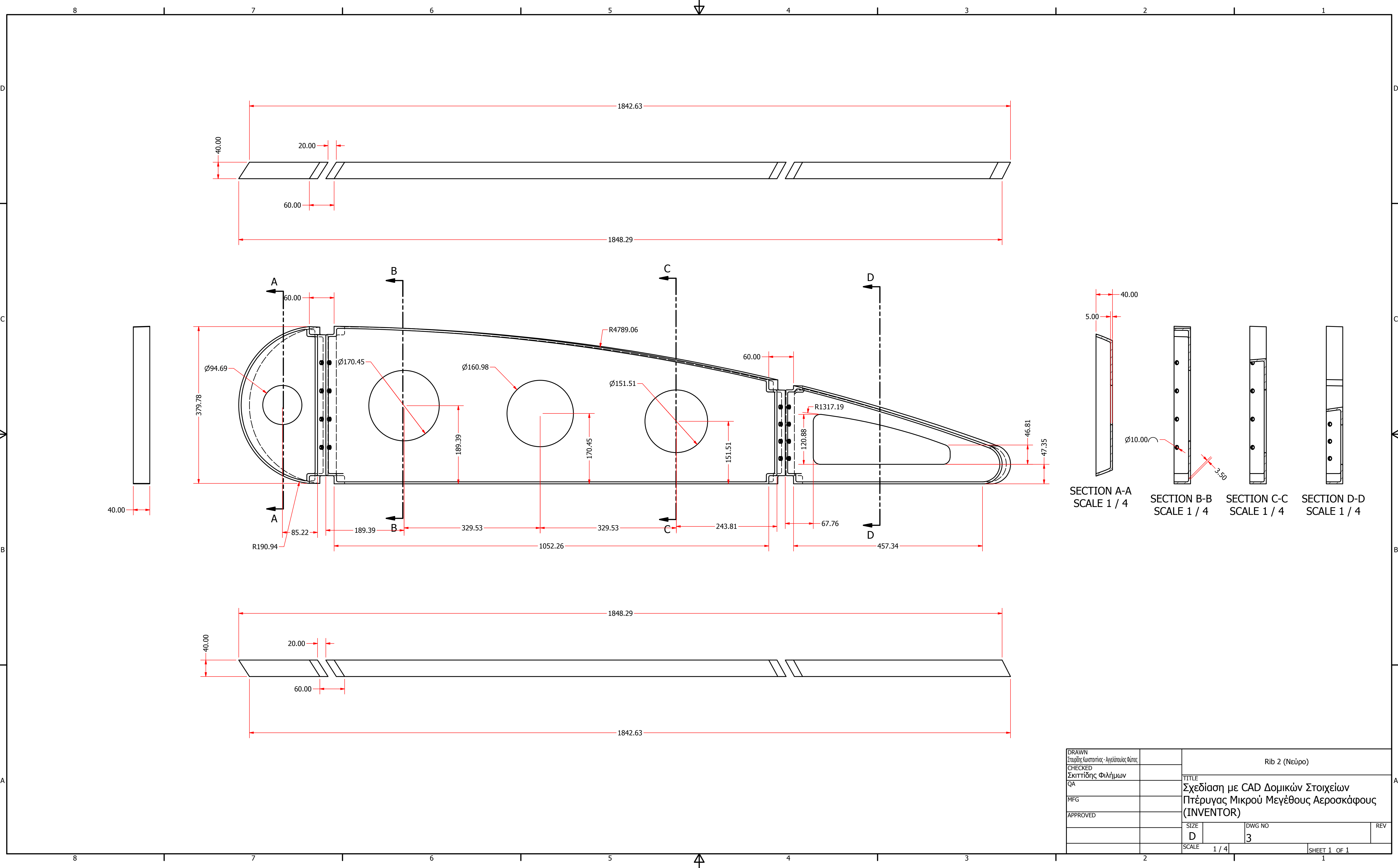
- <http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CF%8C%CF%80%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Octave_Chante
- http://www.irantousis.gr/01_TEXNOLOGIA_A! TAKSIS/04_grapti_ergasia_a/38_idroplano_.pdf
- <http://anla.gr/greek/books/GenikesTechnikesGnoseis.pdf>
- <http://gym-ag-pnevm.ser.sch.gr/pdf/airplanes.pdf>
- <http://coolweb.gr/pos-petane-aeroplana/>
- <http://www.livepedia.gr/index.php>



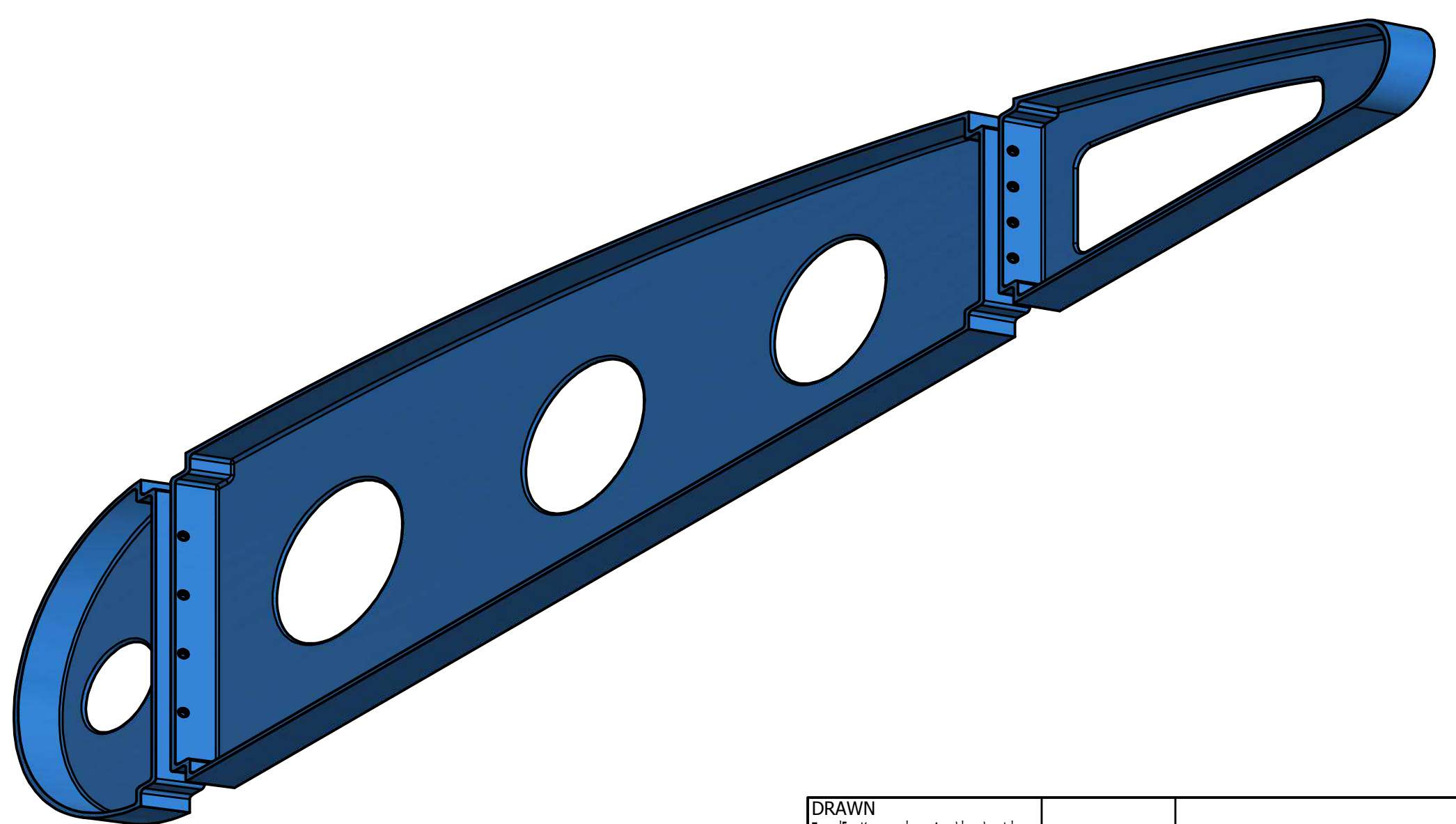
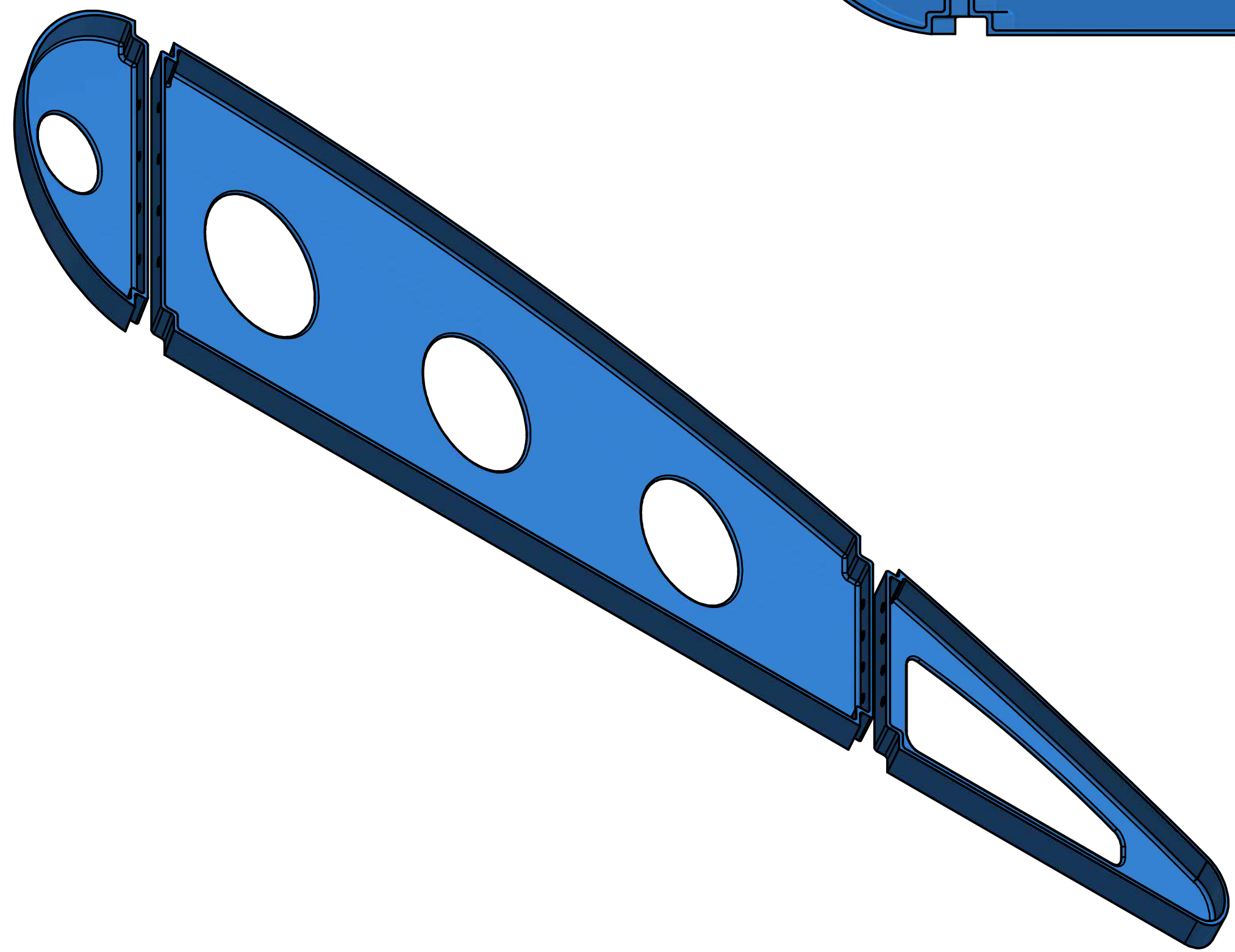
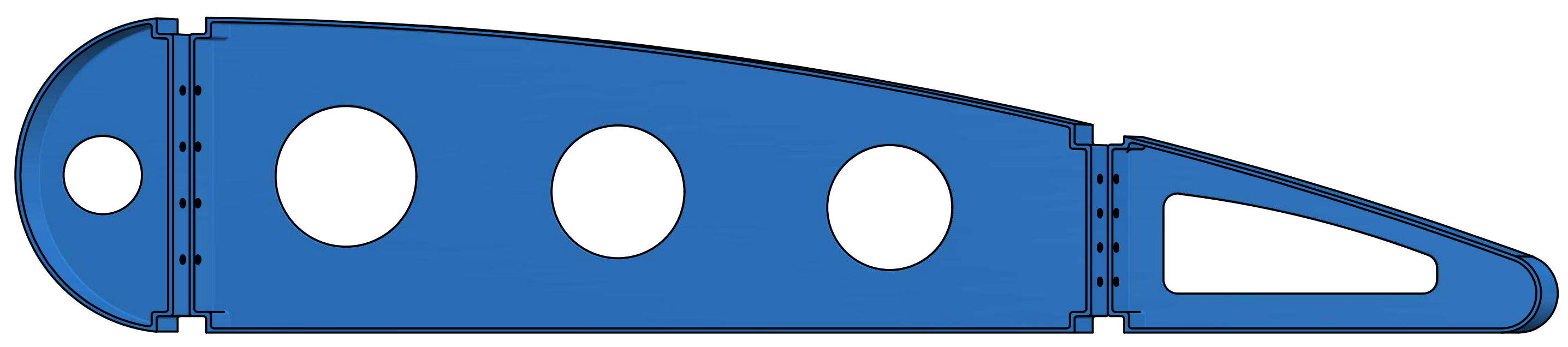
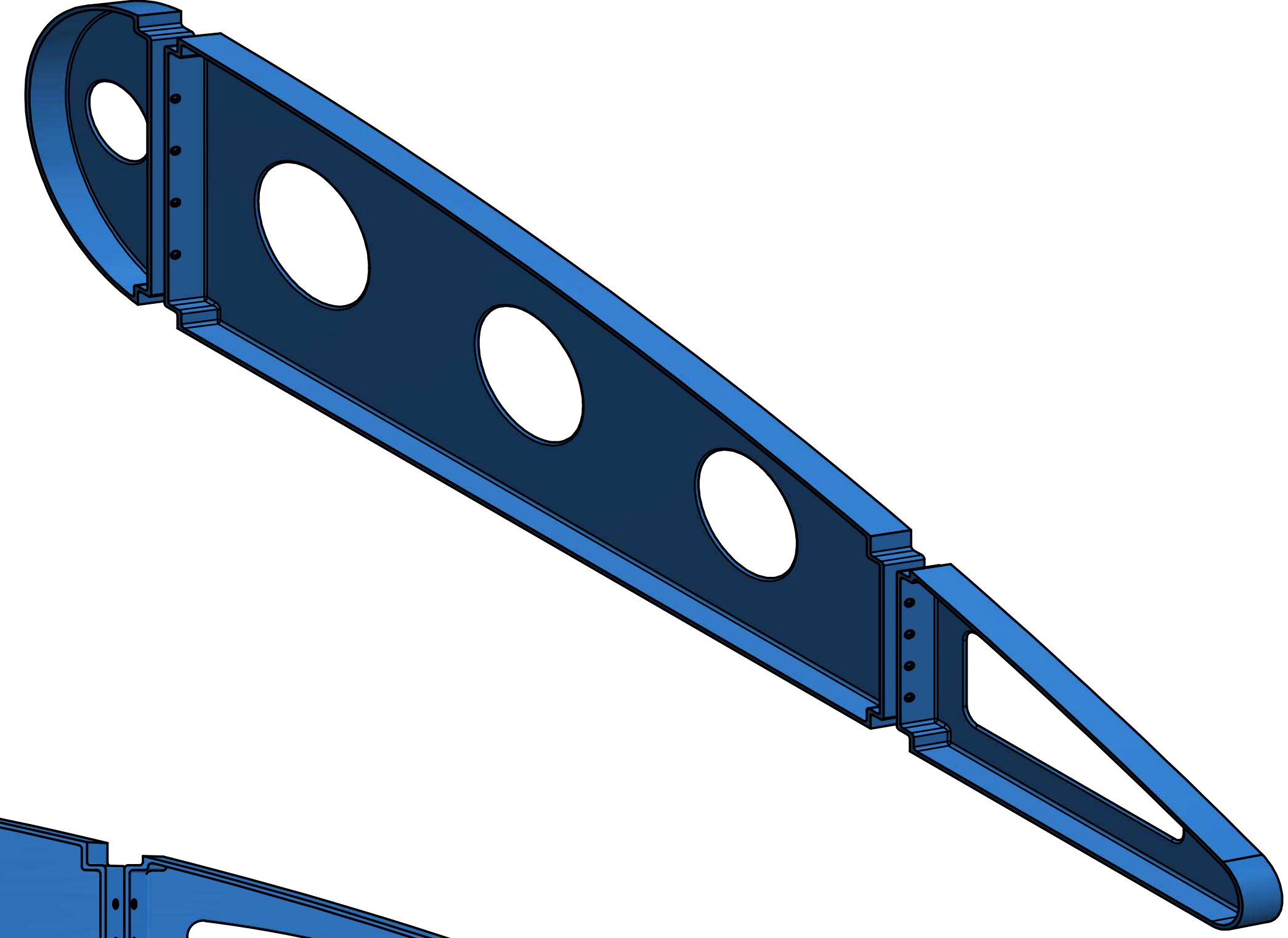
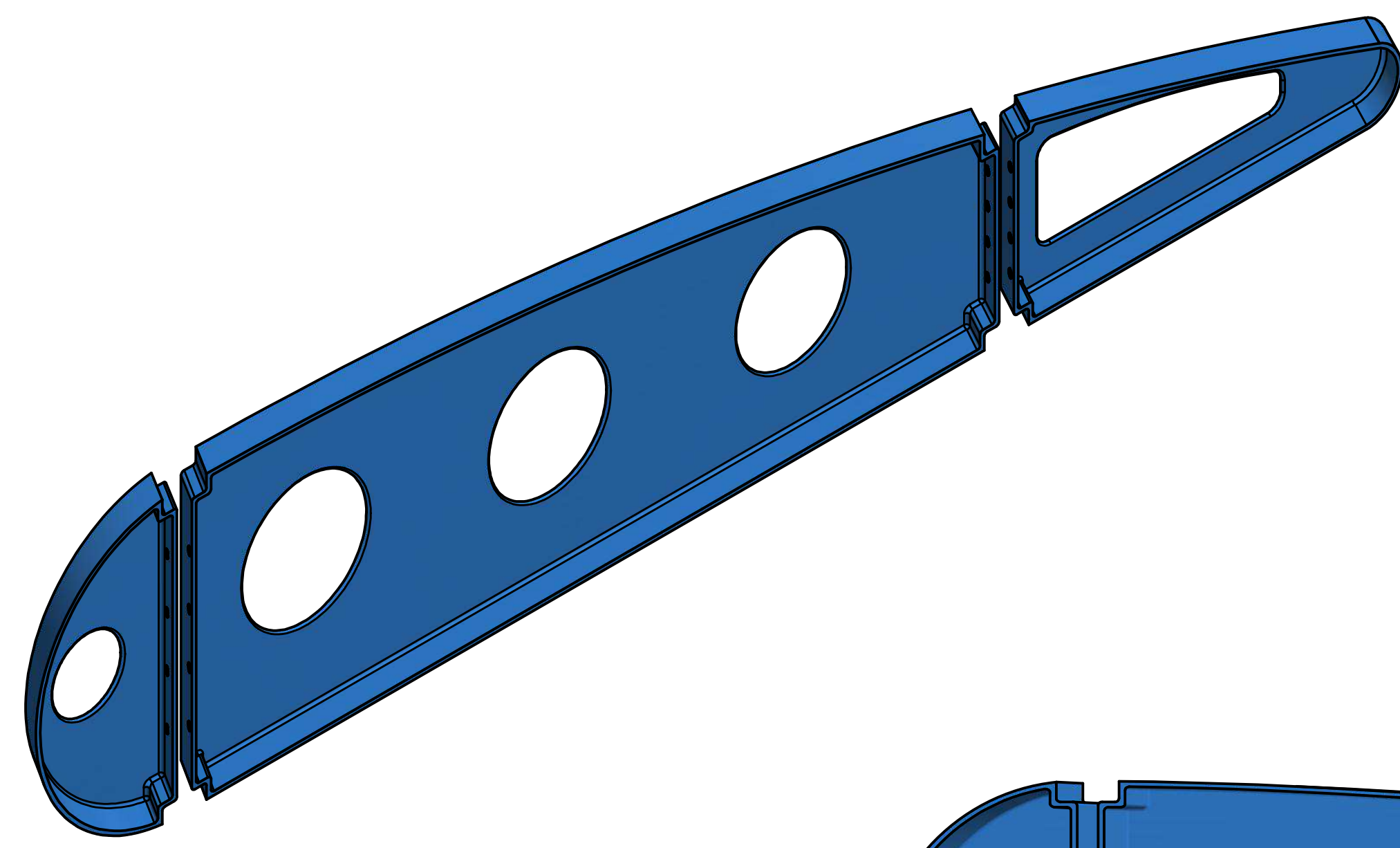
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτος	Rib 1 (Νεύρο)	
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	1
		SCALE	1 / 4
		SHEET 1 OF 1	



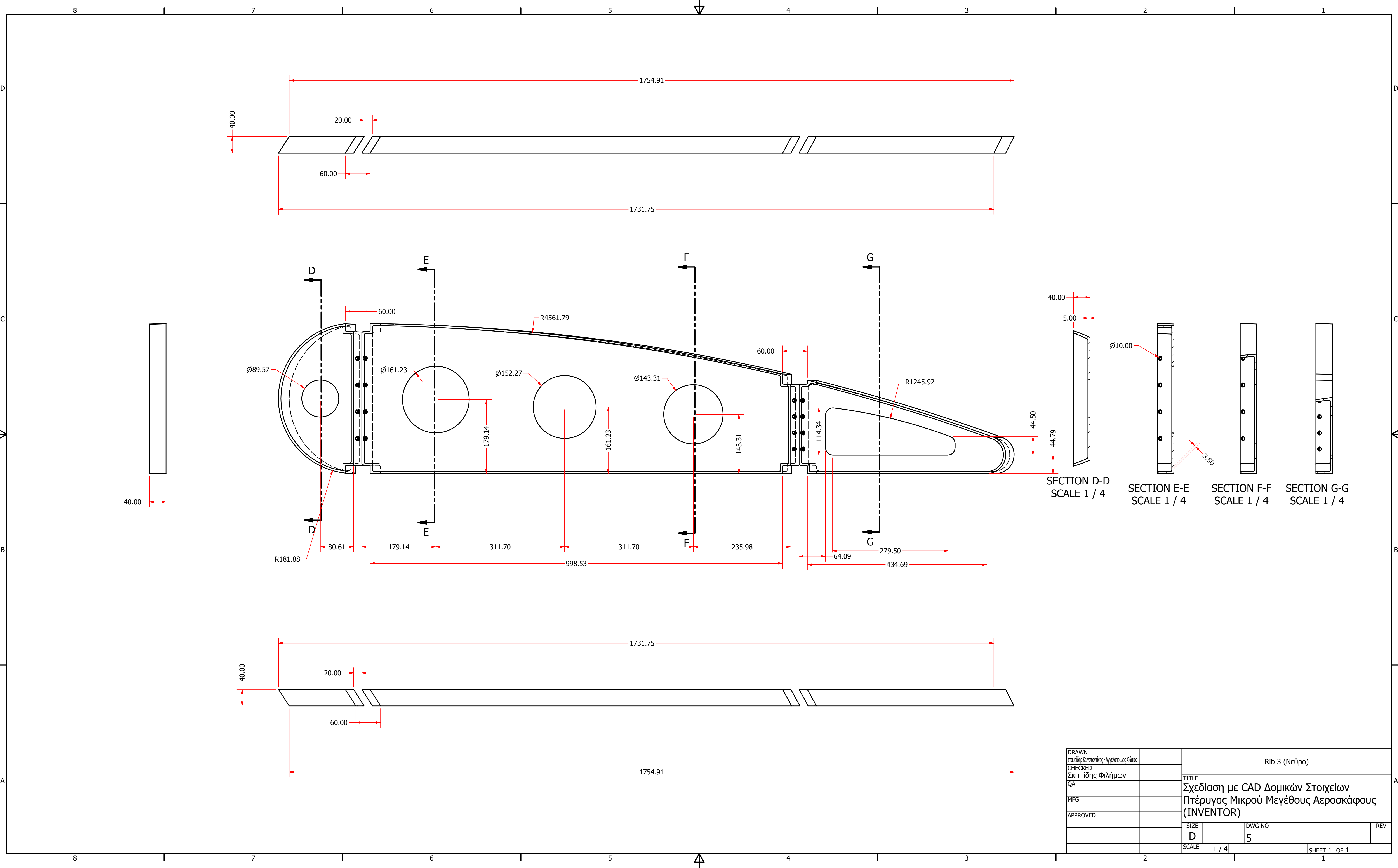
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάσος		Rib 1 (Νεύρο) Solid	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 2
MFG		SCALE 1 / 5	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



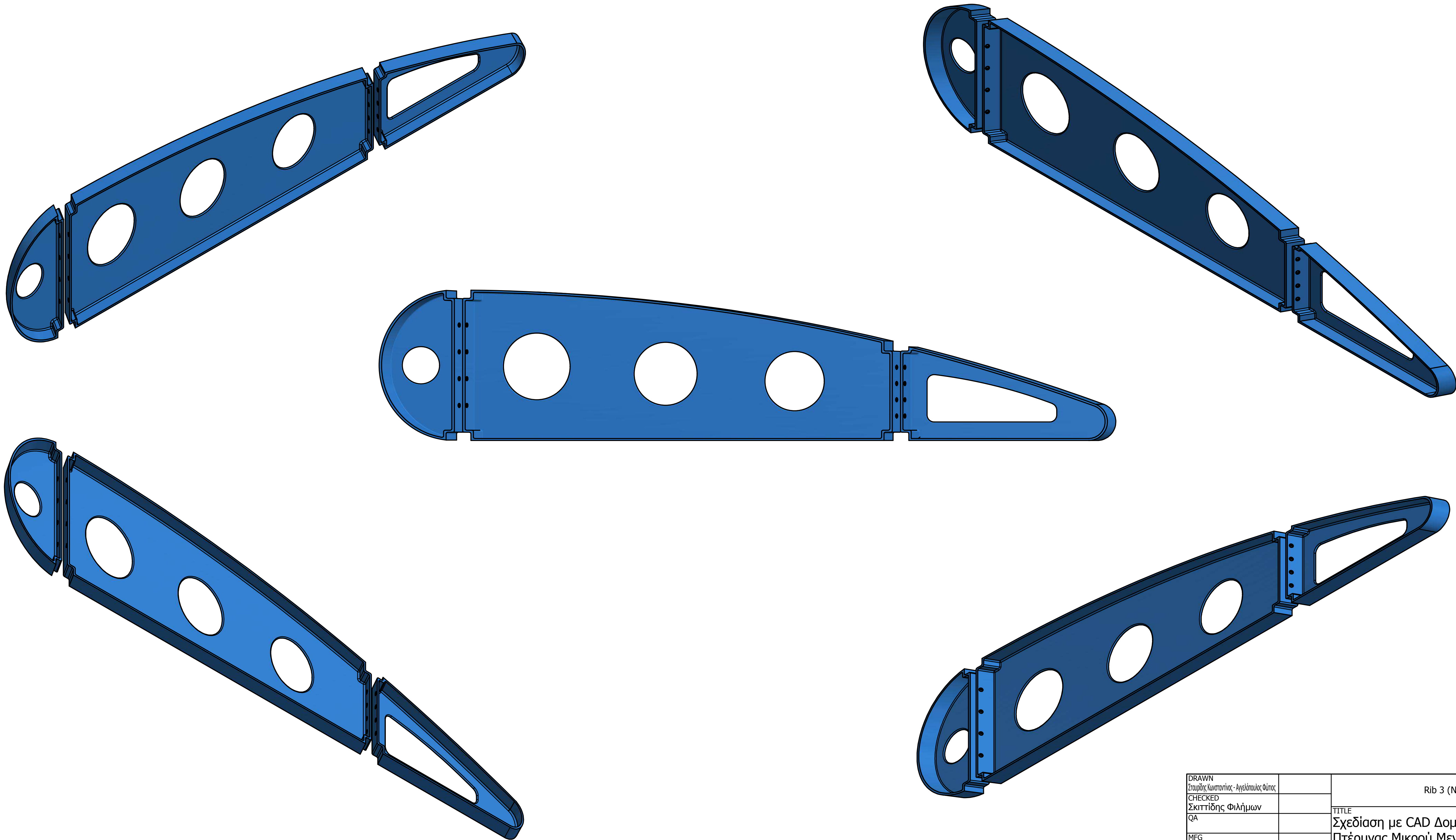
DRAWN	Επιμέτρηση Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος	Rib 2 (Νεύρο)		
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE		
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων		
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους		
APPROVED		(INVENTOR)		
		SIZE	DWG NO	REV
		D	3	
		SCALE	SHEET 1 OF 1	
		1 / 4		



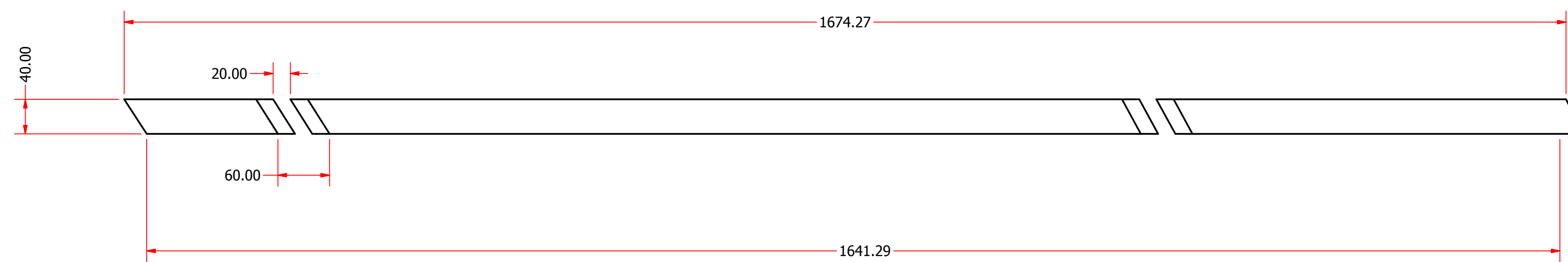
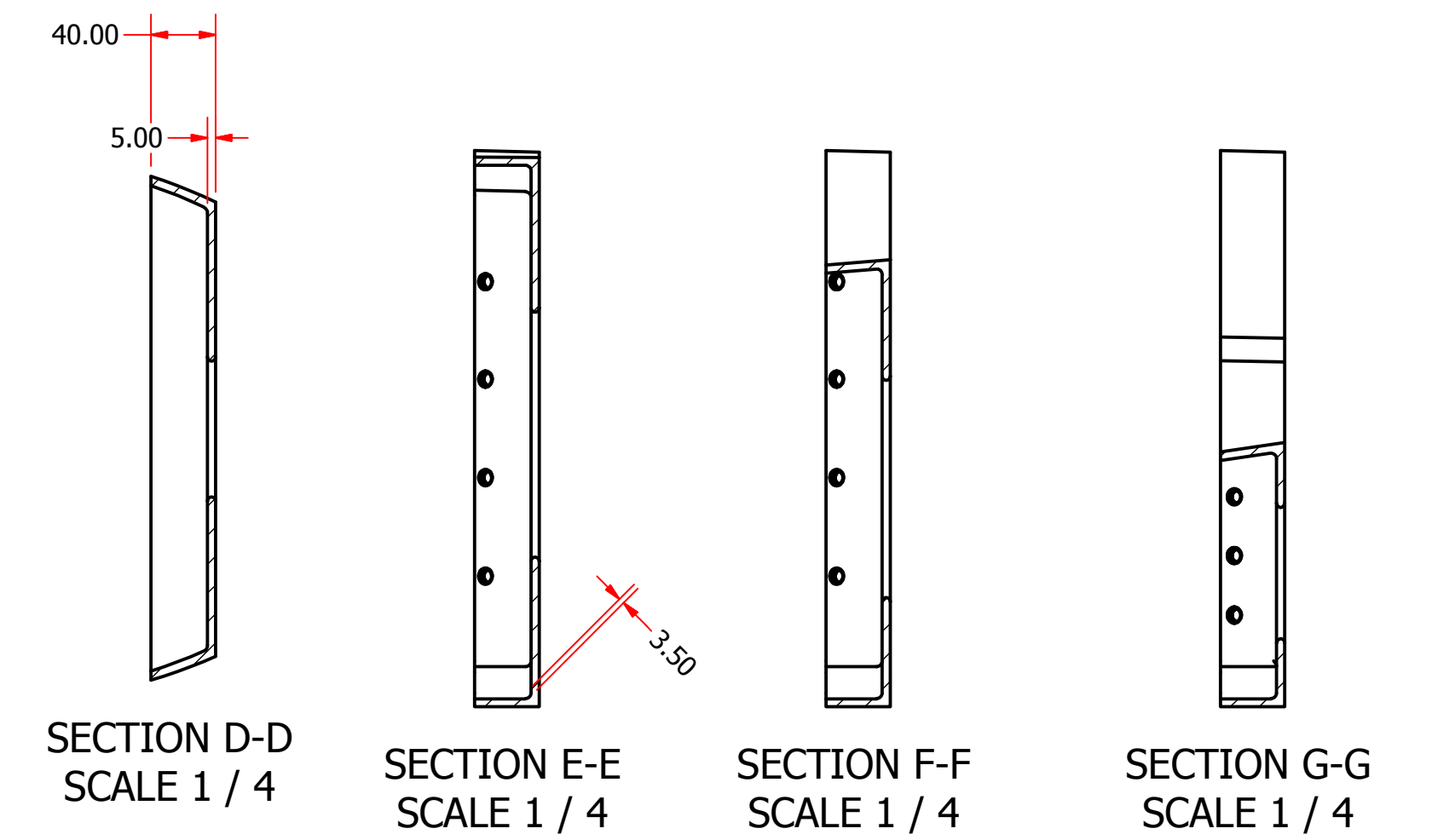
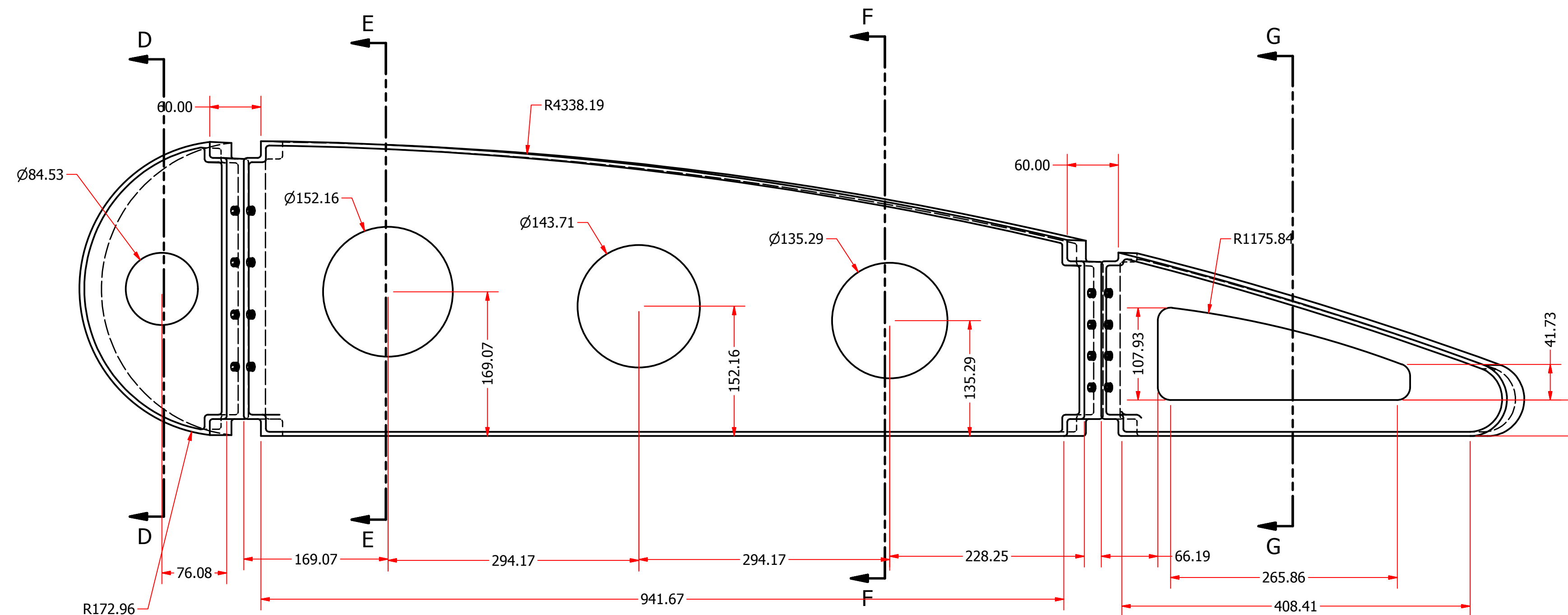
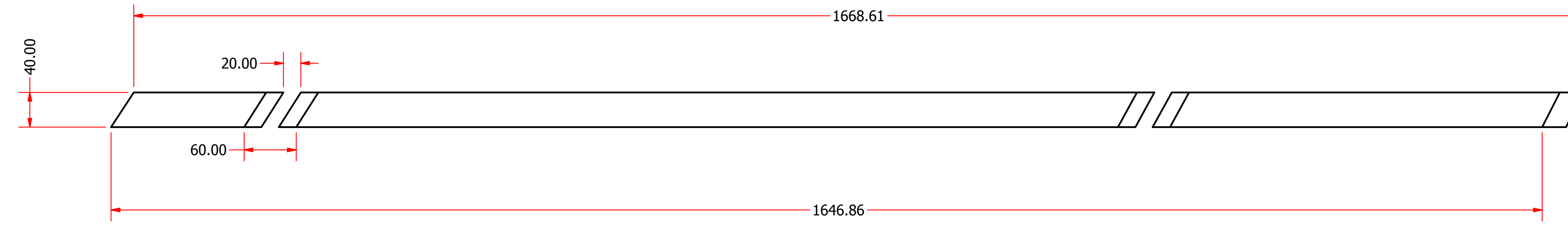
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτος				Rib 2 (Νεύρο) solid		
CHECKED					TITLE		
Σκιττιδής Φιλήμων					Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων		
QA					Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους		
MFG					(INVENTOR)		
APPROVED					SIZE	DWG NO	REV
					D	4	
					SCALE	1/5	SHEET 1 OF 1



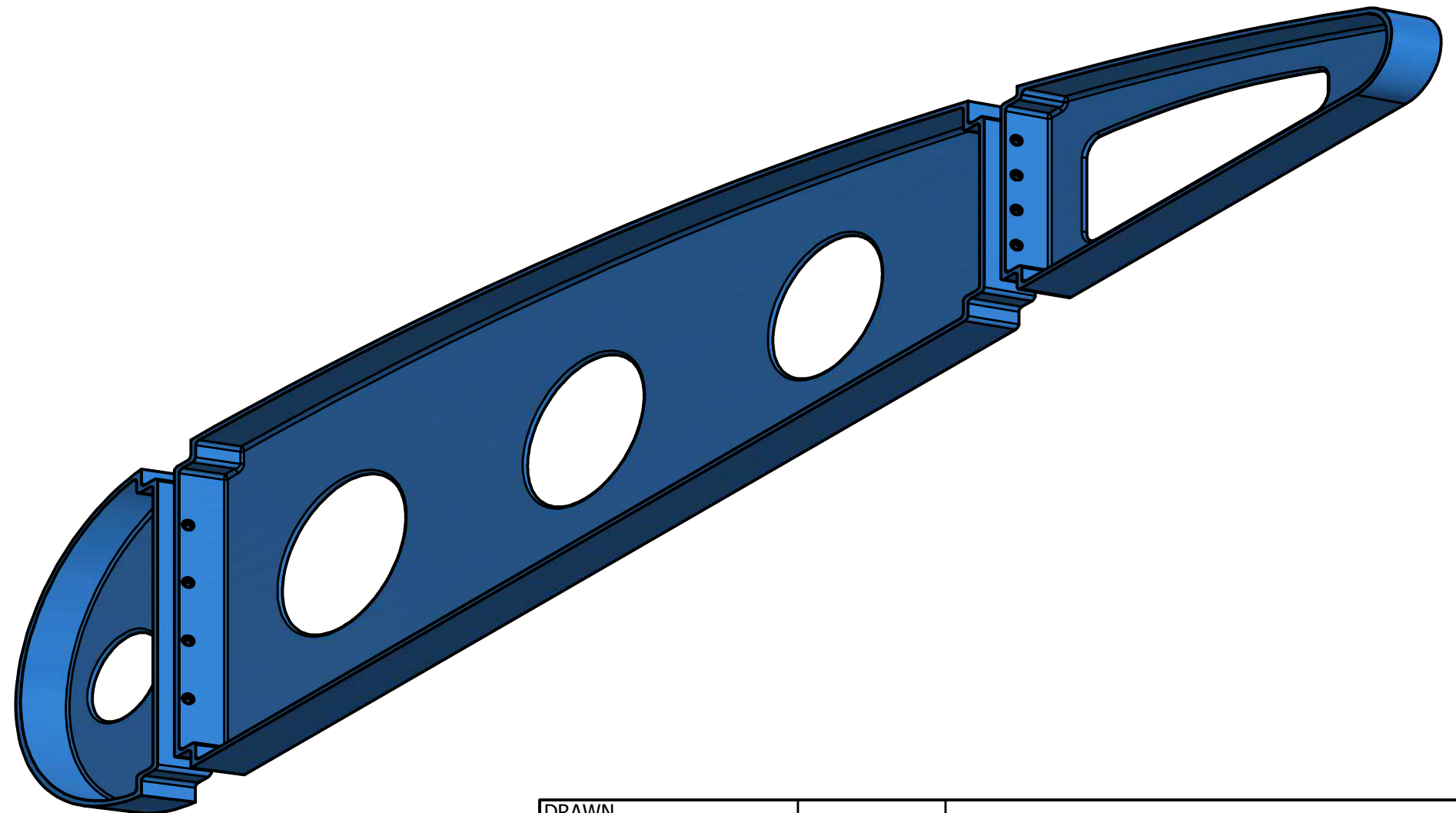
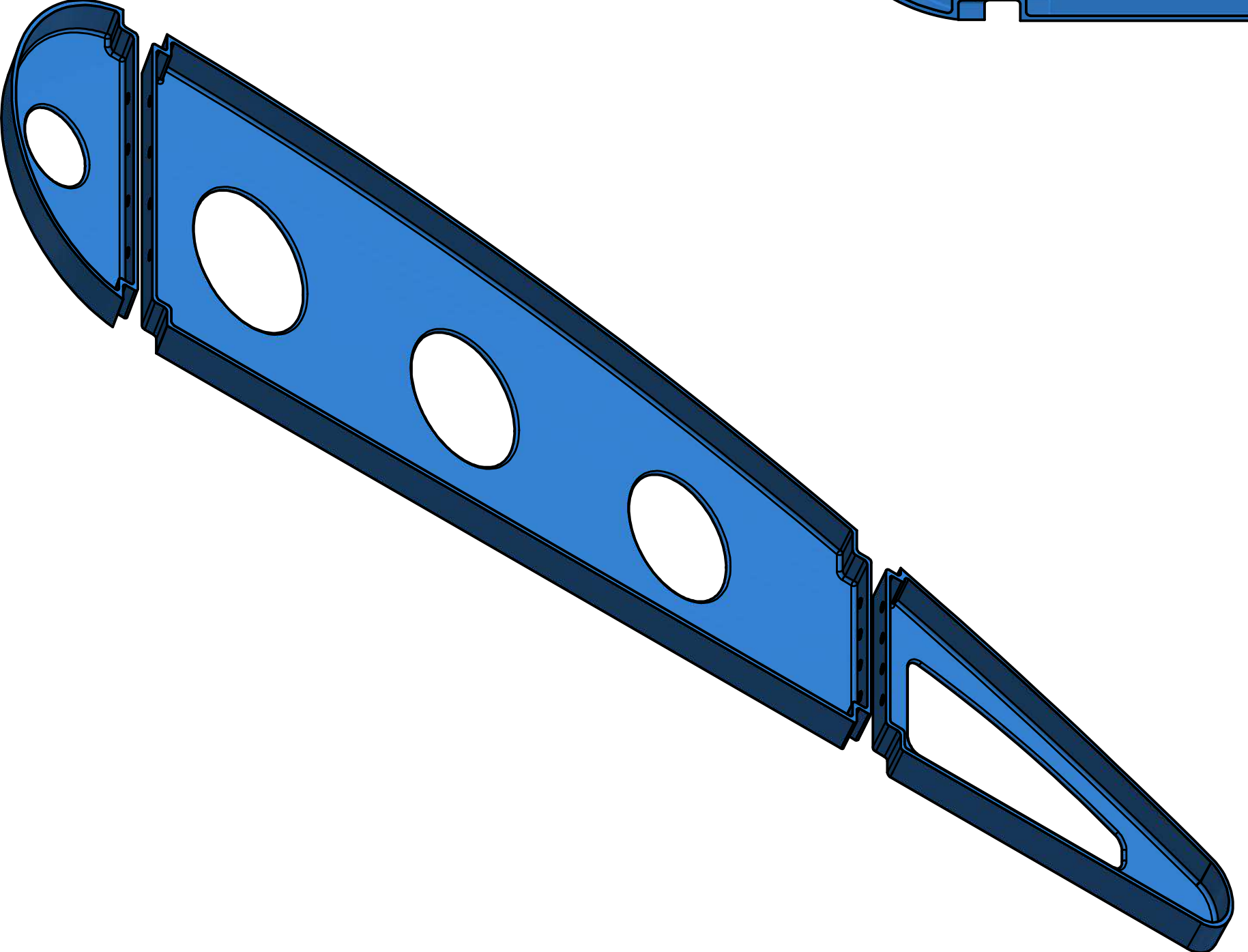
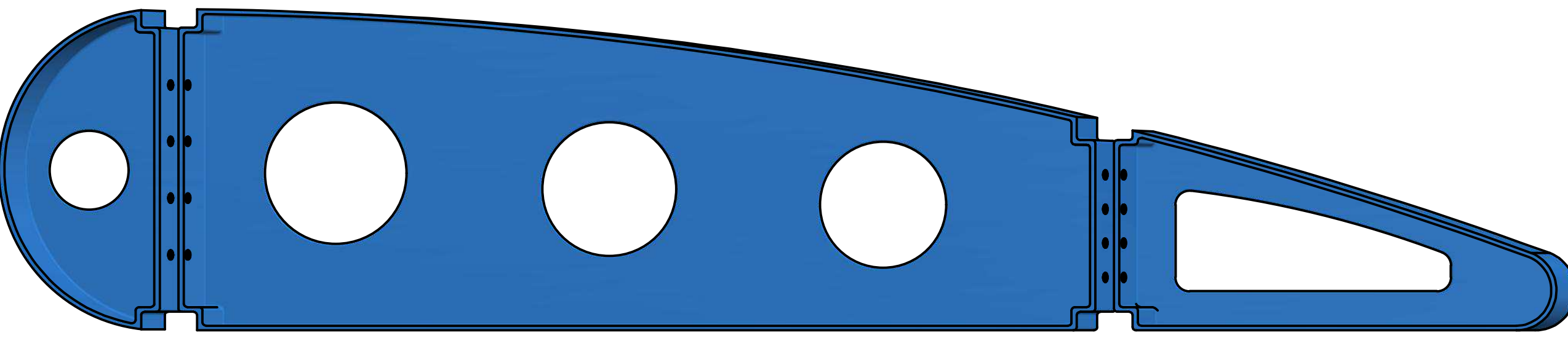
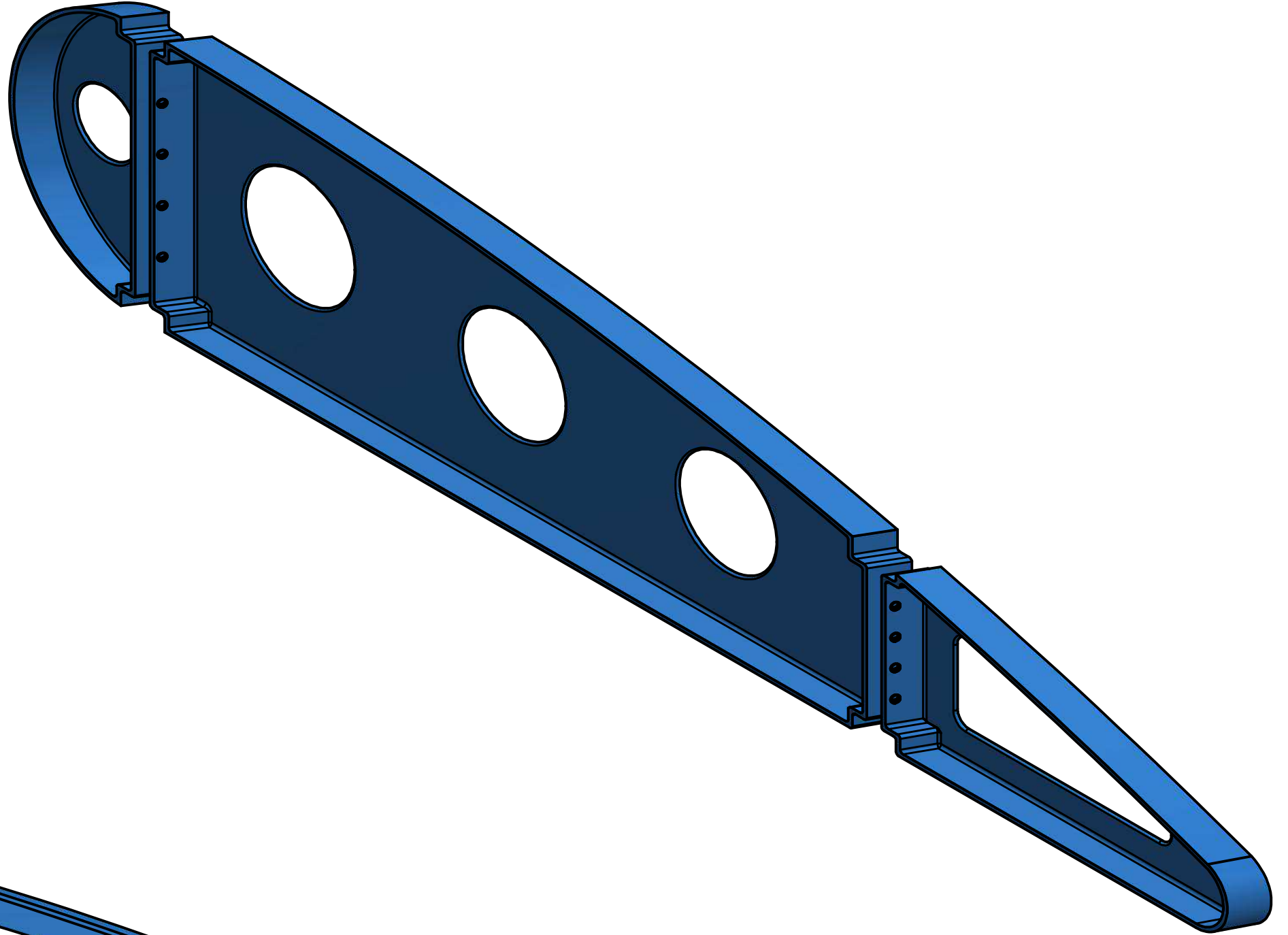
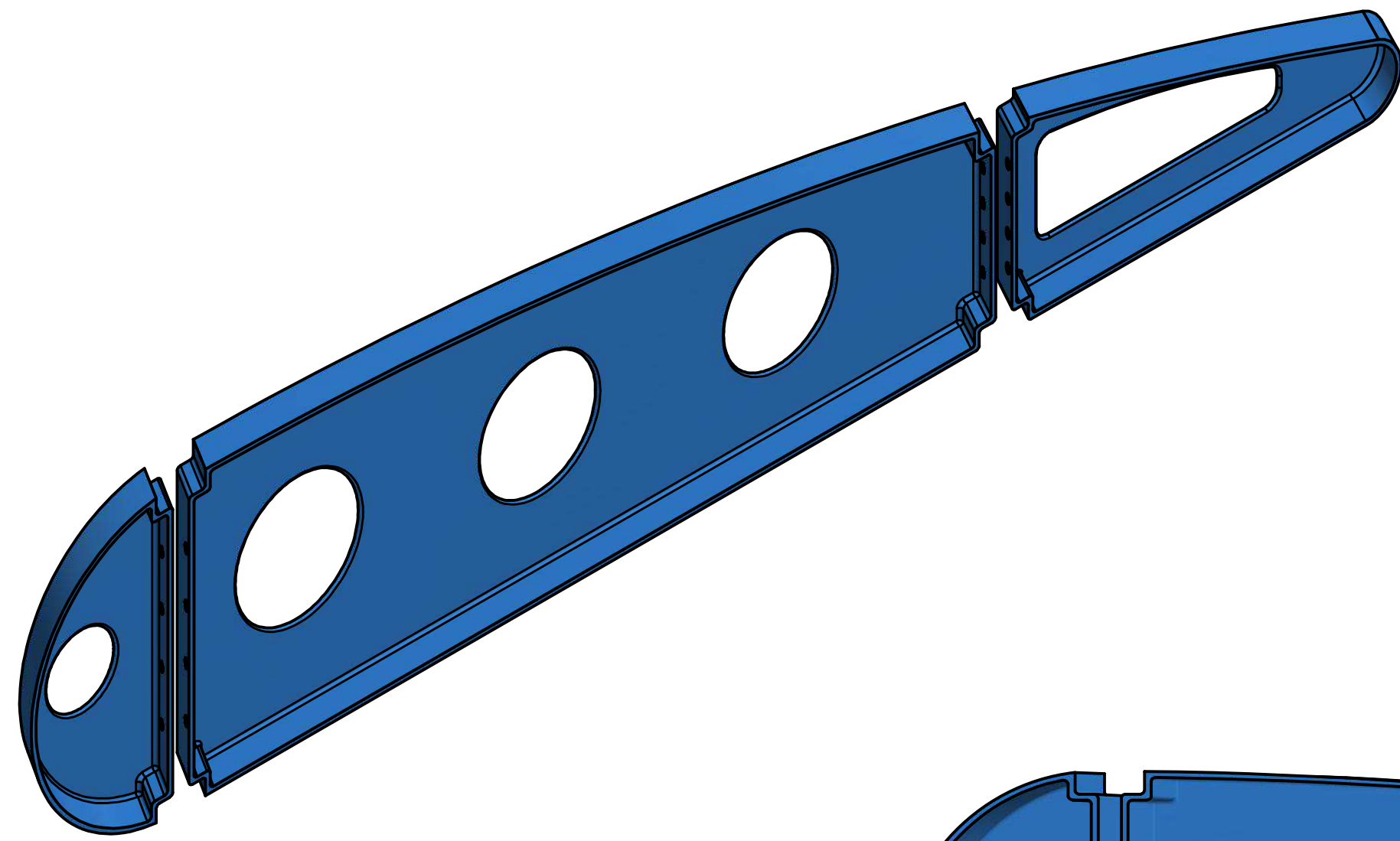
DRAWN	Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος	Rib 3 (Νεύρο)	
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	5
		SCALE	1 / 4
		SHEET 1 OF 1	



