

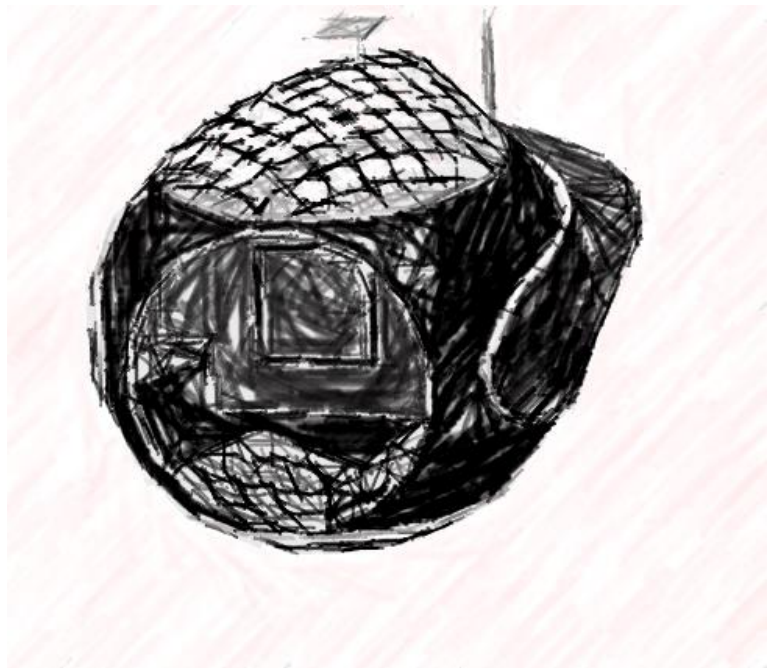


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**“Προκαταρκτικός σχεδιασμός, μελέτη και κατασκευή περιβλήματος  
αυτόνομου ρομποτικού υποβρυχίου.”**

Διπλωματική Εργασία

Δεκέμβριος 2015



Επιμέλεια: Μπαράκου Σταματίνα

Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Τσουρβελούδης

## *Ευχαριστίες*

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου μέσα από την εκπόνηση της Διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Νικόλαο Τσουρβελούδη του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης για την εξαιρετική συνεργασία μας και τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφερε μέσα από τη διαδικασία αυτή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Σάββα Πιπερίδη για την υποστήριξη και τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την στήριξη και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια και ιδιαίτερα τον αδερφό μου για τις πολύτιμες συμβουλές του.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
<b>Κεφάλαιο 1:</b> Θεωρητικό υπόβαθρο .....	6
1.1 Γενικά για τα Αυτόνομα Ρομποτικά Υποβρύχια (Autonomous Underwater Vehicles, AUV's) .....	6
1.2 Κινηματική και δυνάμεις που ασκούνται σε ένα υποβρύχιο όχημα .....	8
1.3 Συντελεστής υδροδυναμικής αντίστασης ( <b><i>C<sub>d</sub></i></b> ) .....	10
<b>Κεφάλαιο 2:</b> Σχεδιασμός του περιβλήματος .....	13
2.1 Παρουσίαση υποβρυχίου εργαστηρίου .....	14
2.2 Σχεδιασμός περιβλήματος με τη χρήση προγράμματος CAD.....	14
2.2.1 Αρχικός σχεδιασμός περιβλήματος.....	14
2.2.2 Τελικό σχέδιο περιβλήματος.....	16
2.2.3 Διαδικασία σχεδιασμού .....	21
<b>Κεφάλαιο 3:</b> Αποσυναρμολόγηση με σκοπό 3d εκτύπωση (3d printing) .....	26
3.1 Εισαγωγή στη τρισδιάστατη εκτύπωση (3d printing) .....	26
3.1.1 Υλικά που χρησιμοποιούνται για 3d printing .....	28
3.1.2 Υλικό με αντίστοιχες ιδιότητες τζαμιού .....	31
3.2 Αποσυναρμολόγηση κομματιών περιβλήματος .....	32
3.2.1 Αποσυναρμολόγηση κεντρικού κομματιού 1 .....	32
3.2.2 Αποσυναρμολόγηση κεντρικού κομματιού 2 .....	34
3.2.3 Αποσυναρμολόγηση πάνω μέρους "σκακιέρα" .....	35
3.2.4 Αποσυναρμολόγηση κάτω μέρους "σκακιέρα" .....	36
3.2.5 Αποσυναρμολόγηση τζαμιού .....	37
3.2.6 Αποσυναρμολόγηση κυλίνδρων.....	38
<b>Κεφάλαιο 4:</b> Συναρμολόγηση με σκοπό την ολοκληρωμένη κατασκευή .....	40
4.1 Παρουσίαση συναρμολόγησης επί μέρους κομματιών.....	40
4.1.1 Συναρμολόγηση κεντρικού κομματιού 1 .....	40
4.1.2 Συναρμολόγηση του κεντρικού κομματιού 1 με το κεντρικό κομμάτι 2 .....	48
4.1.3 Συναρμολόγηση πάνω και κάτω μέρος "σκακιέρας" με το υπόλοιπο περίβλημα .....	52
4.1.4 Συναρμολόγηση κυλίνδρων πλαϊνών προπελών .....	56
4.1.5 Συναρμολόγηση κυλίνδρου κάτω προπέλας .....	58
4.1.6 Συναρμολόγηση τζαμιού.....	60