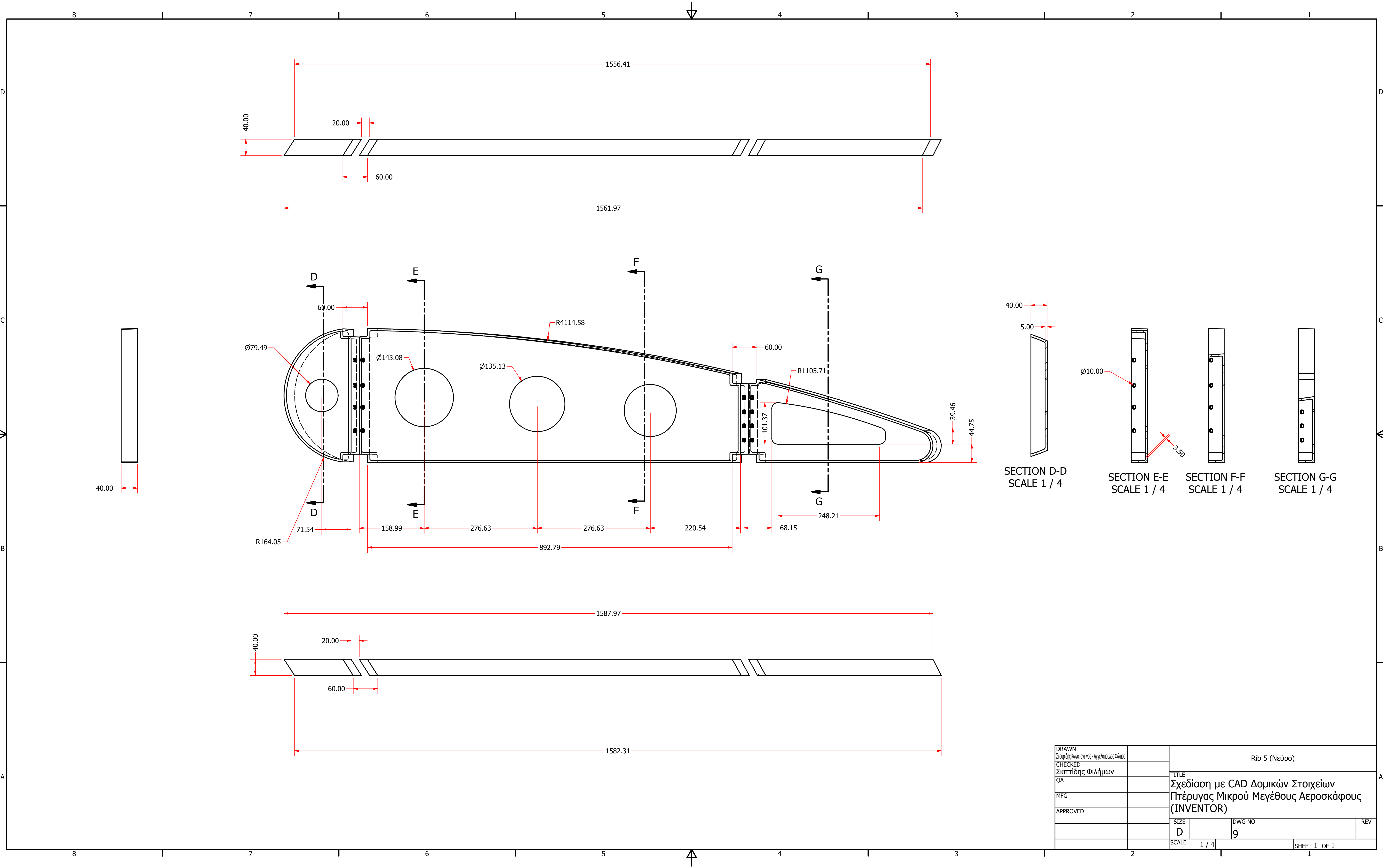
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φωτός		Rib 3 (Νέυρο) Solid	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 6
MFG		SCALE 1/5	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



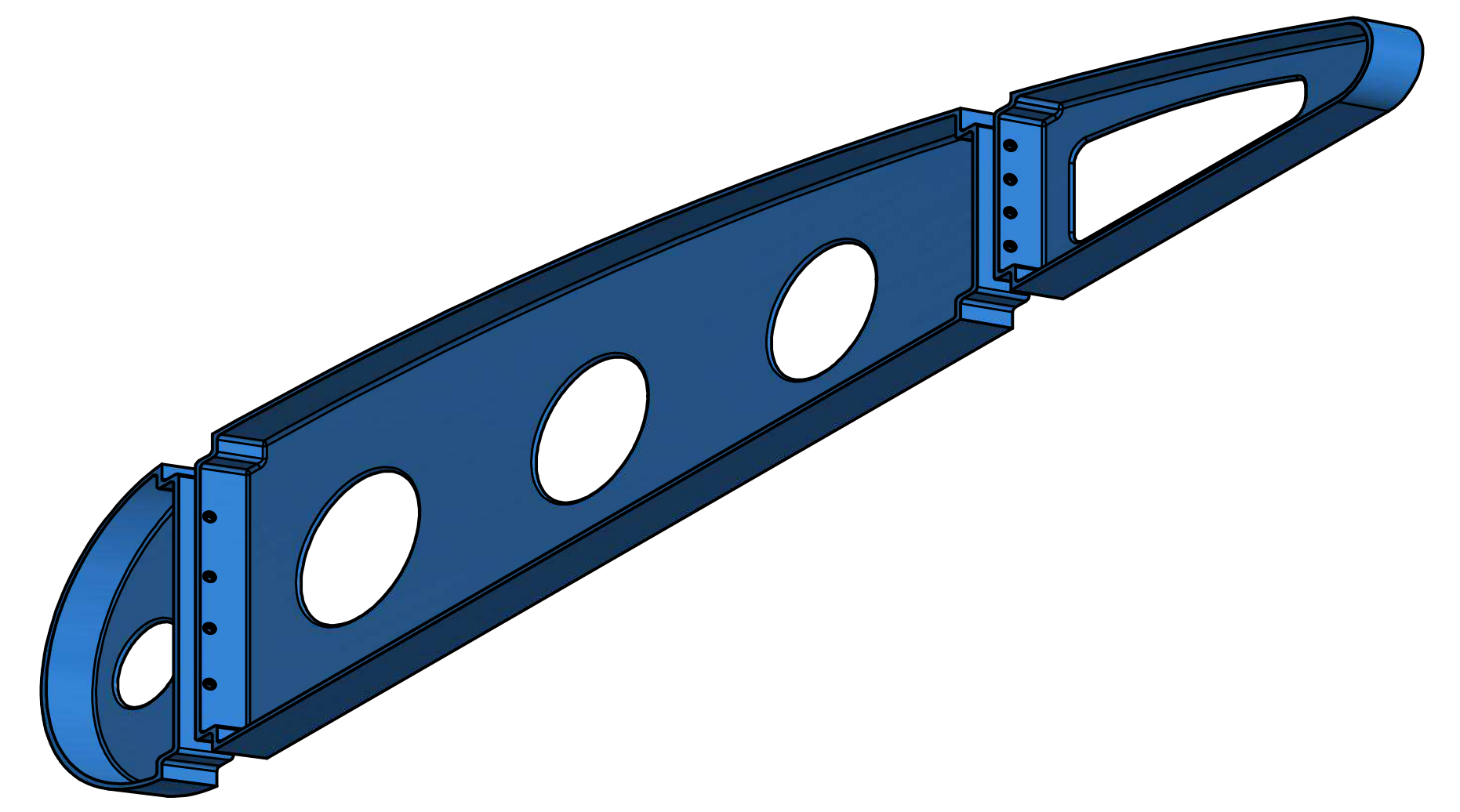
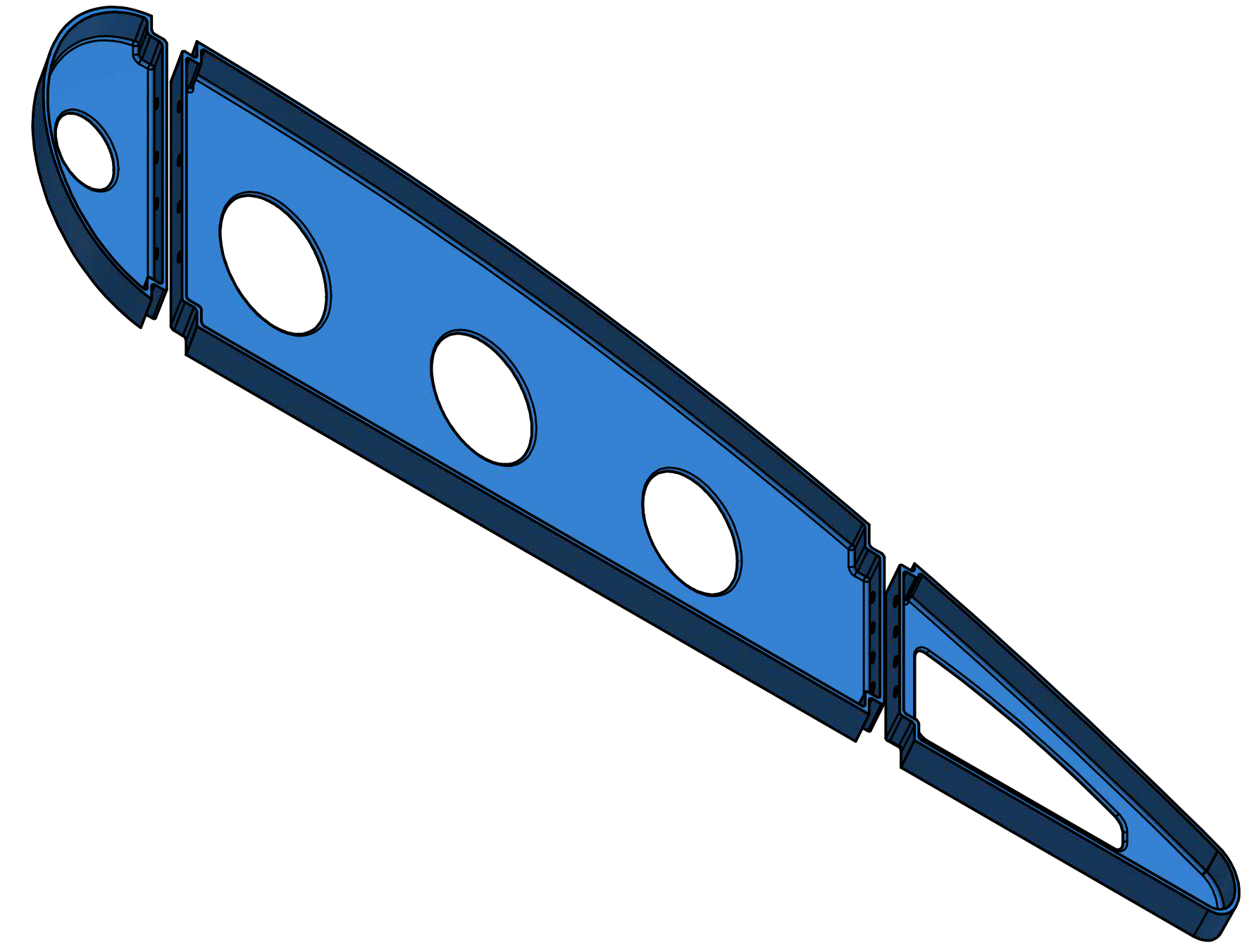
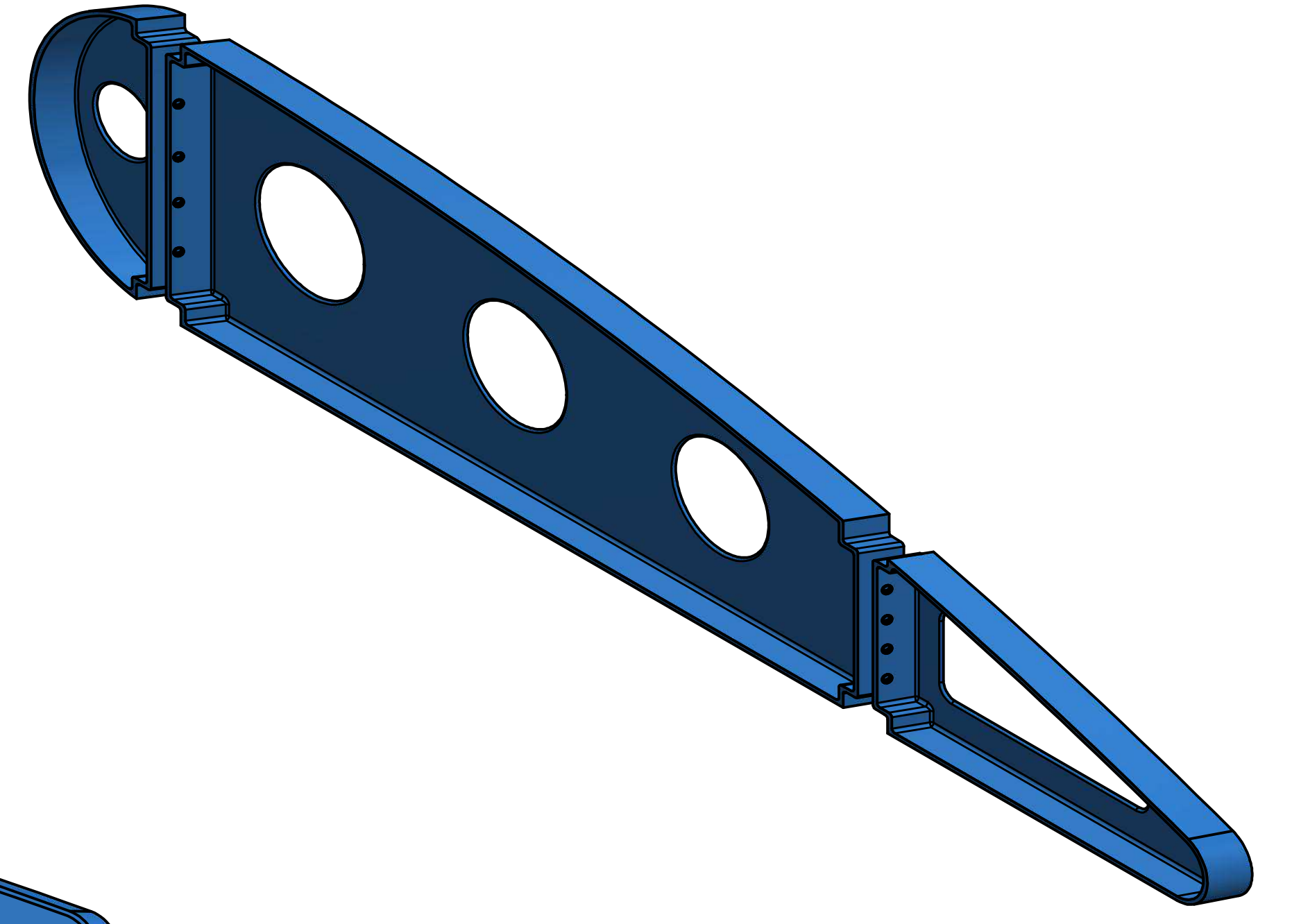
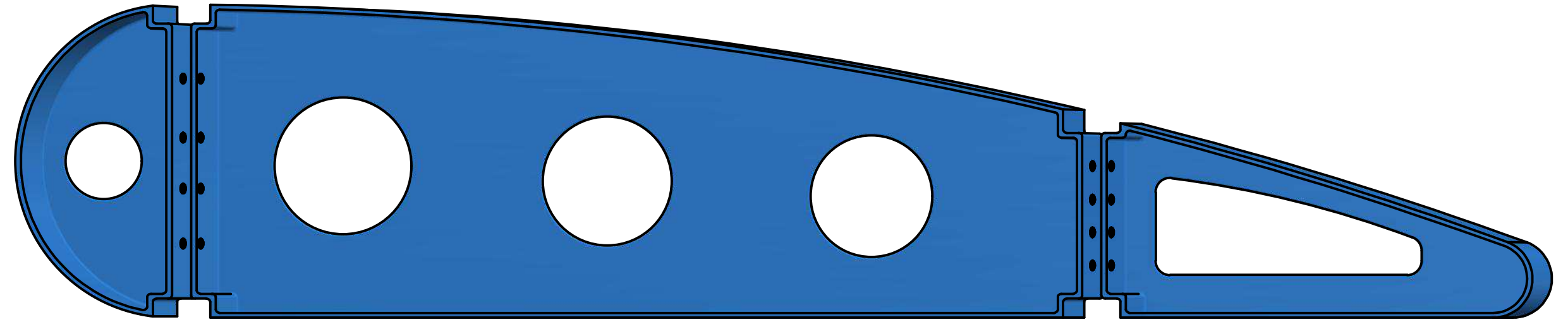
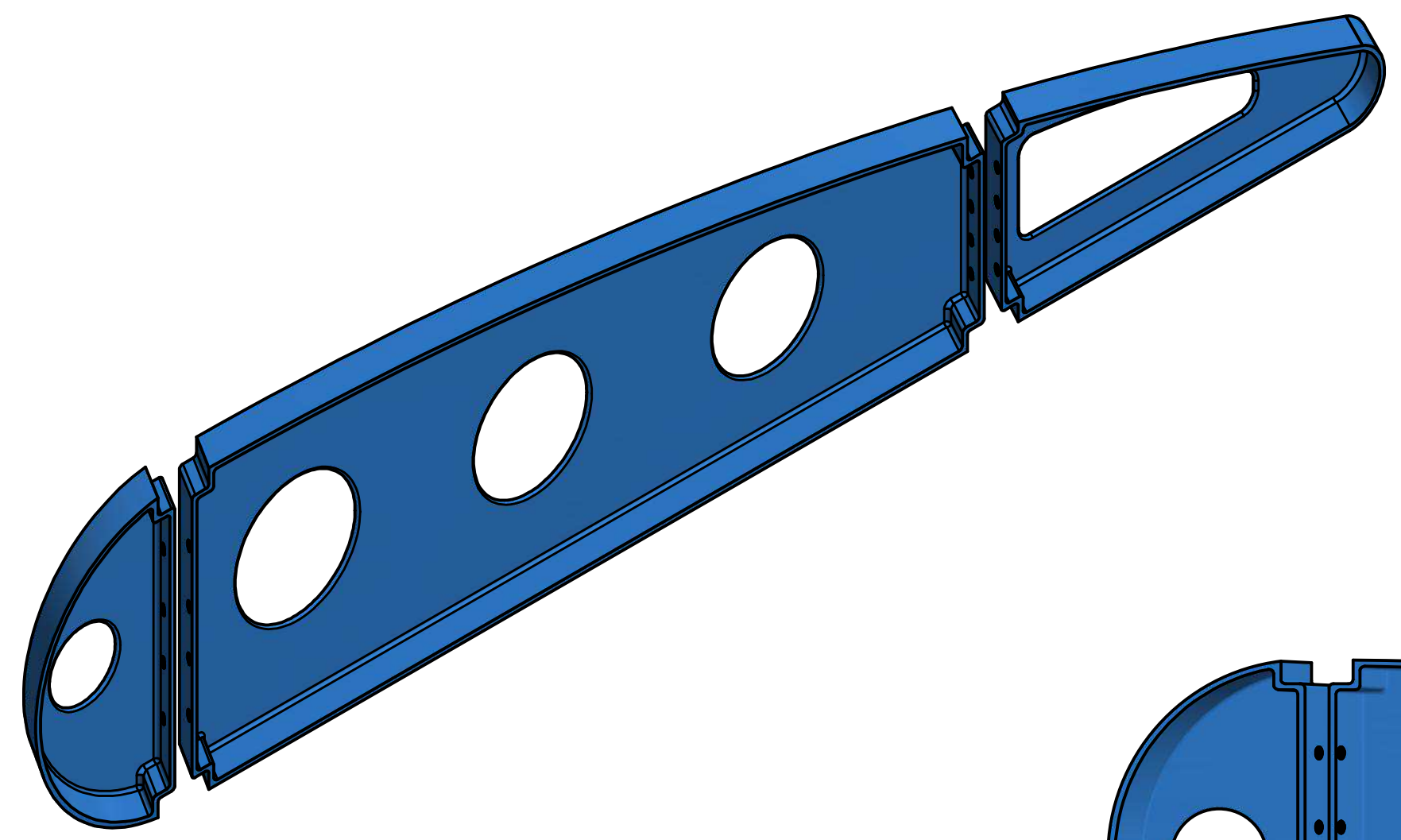
DRAWN Επιχείρηση Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος		Rib 4 (Νεύρο)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 7
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



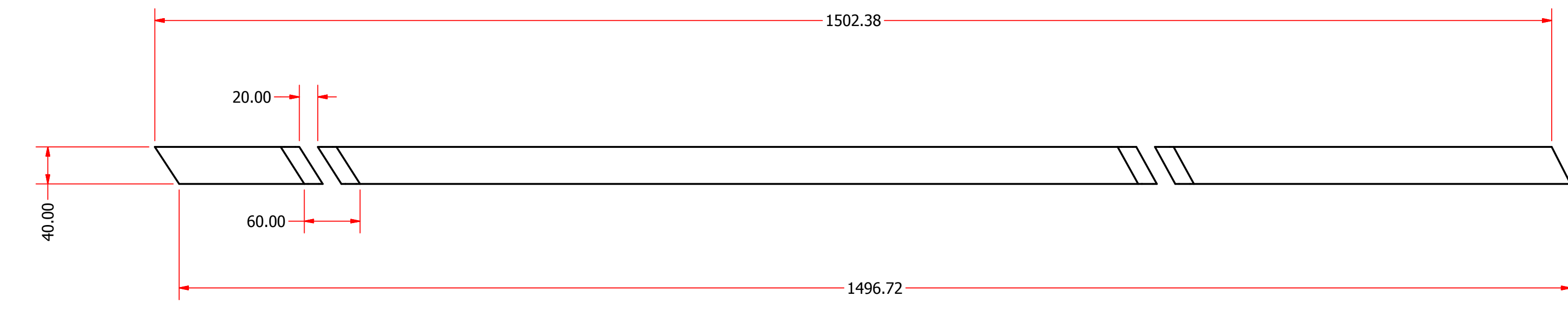
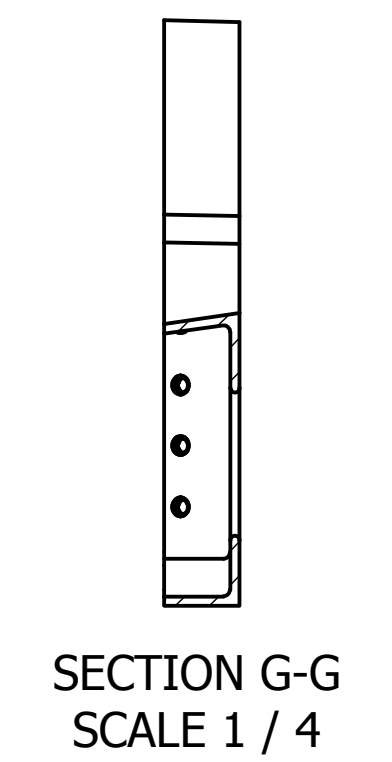
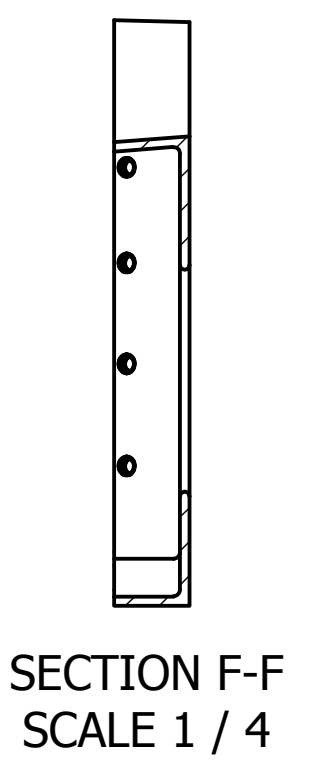
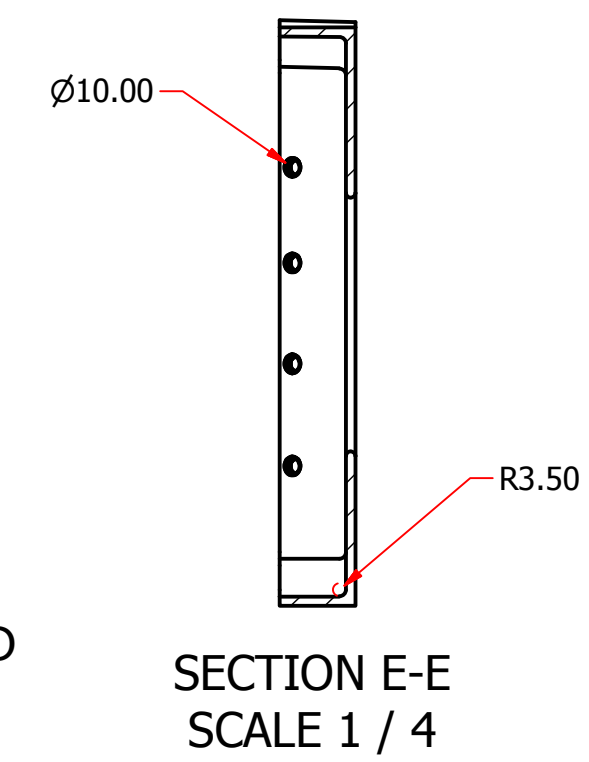
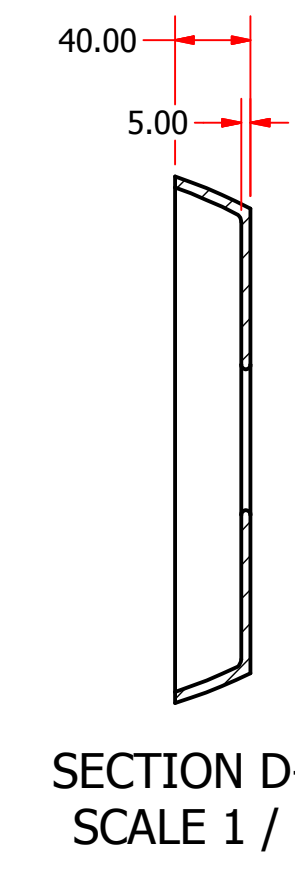
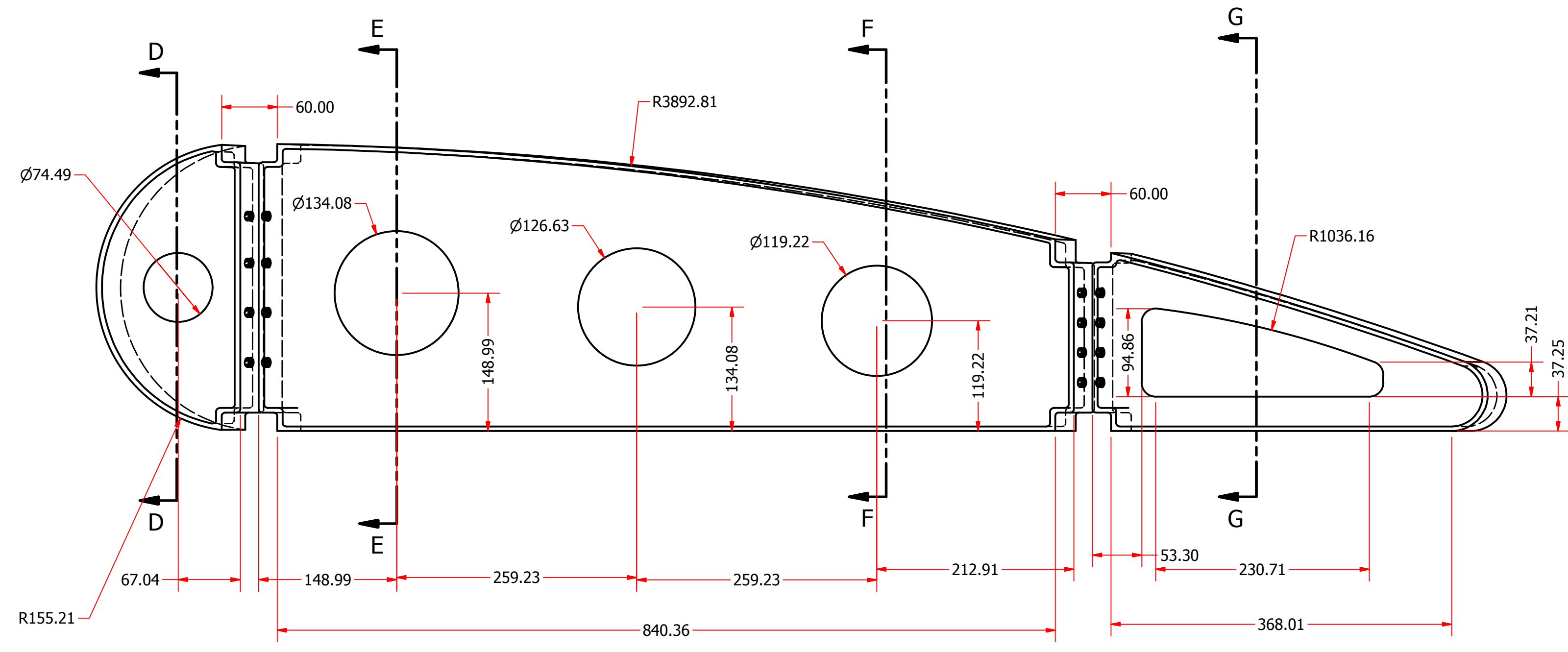
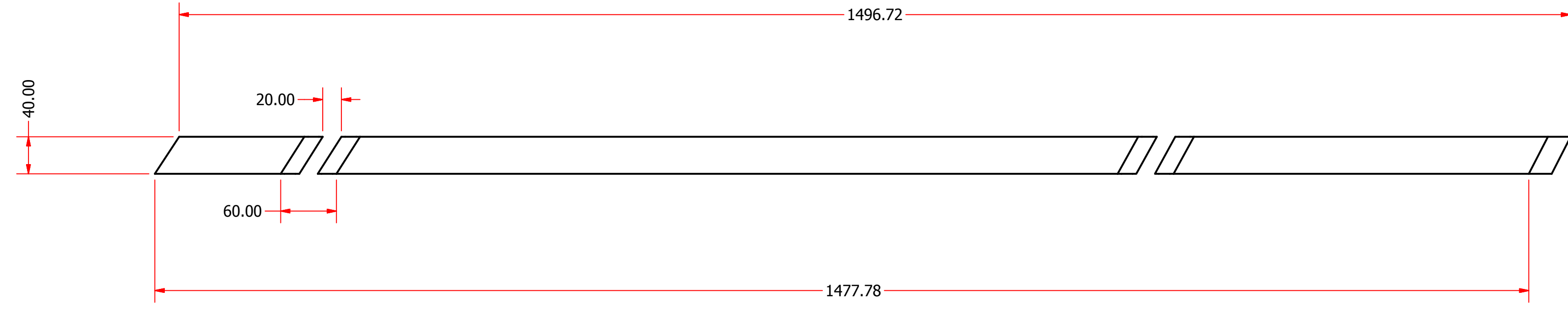
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτιος	Rib 4 (Νεύρο) Solid		
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE		
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων		
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους		
APPROVED		(INVENTOR)		
		SIZE	DWG NO	REV
		D	8	
		SCALE	1 / 5	SHEET 1 OF 1



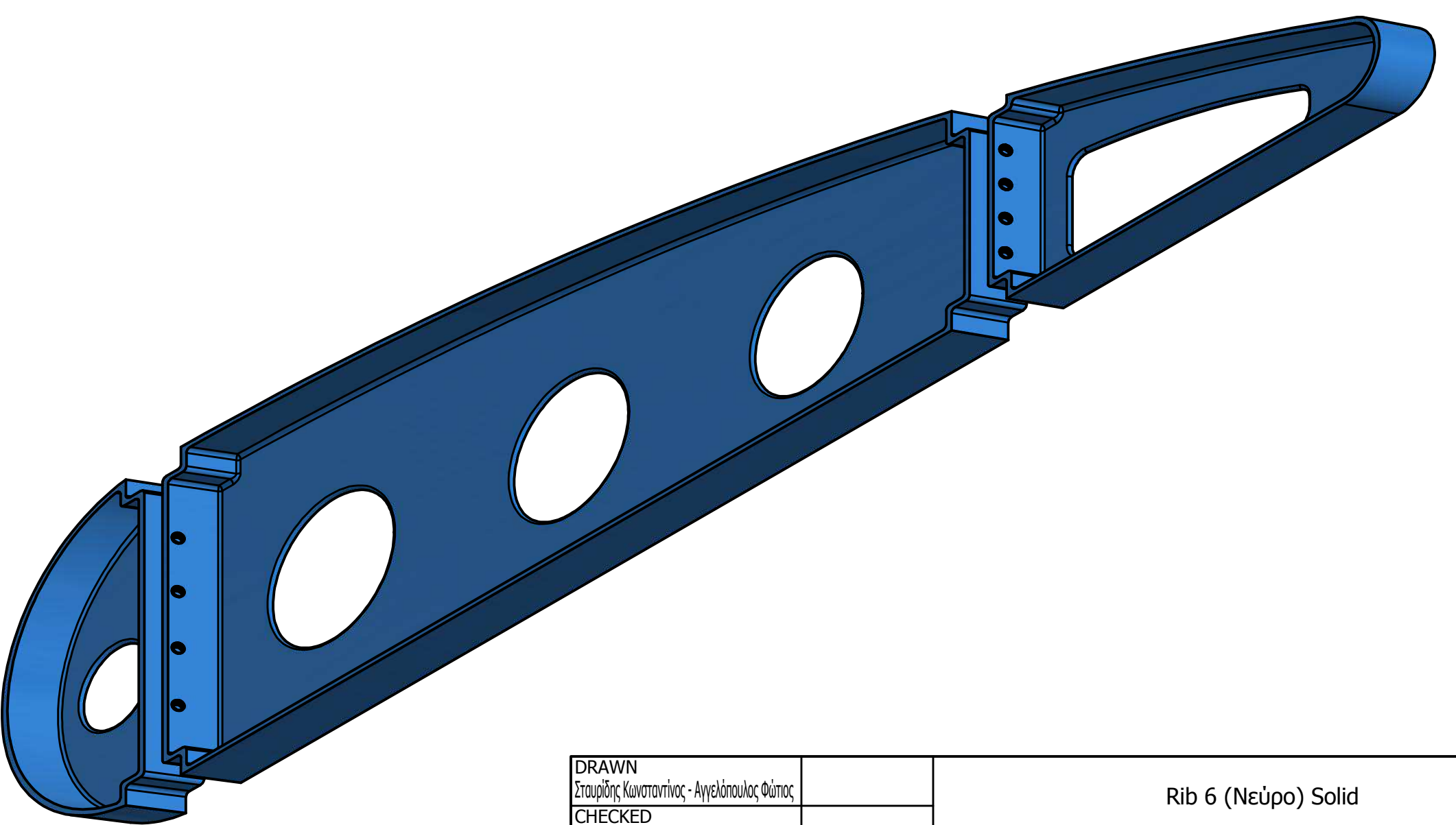
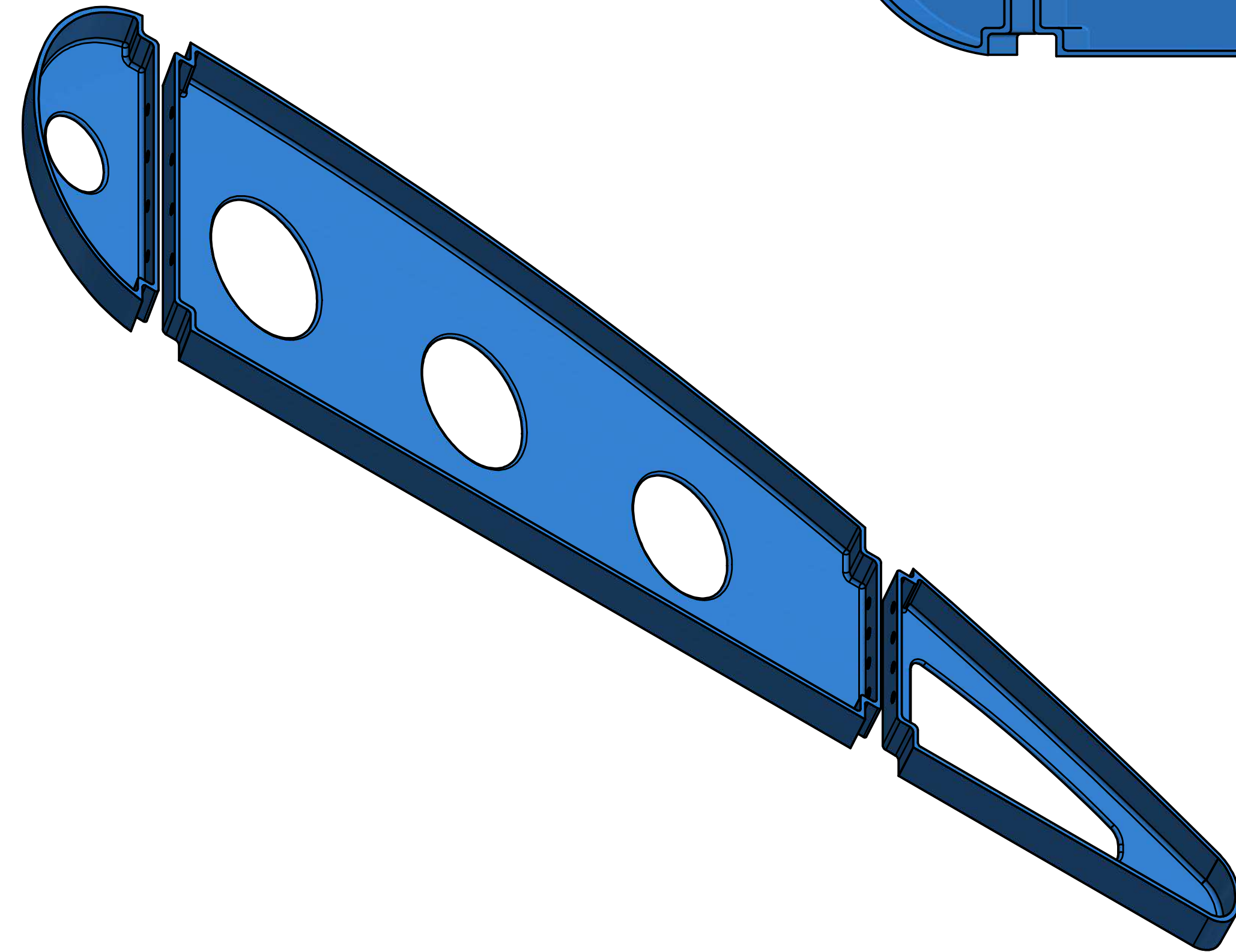
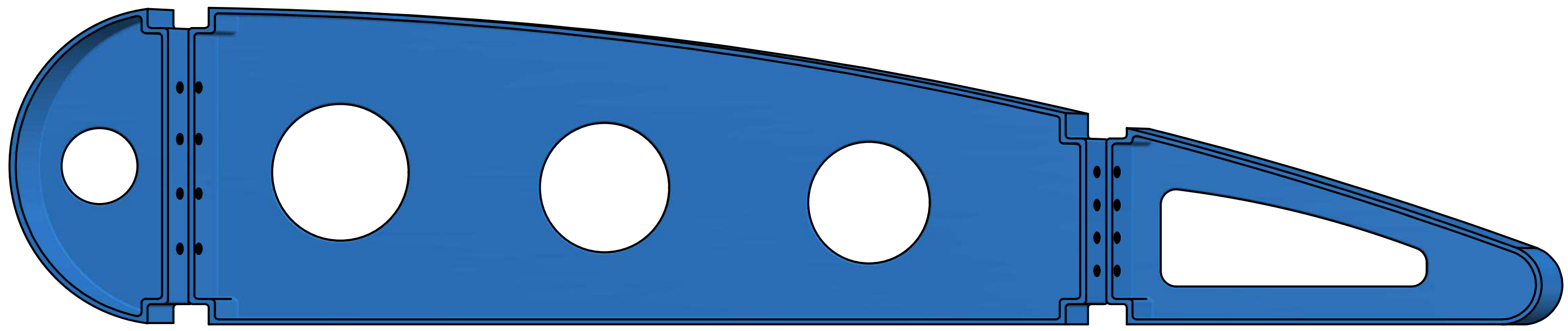
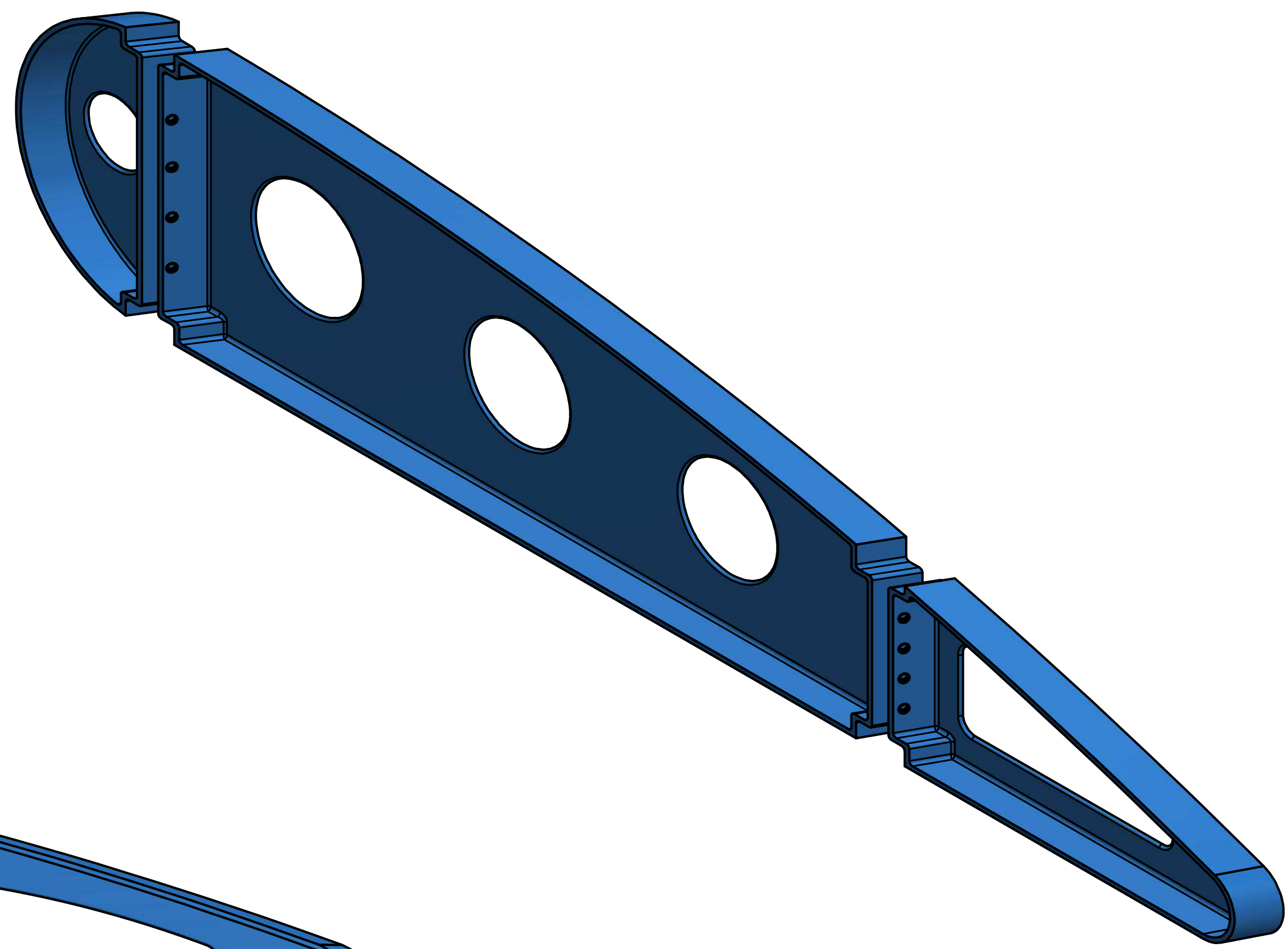
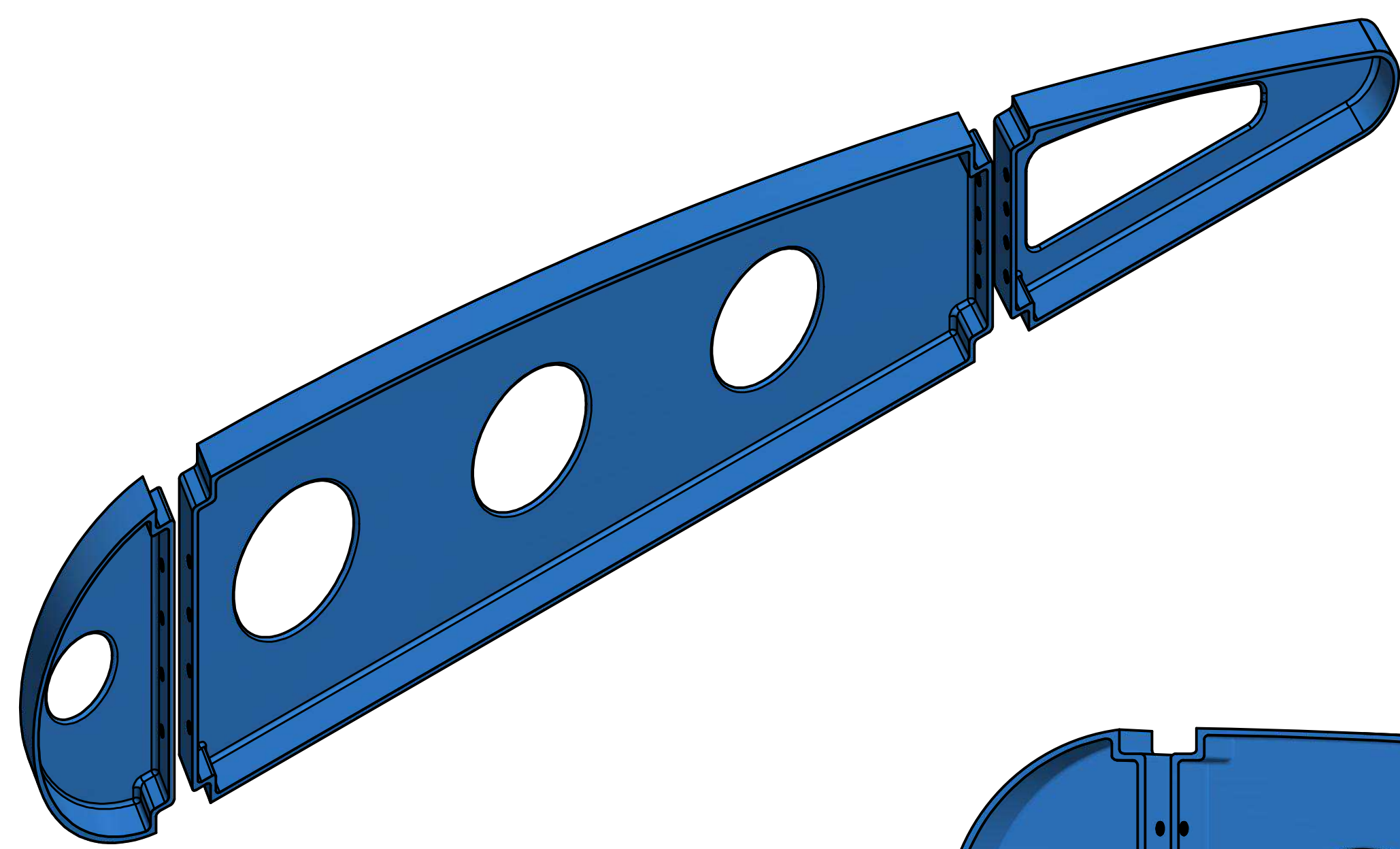
DRAWN Επιτομή Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος		Rib 5 (Νεύρο)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 9
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



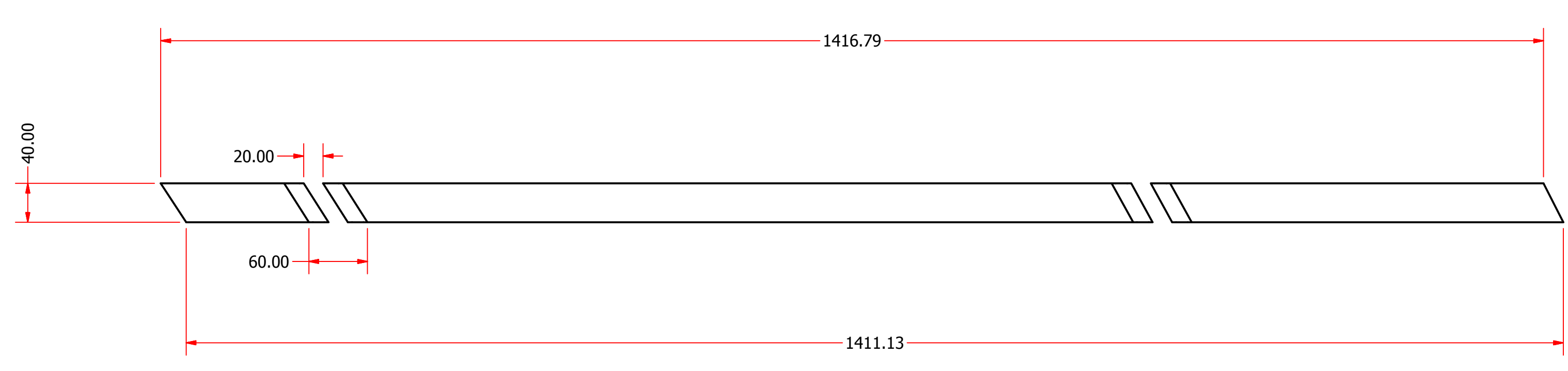
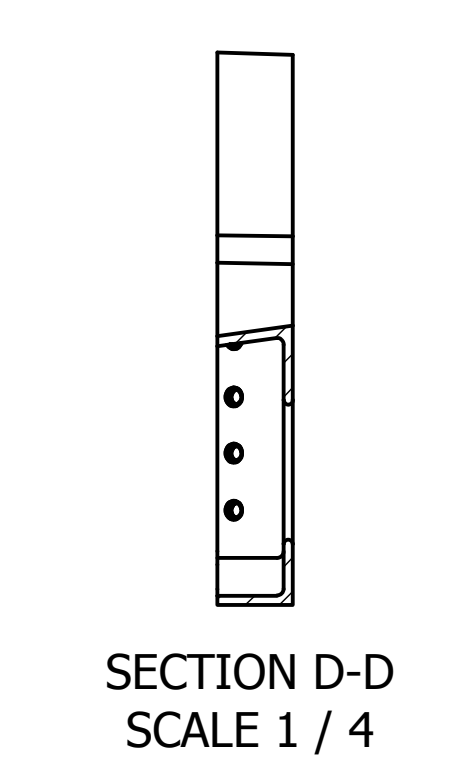
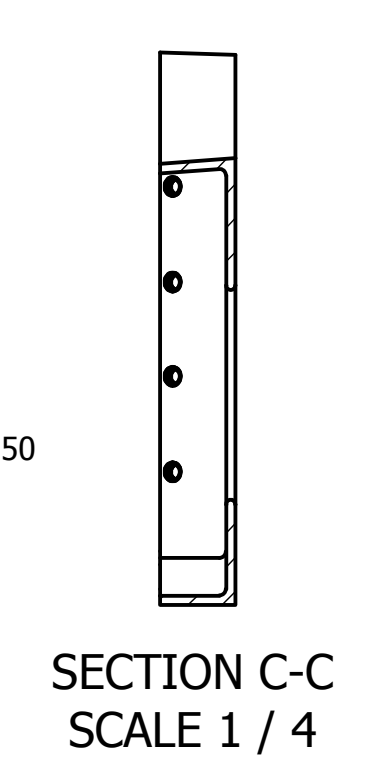
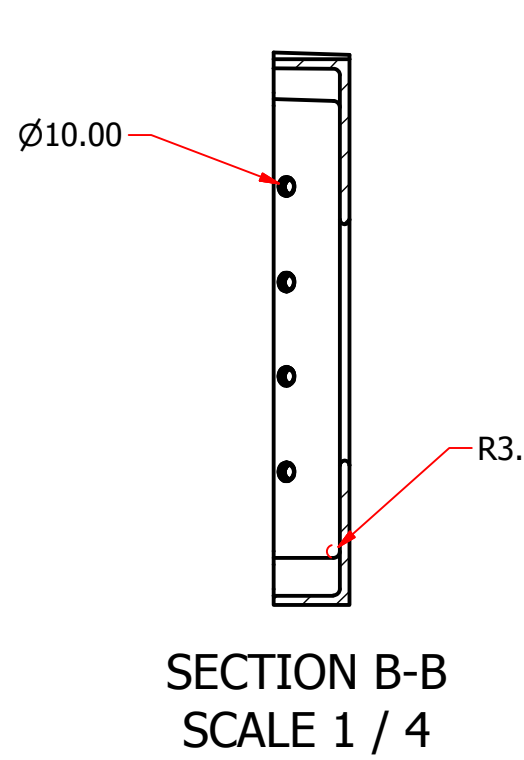
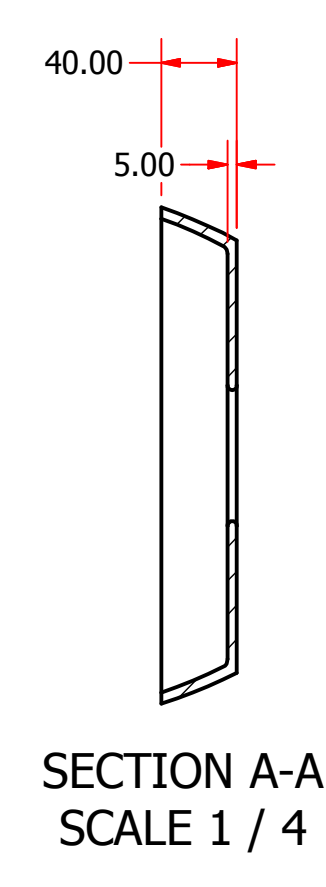
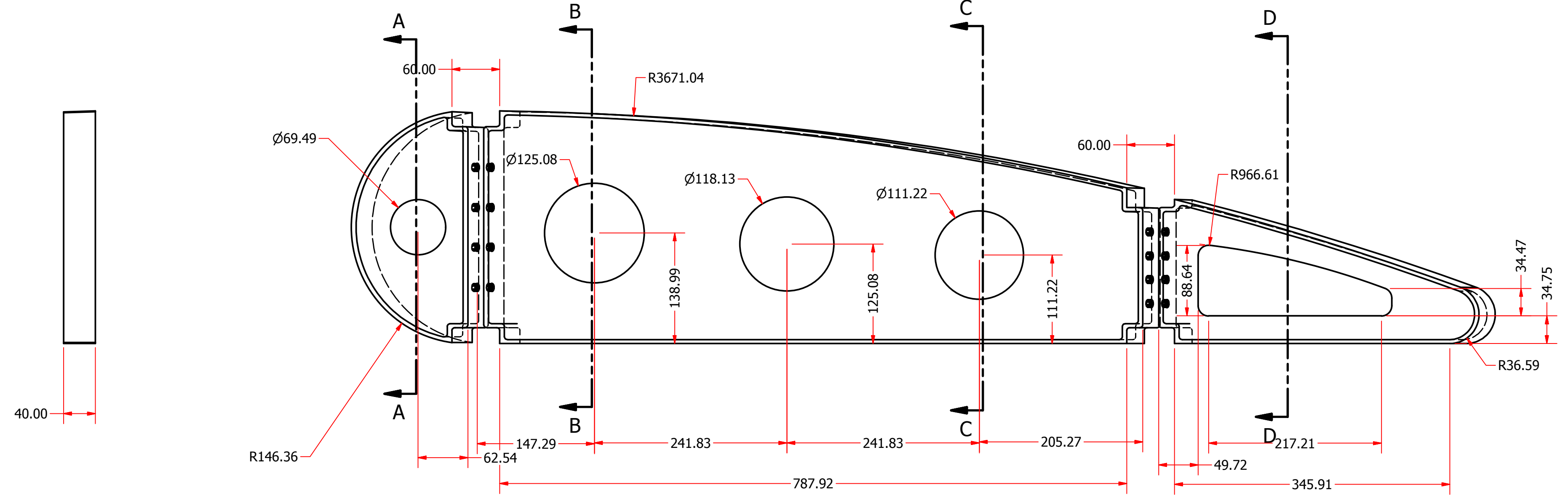
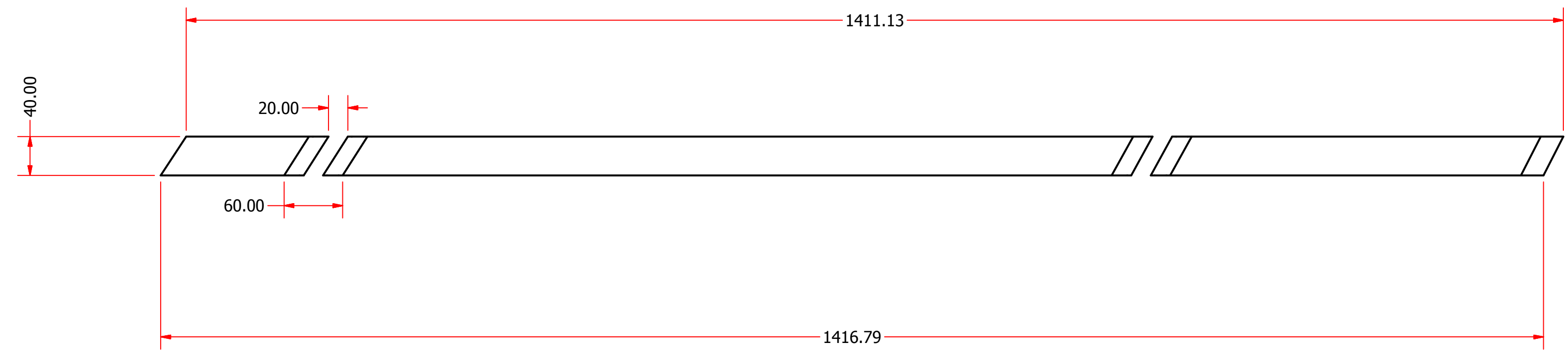
DRAWN	Σταυρίδης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος	Rib 5 (Νεύρο) Solid		
CHECKED		TITLE		
QA	Σκιπτιδής Φιλίμων	Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων		
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους		
APPROVED		(INVENTOR)		
		SIZE	DWG NO	REV
		D	10	
		SCALE	1 / 5	
			SHEET 1 OF 1	



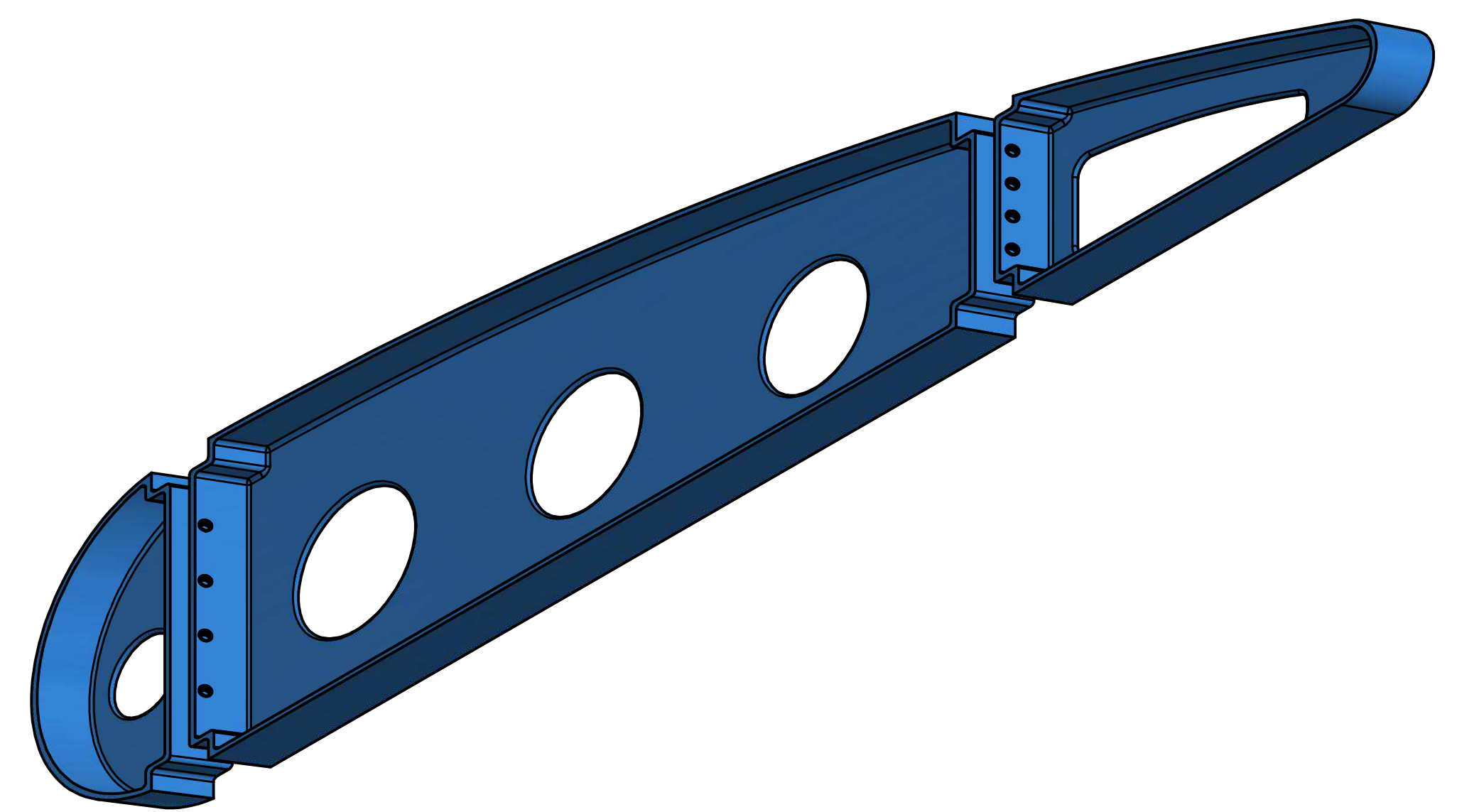
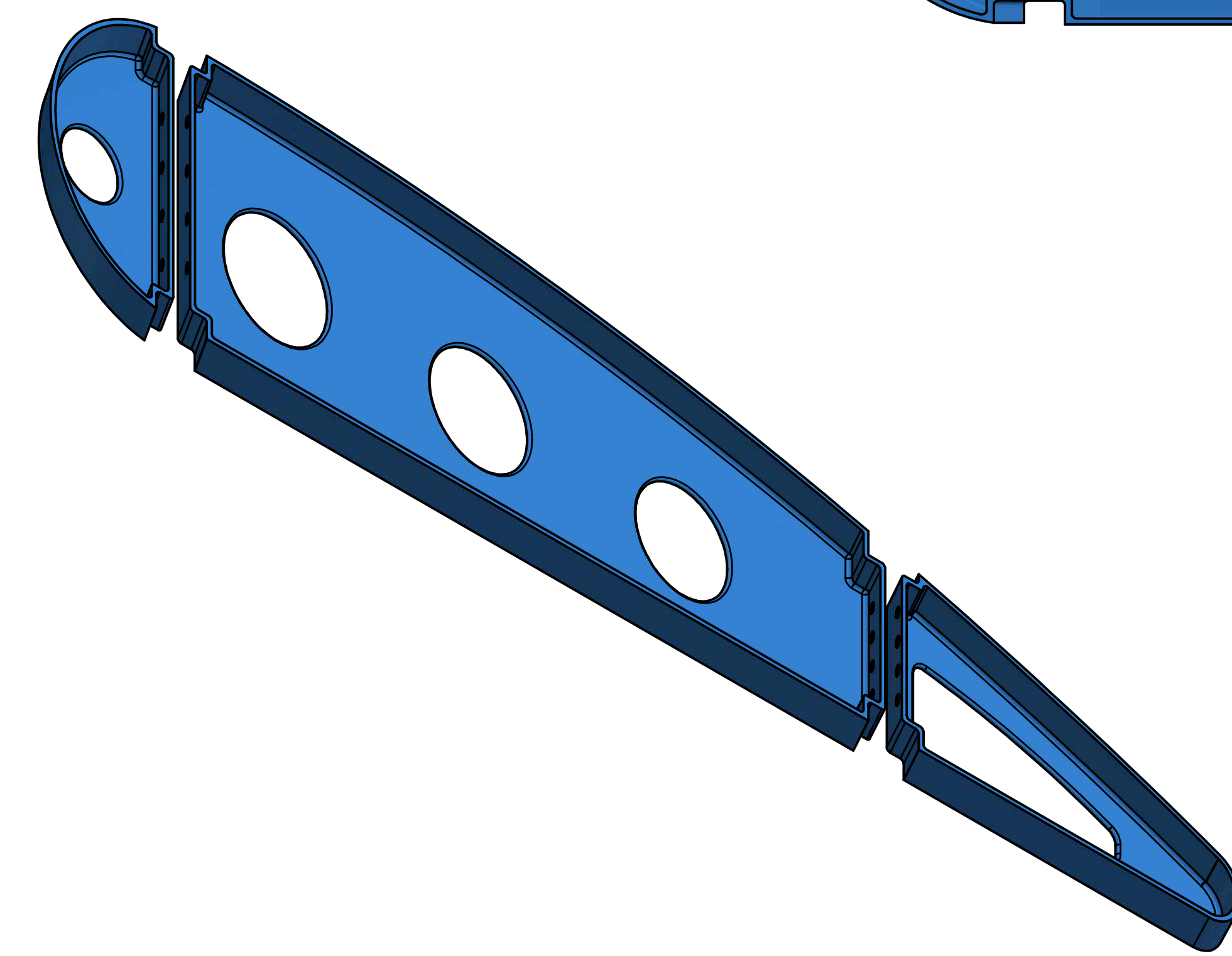
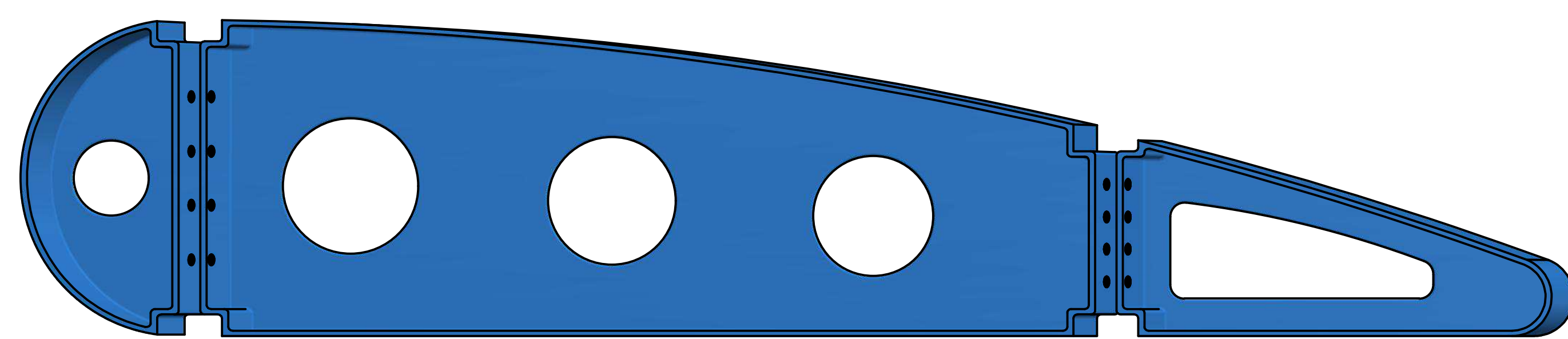
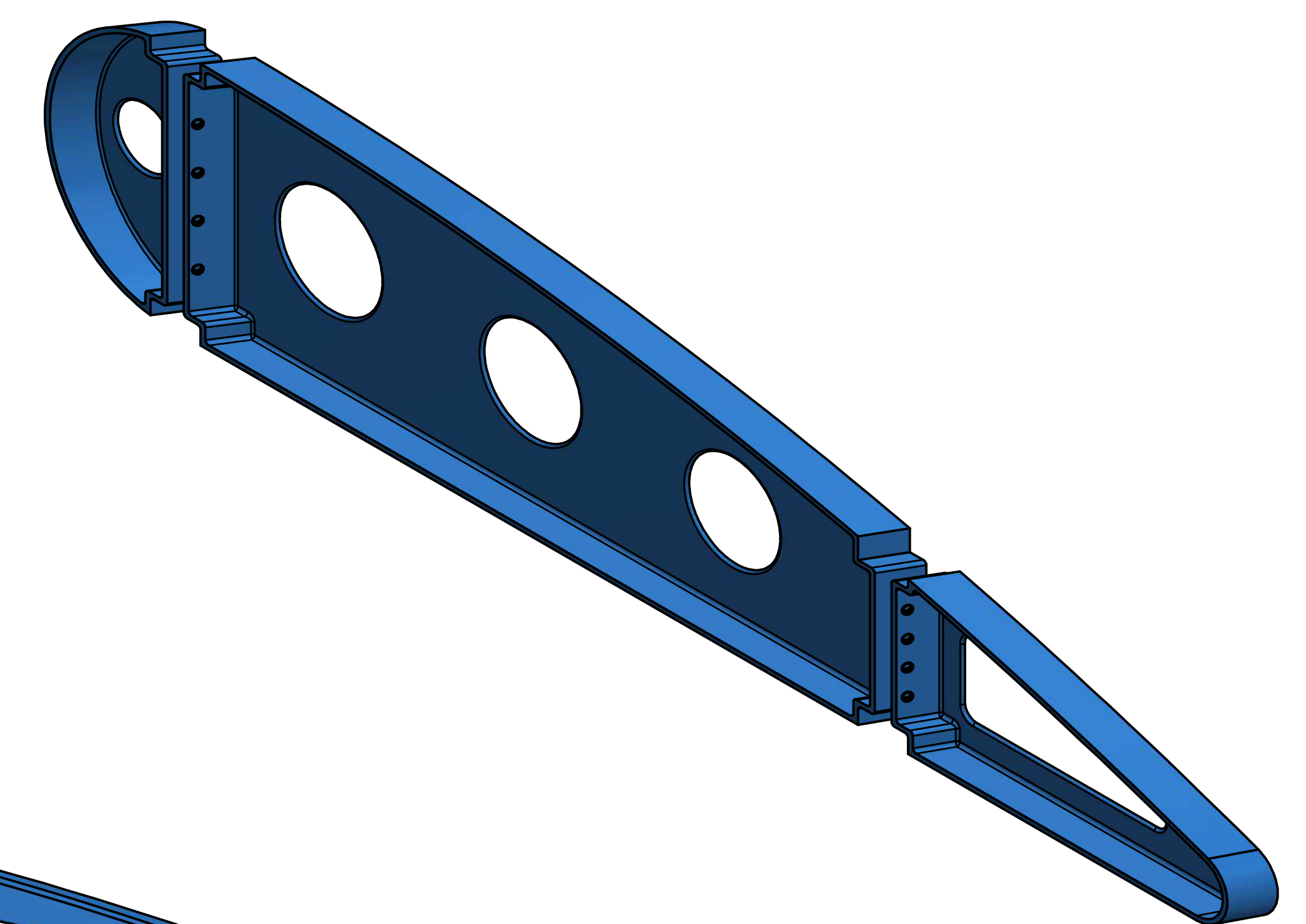
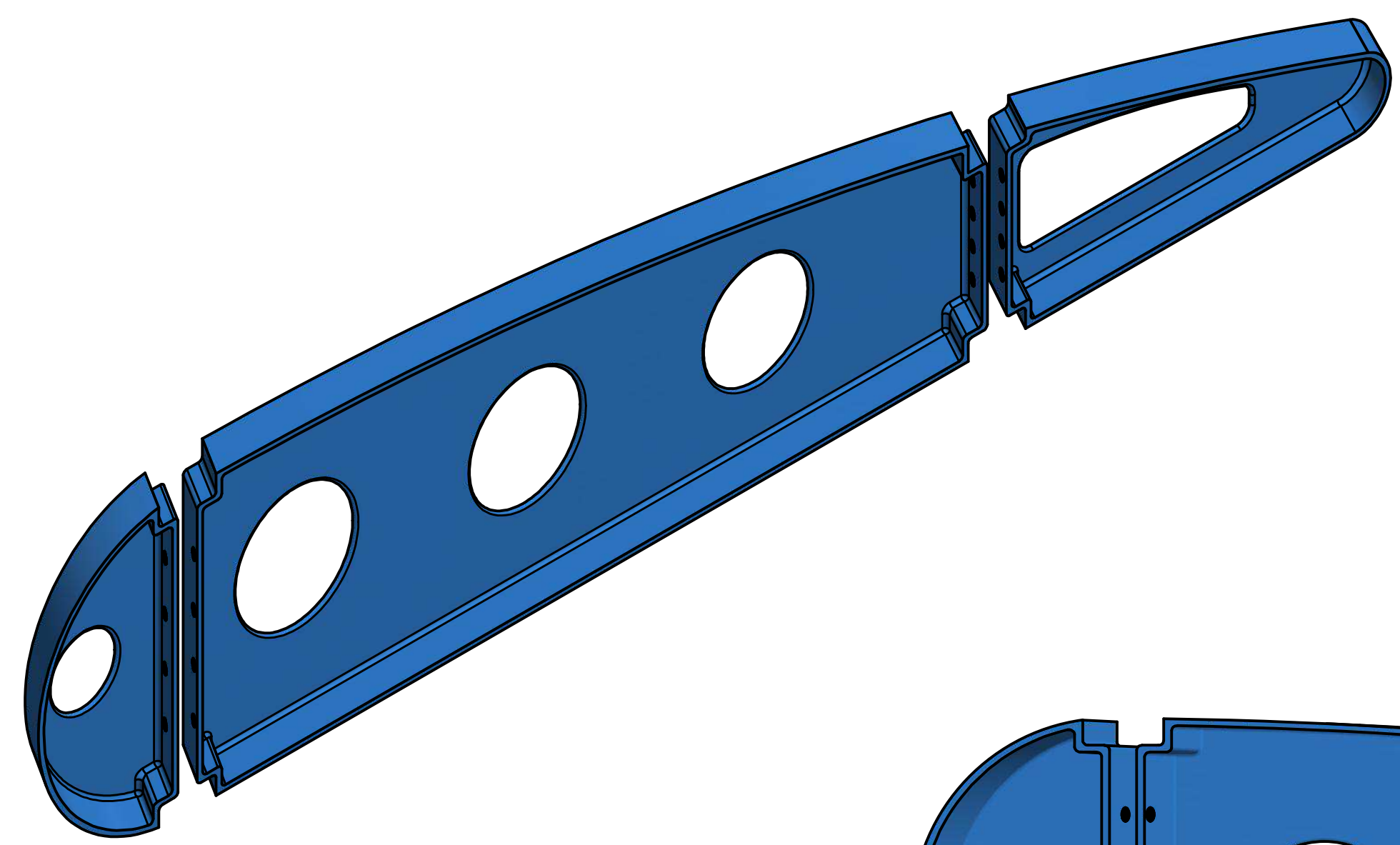
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Rib 6 (Νεύρο)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 11
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



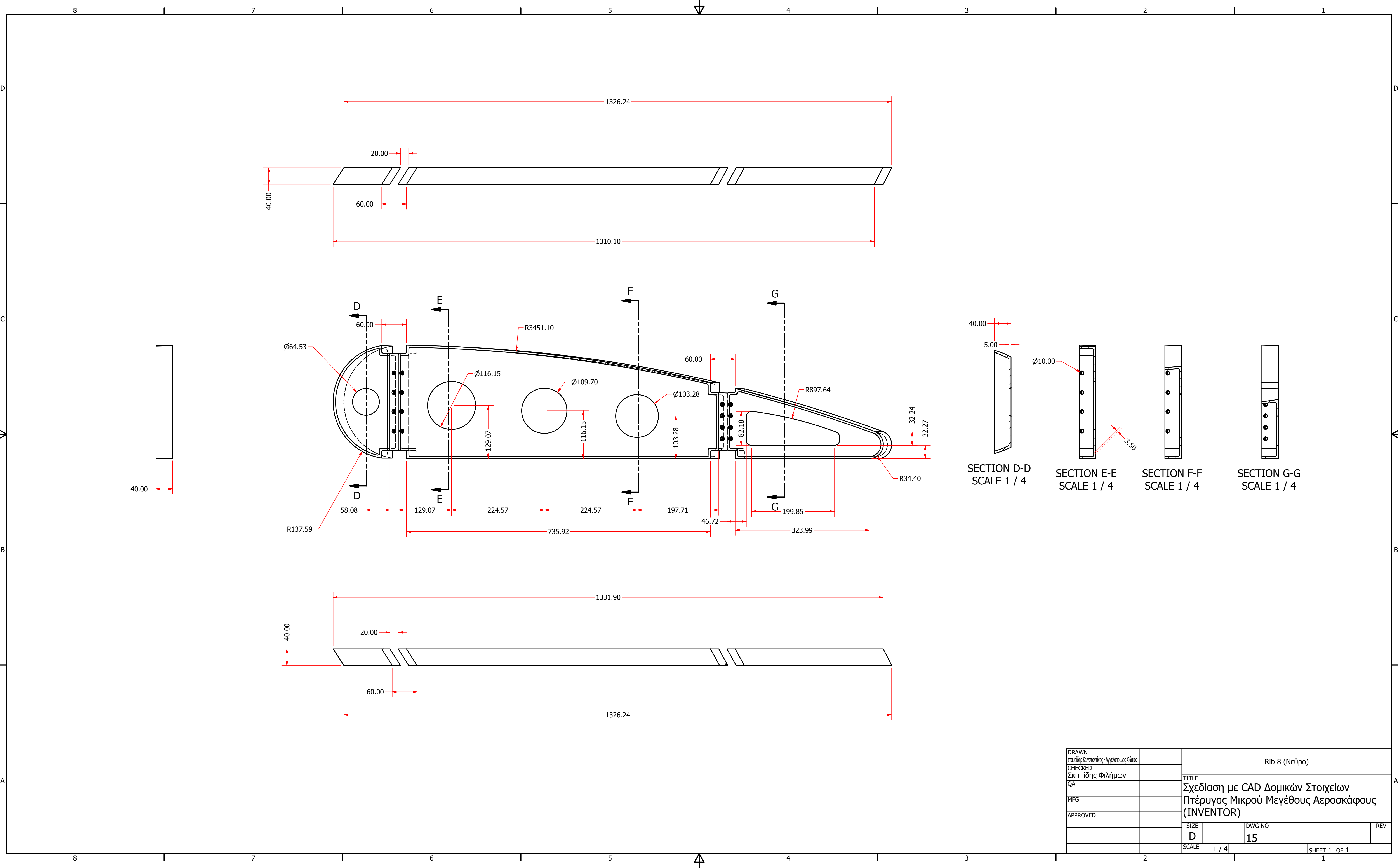
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Rib 6 (Νεύρο) Solid	
CHECKED Σκιττιλίδης Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 12
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



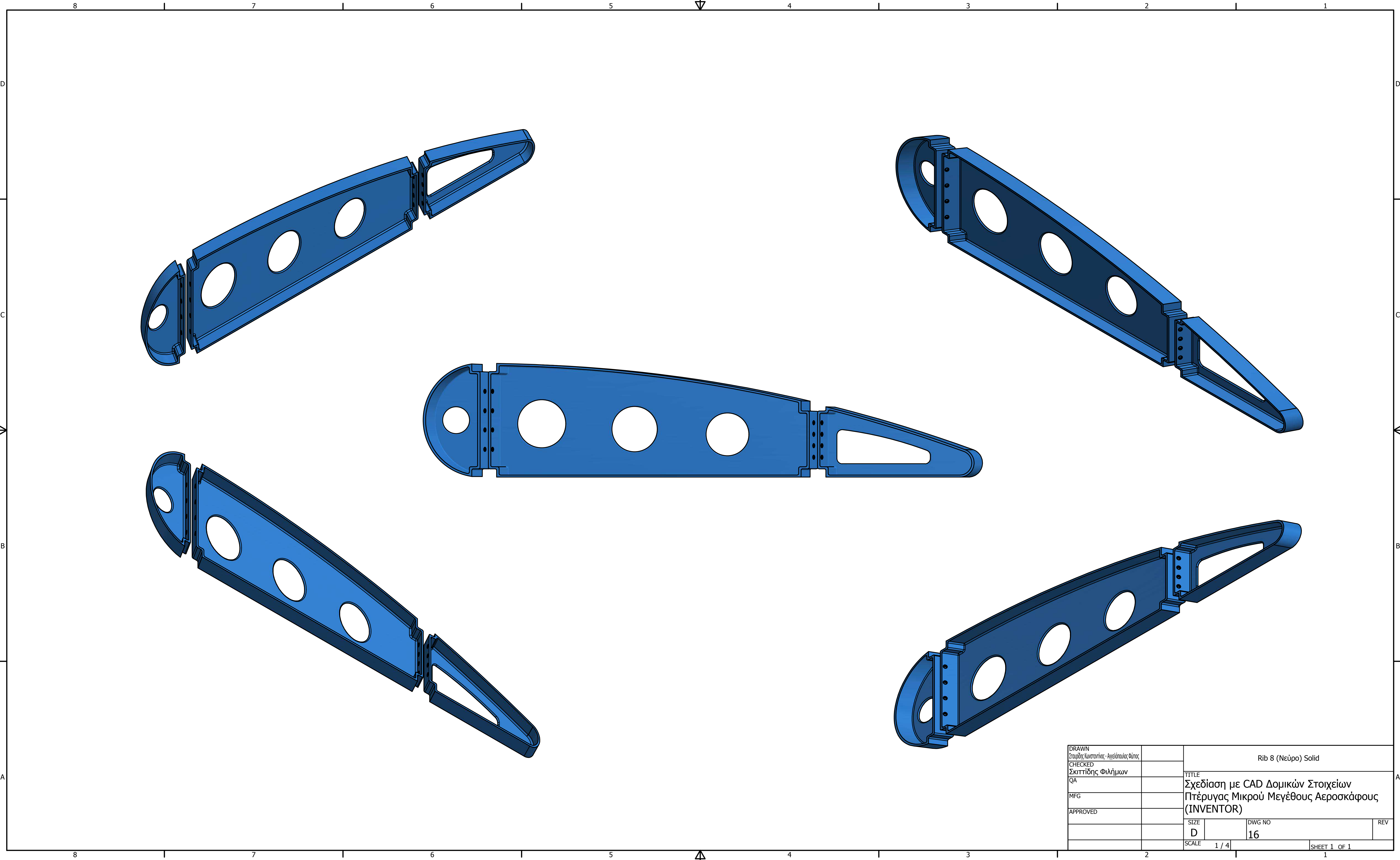
DRAWN	Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος	Rib 7 (Νεύρο)	
CHECKED	Σκιπτιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	13
		SCALE	1 / 4
		SHEET 1 OF 1	



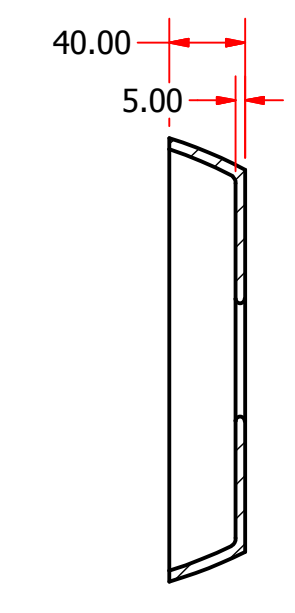
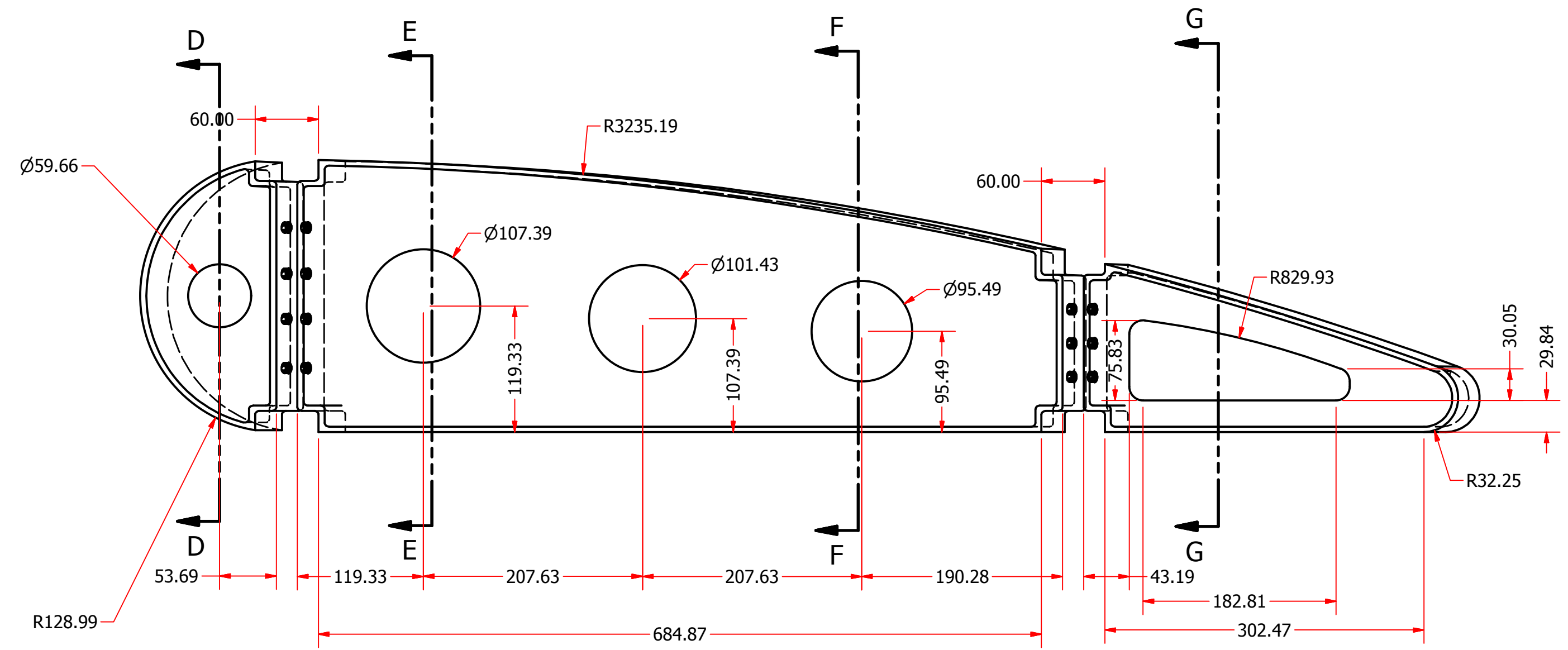
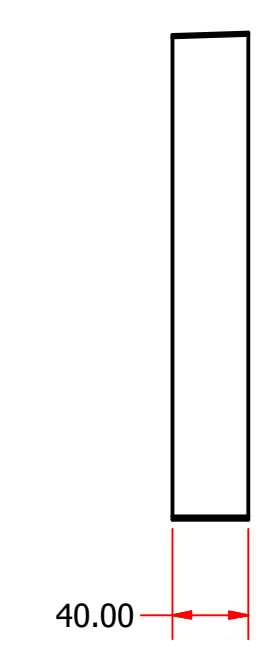
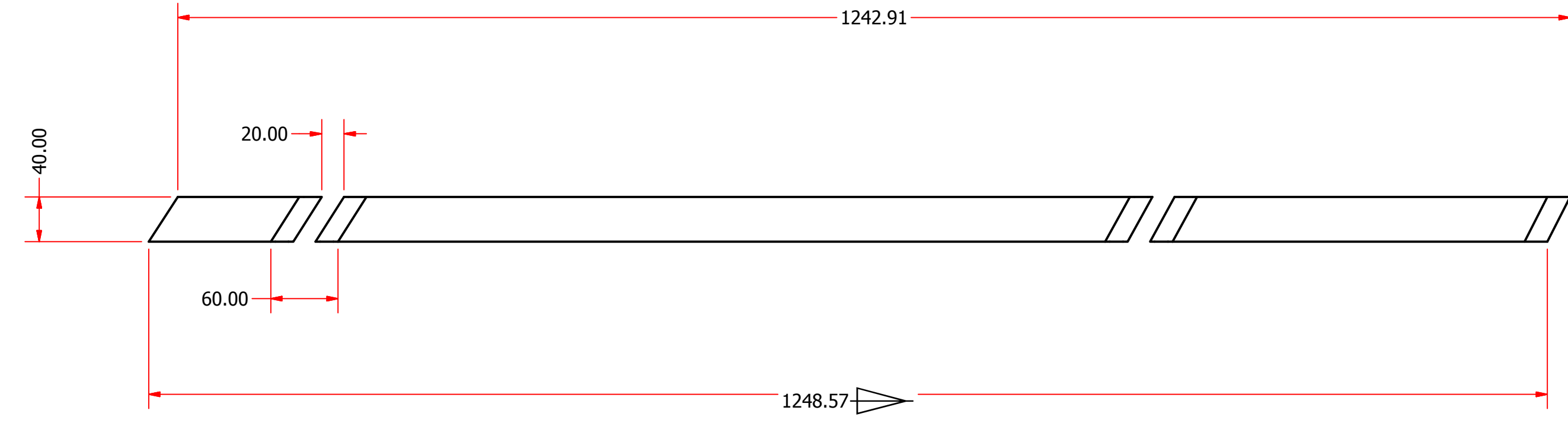
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτιος	Rib 7 (Νεύρο) Solid		
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE		
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων		
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους		
APPROVED		(INVENTOR)		
		SIZE	DWG NO	REV
		D	14	
		SCALE	1 / 4	SHEET 1 OF 1



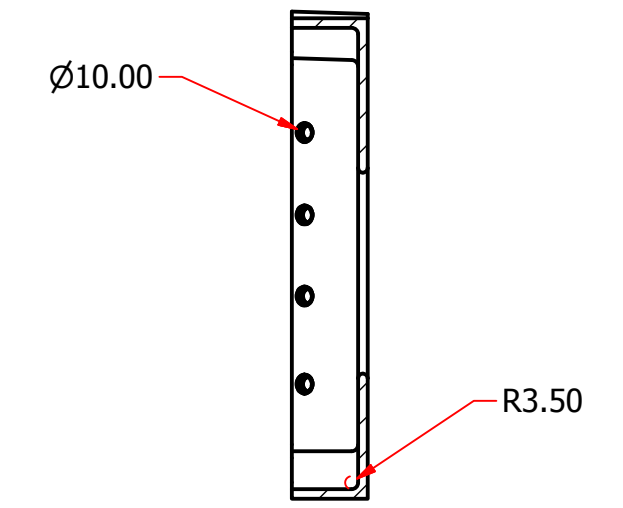
DRAWN	Επιλογή Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος	Rib 8 (Νεύρο)	
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	15
		SCALE	1 / 4
			SHEET 1 OF 1



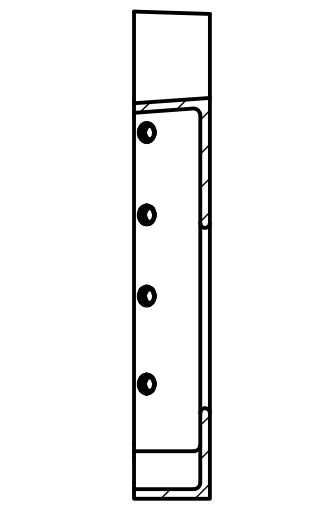
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτιος	Rib 8 (Νεύρο) Solid		
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE		
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων		
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους		
APPROVED		(INVENTOR)		
		SIZE	DWG NO	REV
		D	16	
		SCALE	SHEET 1 OF 1	
		1 / 4		