4.2 Στήριξη μεταλλικού μέρους υποβρυχίου με περίβλημα.....	63
4.3 Σειρά της συναρμολόγησης .....	66
Συμπεράσματα .....	69
Βιβλιογραφία.....	70

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον προκαταρκτικό σχεδιασμό περιβλήματος κατάλληλο για το αυτόνομο ρομποτικό υποβρύχιο που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης στο εργαστήριο Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής. Μετά από μελέτη πάνω στα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά σωμάτων που κινούνται μέσα στο νερό, έγινε η σύλληψη της ιδέας για το σχήμα του περιβλήματος. Στη συνέχεια η εργασία στόχευσε στην πραγματική υλοποίηση και κατασκευή του περιβλήματος μέσα από έναν τομέα αιχμής της μηχανολογίας, αυτόν της τρισδιάστατης εκτύπωσης ή αλλιώς 3d printing. Τέλος, έγινε η απαραίτητη μελέτη συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης των επιμέρους κομματιών που προέκυψαν από την εκτύπωση.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες πάνω στα Αυτόνομα Ρομποτικά Υποβρύχια ,Autonomous Underwater Vehicles ,και πάνω στις βασικές υδροδυναμικές αρχές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αναλυτικά η σχεδίαση του περιβλήματος, το ερώτημα που δημιουργήθηκε με την πρώτη σχεδίαση και την σχεδίαση του τελικού επιτυχημένου σχεδίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην τρισδιάστατη εκτύπωση και στα υλικά που χρησιμοποιούν οι εκτυπωτές, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται αποσυναρμολόγηση των επιμέρους κομματιών του περιβλήματος με σκοπό την τρισδιάστατη εκτύπωση τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την συναρμολόγηση των κομματιών, ο τρόπος και τα συμπληρωματικά εξαρτήματα, καθώς και η χρονική σειρά της τοποθέτησης αυτών.

## **Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό υπόβαθρο**

Αυτό το κεφάλαιο στοχεύει στην ενημέρωση σχετικά με τα αυτόνομα ρομποτικά υποβρύχια παρουσιάζοντας τα απαραίτητα παραδείγματα, καθώς επίσης αναλύονται οι παράγοντες που καθιστούν ένα σώμα που κινείται στο νερό υδροδυναμικό. Μέσα από την μελέτη για τα κατάλληλα υδροδυναμικά σχήματα θα στηριχθεί η σύλληψη της ιδέας για τον μετέπειτα σχεδιασμό του περιβλήματος υποβρυχίου που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

### **1.1 Γενικά για τα Αυτόνομα Ρομποτικά Υποβρύχια (Autonomous Underwater Vehicles, AUV's)**

Αυτόνομα υποβρύχια οχήματα είναι ρομπότ τα οποία ταξιδεύουν κάτω από το νερό χωρίς να χρειάζονται εισαγωγή δεδομένων από χειριστή. Αποτελούν μέρος μιας μεγάλης κατηγορίας οχημάτων που ονομάζονται μη επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα (UUV's), τα οποία περιλαμβάνουν επίσης ονομαζόμενα τηλεχειριζόμενα υποβρύχια οχήματα (ROV's), όπου ελέγχεται και τροφοδοτείται από την επιφάνεια μέσω ενός χειριστή με τη βοήθεια τηλεχειριστηρίου.





Μέχρι πρόσφατα τα AUV's έχουν χρησιμοποιηθεί για περιορισμένο αριθμό καθηκόντων δεδομένης της διαθέσιμης τεχνολογίας. Με την ανάπτυξη όμως προηγμένων δυνατοτήτων επεξεργασίας και υψηλής απόδοσης τροφοδοτικά, τα AUV's χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για καθήκοντα και αποστολές που εξελίσσονται συνεχώς.