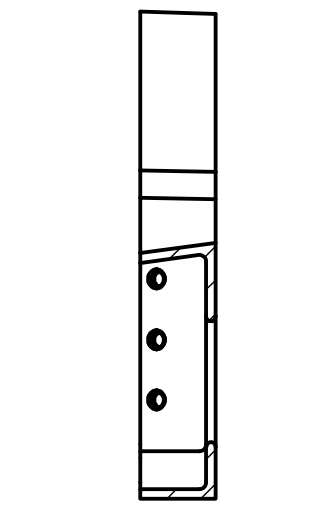
SECTION D-D
SCALE 1 / 4



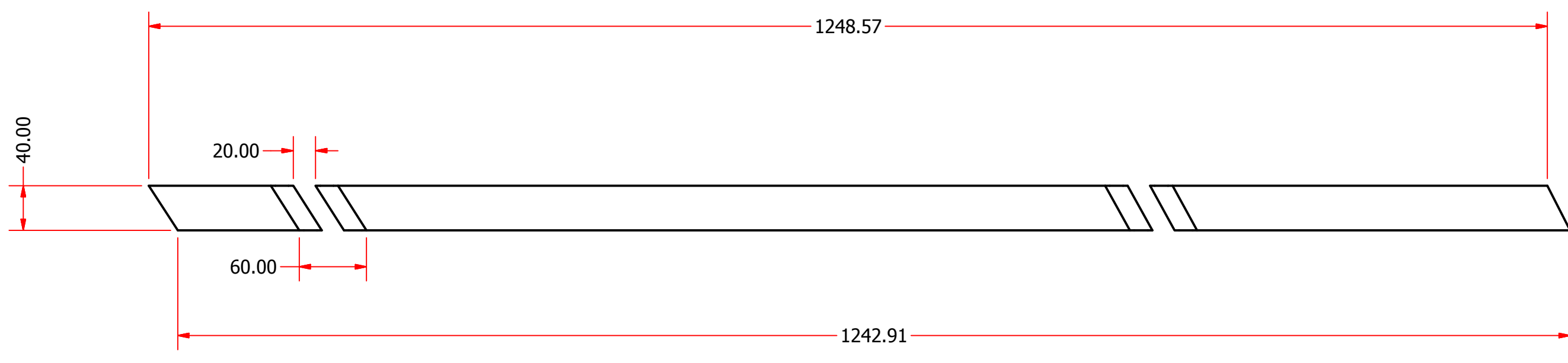
SECTION E-E
SCALE 1 / 4



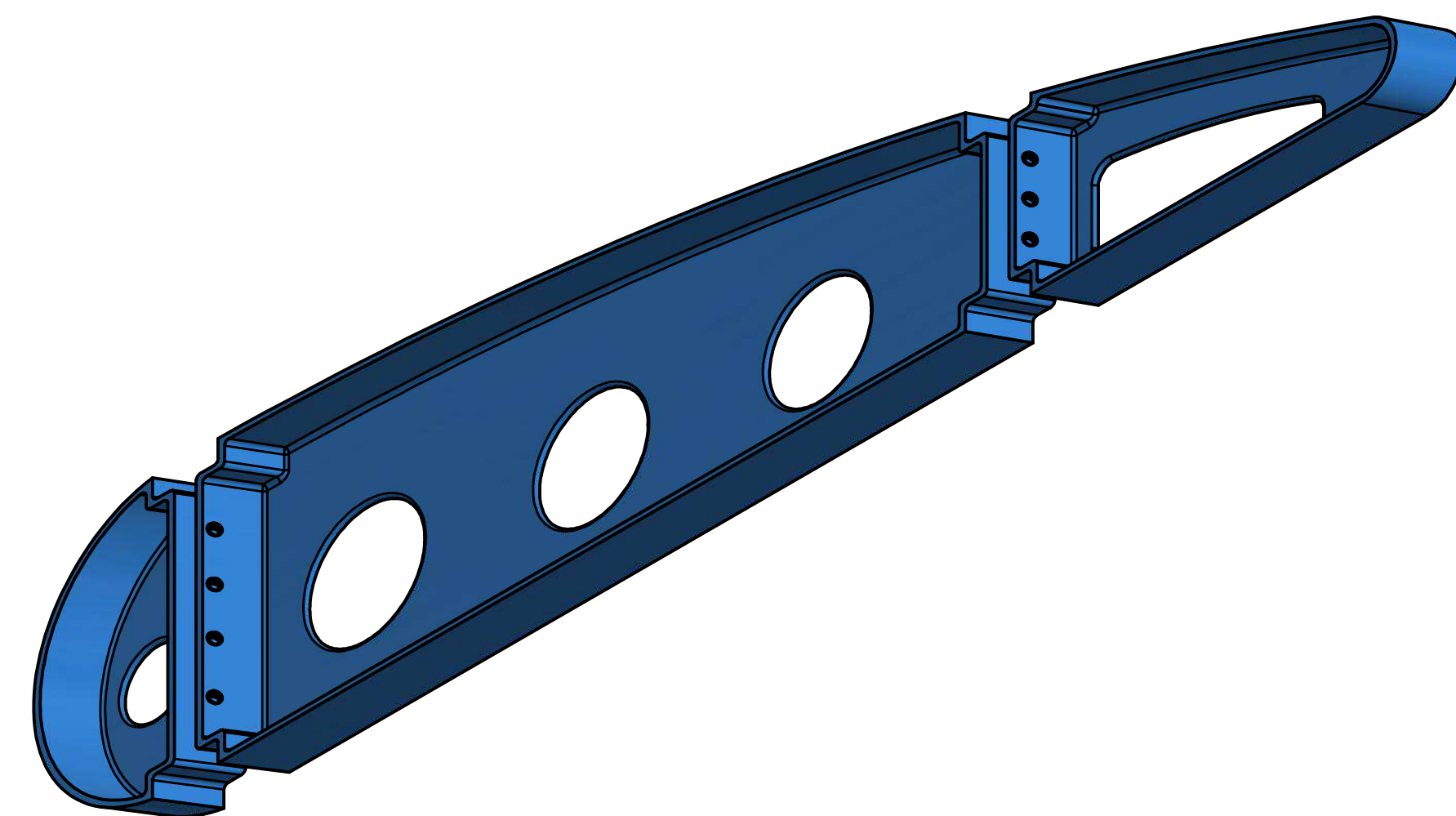
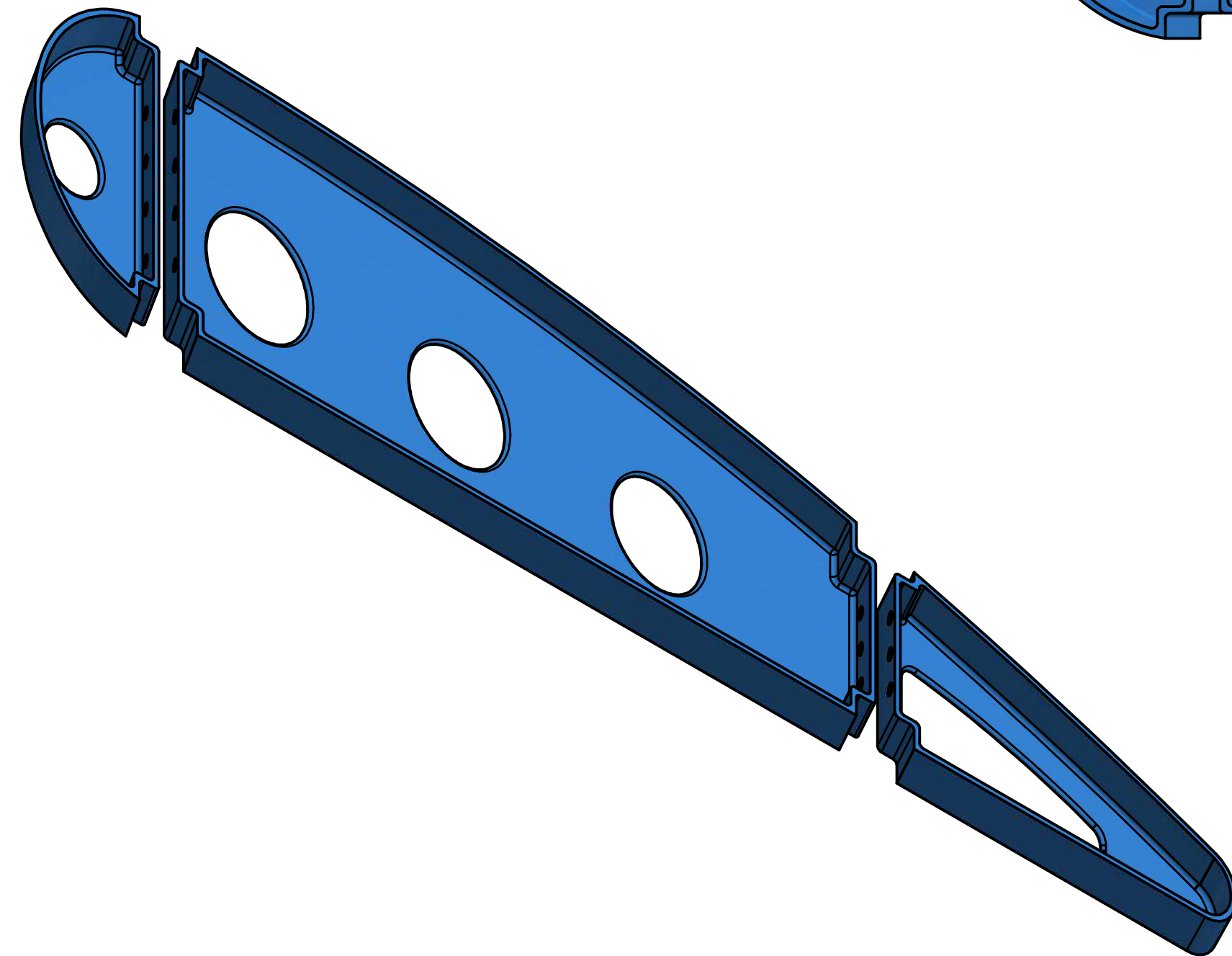
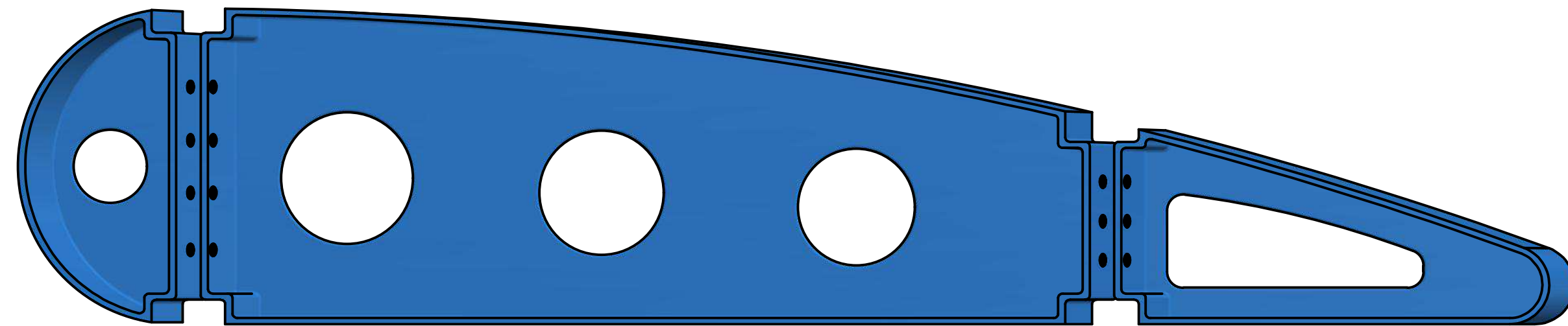
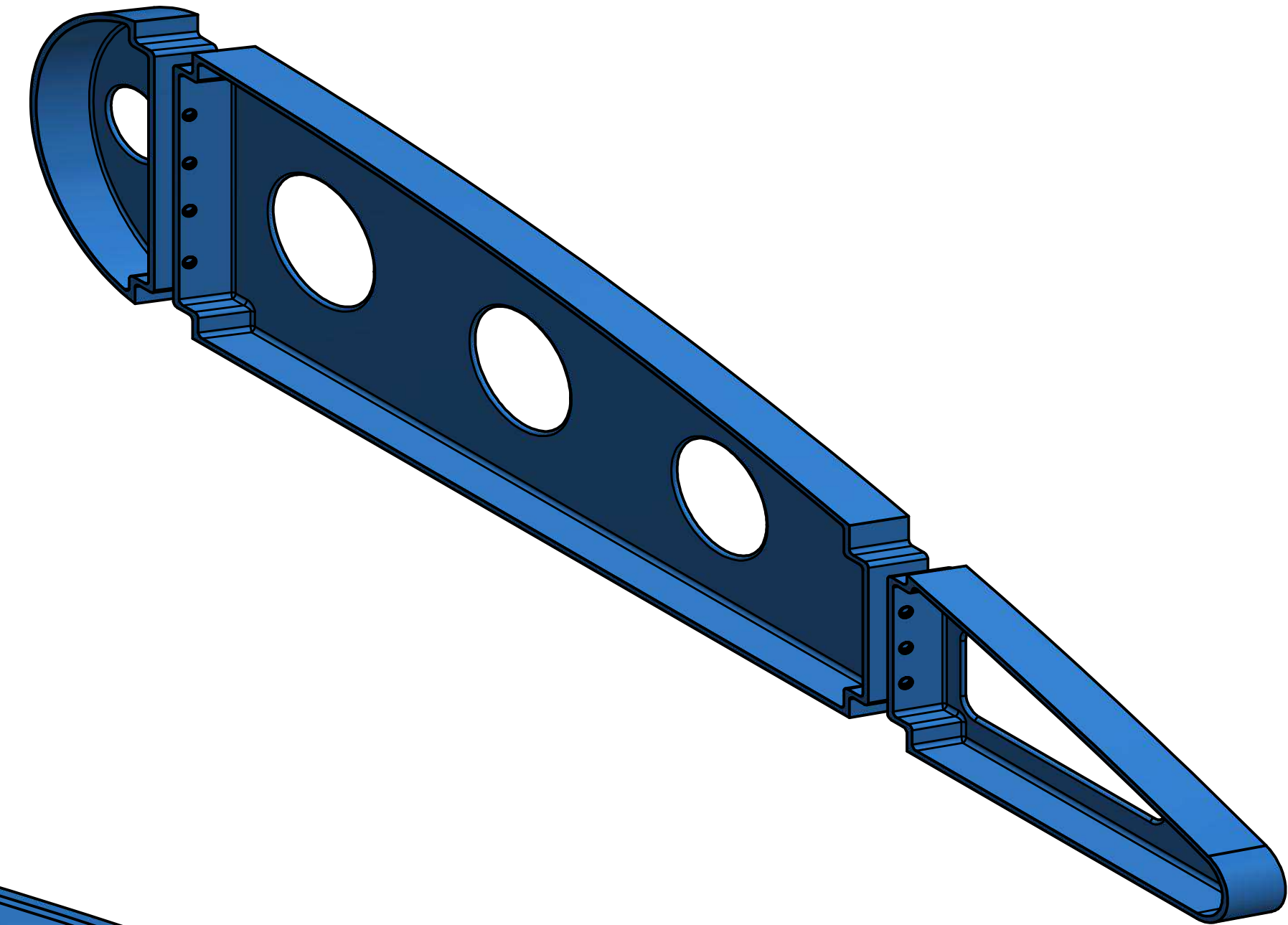
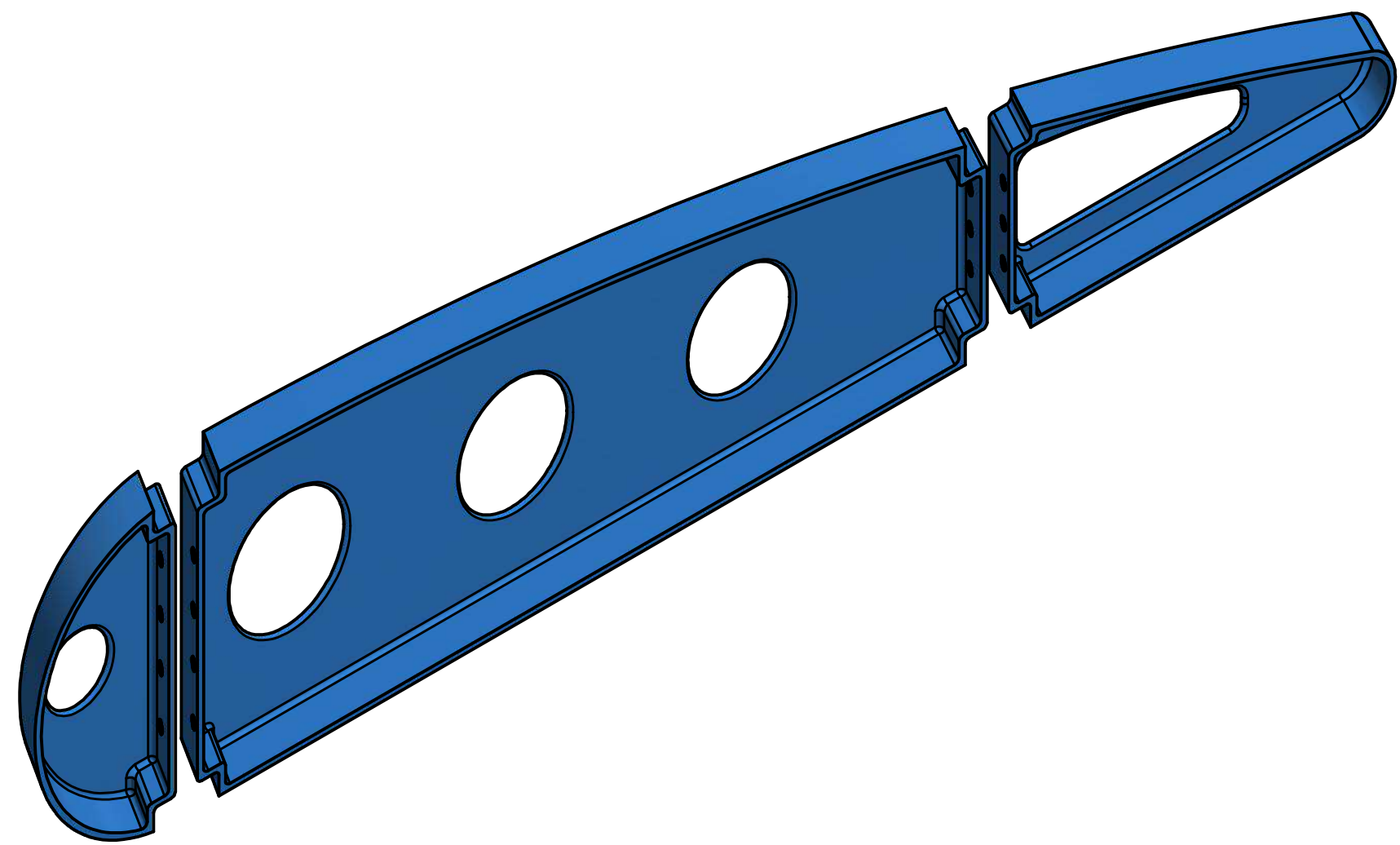
SECTION F-F
SCALE 1 / 4



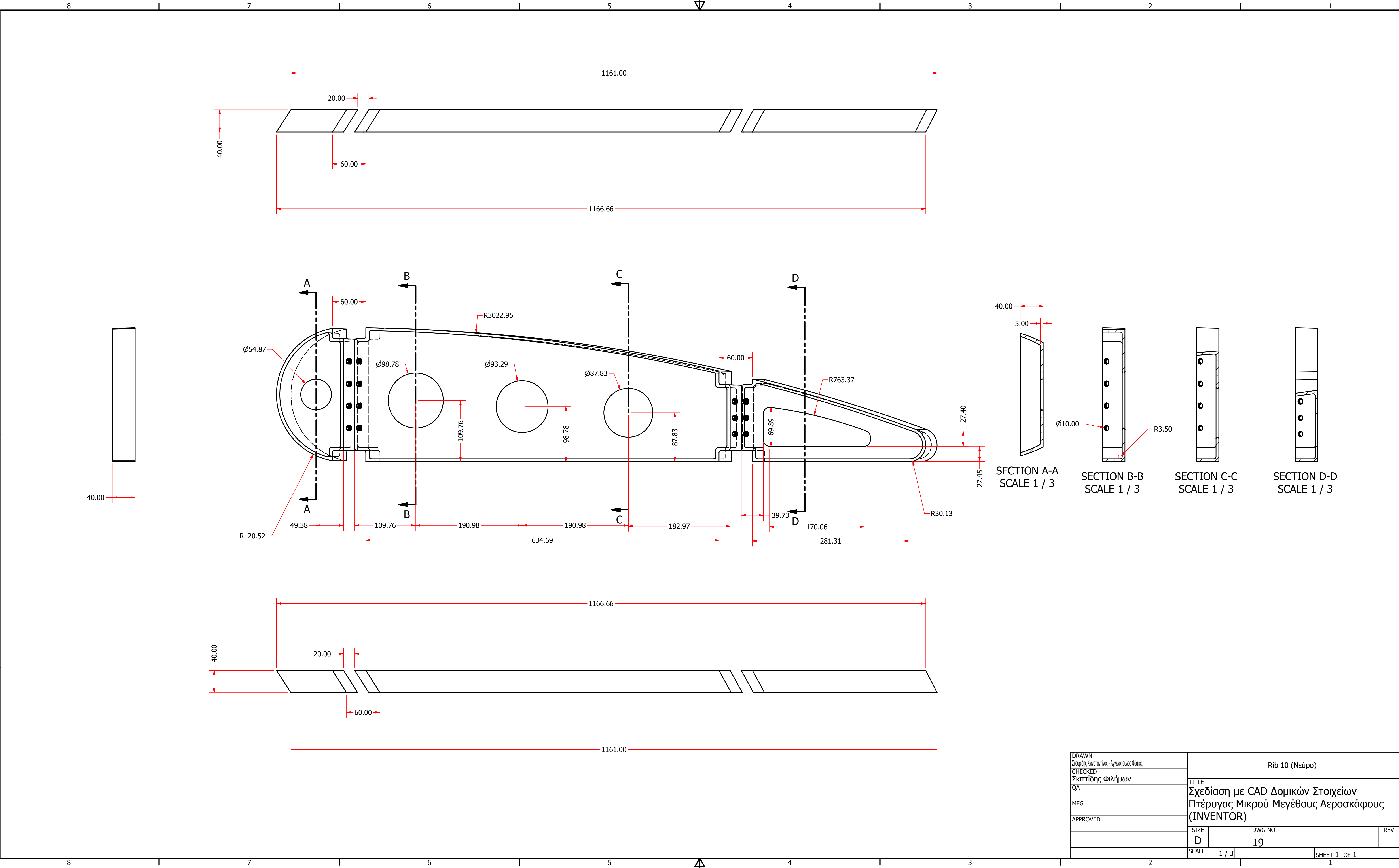
SECTION G-G
SCALE 1 / 4



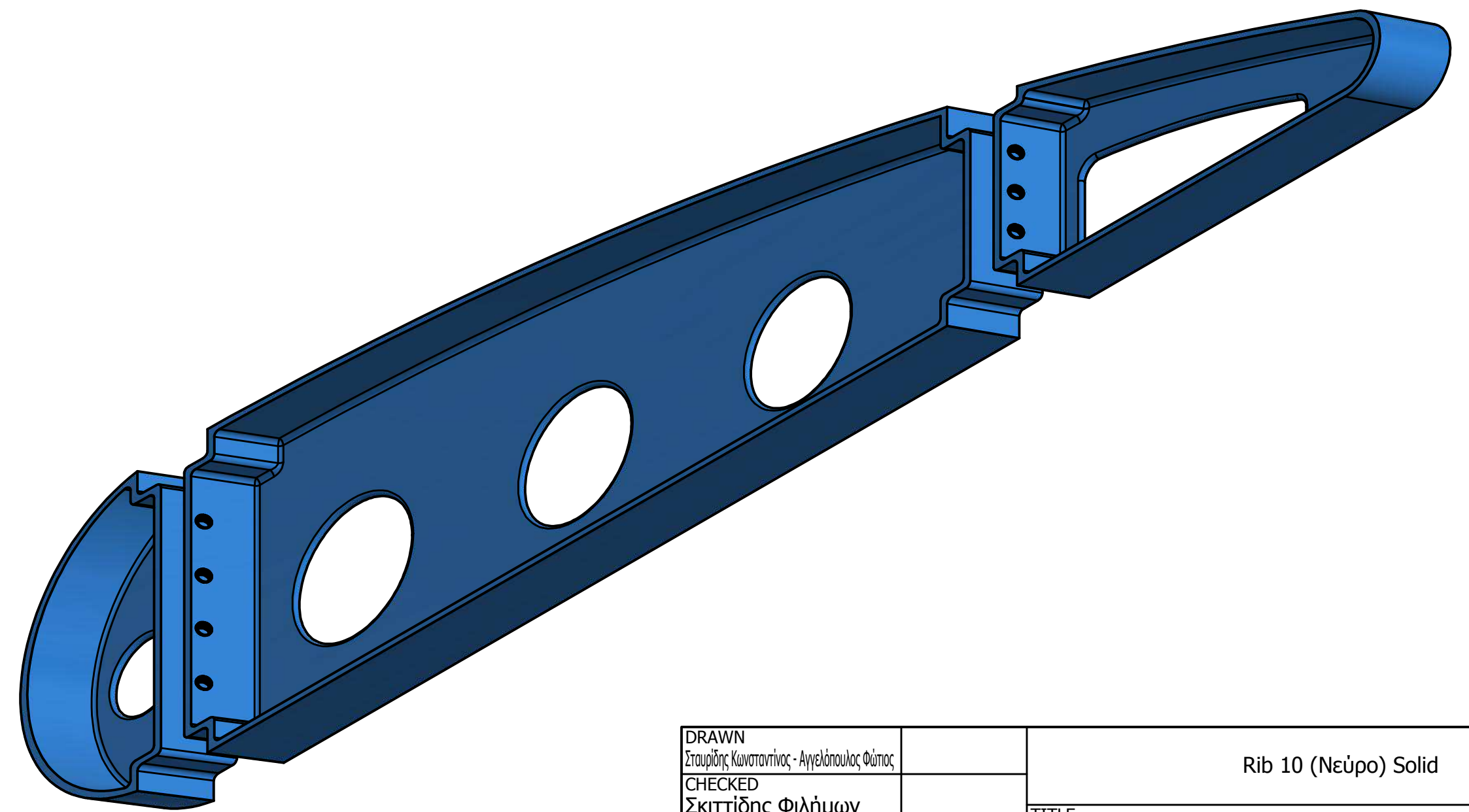
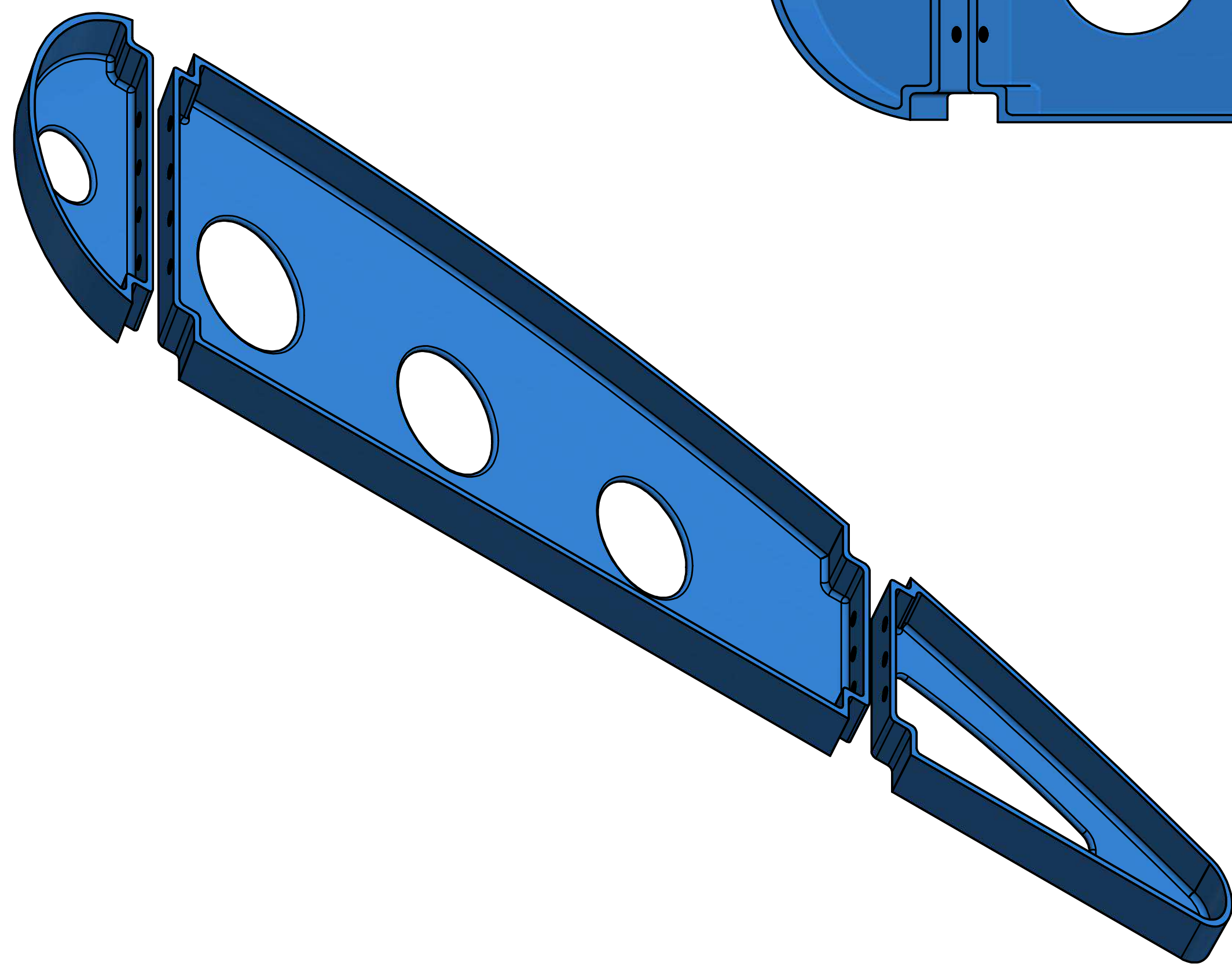
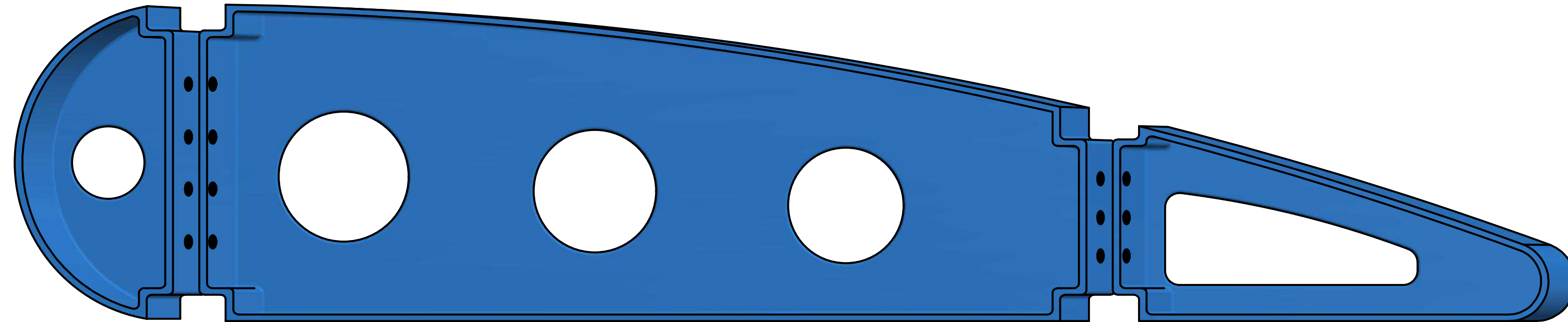
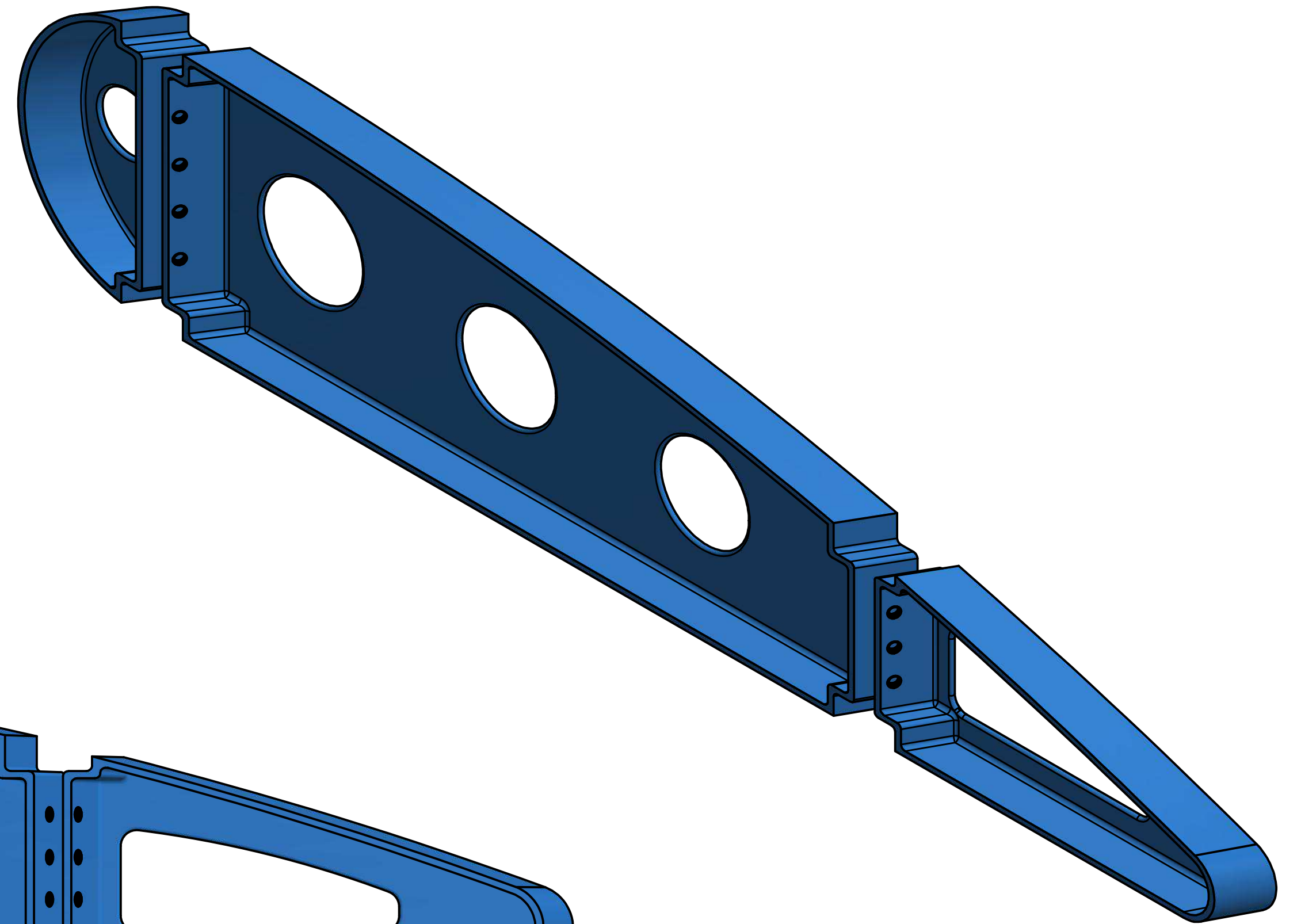
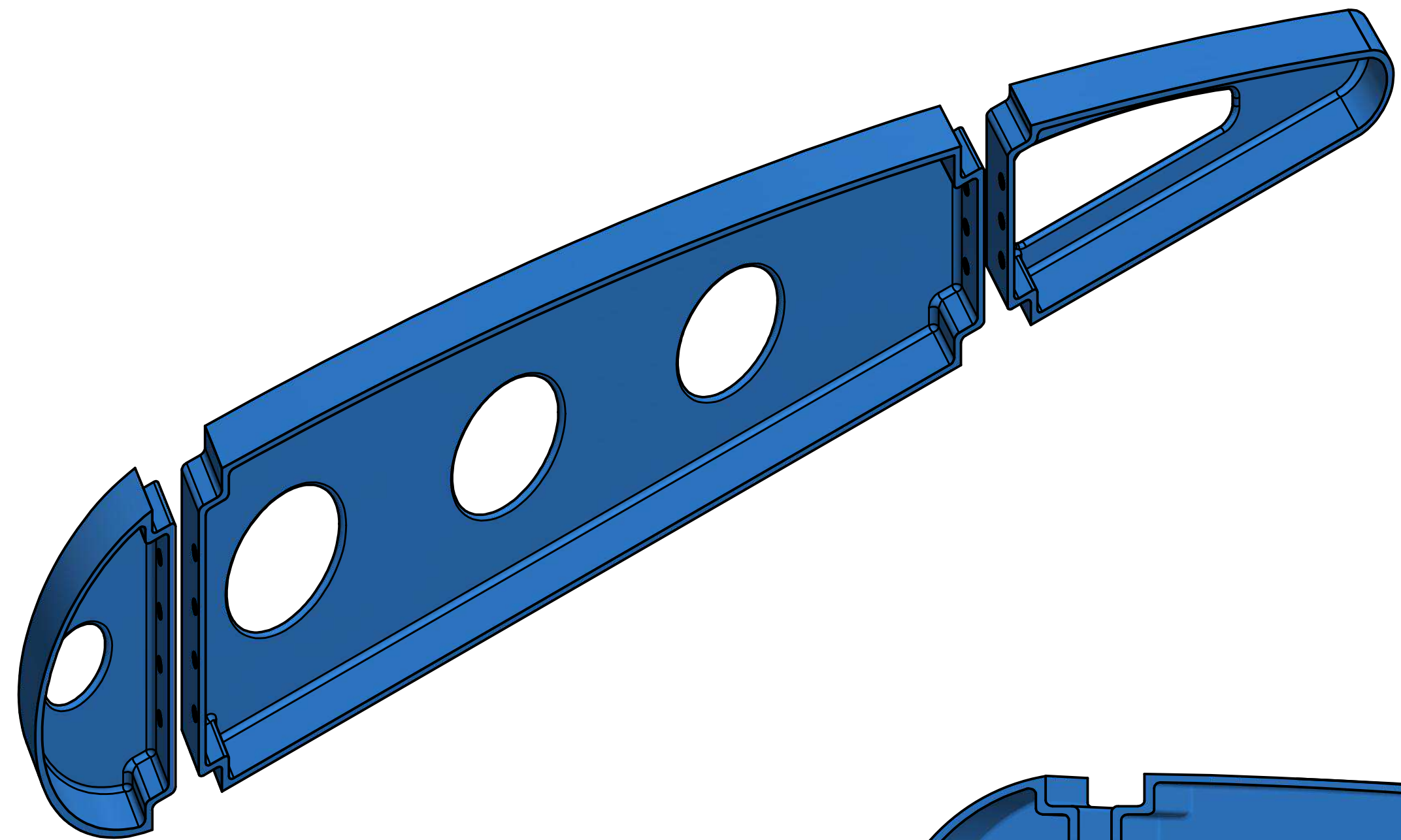
DRAWN	Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος	Rib 9 (Νεύρο)	
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	17
		SCALE	1 / 4
		SHEET 1 OF 1	



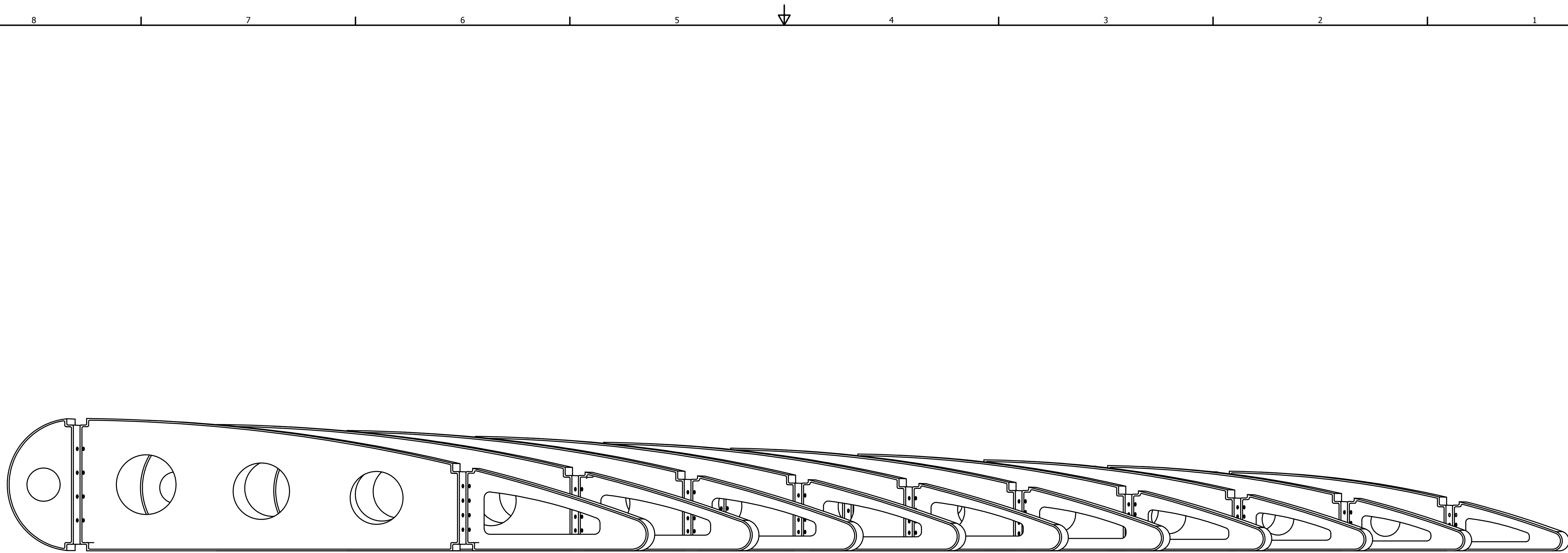
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φωτισμός		Rib 9 (Νεύρο) Solid	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 18
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



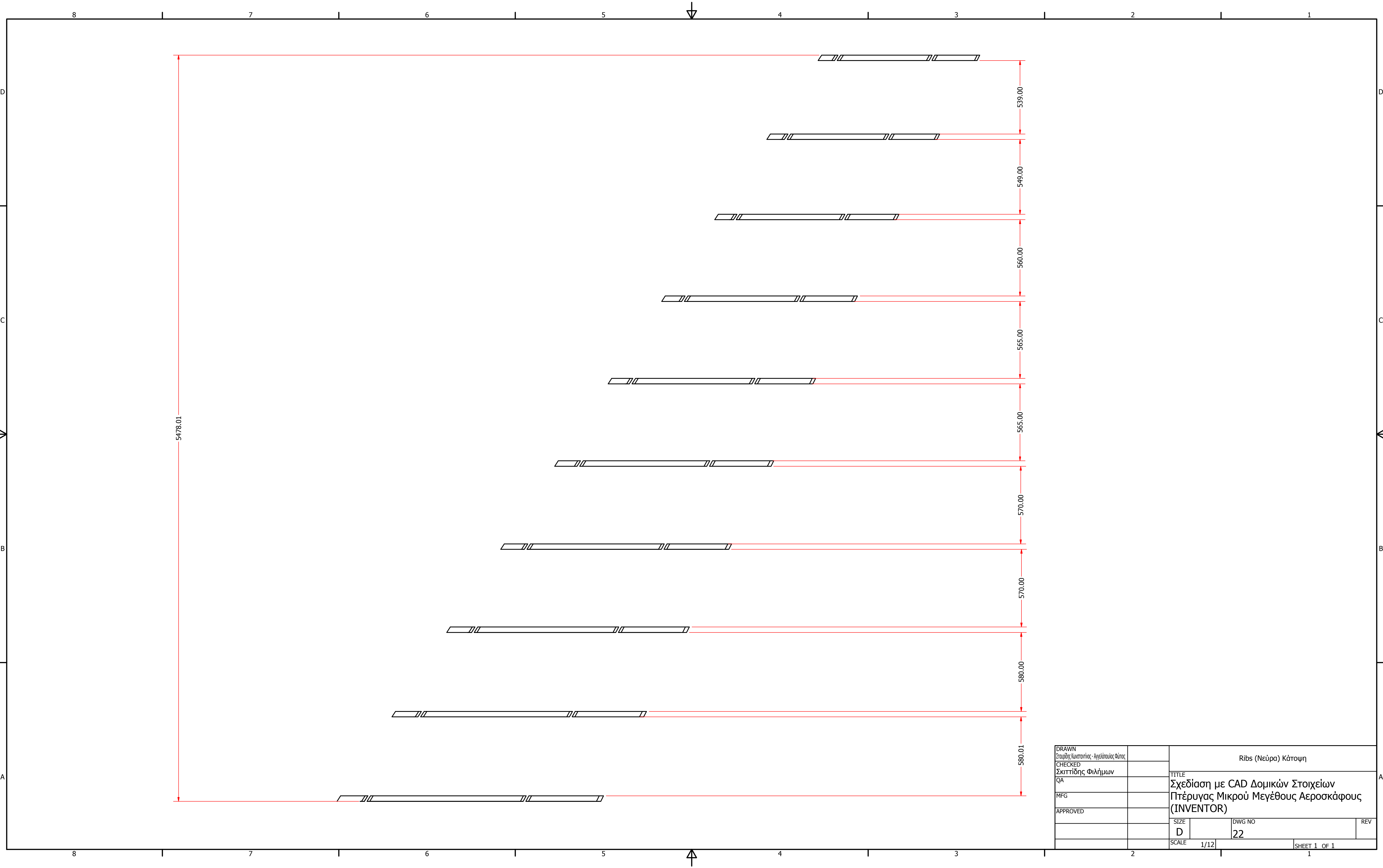
DRAWN	Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος	Rib 10 (Νεύρο)	
CHECKED	QA	TITLE	
SKETCHED	Φιλίμων	Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
SIZE	D	DWG NO	REV
SCALE	1 / 3	19	
		SHEET 1 OF 1	



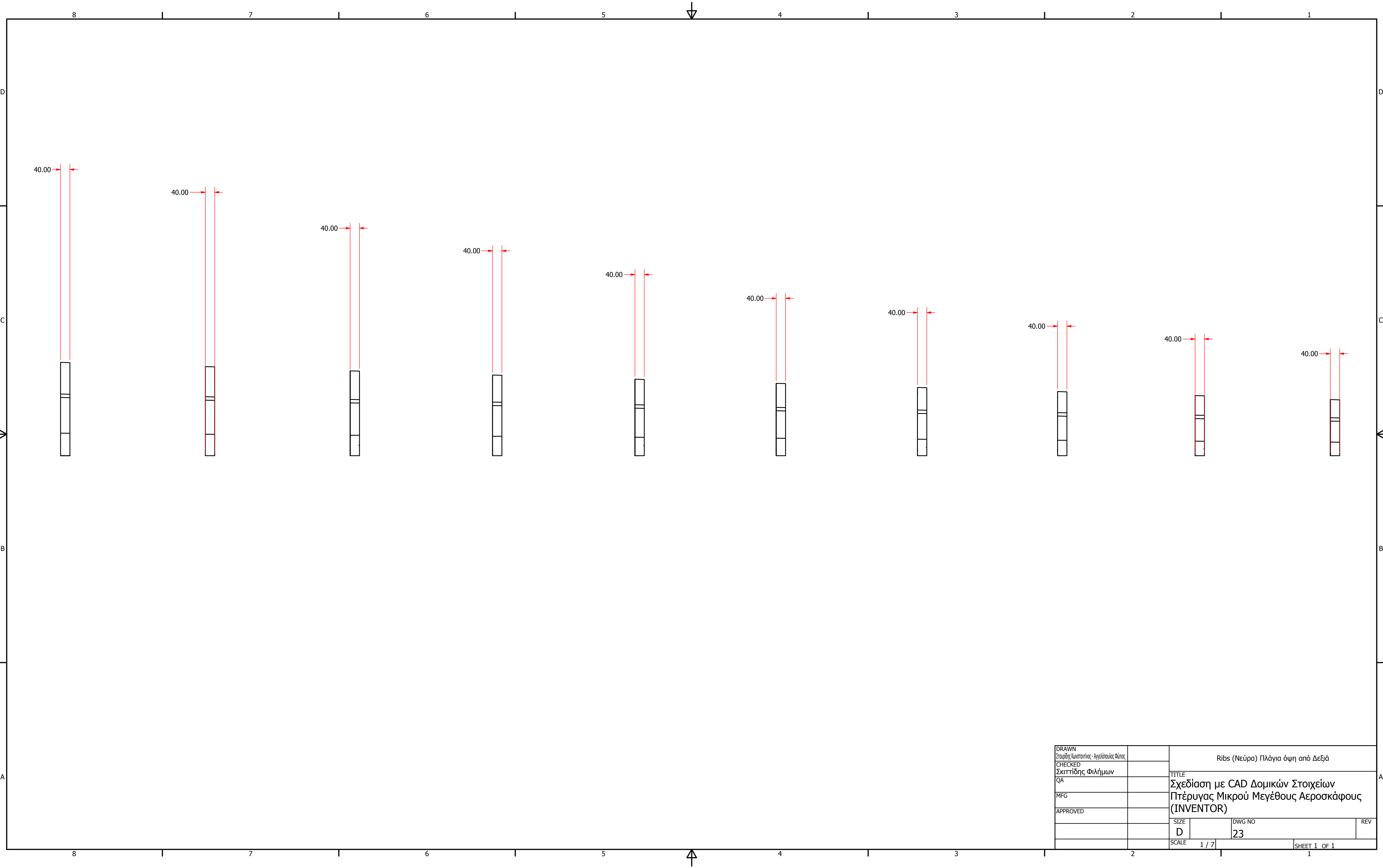
DRAWN Σταυρώσης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος		Rib 10 (Νεύρο) Solid	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 20
MFG		SCALE 1 / 3	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



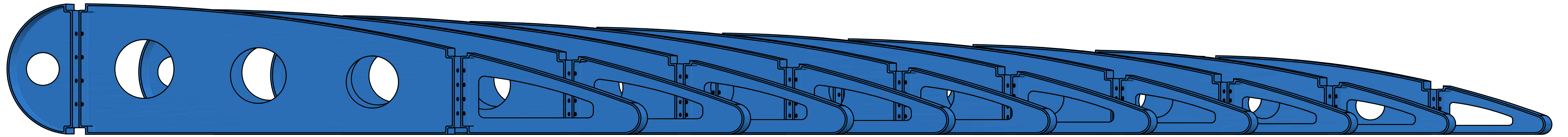
DRAWN Σταυρόδης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάππος		Ribs (Νεύρα) Πρόωση	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 21
MFG		SCALE 1/6	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



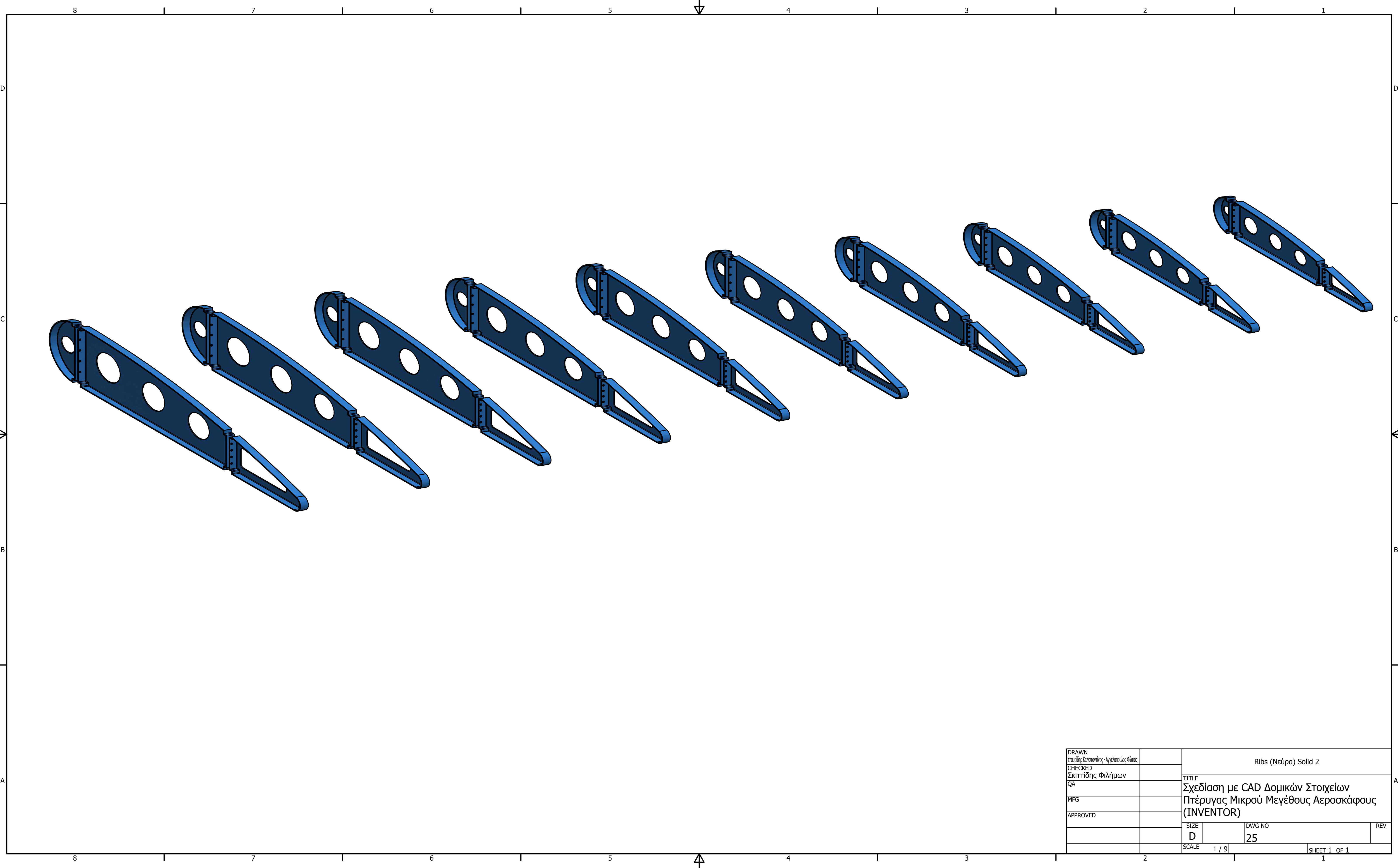
DRAWN Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος		Ribs (Νεύρα) Κάτοψη	
CHECKED Σκιπτιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 22
MFG		SCALE 1/12	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



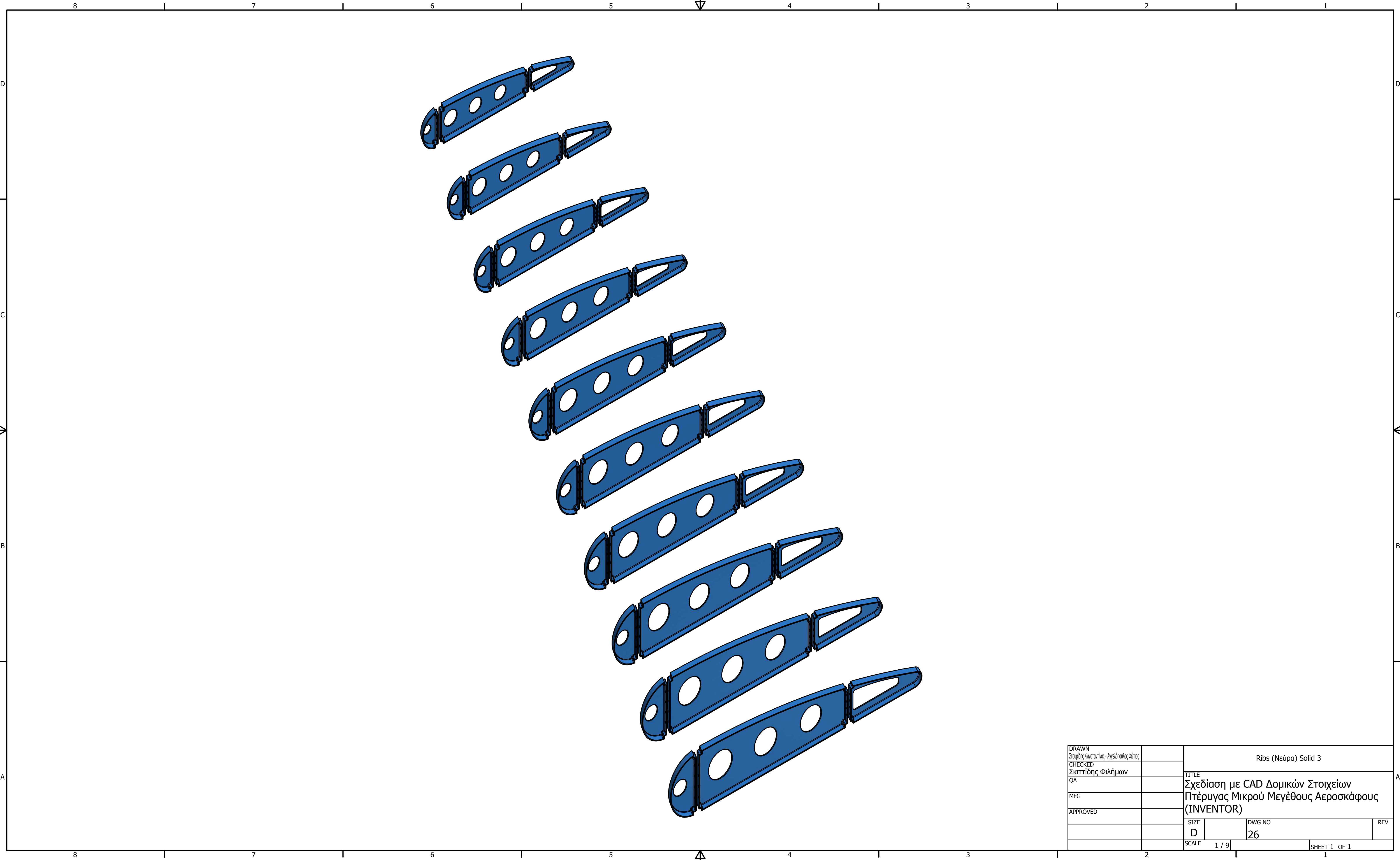
DRAWN		Ribs (Νεύρα) Πλάγια όψη από Δεξιά	
Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος		TITLE	
CHECKED		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
Σκιττιδής Φιλήμων		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
QA		(INVENTOR)	
MFG		SIZE	DWG NO
APPROVED		D	23
		SCALE	1 / 7
		SHEET 1 OF 1	



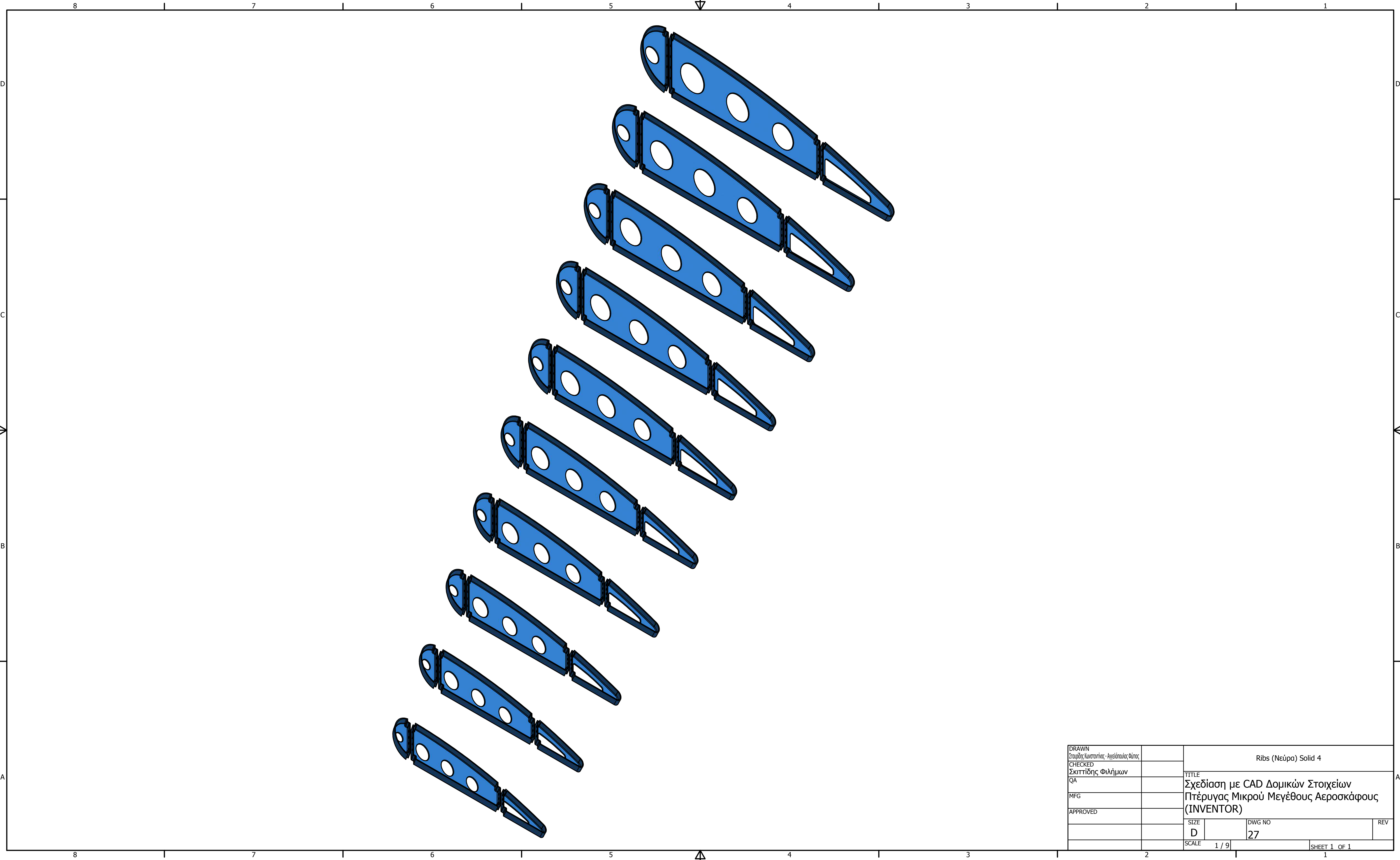
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάππος		Ribs (Νεύρα) Solid 1	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 24
MFG		SCALE 1 / 6	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



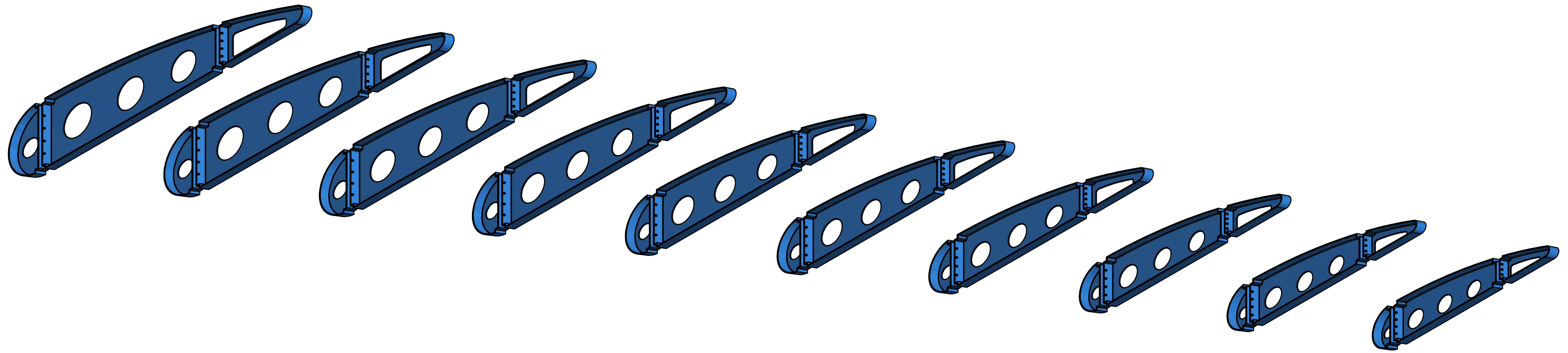
DRAWN Σταυρώλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Ribs (Νεύρα) Solid 2	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 25
MFG			REV
APPROVED		SCALE 1 / 9	SHEET 1 OF 1



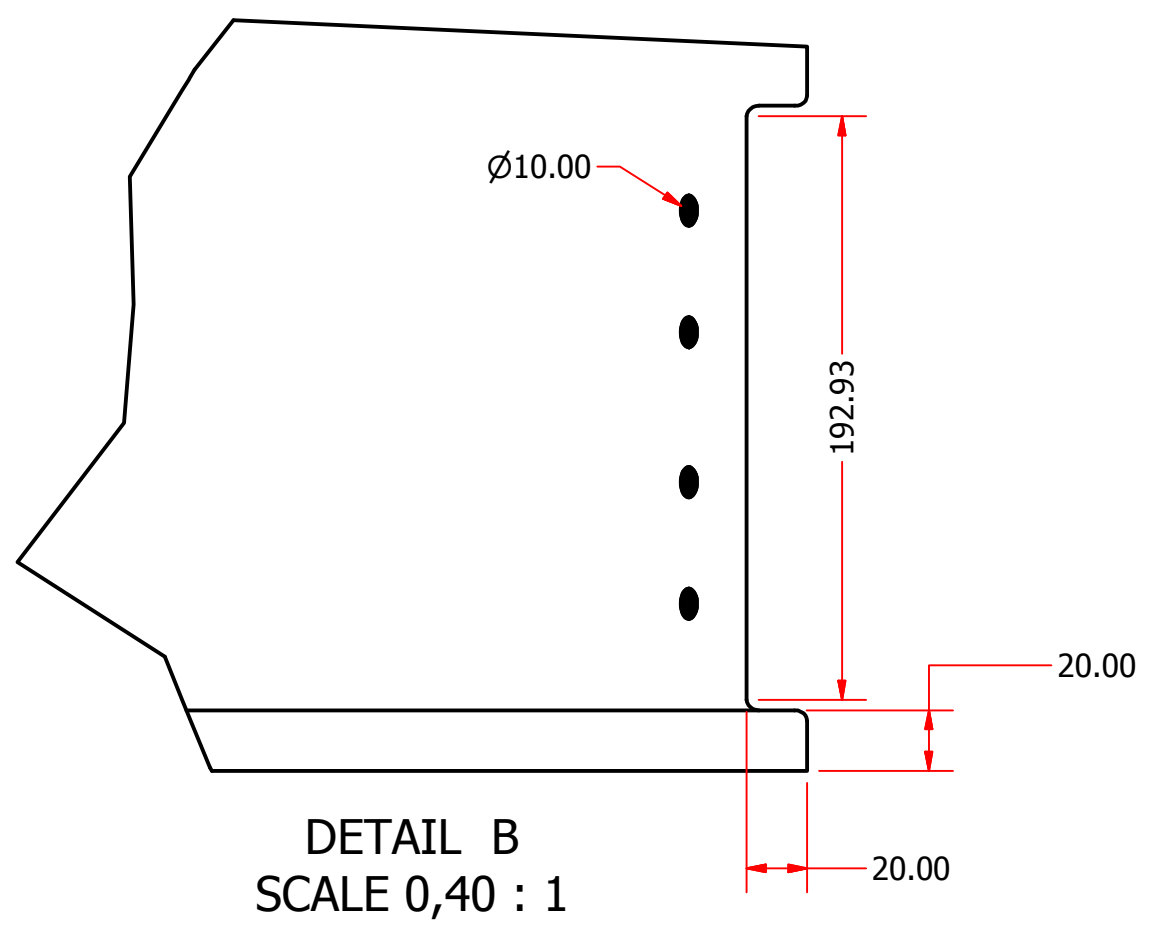
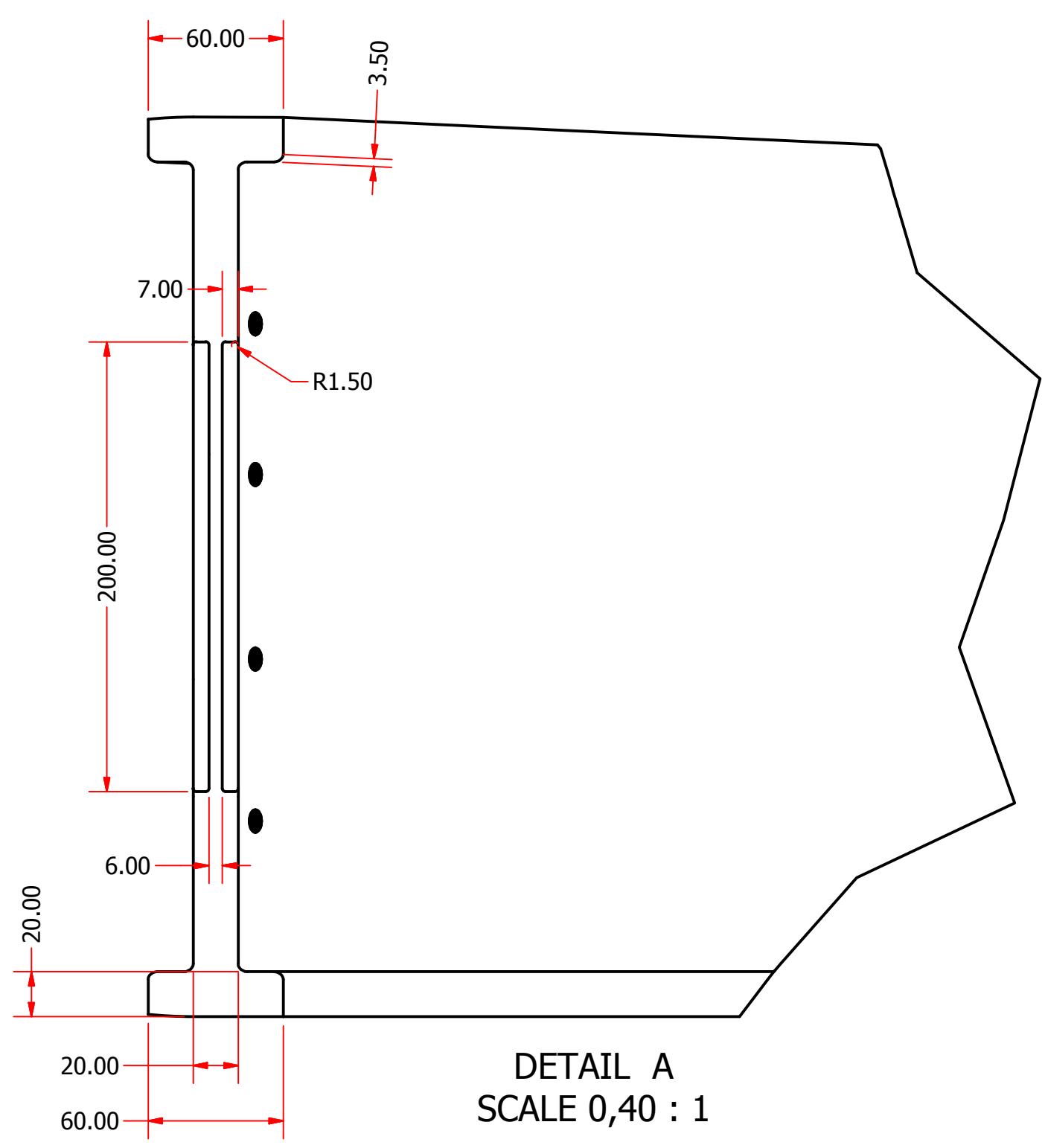
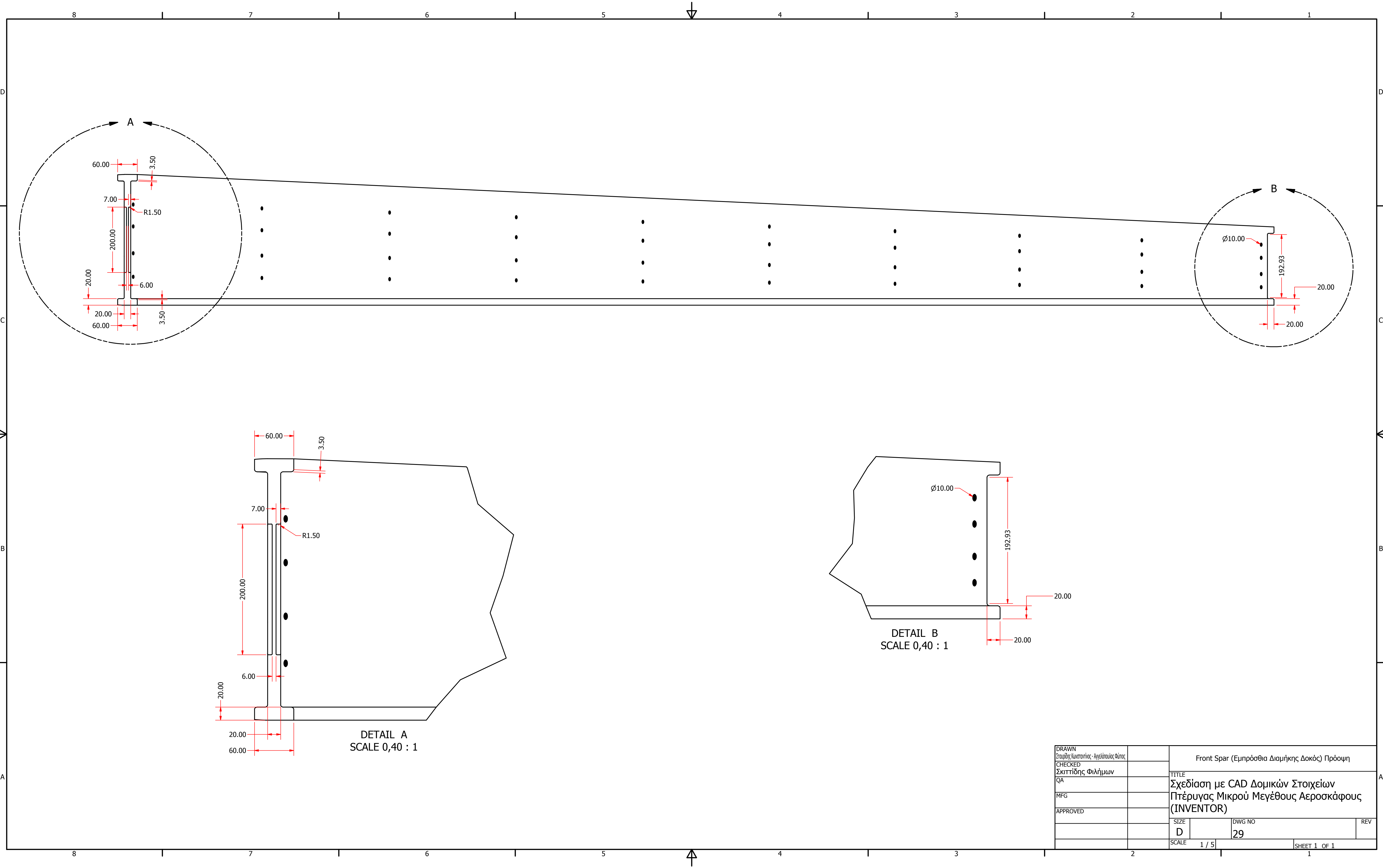
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Ribs (Νεύρα) Solid 3	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 26
MFG			REV
APPROVED		SCALE 1 / 9	SHEET 1 OF 1



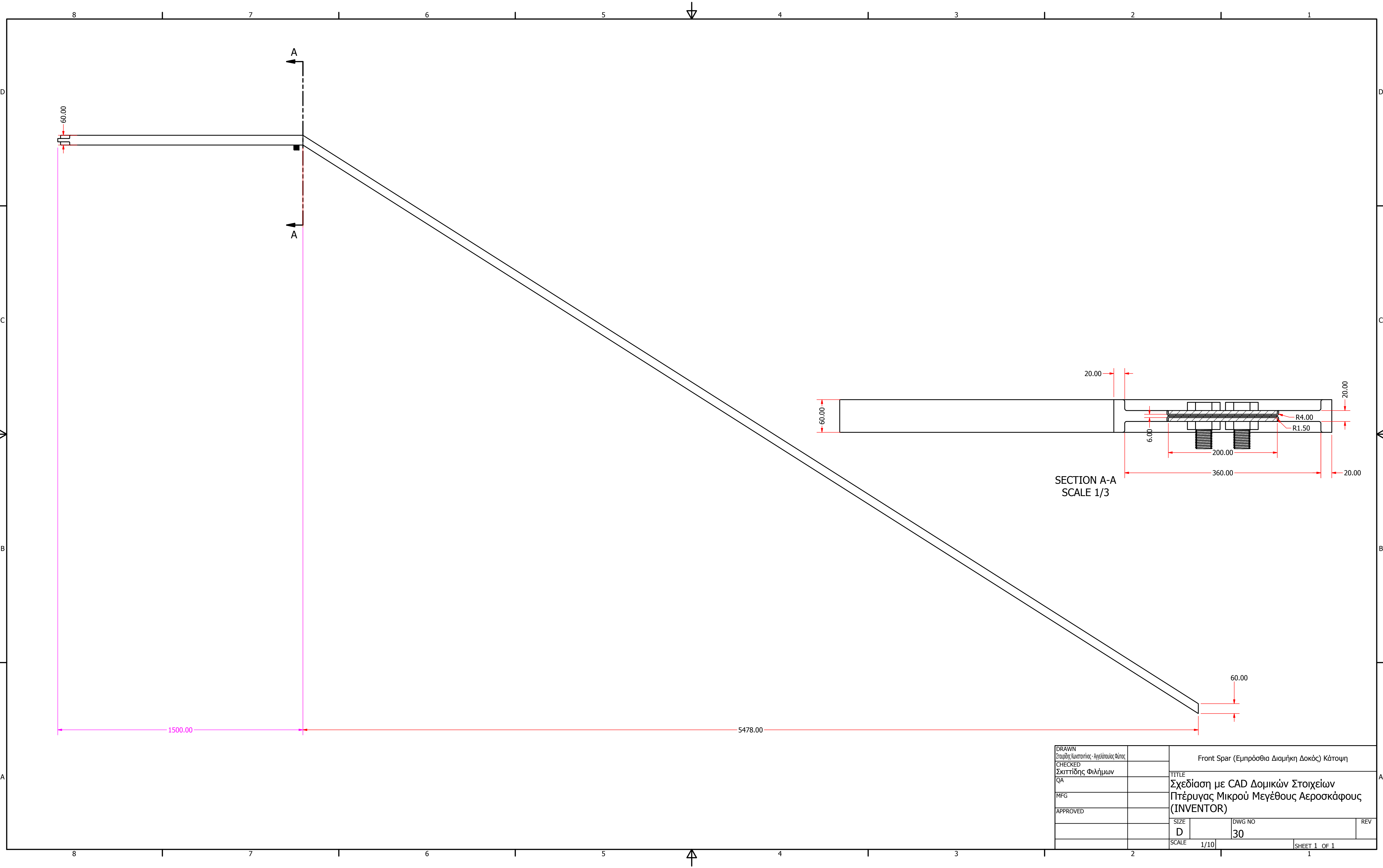
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φύσας		Ribs (Νεύρα) Solid 4	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 27
MFG		SCALE 1 / 9	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



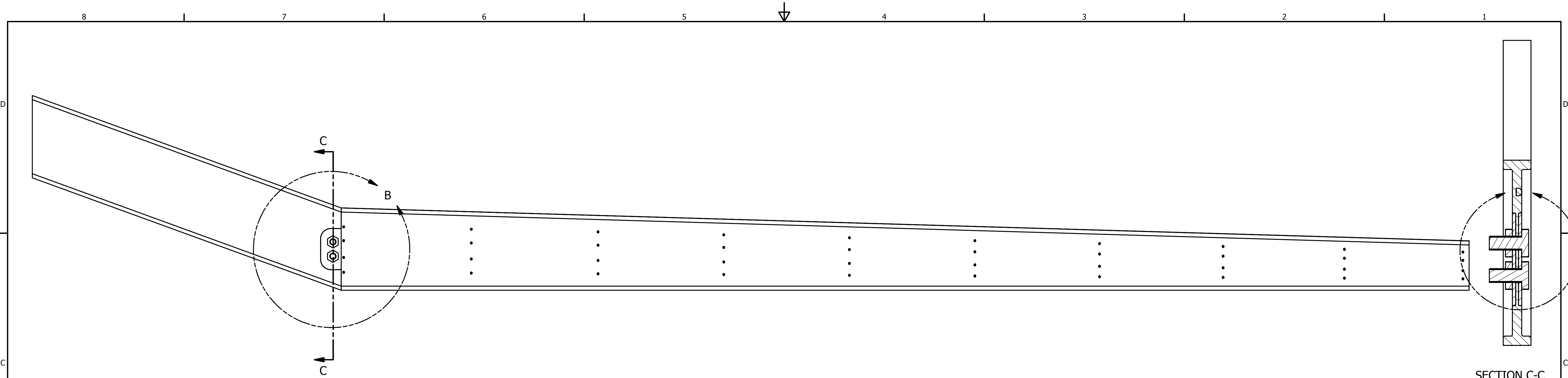
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Ribs (Νεύρα) Solid 5	
CHECKED Σκιττιδόης Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 28
MFG		SCALE 1 / 9	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



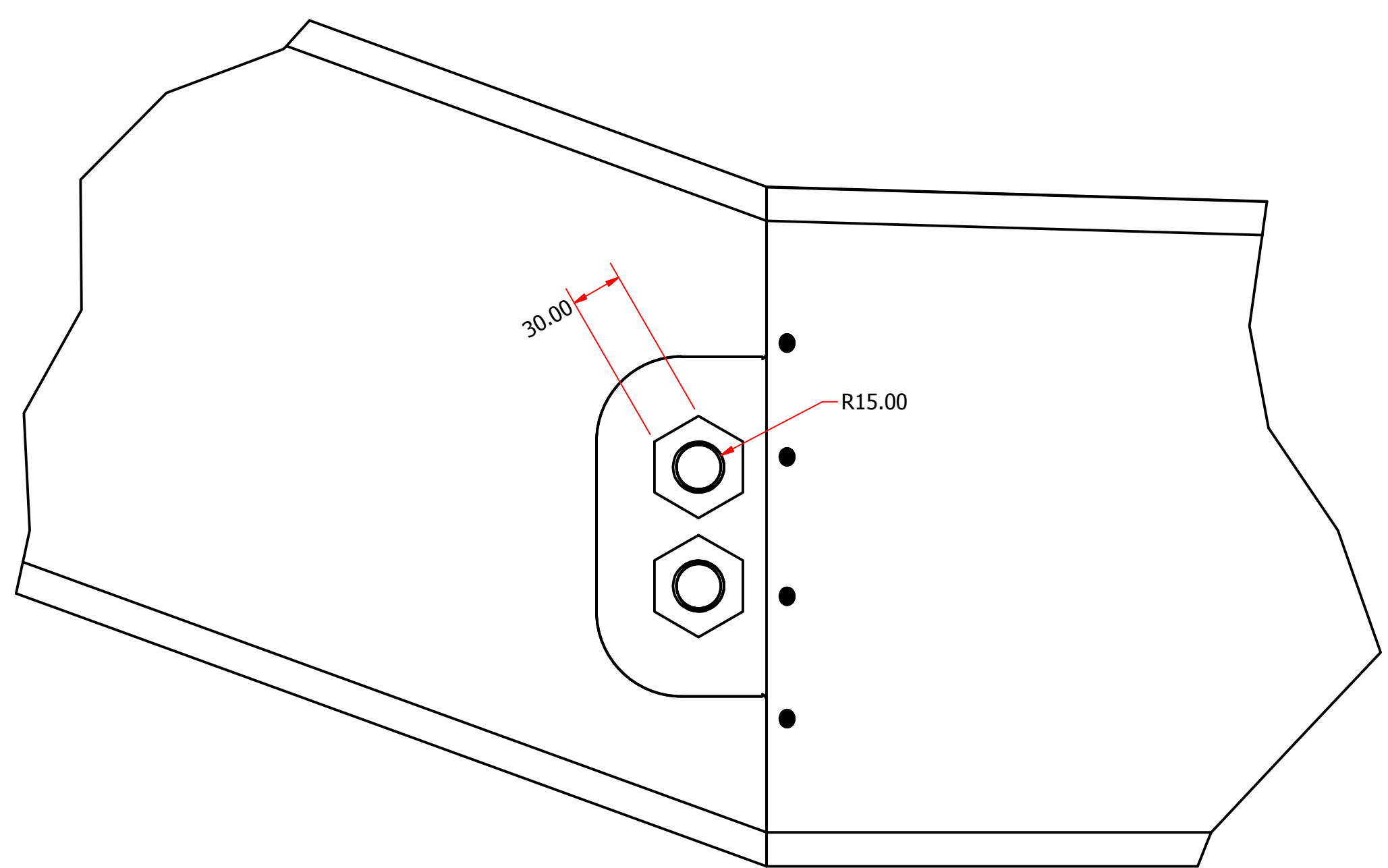
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτος			Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός) Πρόσψη
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων			TITLE
QA				Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων
MFG				Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους
APPROVED				(INVENTOR)
		SIZE	DWG NO	REV
		D	29	
		SCALE	1 / 5	SHEET 1 OF 1



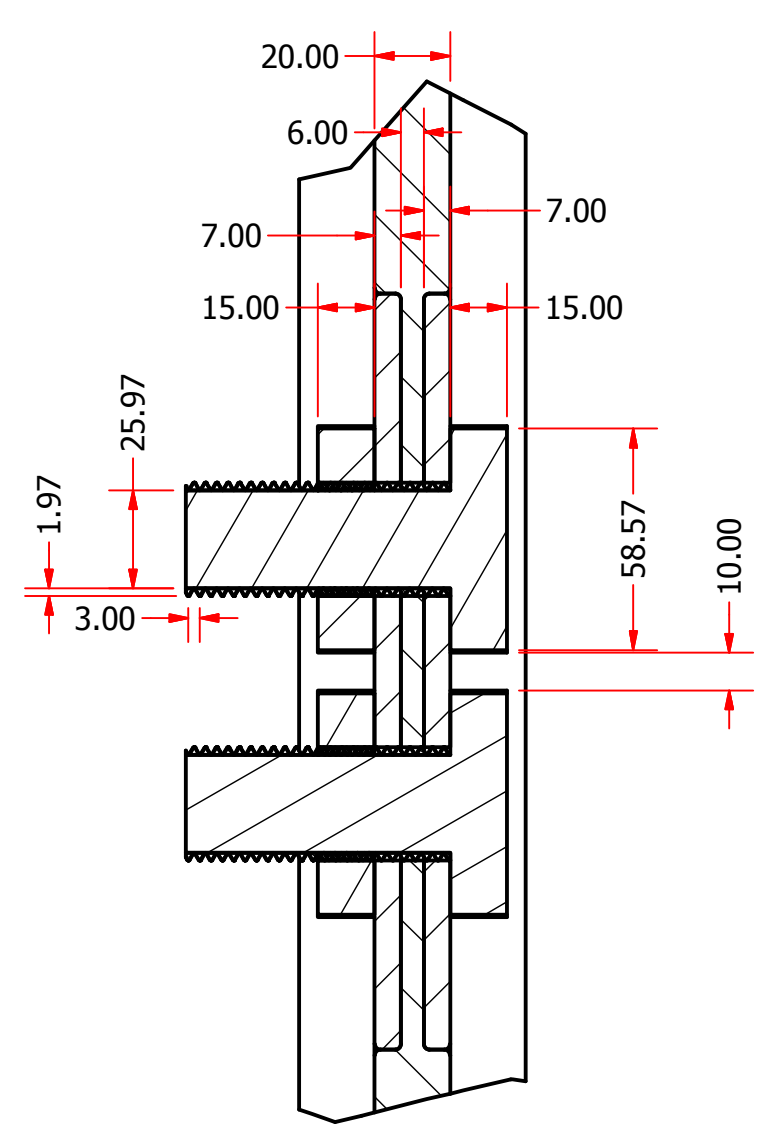
DRAWN	Επιμέλεια Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος	Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκη Δοκός) Κάτοψη	
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	30
		SCALE	1/10
		SHEET 1 OF 1	



SECTION C-C
SCALE 1 / 4

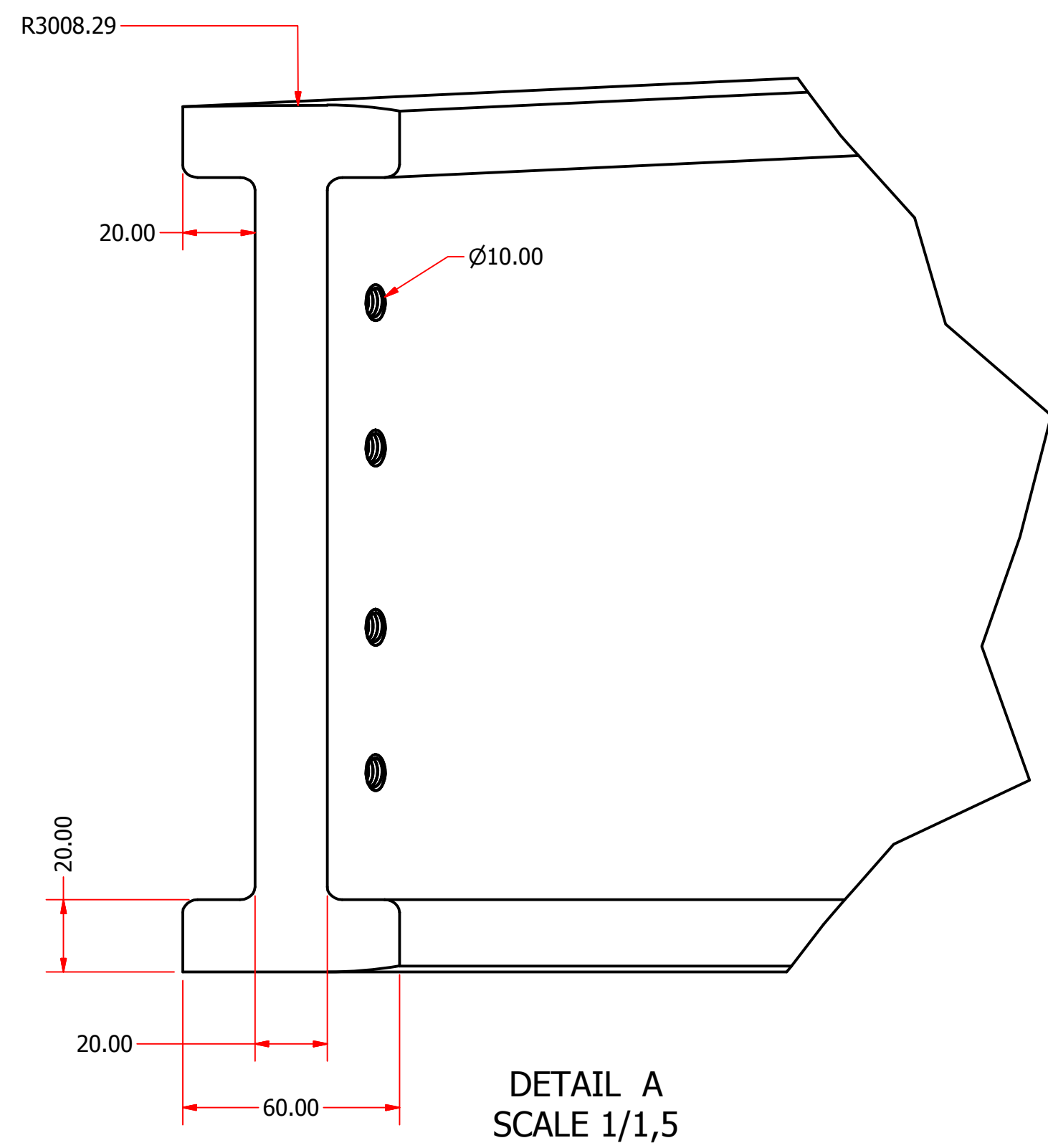
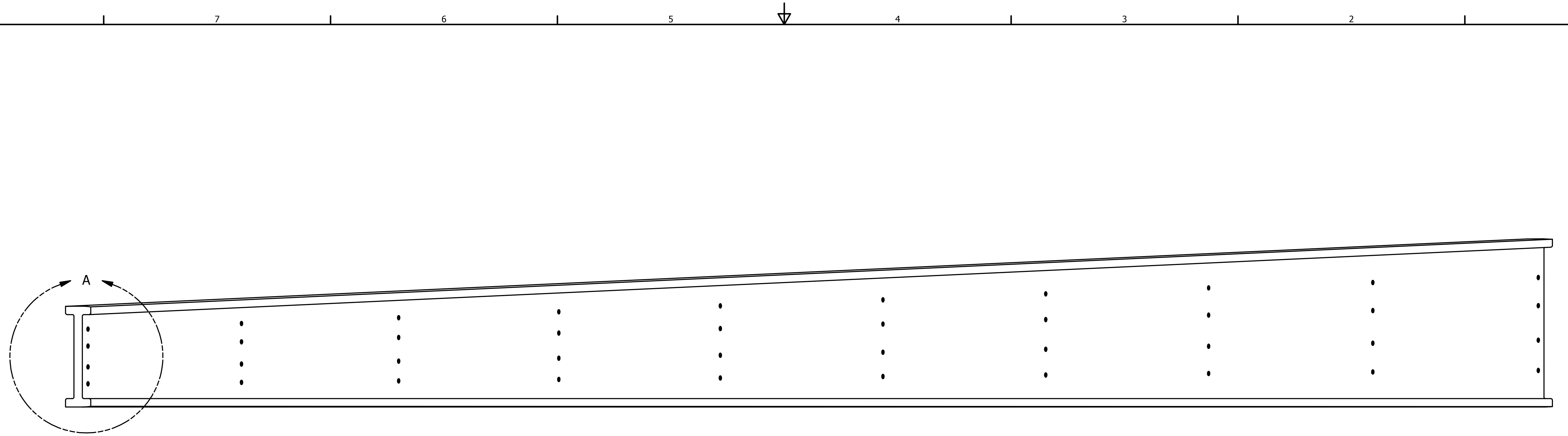


DETAIL B
SCALE 1/3

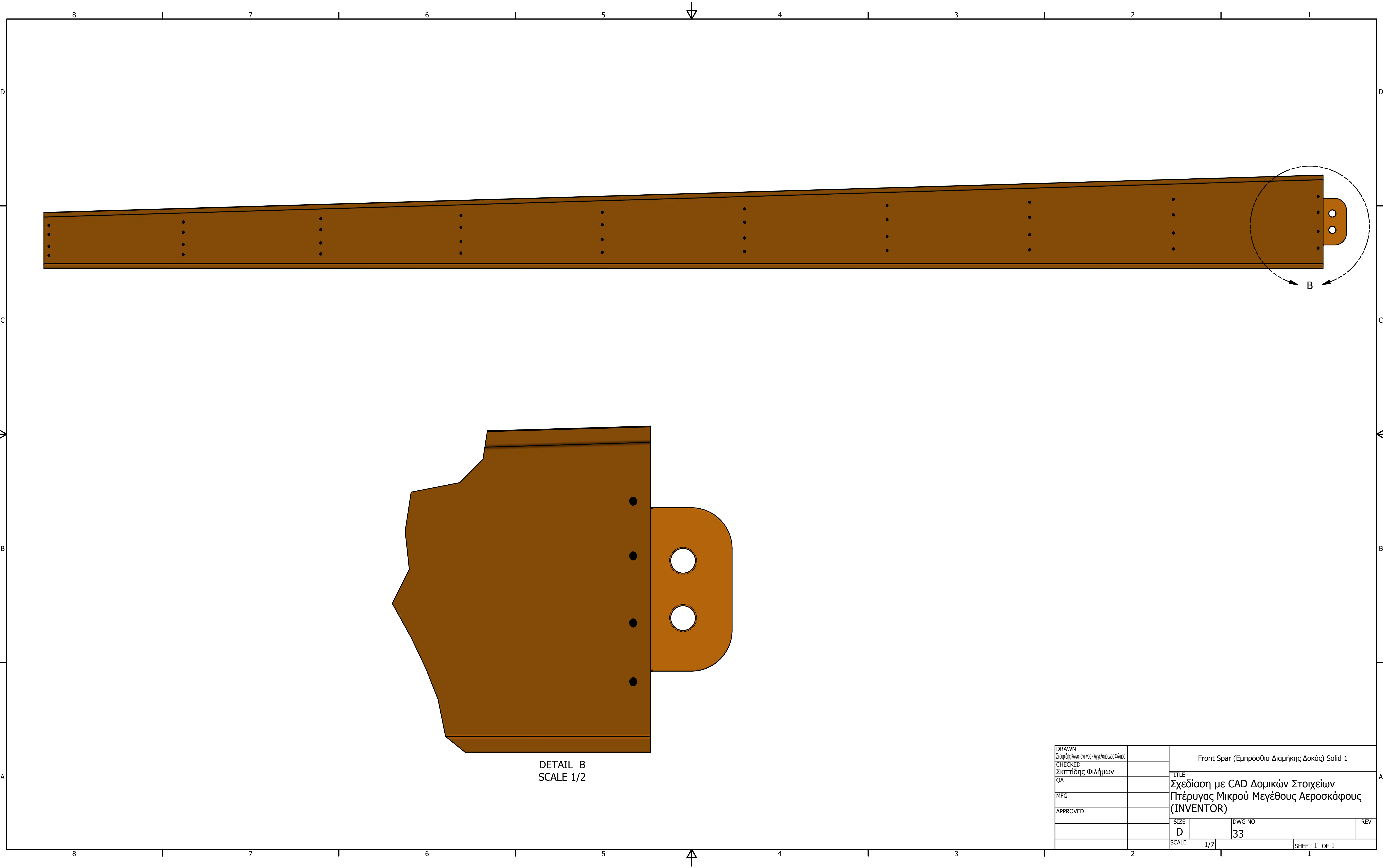


DETAIL D
SCALE 1 / 2

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάππος		Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκη Δοκός) Πρόωση 2	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 31
MFG		SCALE 1 / 9	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

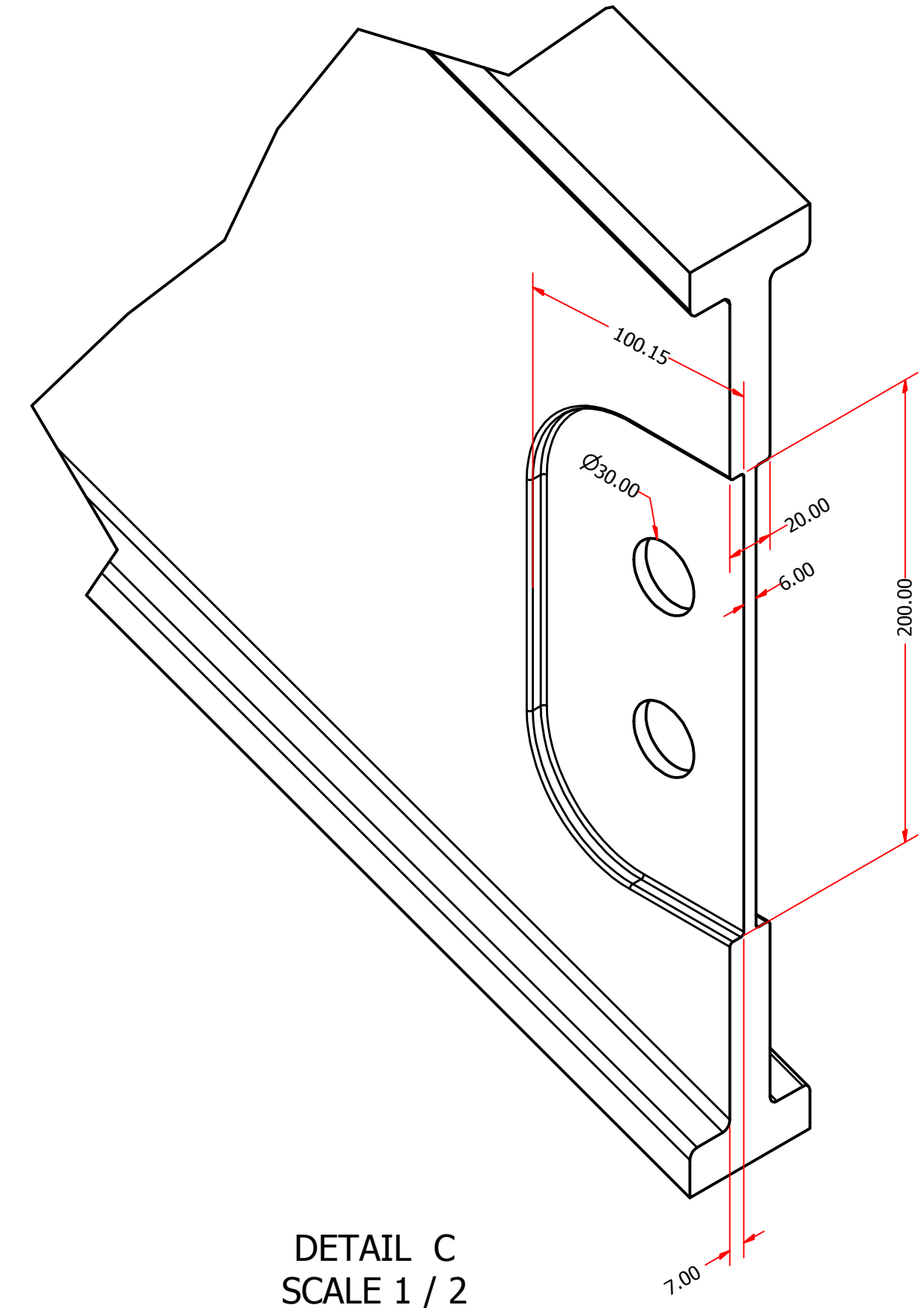
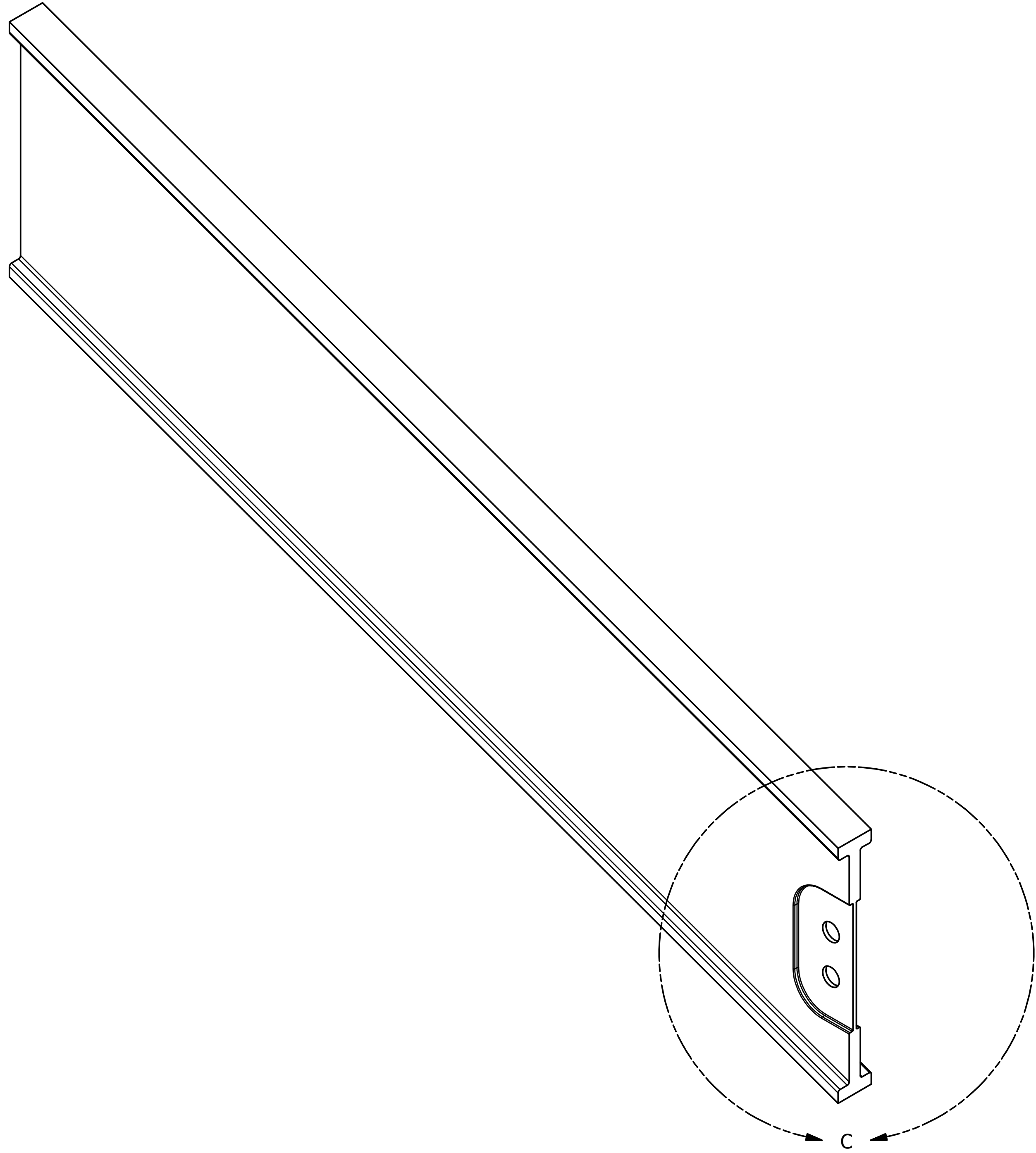


DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός) Οπίσθια Όψη	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 32
MFG		SCALE 1 / 5	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

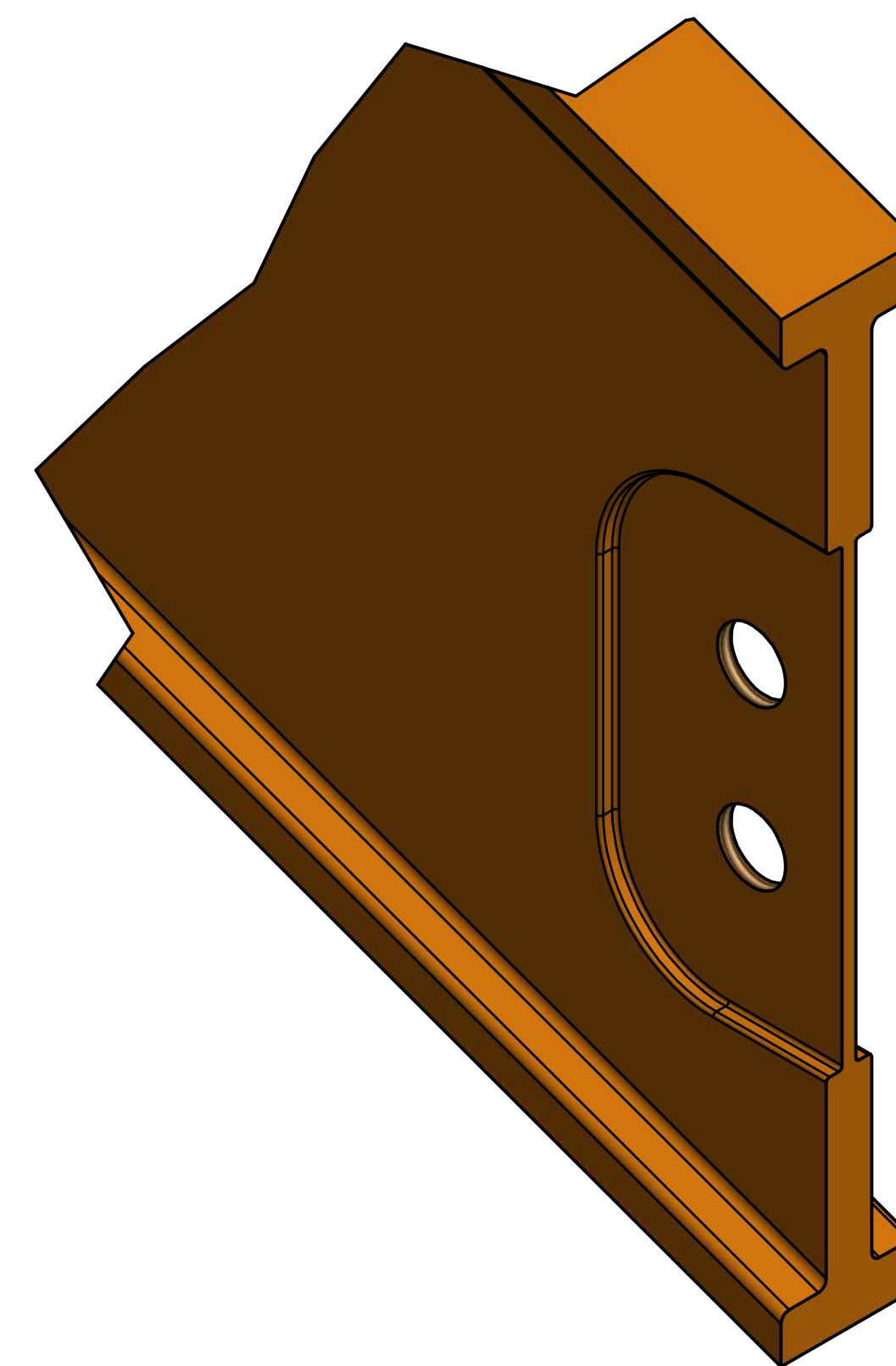
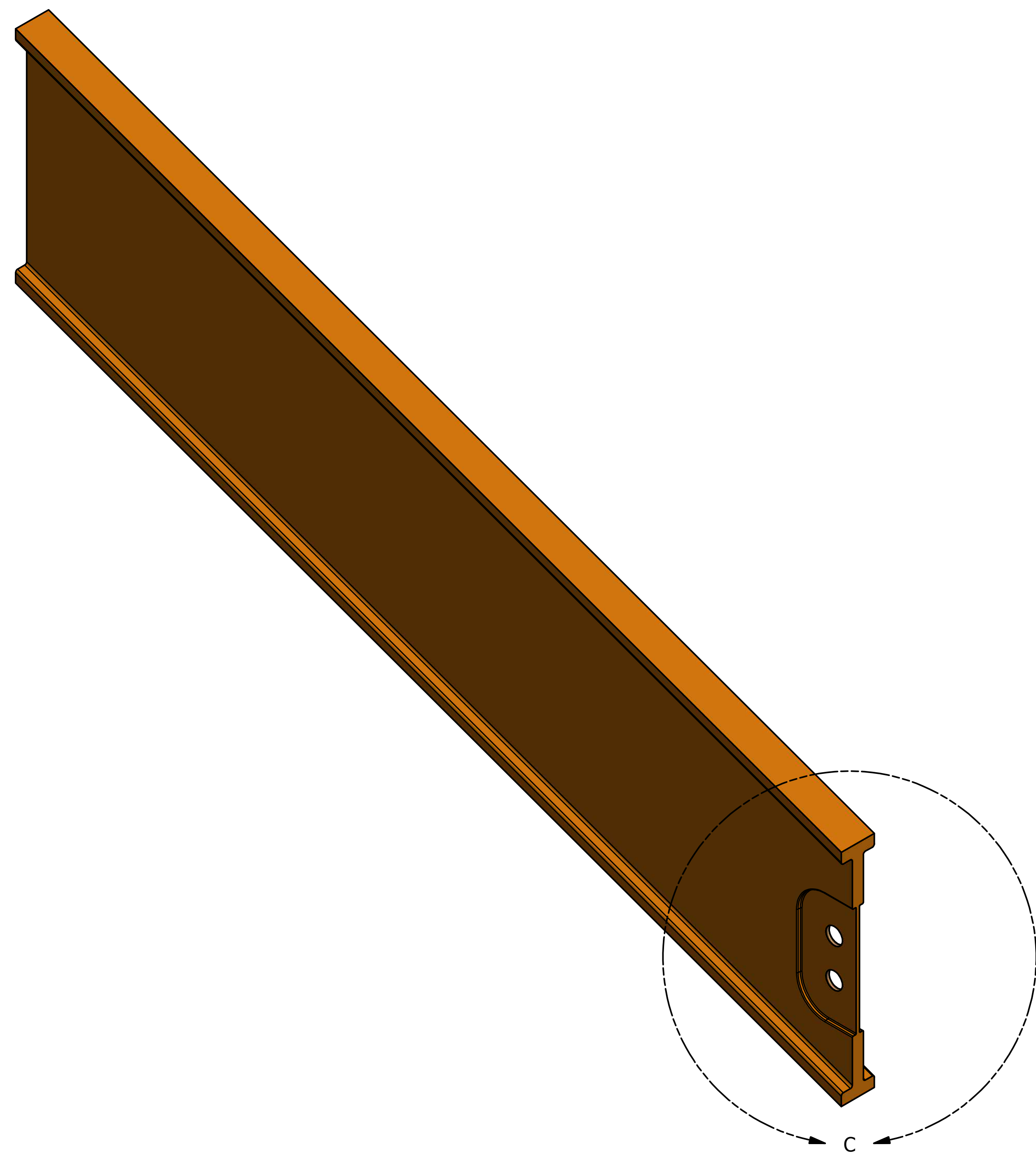


DETAIL B
SCALE 1/2

DRAWN Σταυρόης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπας		Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός) Solid 1	
CHECKED Σκιπτιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 33
MFG		SCALE 1/7	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

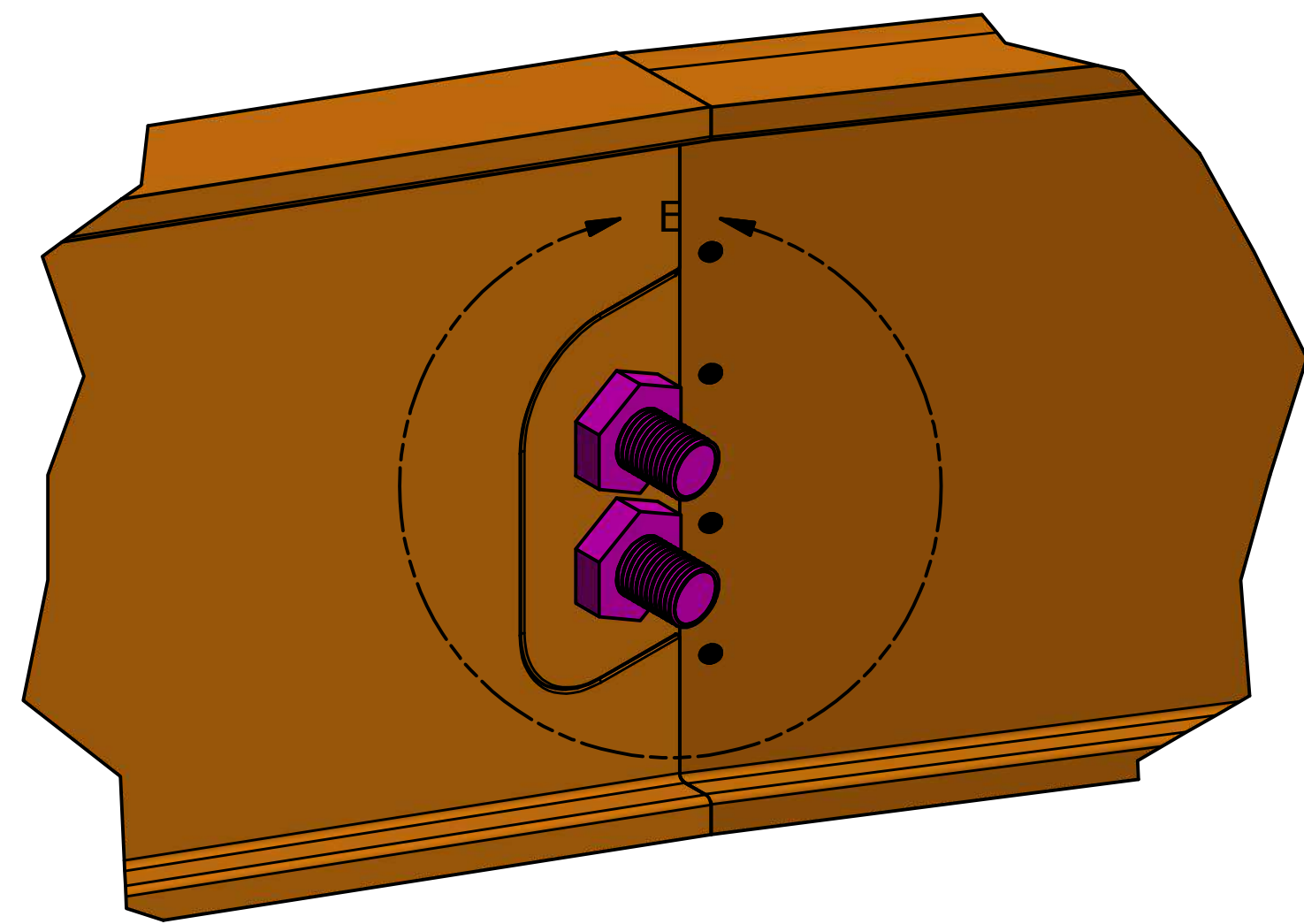
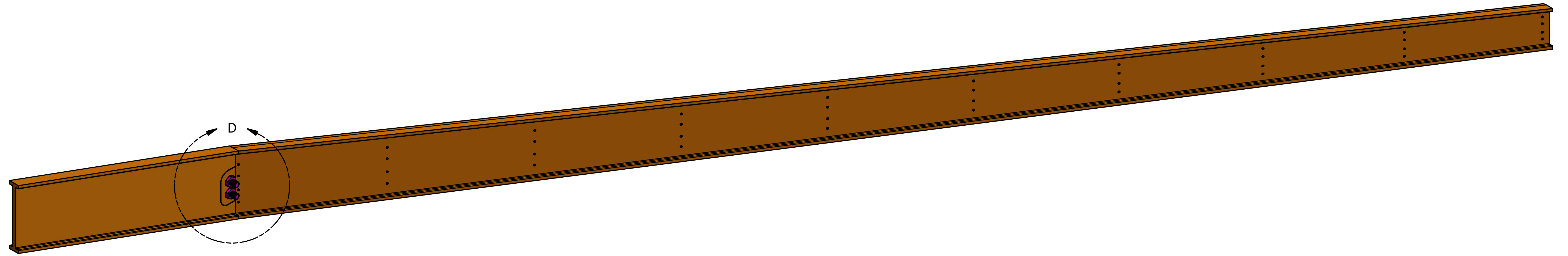


DRAWN	Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος	Front Spar 2 (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός 2) Πλάγια Όψη	
CHECKED		TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE	DWG NO
		D	34
		SCALE	1 / 4
			SHEET 1 OF 1

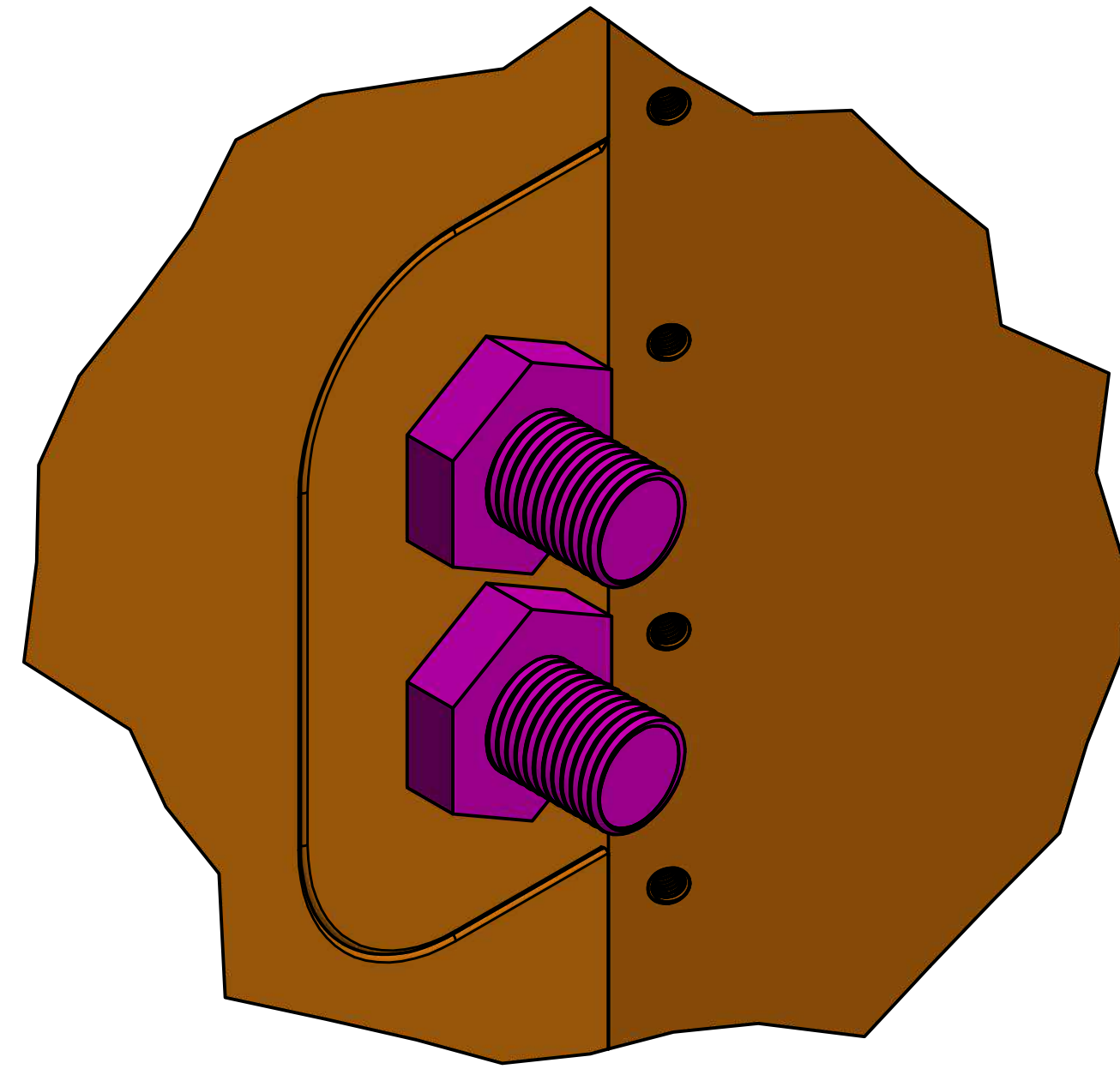


DETAIL C
SCALE 1 / 2

DRAWN Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτος		Front Spar 2 (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός 2) Solid 1	
CHECKED Σκιπτιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 35
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

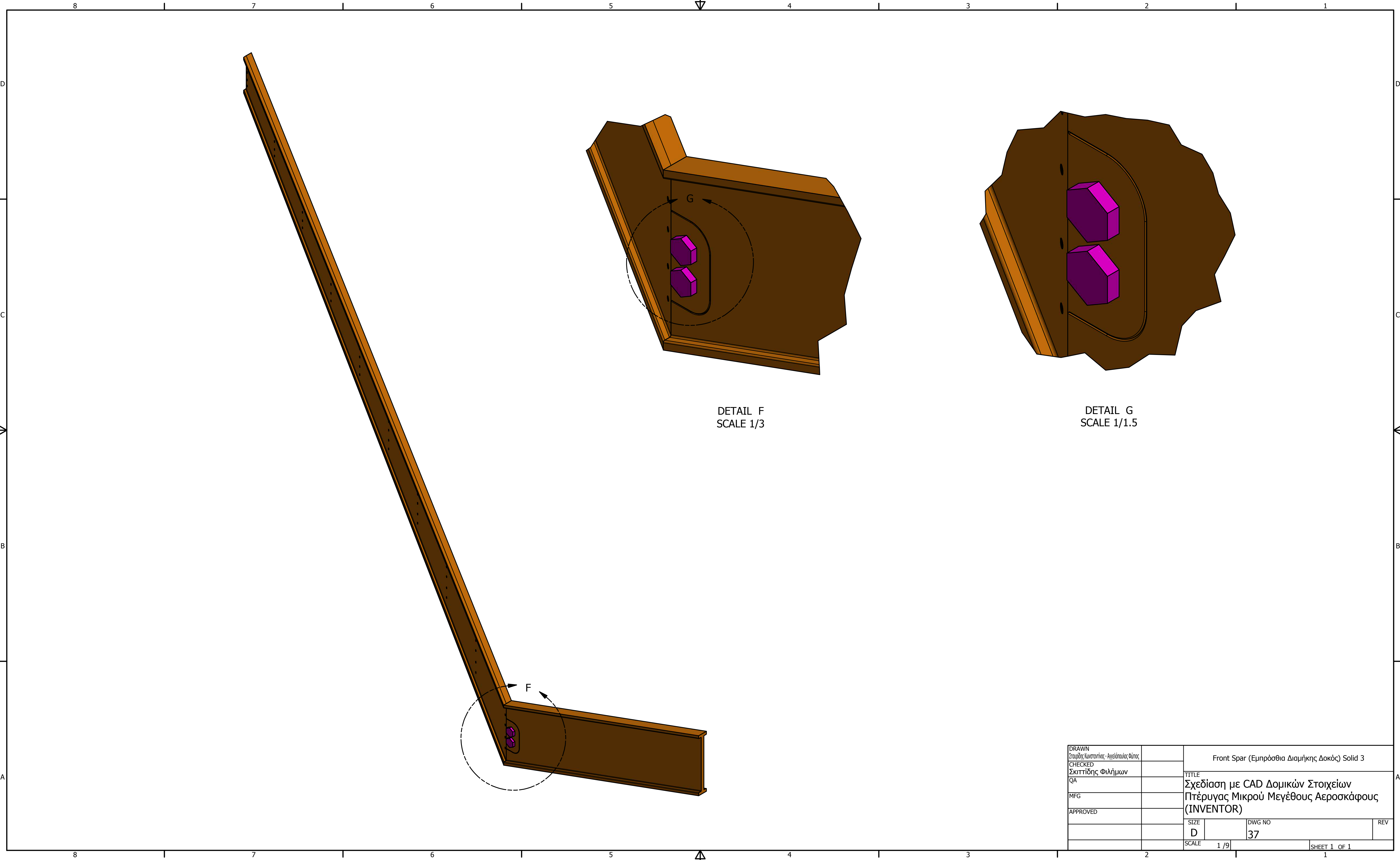


DETAIL D
SCALE 1 / 3



DETAIL E
SCALE 1 / 1.5

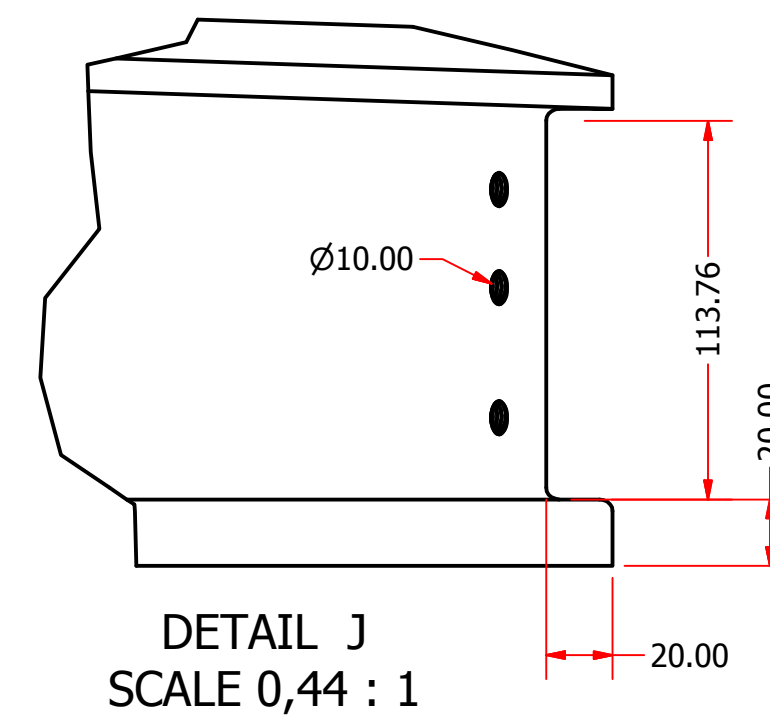
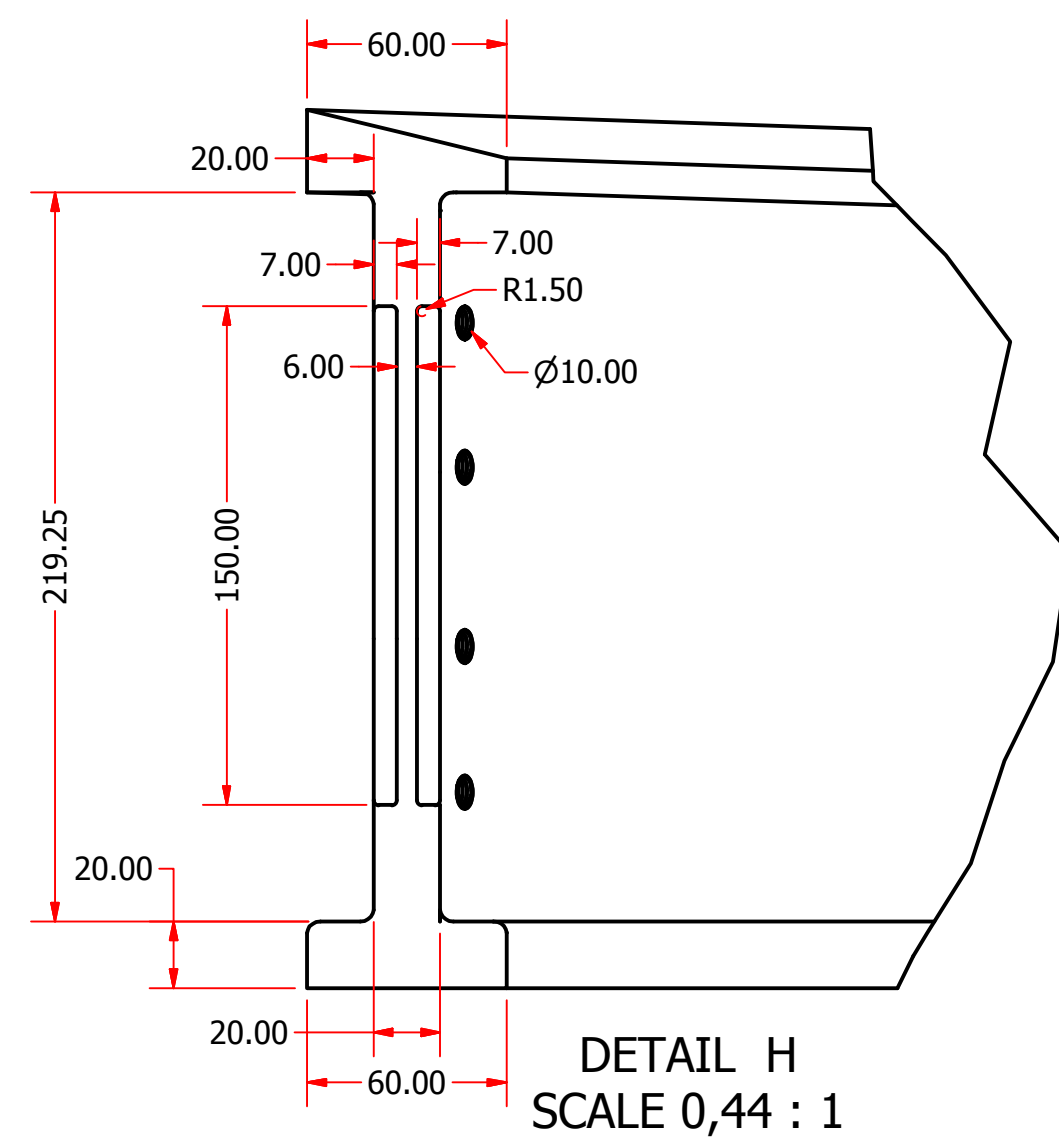
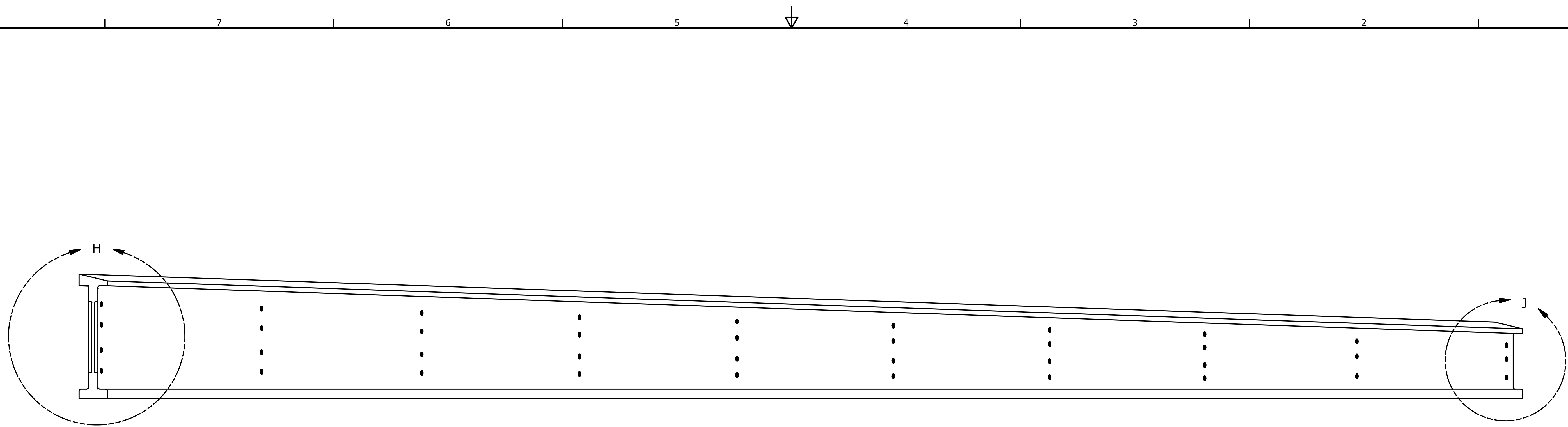
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπτος		Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός) Solid 2	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 36
MFG		SCALE 1 / 10	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



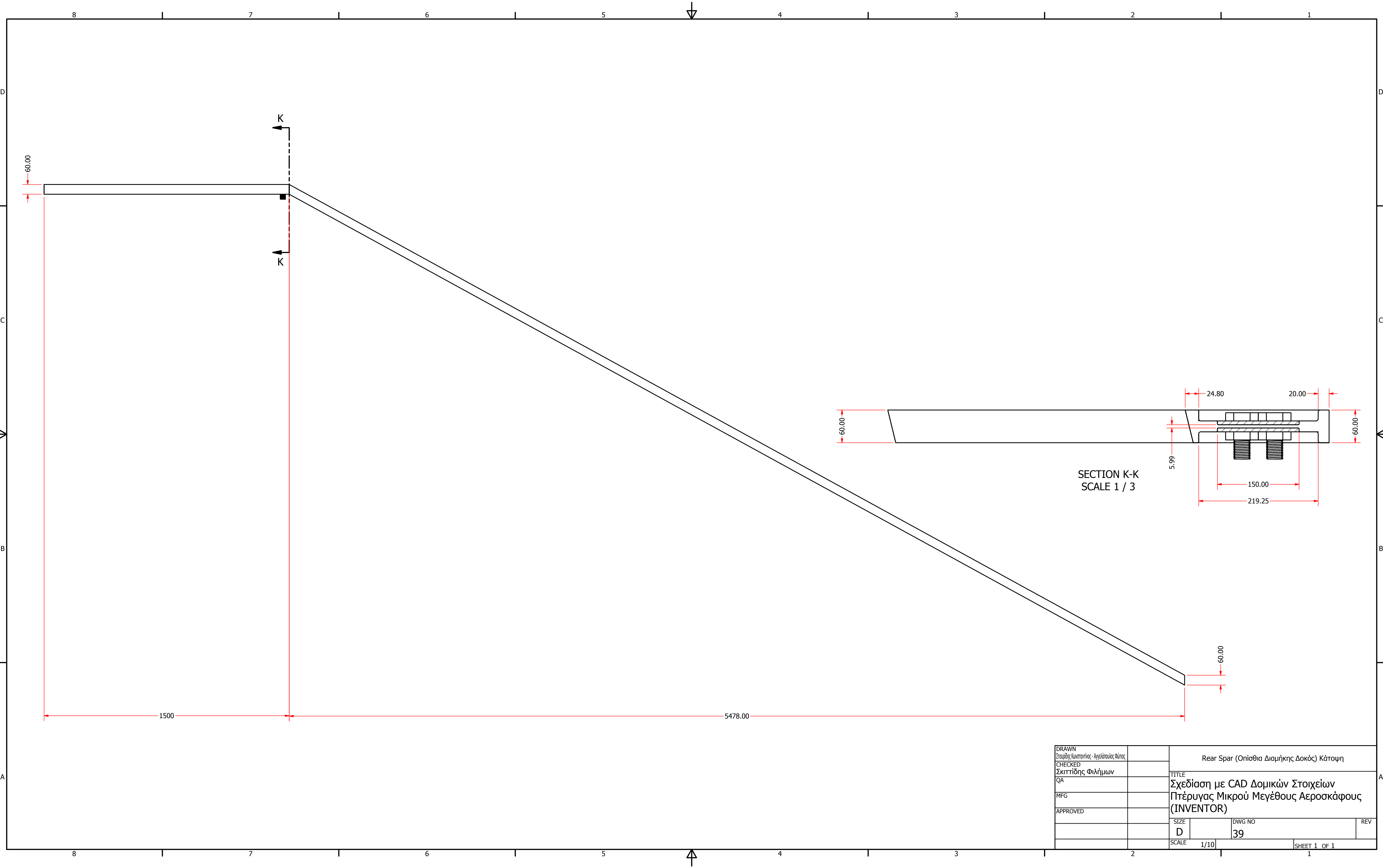
DETAIL F
SCALE 1/3

DETAIL G
SCALE 1/1.5

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπτος		Front Spar (Εμπρόσθια Διαμήκης Δοκός) Solid 3	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 37
MFG		SCALE 1/9	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

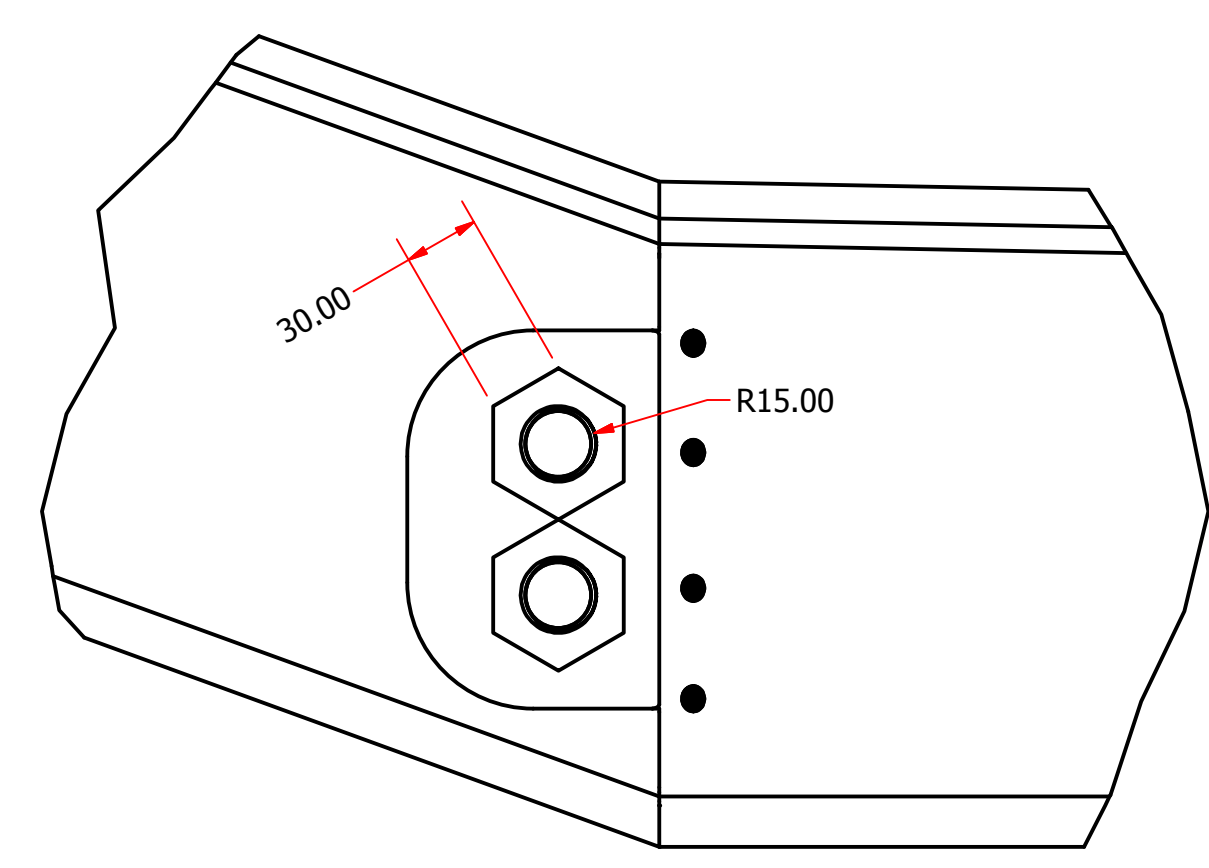
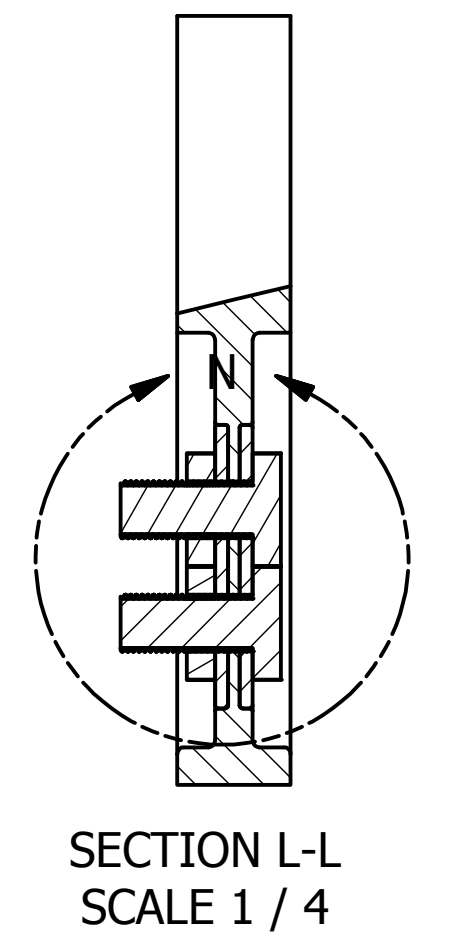
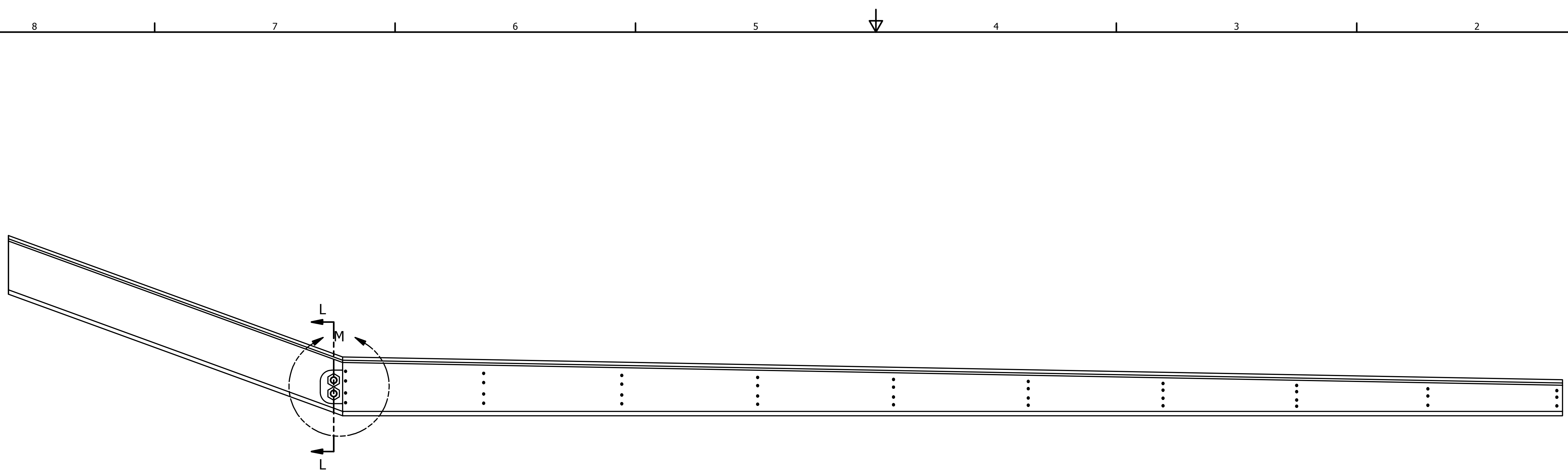


DRAWN Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτος		Rear Spar (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός) Πρόωση	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 38
MFG		SCALE 1/4.5	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

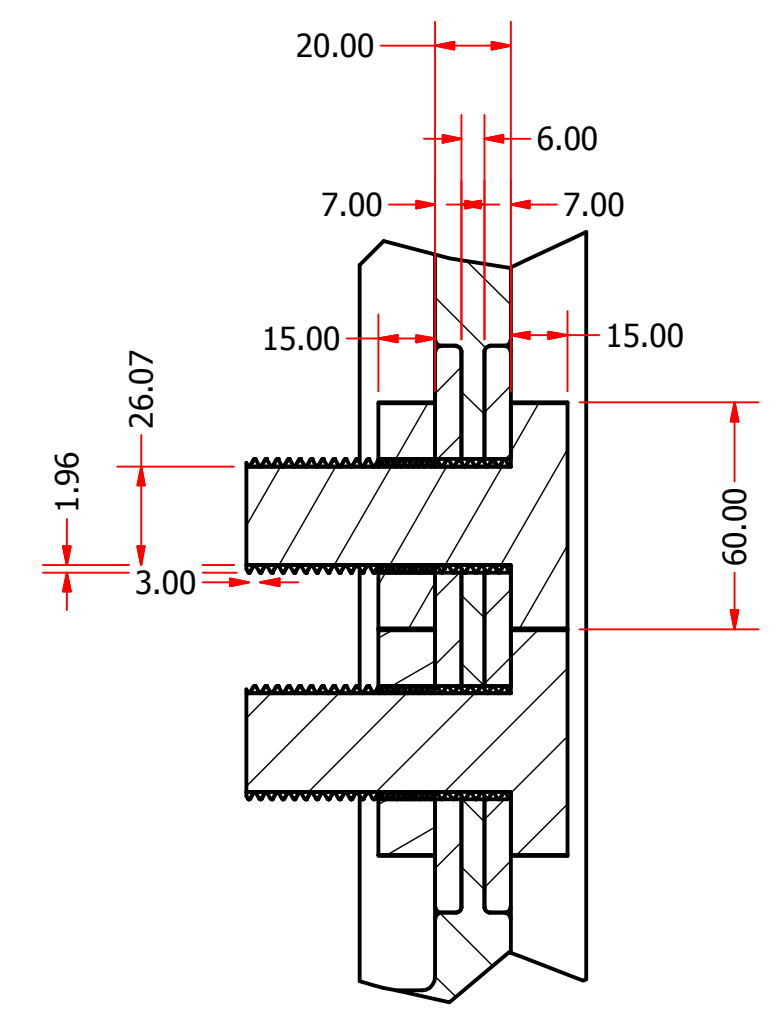


SECTION K-K
SCALE 1 / 3

DRAWN Επιτύλιξη Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος		Rear Spar (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός) Κάτοψη	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE D	DWG NO 39
		SCALE 1/10	REV
		SHEET 1 OF 1	



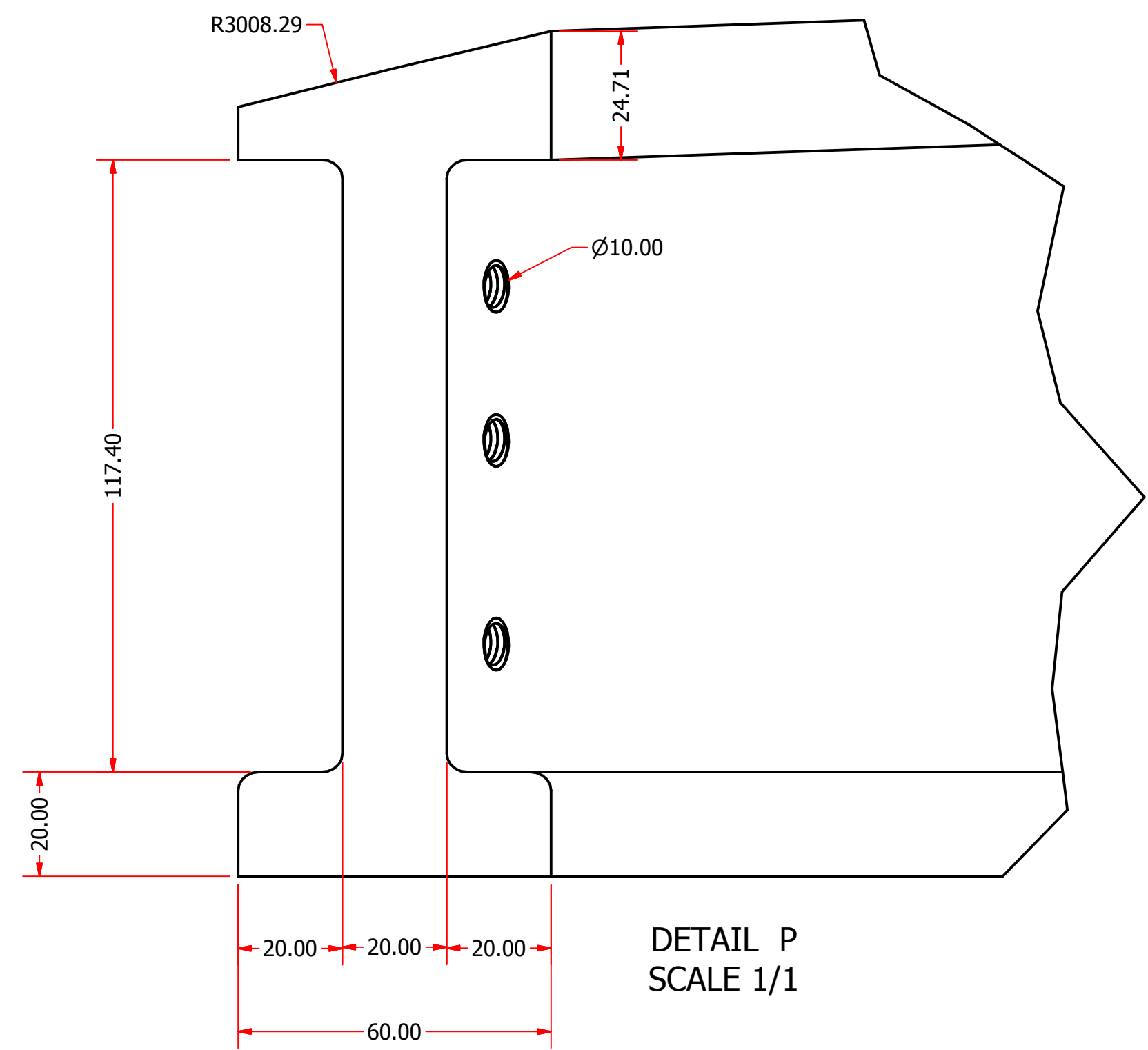
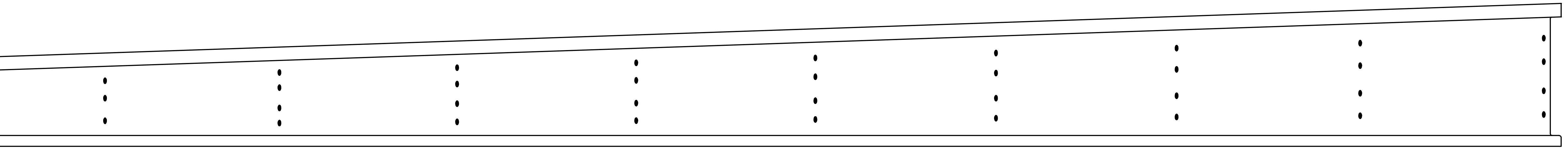
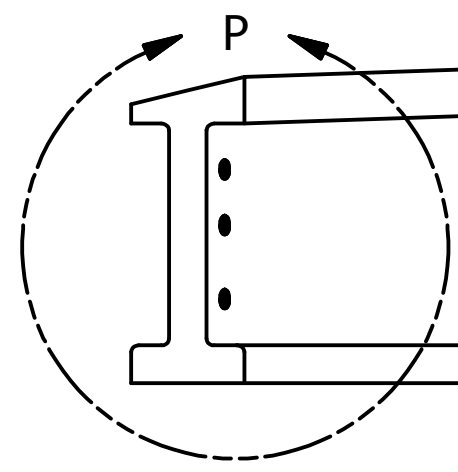
DETAIL M
SCALE 1 / 3



DETAIL N
SCALE 1 / 2

DRAWN Εταιρεία Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φάππος		Rear Spar (Οπισθία Διαμήκης Δοκός) Πρόωση 2	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 40
MFG		SCALE 1/10	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

8 7 6 5 4 3 2 1

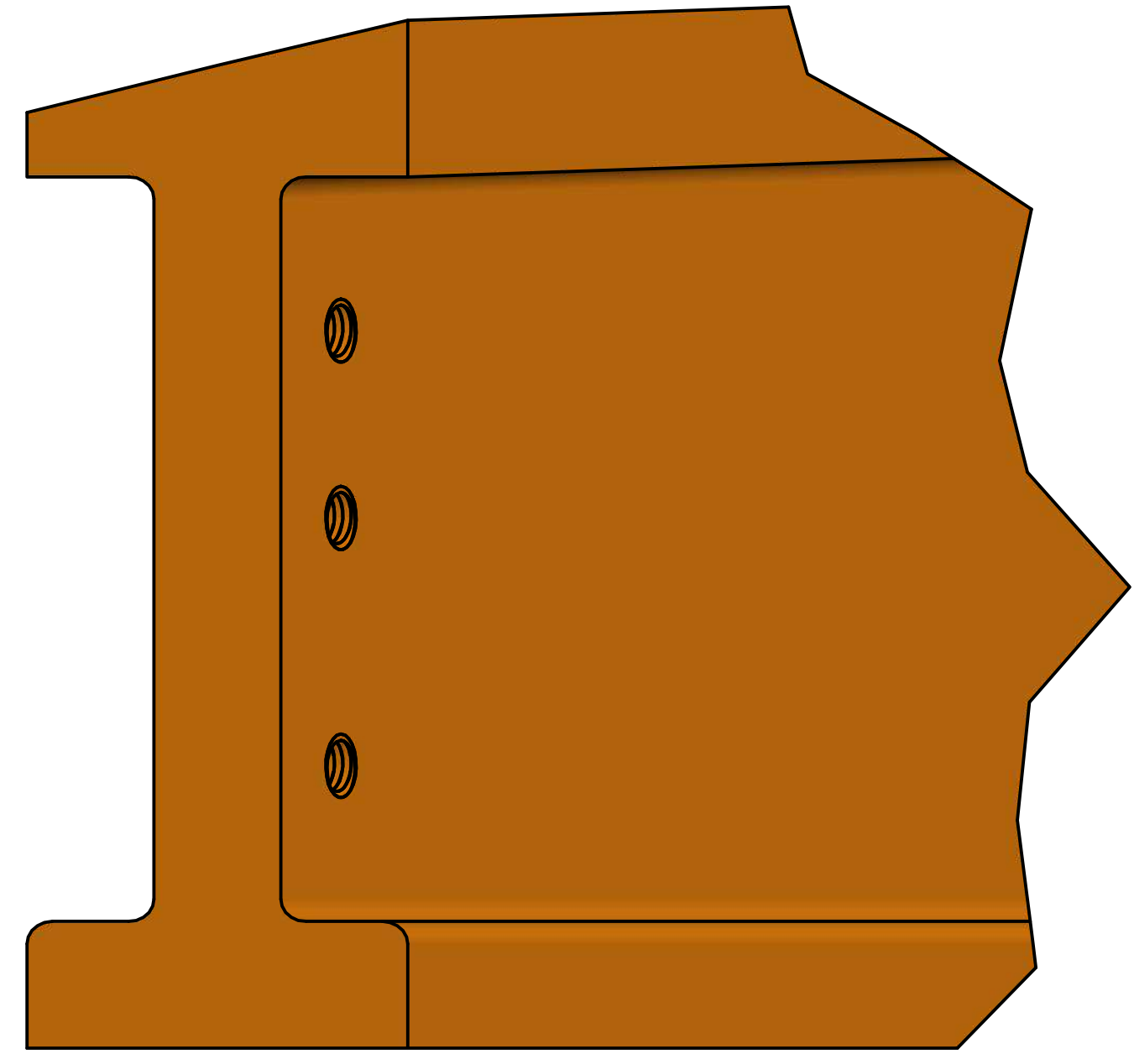
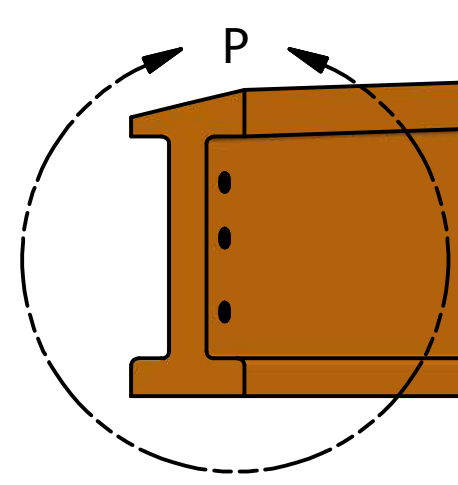


DETAIL P
SCALE 1/1

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Rear Spar (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός) Οπίσθια Όψη	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 41
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

8 7 6 5 4 3 2 1

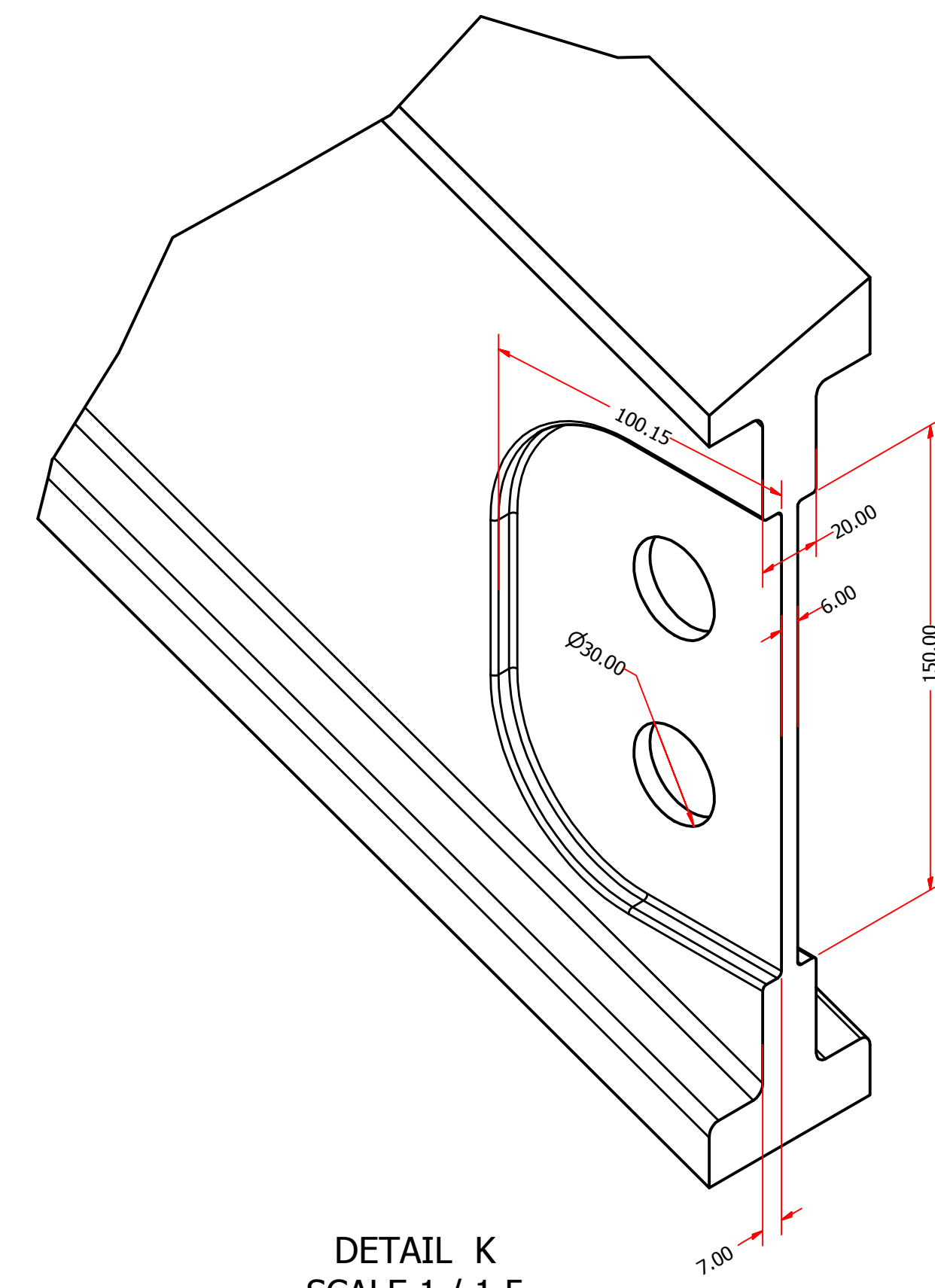
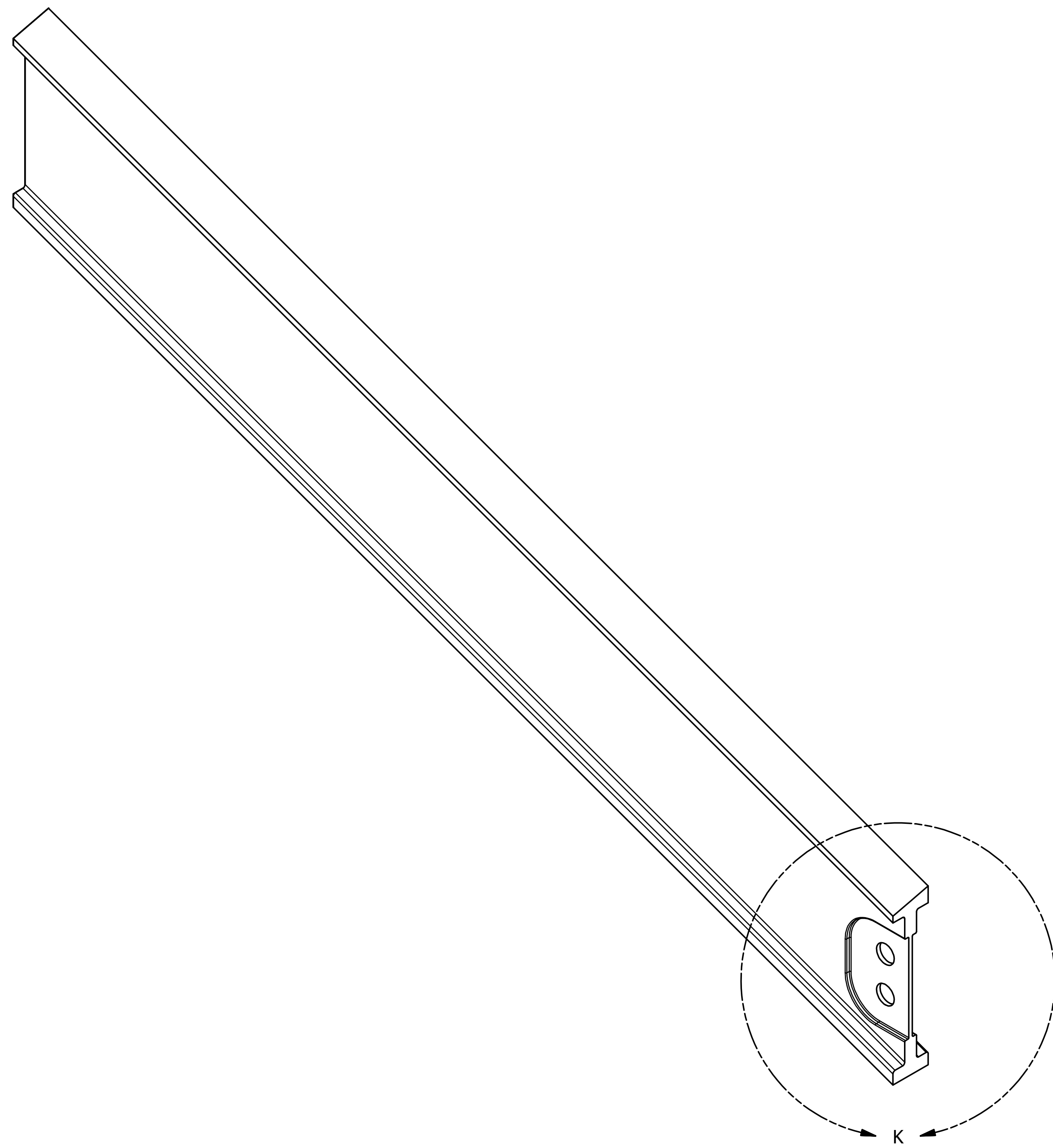
8 7 6 5 4 3 2 1



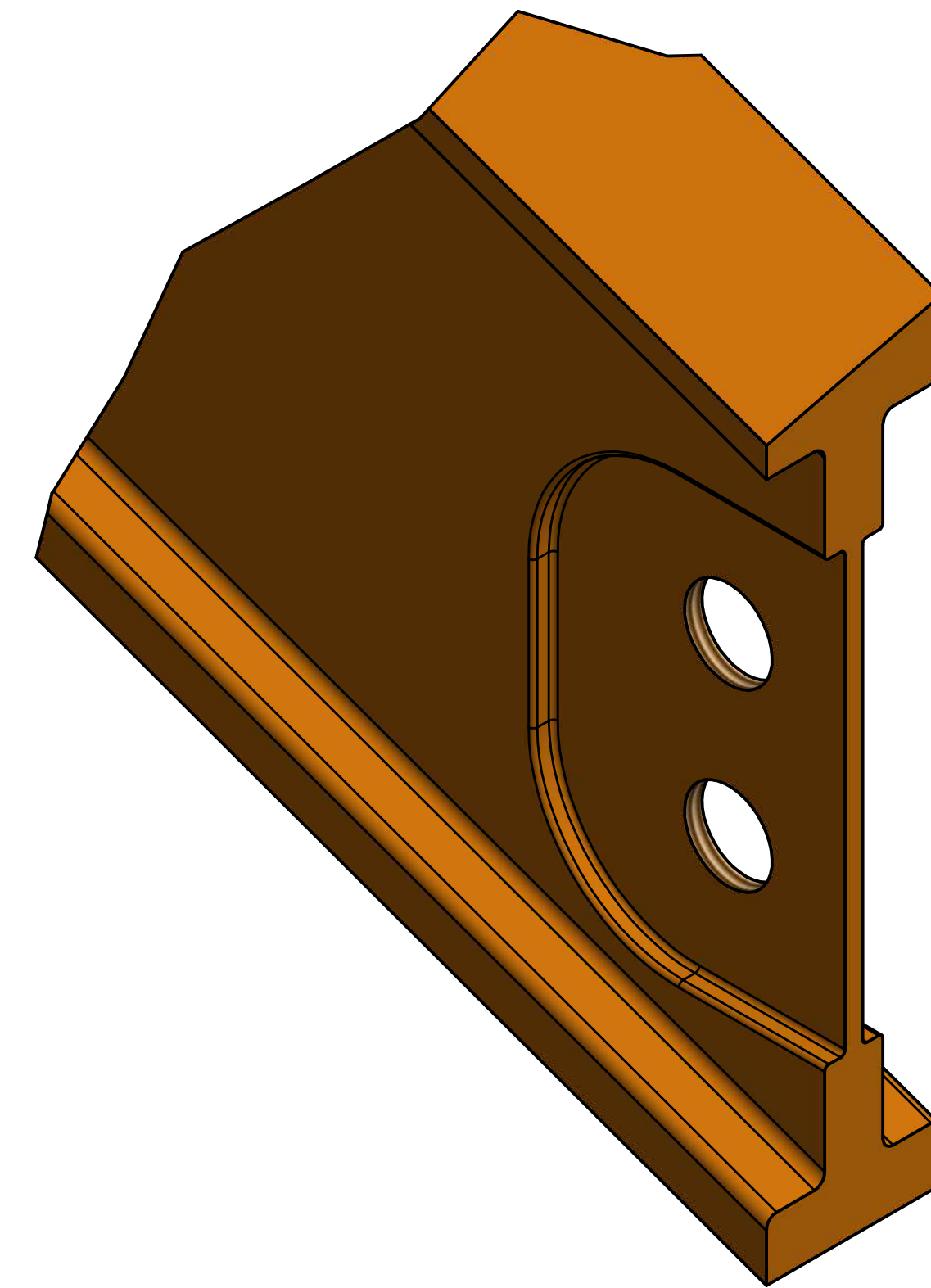
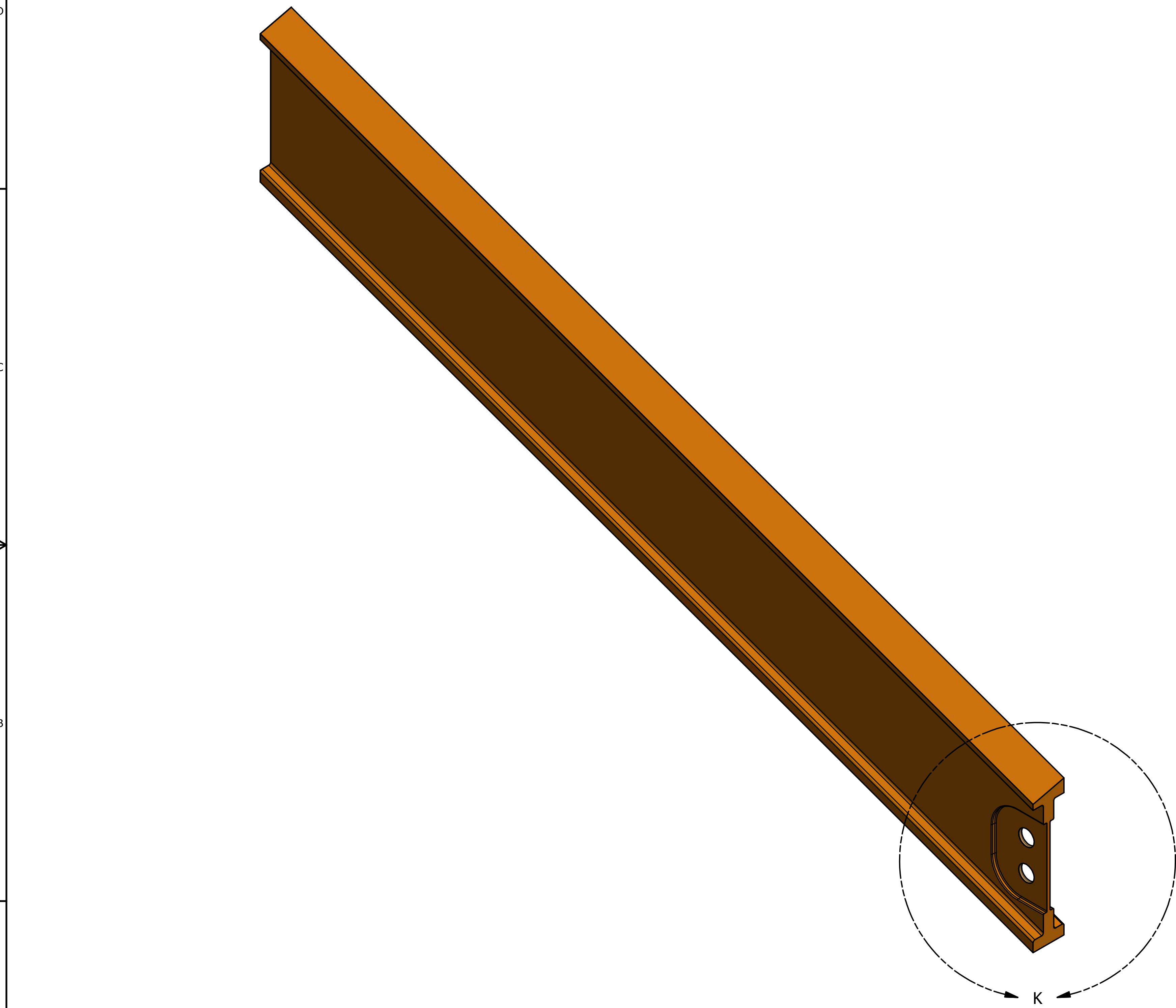
DETAIL P
SCALE 1/1

DRAWN Σταυρόης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπας		Rear Spar (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός) Solid 1	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 42
MFG		SCALE 1 / 4	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

8 7 6 5 4 3 2 1

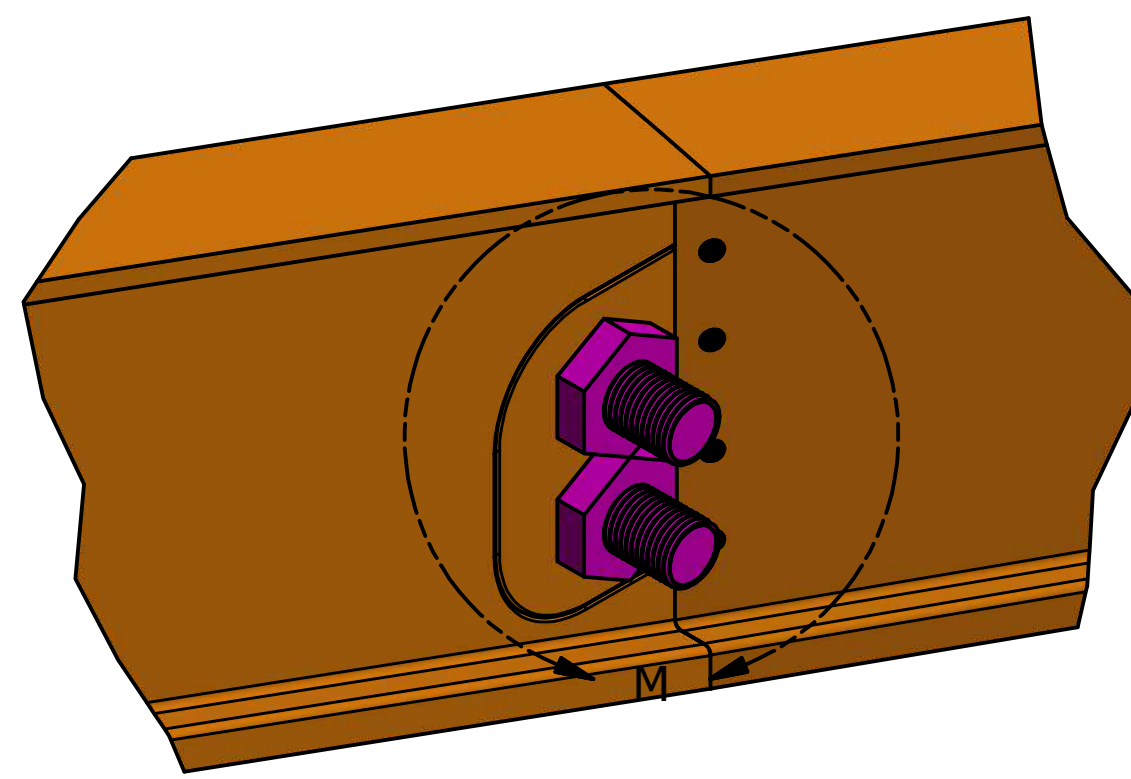
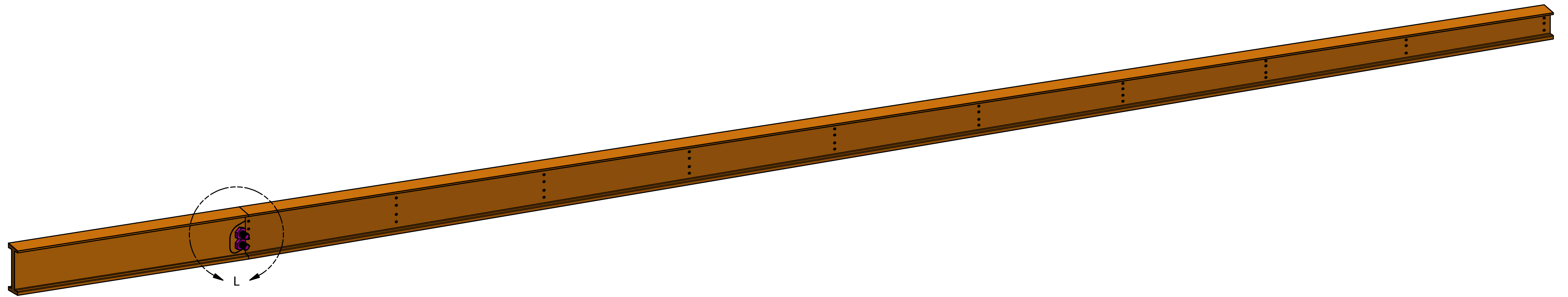


DRAWN Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτιος		Rear Spar 2 (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός 2) Πλάγια Όψη	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 43
MFG		SCALE 1/3,5	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

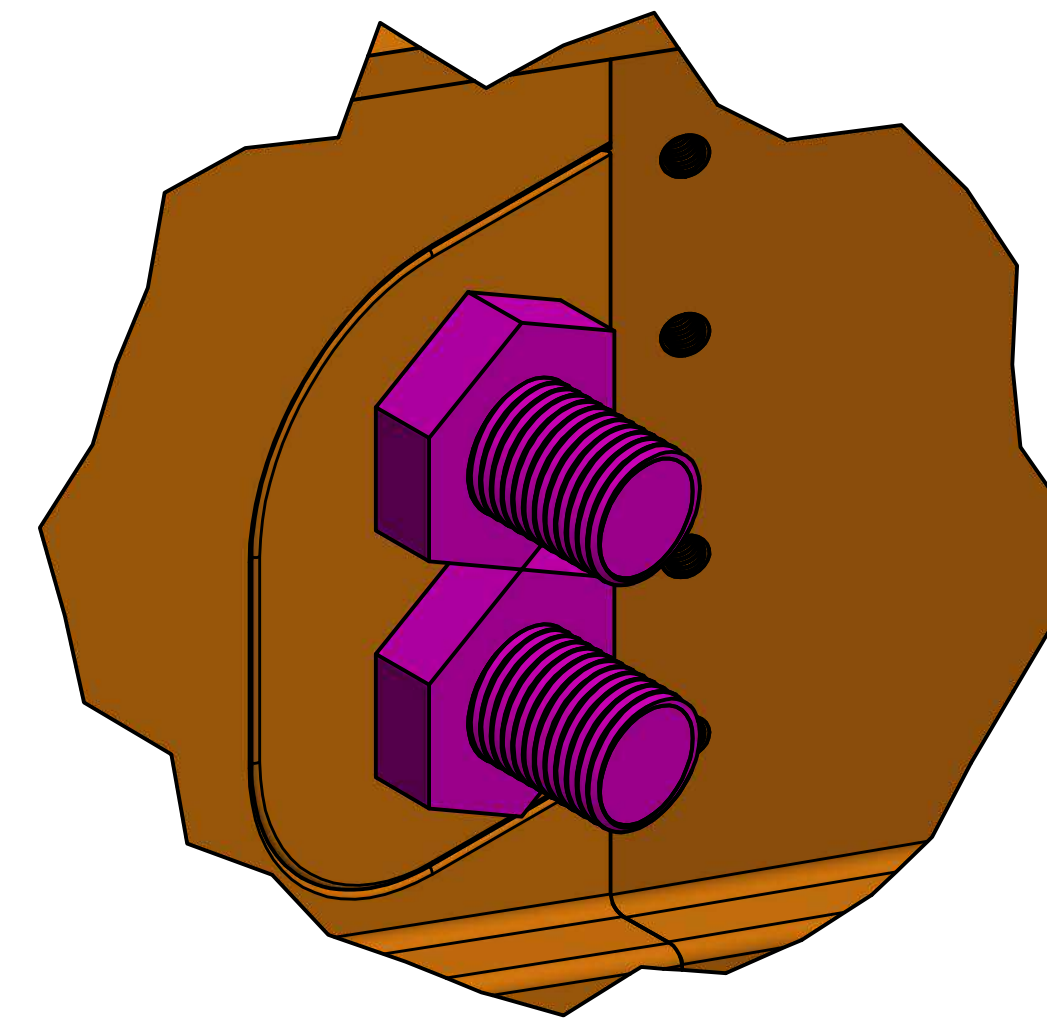


DETAIL K
SCALE 1 / 1,5

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φύλακος		Rear Spar 2 (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός 2) Solid 1	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 44
MFG		SCALE 1/3,5	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

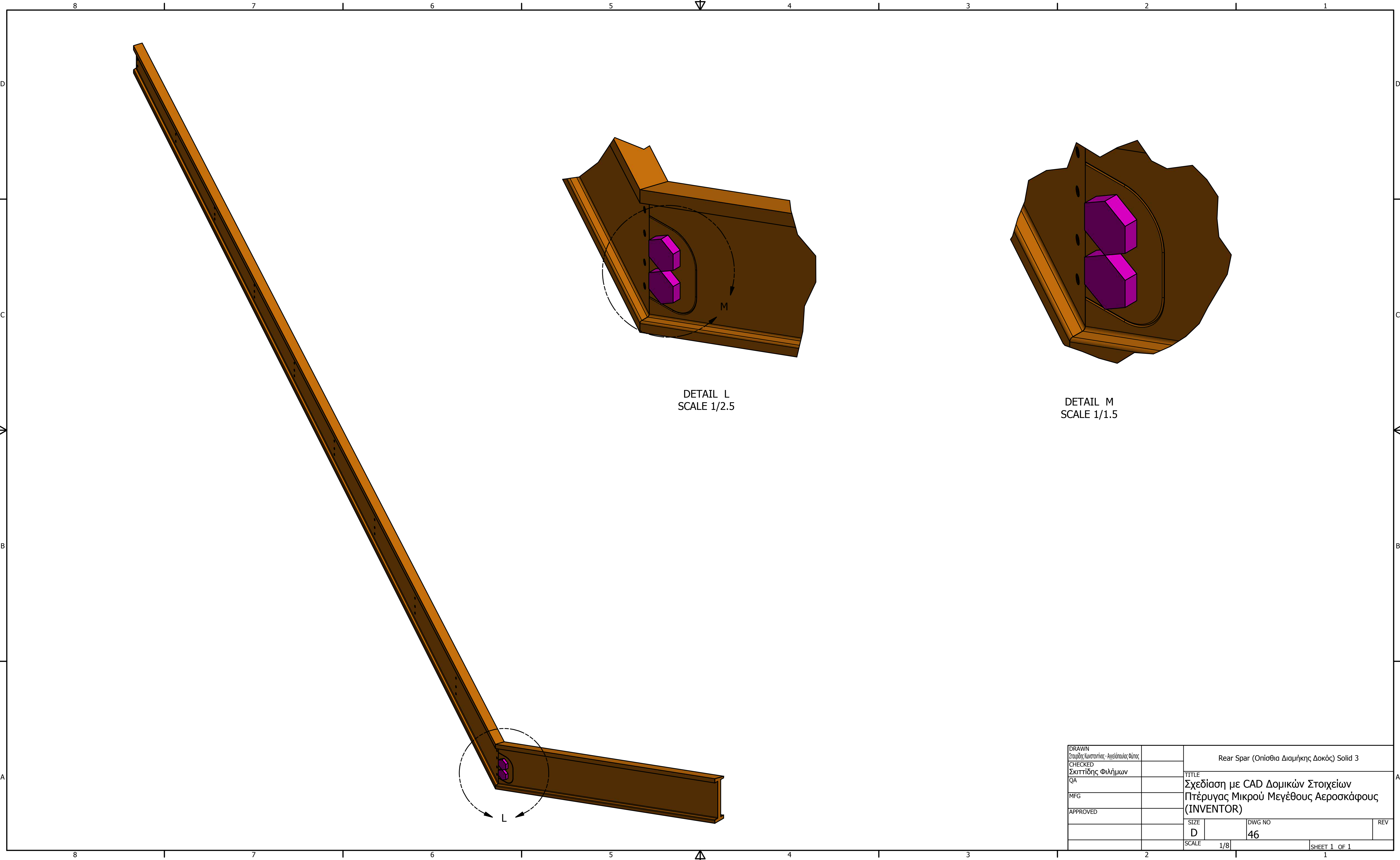


DETAIL L
SCALE 1/3



DETAIL M
SCALE 1/1.5

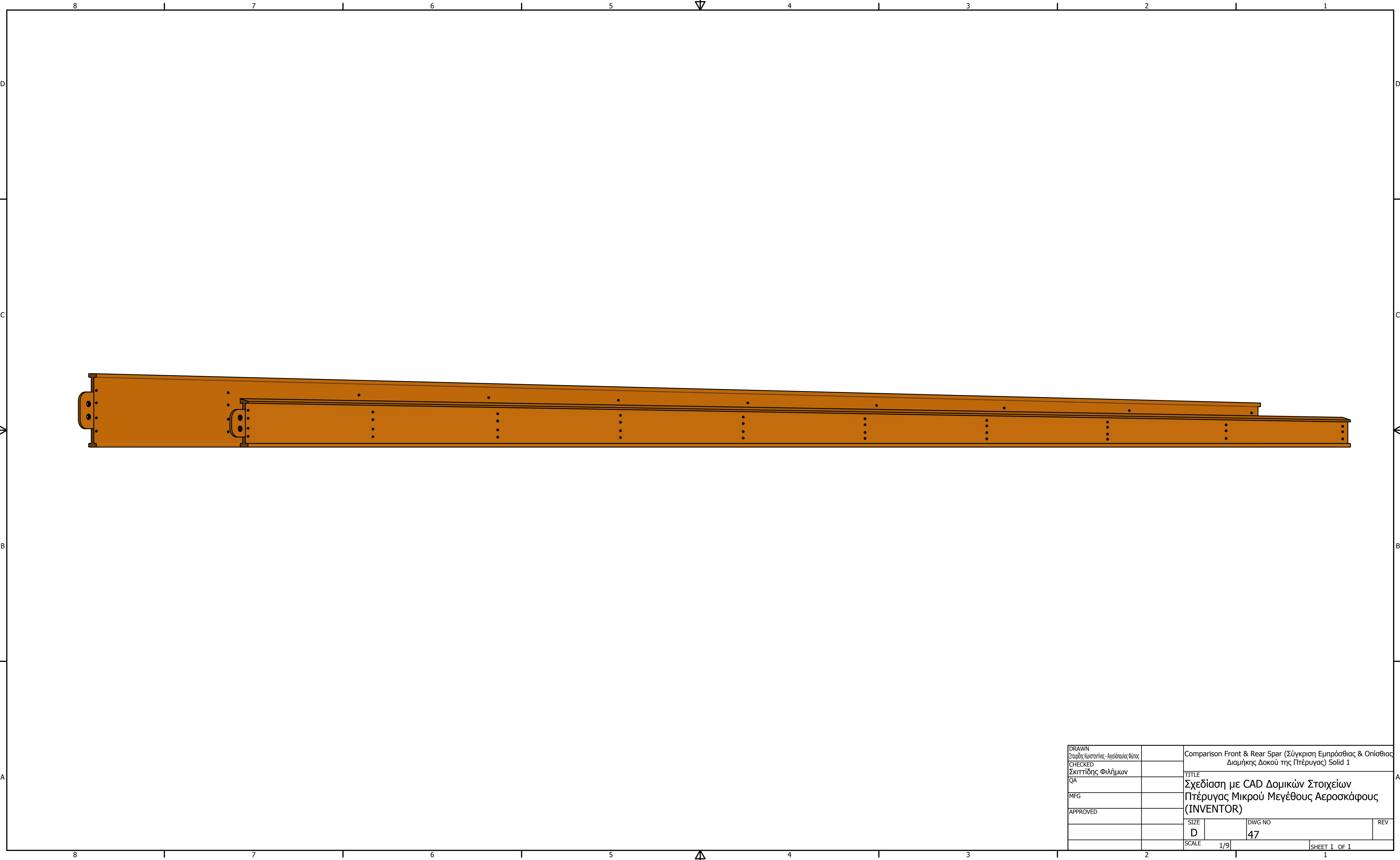
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπτος		Rear Spar (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός) Solid 2		
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)		
QA		SIZE D	DWG NO 45	REV
MFG		SCALE 1/9	SHEET 1 OF 1	
APPROVED				



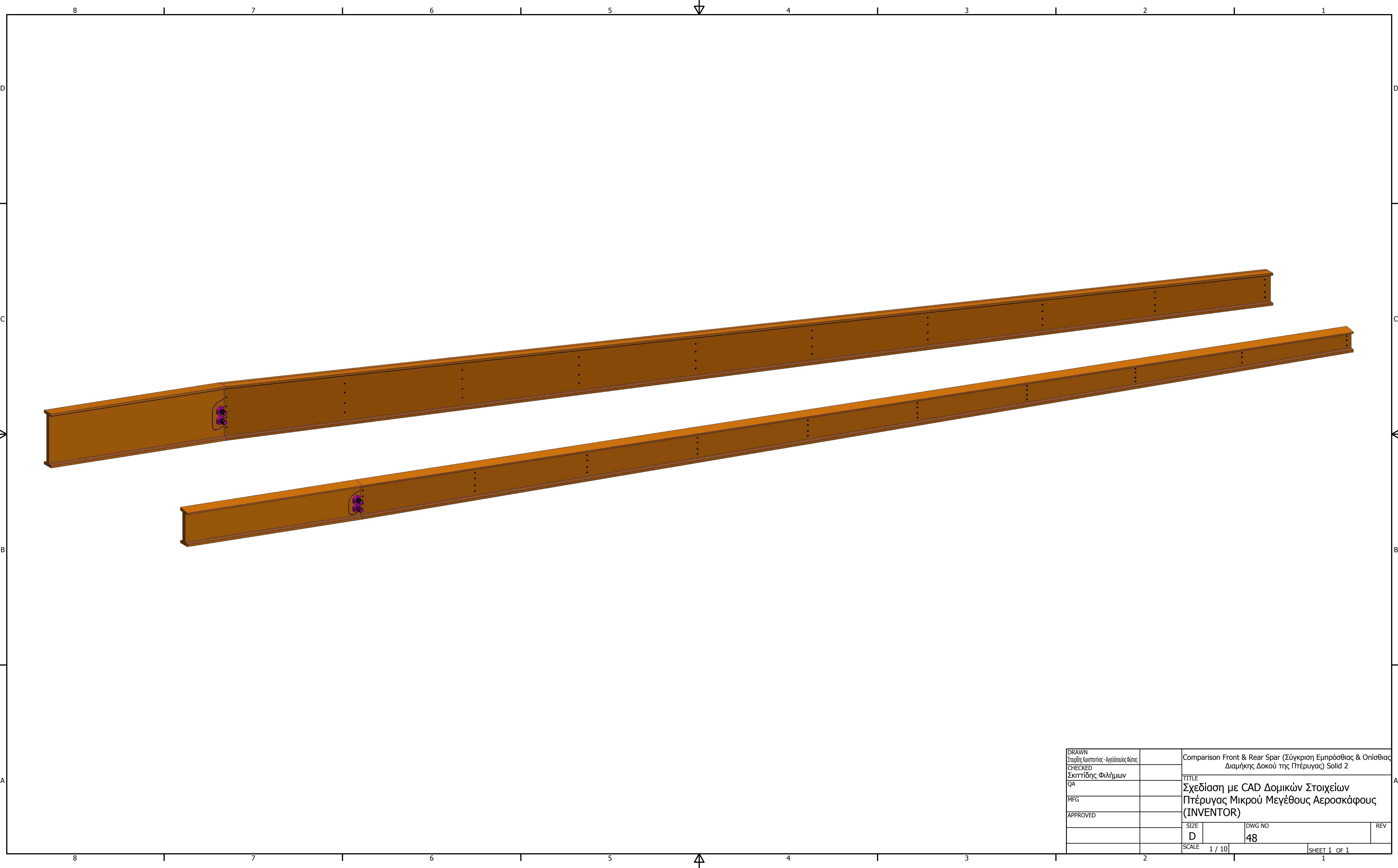
DETAIL L
SCALE 1/2.5

DETAIL M
SCALE 1/1.5

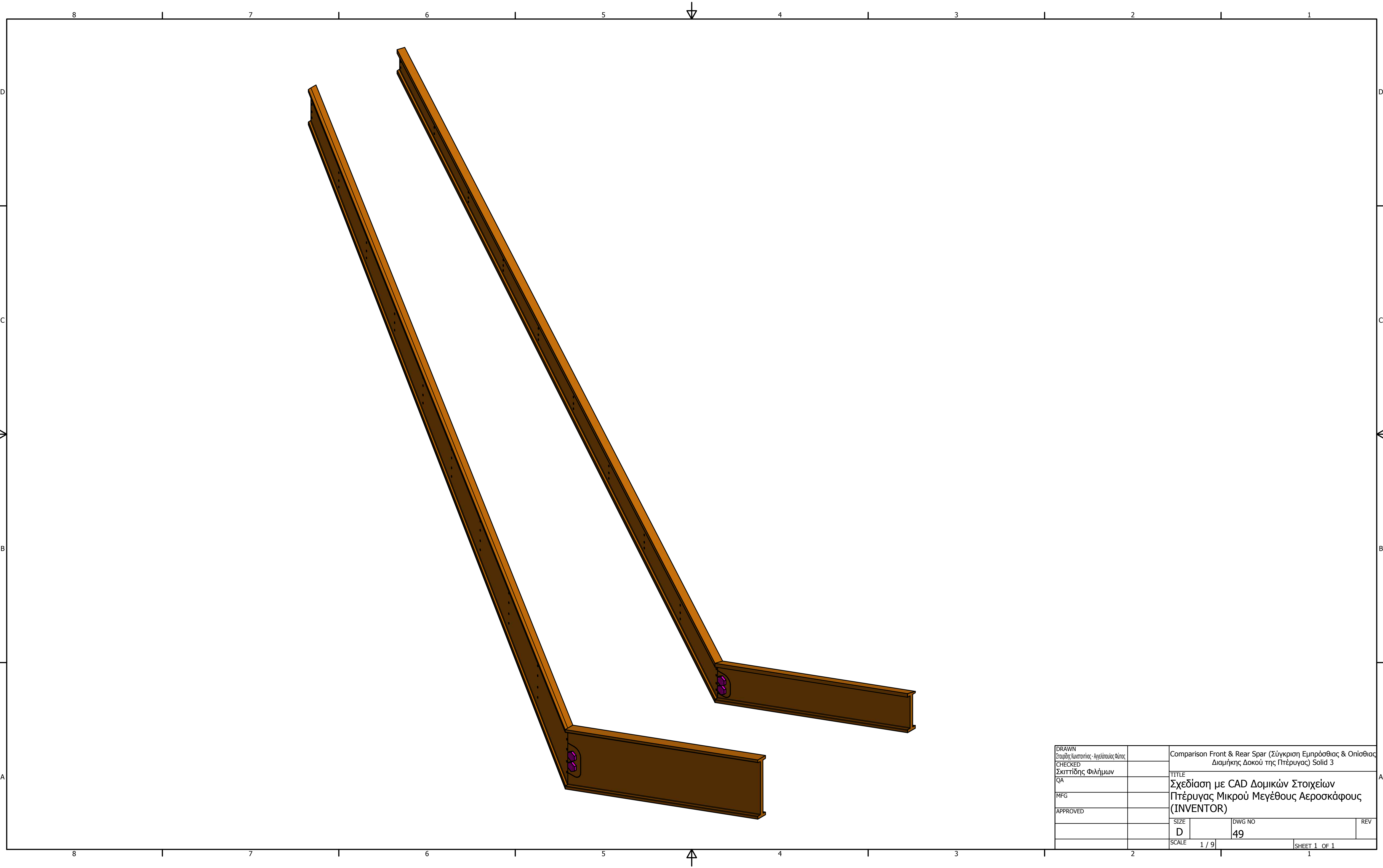
DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Rear Spar (Οπίσθια Διαμήκης Δοκός) Solid 3	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 46
MFG		SCALE 1/8	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



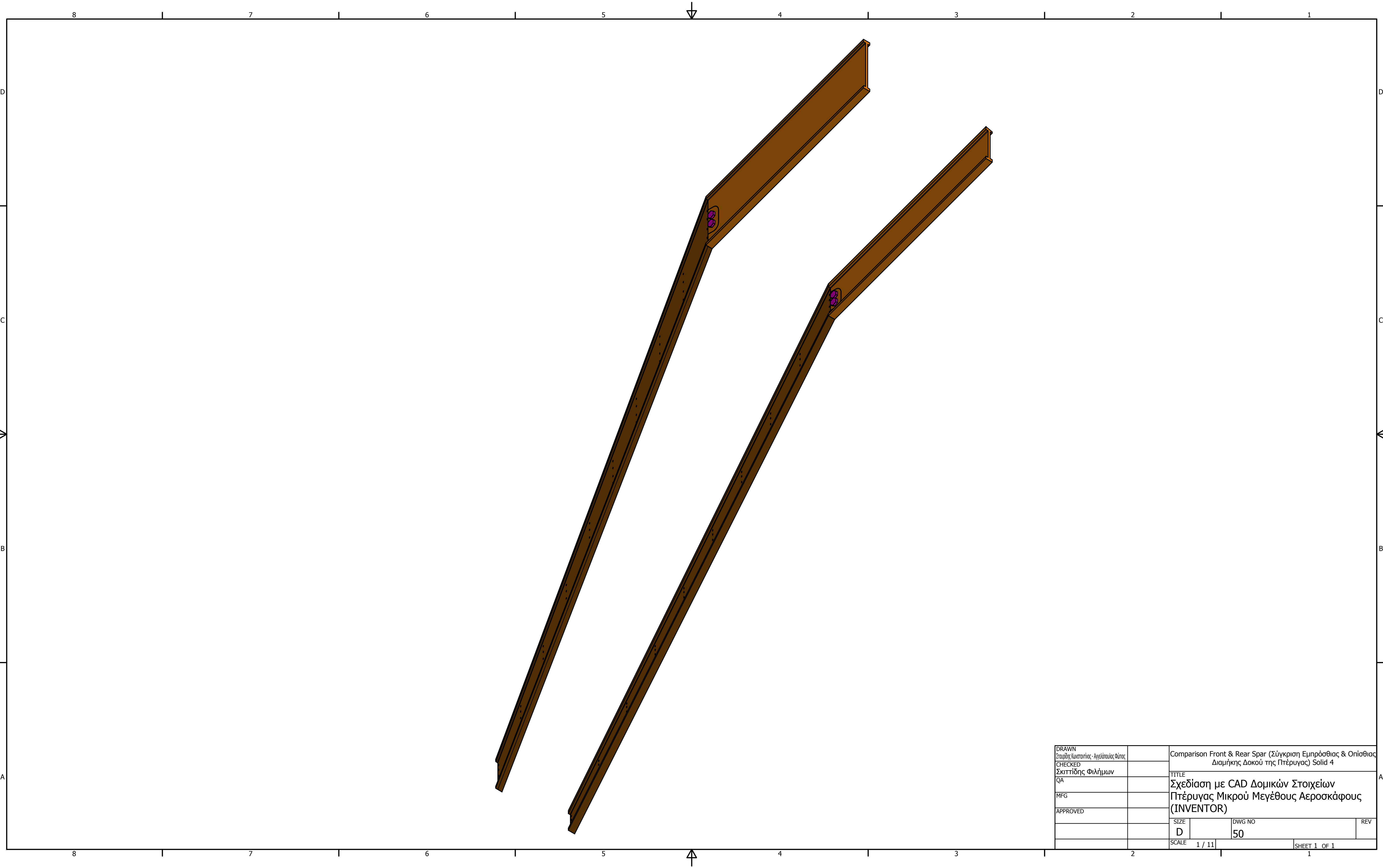
DRAWN	Επιμέλεια Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτος	Comparison Front & Rear Spar (Σύγκριση Εμπρόσθιας & Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού της Πτέρυγας) Solid 1	
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
MFG		SIZE	DWG NO
APPROVED		D	47
		SCALE	1/9
			SHEET 1 OF 1



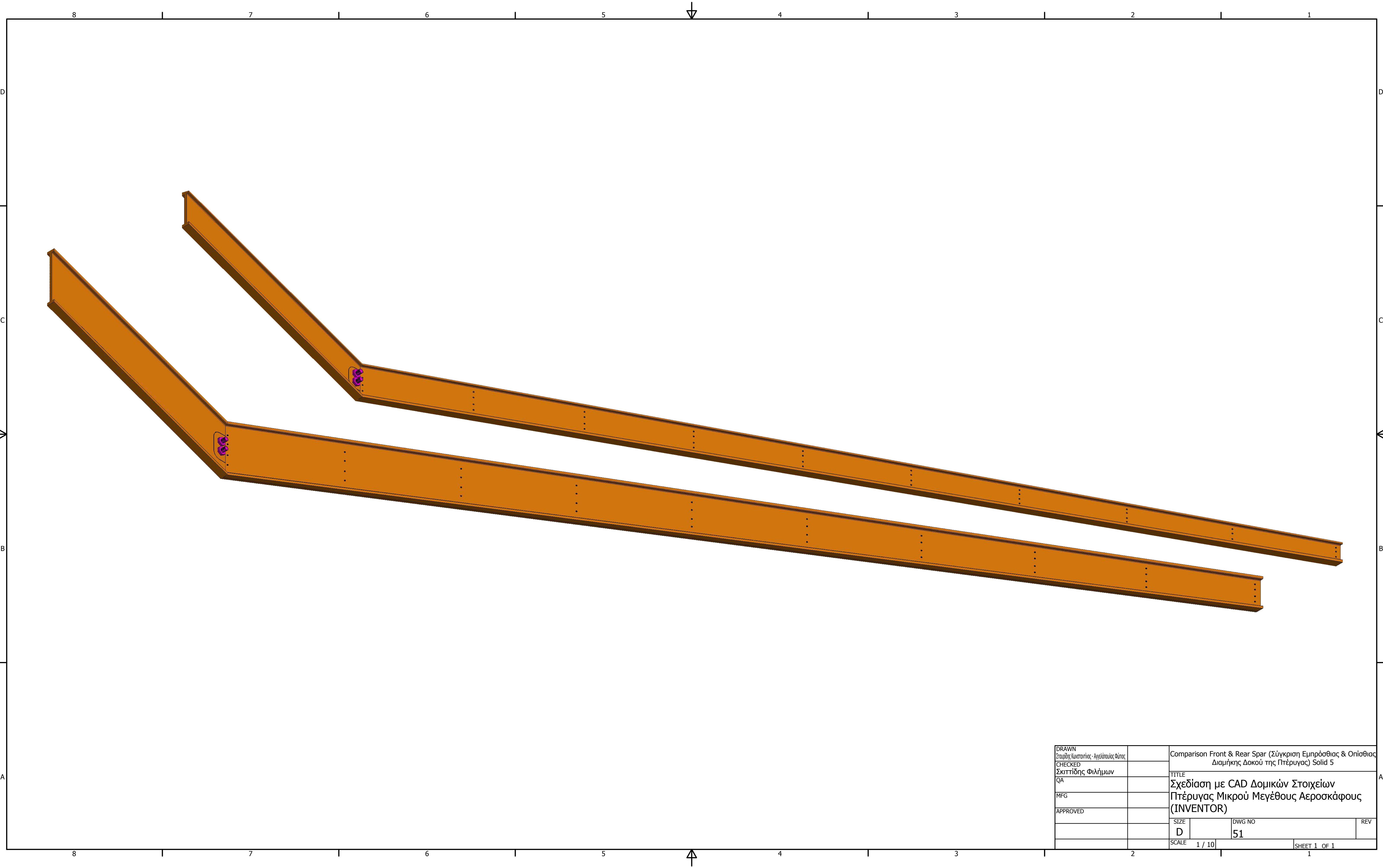
DRAWN	Επιχειρηματίας - Αγγελόπουλος Φώτος	Comparison Front & Rear Spar (Σύγκριση Εμπρόσθιας & Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού της Πτέρυγας) Solid 2		
CHECKED	Σκιττιδής Φιλήμων	TITLE		
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)		
MFG		SIZE	DWG NO	REV
APPROVED		D	48	
		SCALE	1 / 10	SHEET 1 OF 1



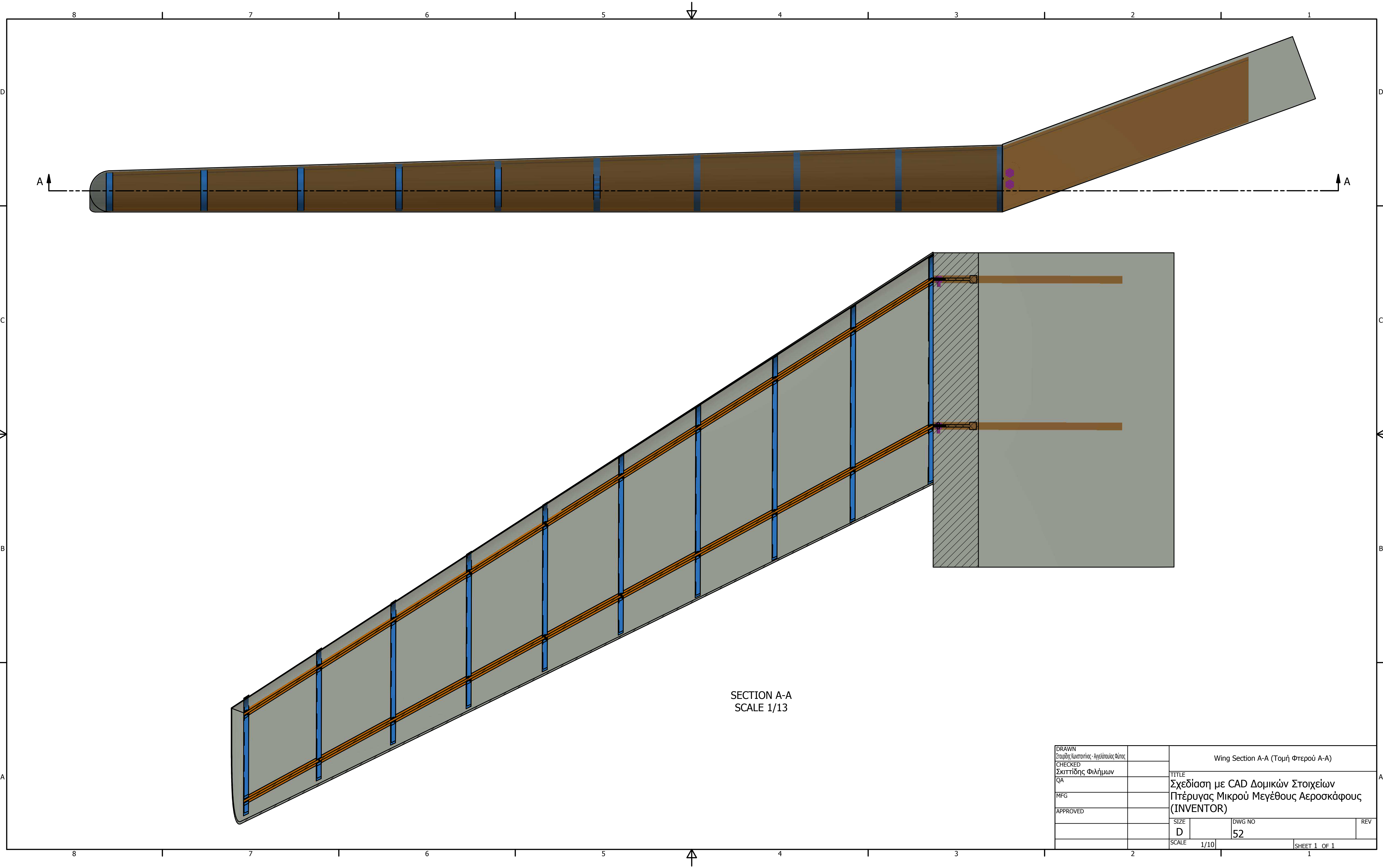
DRAWN Σταυρώλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Comparison Front & Rear Spar (Σύγκριση Εμπρόσθιας & Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού της Πτέρυγας) Solid 3	
CHECKED Σκιπτιτίδης Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 49
MFG		SCALE 1 / 9	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



DRAWN Σταυρόδης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Comparison Front & Rear Spar (Σύγκριση Εμπρόσθιας & Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού της Πτέρυγας) Solid 4	
CHECKED Σκιπτιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 50
MFG			REV
APPROVED			
		SCALE 1 / 11	SHEET 1 OF 1

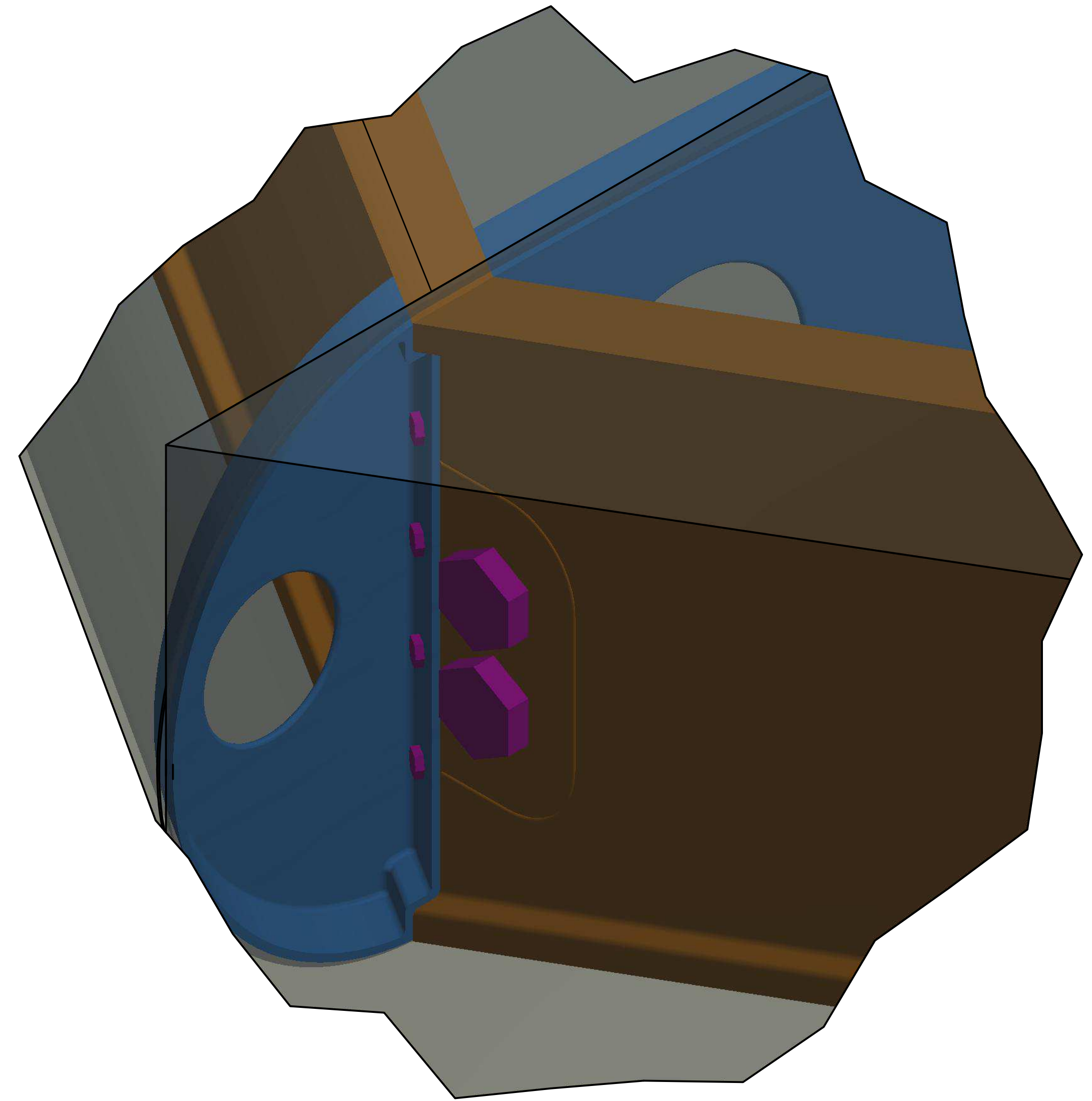
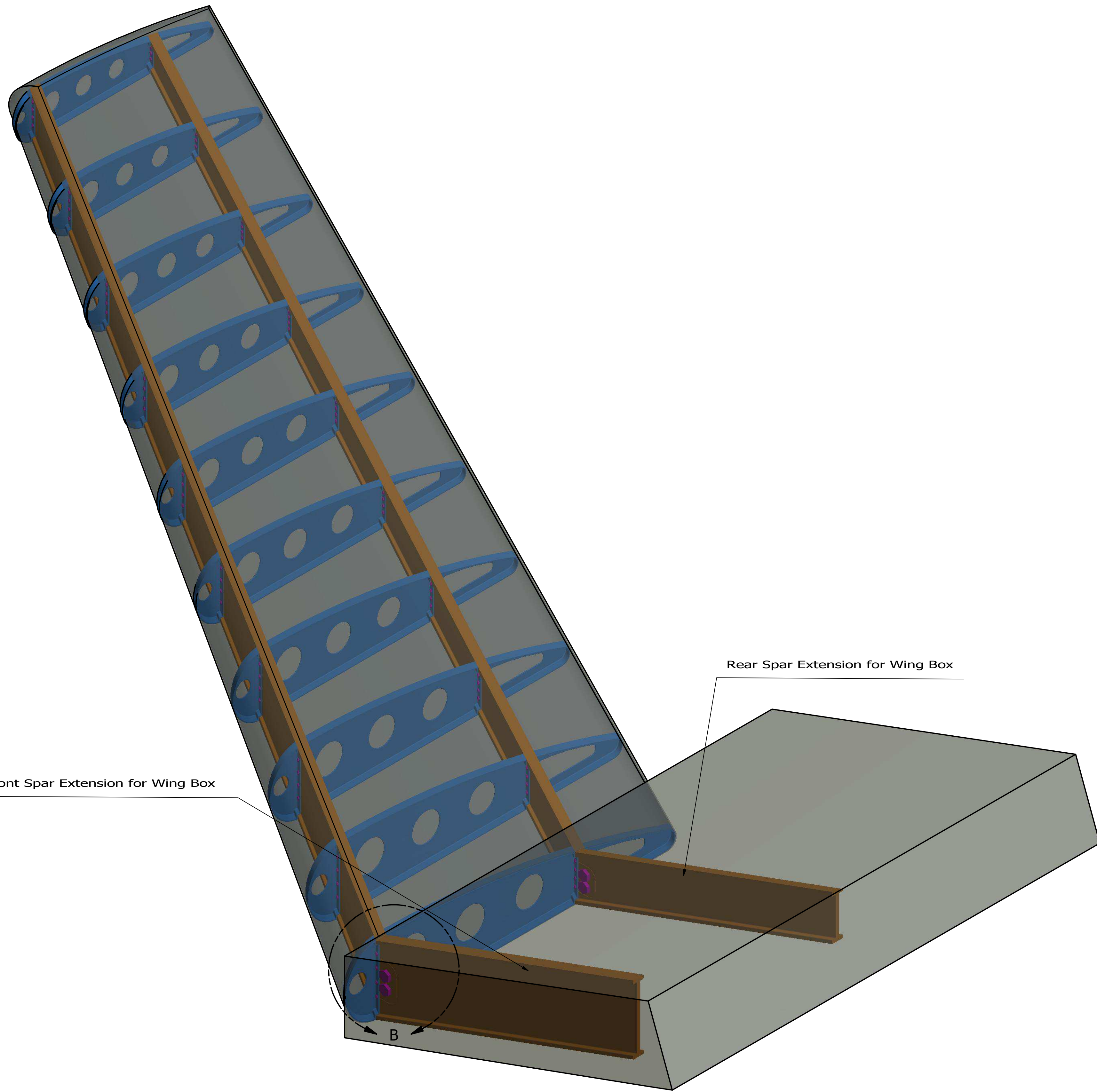


DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Comparison Front & Rear Spar (Σύγκριση Εμπρόσθιας & Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού της Πτέρυγας) Solid 5	
CHECKED Σκιττιλίδης Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA			
MFG			
APPROVED			
		SIZE D	DWG NO 51
		SCALE 1 / 10	REV
			SHEET 1 OF 1



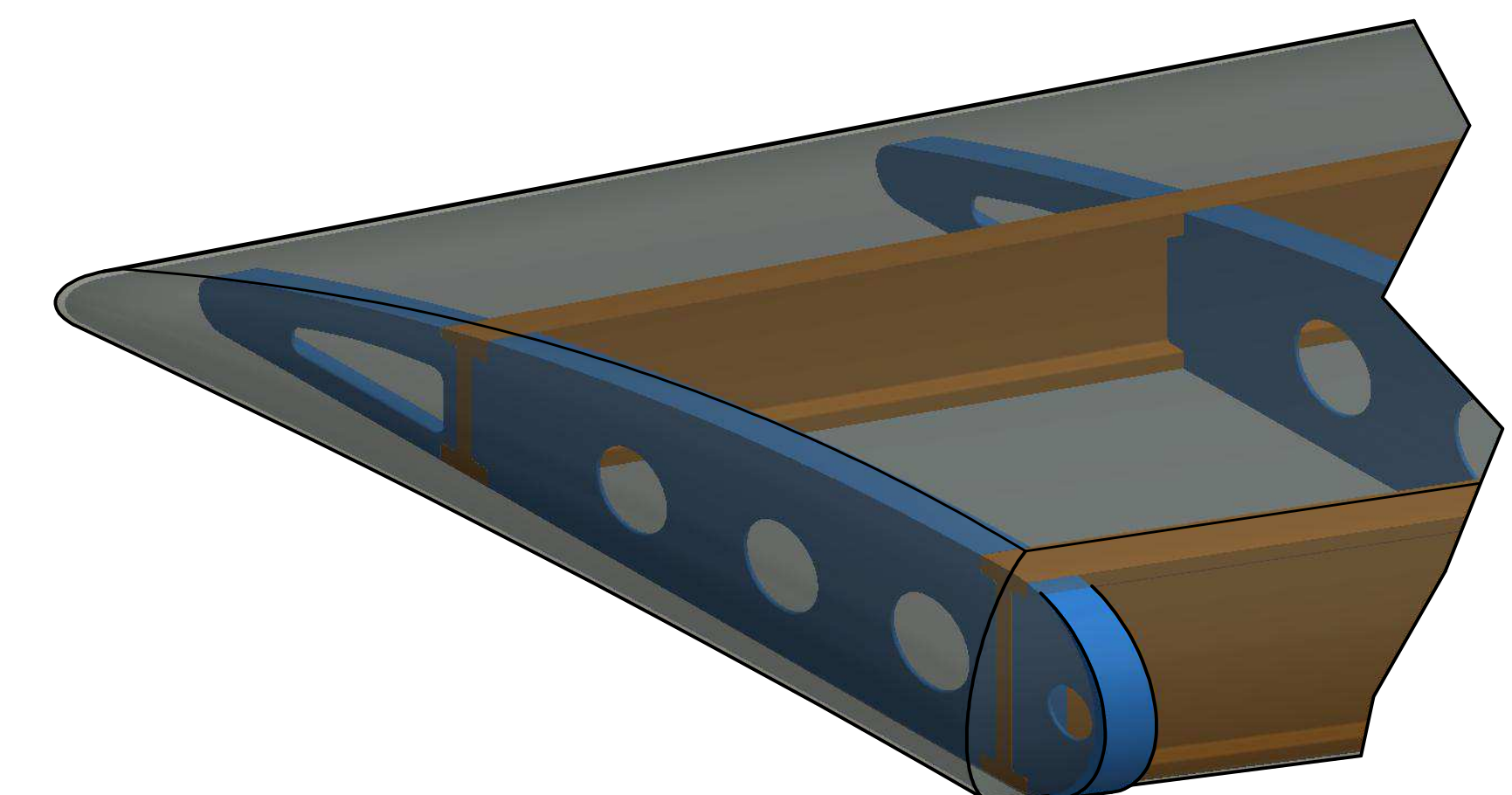
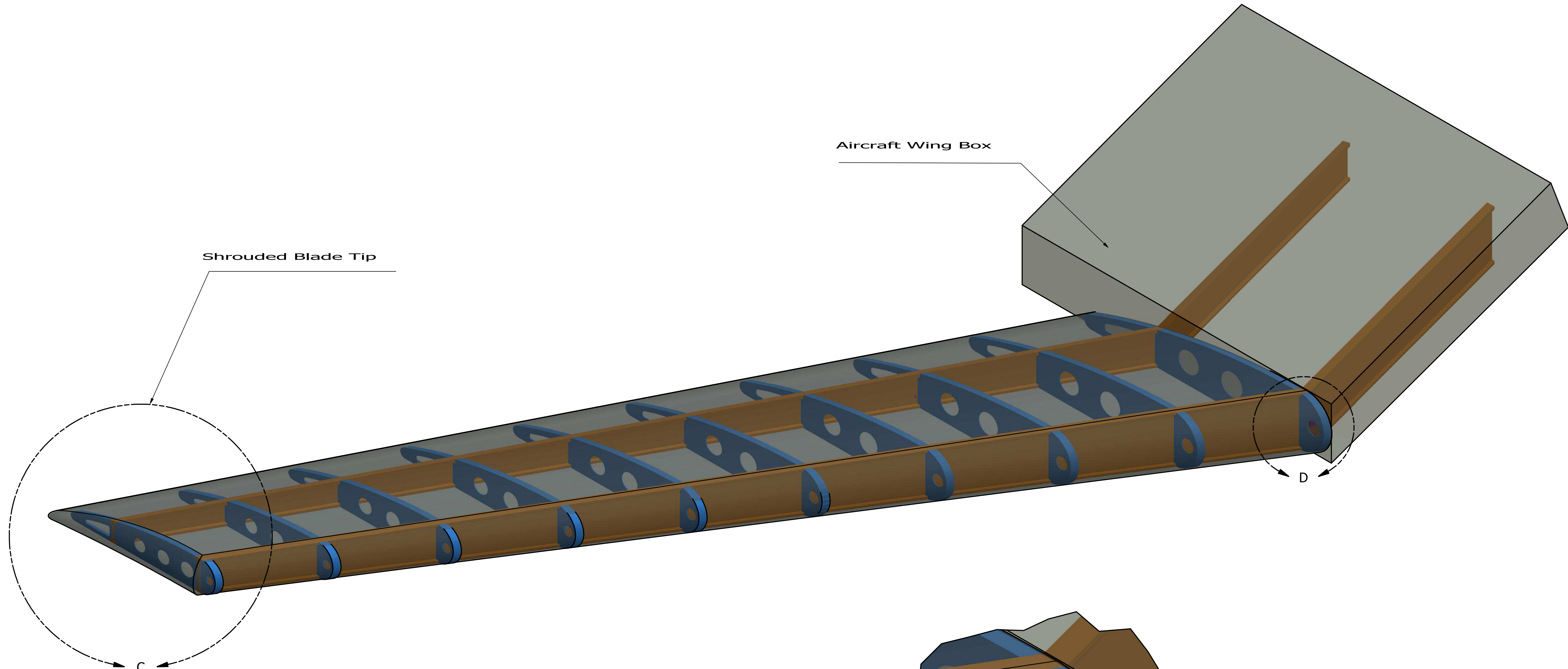
SECTION A-A
SCALE 1/13

DRAWN Σταυρόδης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπας		Wing Section A-A (Τομή Πτερού A-A)	
CHECKED Σκιτπίδης Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 52
MFG		SCALE 1/10	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

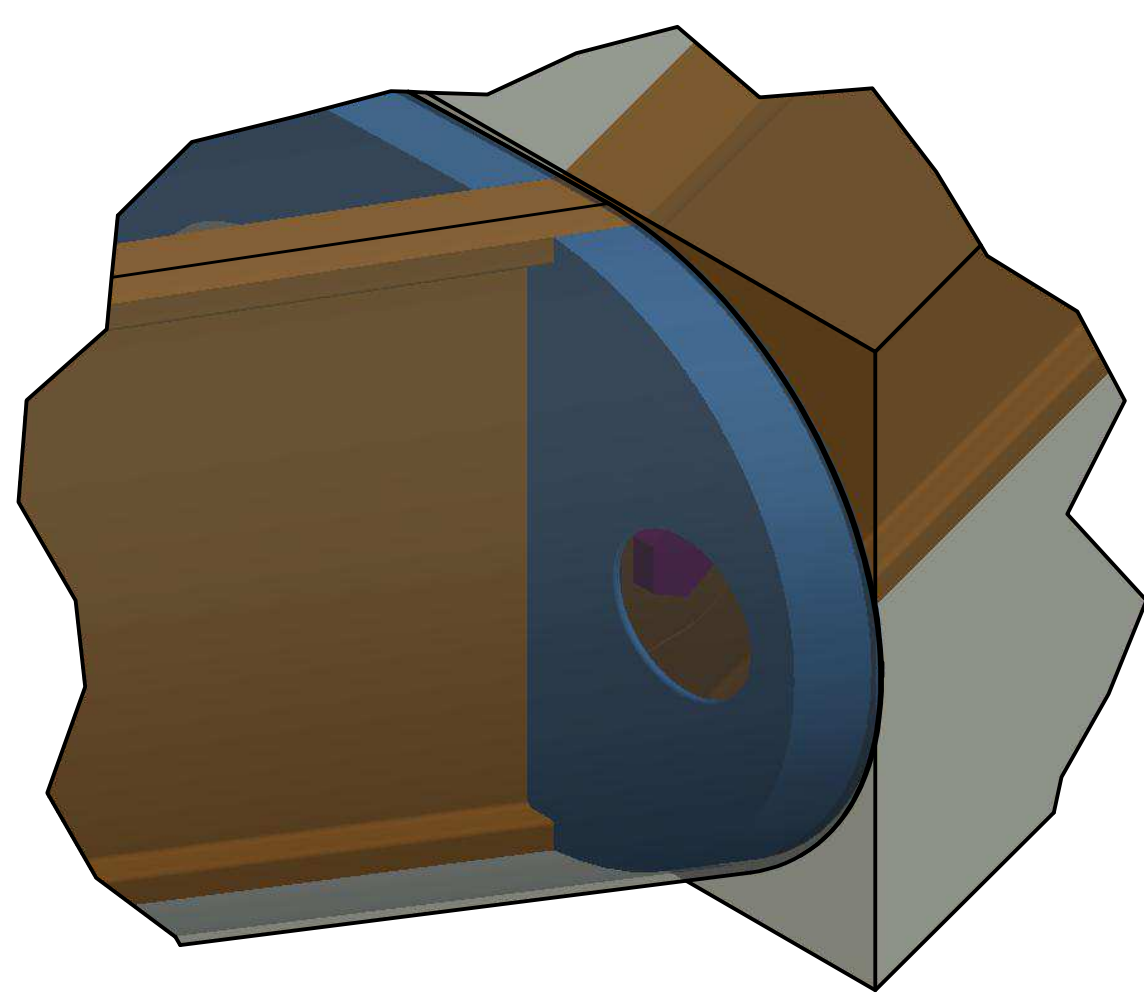


DETAIL B
SCALE 1 / 2

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάσος		Wing Construction with Aircraft Wing Box (Κατασκευή Φτερού με Wing Box Αεροσκάφους)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 53
MFG		SCALE 1/10	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

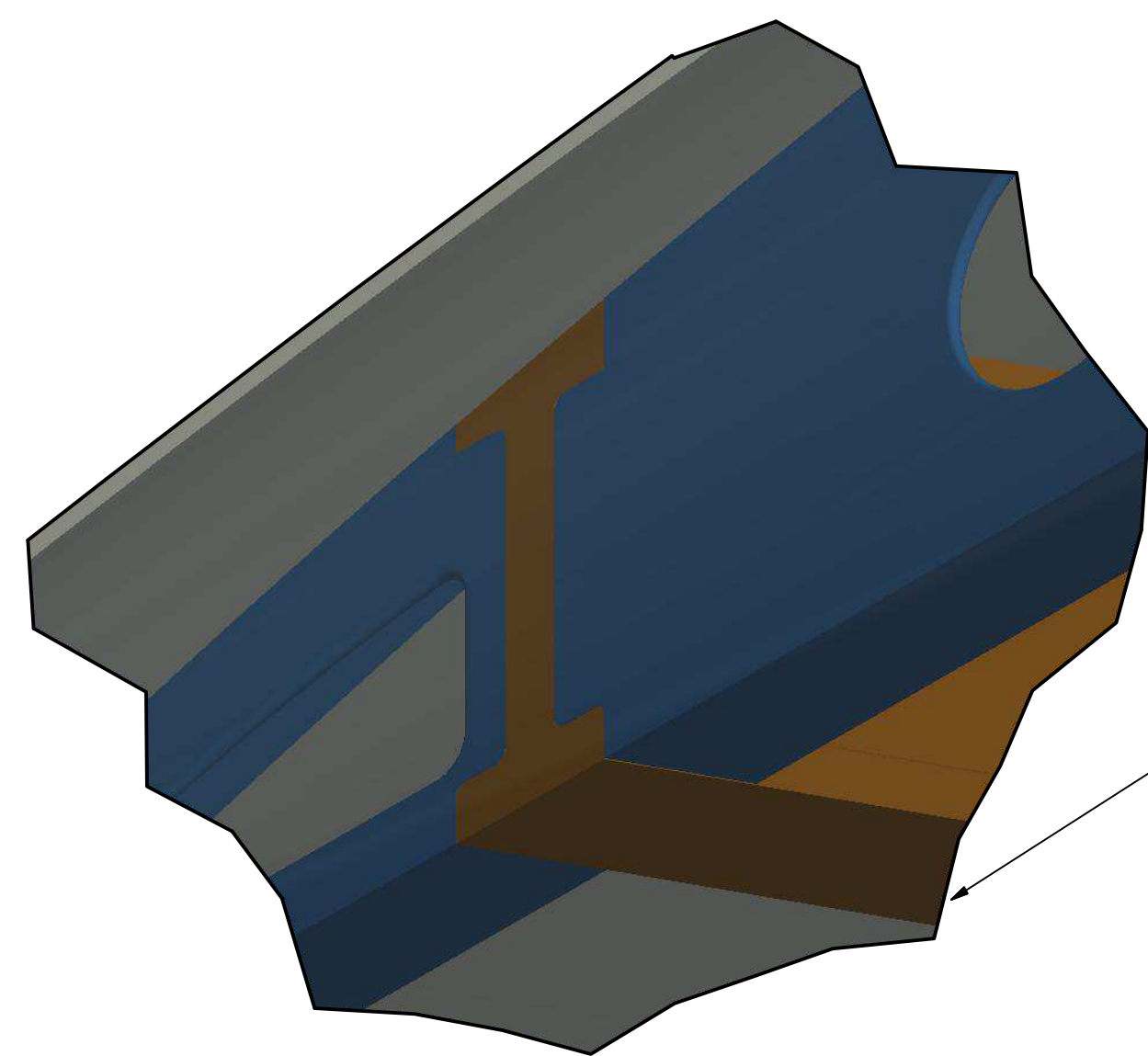
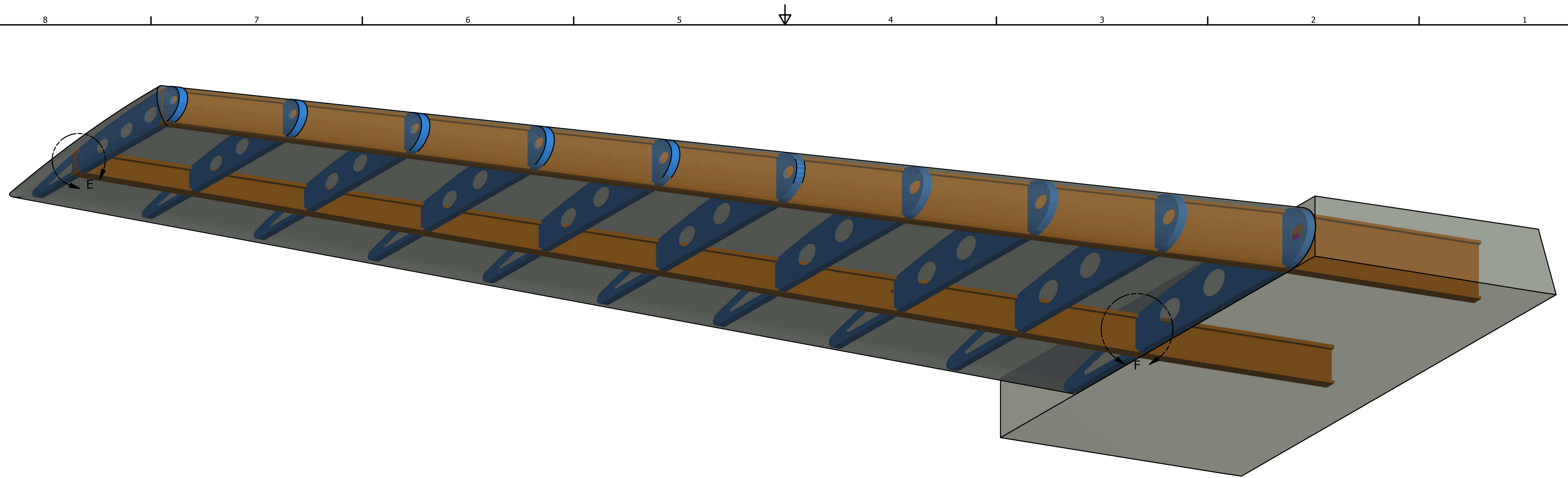


DETAIL C
SCALE 1 / 6



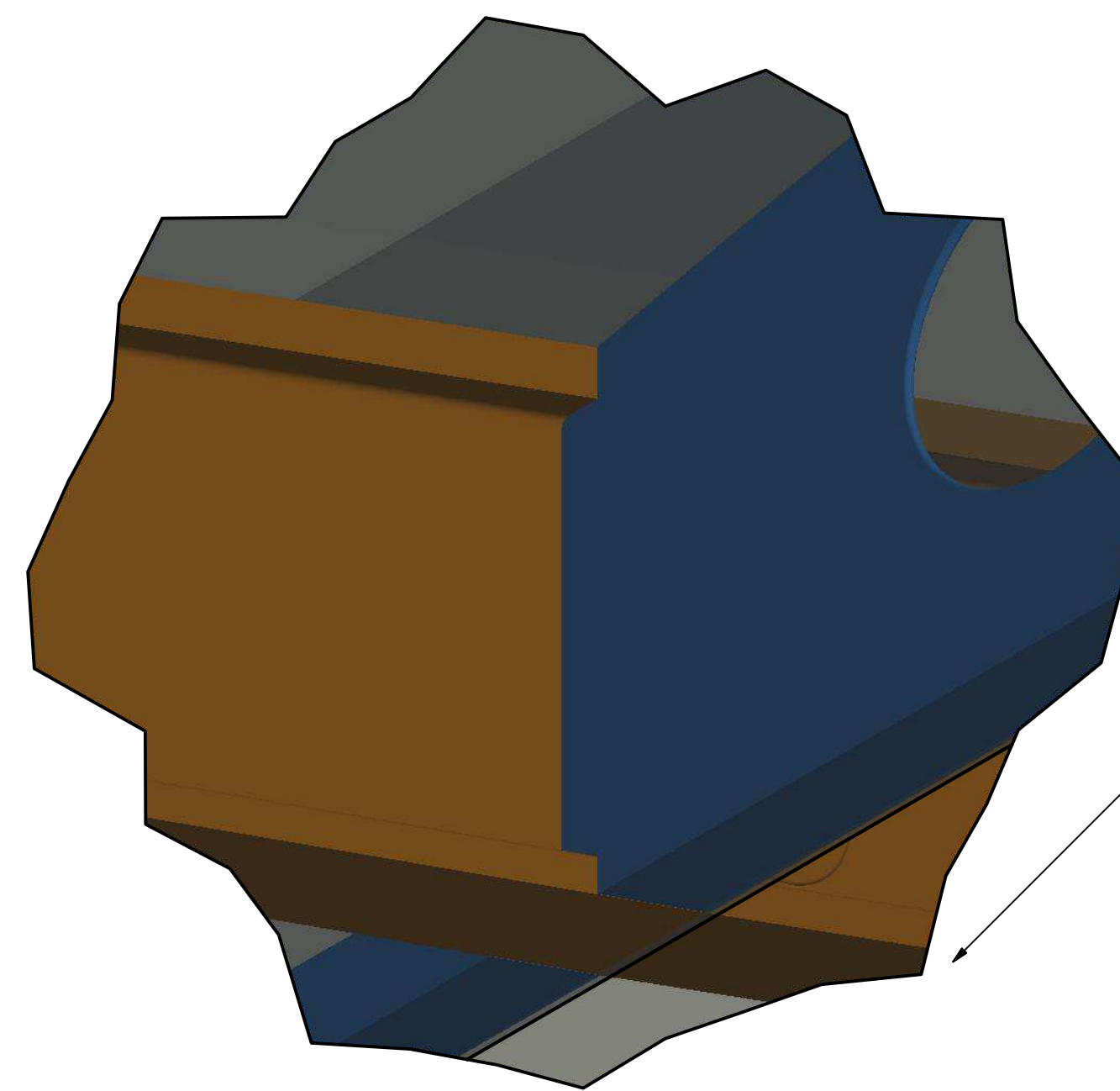
DETAIL D
SCALE 1 / 4

DRAWN Σταυρόης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάπτος		Shrouded Blade Tip (Περιβλεβλημένο Άκρο Πτερυγίου)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE D	DWG NO 54
		SCALE 1/12	REV SHEET 1 OF 1



Rear Spar Tip

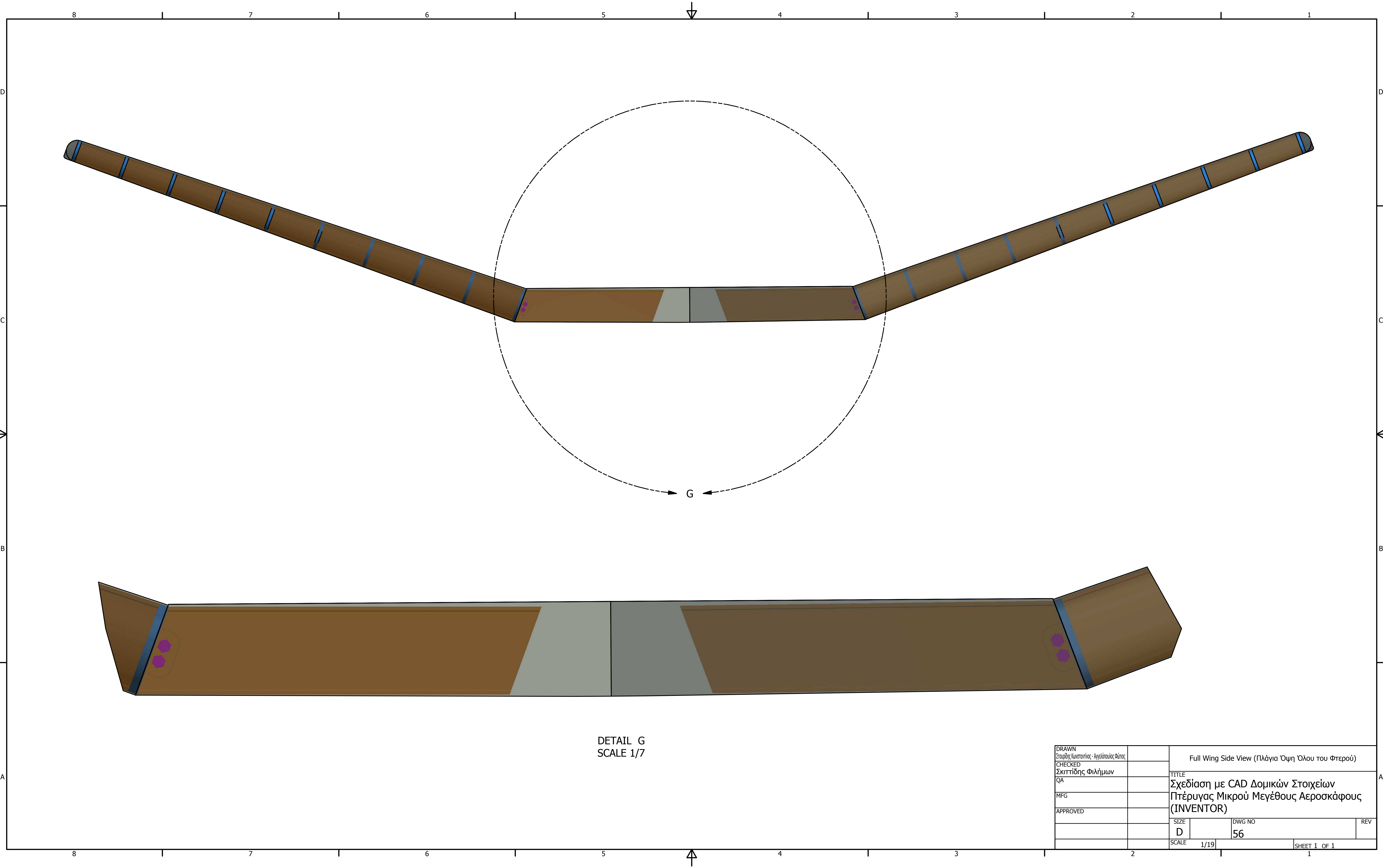
DETAIL E
SCALE 1 / 2



Rear Spar Root

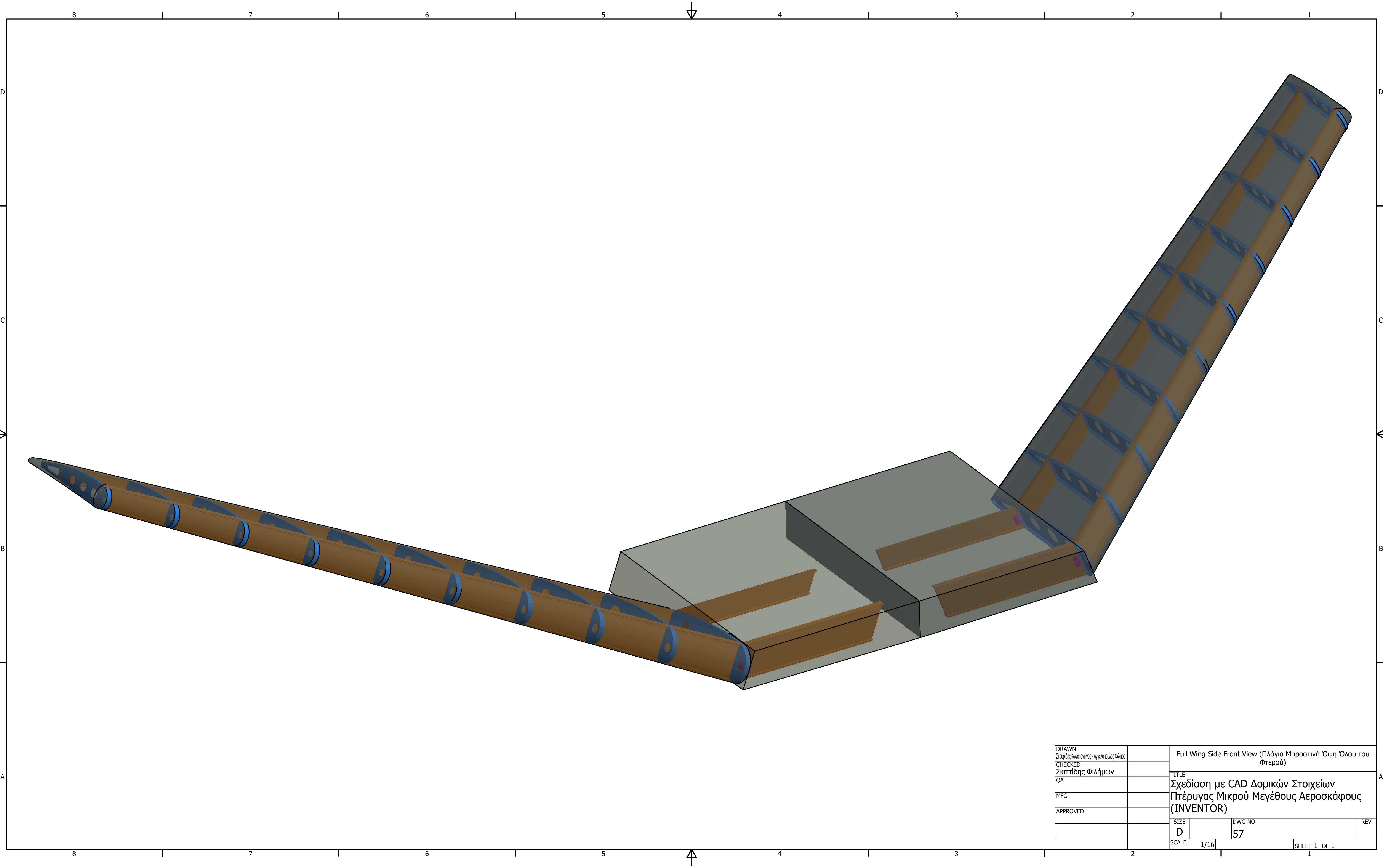
DETAIL F
SCALE 1/2.5

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Rear Spar Root & Rear Spar Tip (Άκρη Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού & Ρίζα Οπίσθιας Διαμήκης Δοκού)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE D	DWG NO 55
		SCALE 1/11	REV SHEET 1 OF 1



DETAIL G
SCALE 1/7

DRAWN Σταυρούλης Κωνσταντίνος - Αρχιτέκτονας Φάσος		Full Wing Side View (Πλάγια Όψη Όλου του Φτερού)	
CHECKED Σκιτπίδης Φιλήμων		TITLE Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους (INVENTOR)	
QA		SIZE D	DWG NO 56
MFG		SCALE 1/19	REV
APPROVED		SHEET 1 OF 1	



DRAWN Σταυρόδης Κωνσταντίνος - Αγγελόπουλος Φώτιος		Full Wing Side Front View (Πλάγια Μπροστινή Όψη Όλου του Φτερού)	
CHECKED Σκιττιδής Φιλήμων		TITLE	
QA		Σχεδίαση με CAD Δομικών Στοιχείων	
MFG		Πτέρυγας Μικρού Μεγέθους Αεροσκάφους	
APPROVED		(INVENTOR)	
		SIZE D	DWG NO 57
		SCALE 1/16	REV 1 OF 1

A

B

C

D

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1