Επίσης, ανάλογα με το σχήμα τους μπορούν:

- να μετατοπίζονται
- να οδηγούν
- να γλιστρούν στο νερό χωρίς την βοήθεια του ανθρώπου.

Παραδείγματα AUV's παρουσιάζονται στον πίνακα 1 που ακολουθεί.

Πίνακας 1: Αυτόνομα υποβρύχια σκάφη. [1]

<p><b>REMUS:</b> Είναι σχεδιασμένο για παράκτια παρακολούθηση, καθώς και για δραστηριότητες έρευνας σε διάφορα βάθη του ωκεανού.</p>	
<p><b>SENTRY:</b> Είναι ένα πλήρως αυτόνομο υποβρύχιο όχημα ικανό να εξερευνάει τον ωκεανό σε 6.000 μέτρα βάθος.</p>	
<p><b>SEABED:</b> Μπορούν να πετάξουν αργά ή να αιωρούνται πάνω το θαλάσσιο πυθμένα σε βάθος 6.000 πόδια, καθιστώντας τα κατάλληλα για τη συλλογή ιδιαίτερα λεπτομερών ήχων του βυθού και οπτικές εικόνες.</p>	
<p><b>SLOCUM GLIDER:</b> Πραγματοποιεί κατάδυση σε βάθος 4.000 πόδια και άνοδο ξανά στην επιφάνεια για αναφορά δεδομένων και θέσης μέσω δορυφόρου.</p>	

SPRAY GLIDER: Είναι ικανό για μεγάλες αποστάσεις, κινείται μέσα στο νερό χωρίς εξωτερική πρόωση και φέρει μια σειρά από αισθητήρες.



## 1.2 Κινηματική και δυνάμεις που ασκούνται σε ένα υποβρύχιο όχημα

Η κίνηση του υποβρυχίου χωρίζεται σε σύστημα 6 βαθμών ελευθερίας (DOF), αφού 6 ανεξάρτητες συντεταγμένες είναι απαραίτητες για να καθορίσουν τη θέση και το προσανατολισμό ενός άκαμπτου σώματος [2].

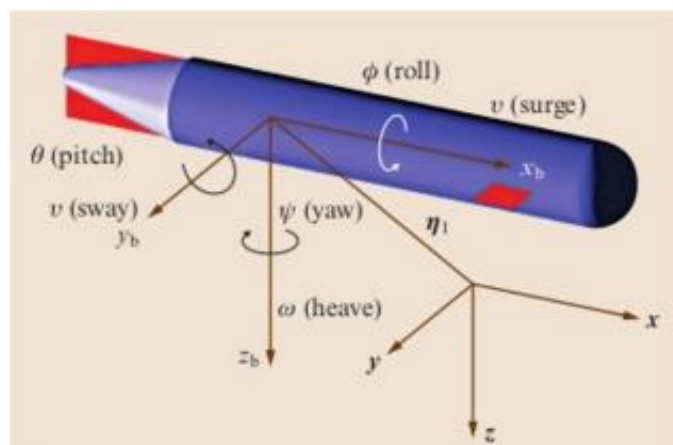
Οι πρώτες τρεις συντεταγμένες αναφέρονται στη θέση και τη μετατόπιση στους άξονες  $x$ ,  $y$  και  $z$ , ενώ οι τρεις τελευταίες αναφέρονται στον προσανατολισμό και στη περιστροφική κίνηση στους άξονες  $\varphi$ ,  $\theta$  και  $\psi$  άξονες.

Τα στοιχεία και σύμβολα που ορίζουν αυτές τις συντεταγμένες παρουσιάζονται στον πίνακα 2, ενώ στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται ο πίνακας σχηματικά.



Πίνακας 2: Συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την κίνηση ενός υποβρύχιου σώματος. [3]

DOF		Γραμμική και γωνιακή ταχύτητα	Θέση και γωνίες Euler
1	Surge, κίνηση στον x-άξονα	$u$	$x$
2	Sway, κίνηση στον y-άξονα	$v$	$y$
3	Heave, κίνηση στον z-άξονα	$w$	$z$
4	Roll, περιστροφή στον x-άξονα	$p$	$\varphi$
5	Pitch, περιστροφή στον y-άξονα	$q$	$\theta$
6	Yaw, περιστροφή στον z-άξονα	$r$	$\psi$



Εικόνα 1.1: Σχηματική απεικόνιση συστημάτων αναφοράς.

Οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε ένα υποβρύχιο όταν αυτό κινείται περιγράφονται με τον τύπο (1.2.1) [2].

$$M\dot{v} + C(v) + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1.2.1)$$

όπου:

- $M$  είναι ο πίνακας αδράνειας του υποβρυχίου
- $C$  είναι ο πίνακας με τις φυγόκεντρες και τις δυνάμεις Coriolis
- $D$  οι δυνάμεις υδροδυναμικής αντίστασης
- $g$  οι δυνάμεις βαρύτητας και άνωσης
- $\tau$  οι δυνάμεις που ασκούνται από τις προπέλες του.

### 1.3 Συντελεστής υδροδυναμικής αντίστασης ( $C_d$ )

Στην υδροδυναμική, συντελεστής αντίστασης ( $C_d$ ) είναι η ποσότητα εκείνη που προσδιορίζει τη πίεση που ασκείται σε ένα σώμα όταν αυτό είναι βυθισμένο σε νερό. Χρησιμοποιείται στην εξίσωση της υδροδυναμικής αντίστασης, όπου χαμηλός συντελεστής αντίστασης υποδεικνύει ότι το σώμα έχει χαμηλότερη υδροδυναμική αντίσταση.

Η εξίσωση υδροδυναμικής αντίστασης  $F_d$  (1.3.1):

$$F_d = 0.5\rho u^2 C_d A \quad (1.3.1)$$

όπου:

- $\rho$  η πυκνότητα του νερού ( $kg/m^3$ )
- $u$  η ταχύτητα ( $m/s$ )
- $C_d$  ο συντελεστής αντίστασης
- $A$  το εμβαδόν μετωπικής επιφάνειας ( $m^2$ ).

Ο συντελεστής αντίστασης δεν είναι μια απόλυτη σταθερά. Αλλάζει και ποικίλλει ανάλογα με το είδος της ροής γύρω από το αντικείμενο. Ο αριθμός Reynolds ( $Re$ ) είναι εκείνος που προσδιορίζει το είδος της ροής (1.3.2):

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (1.3.2)$$

όπου:

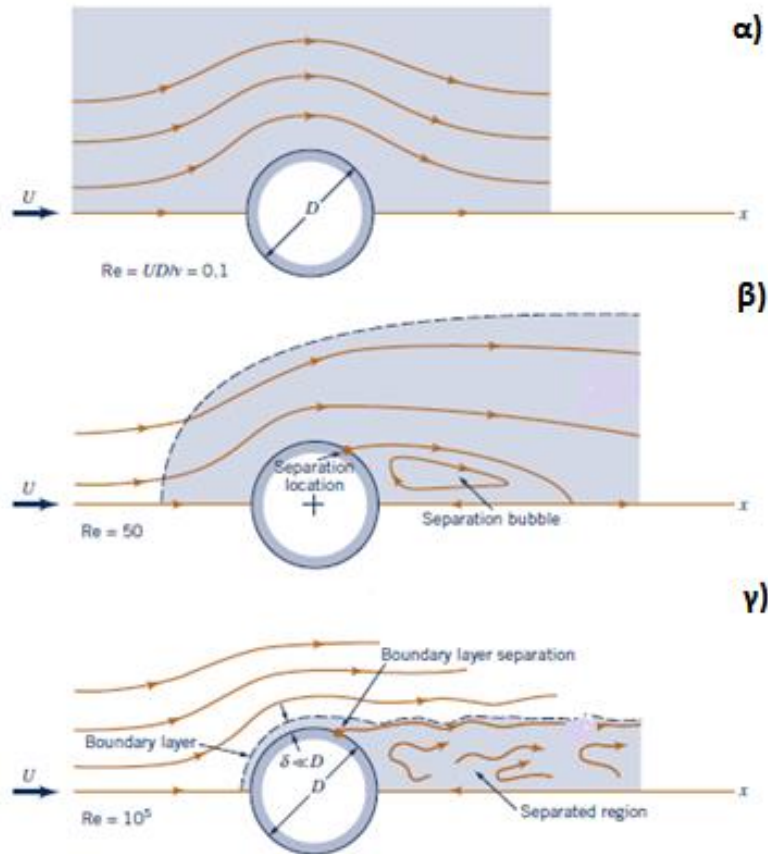
- $U$  η μέση ταχύτητα ( $m/s$ )
- $D$  το μήκος της ροής ( $m$ )
- $\nu$  το κινηματικό ιξώδες ( $m^2/s$ ).

Για μεγάλους αριθμούς Reynolds, δηλαδή πάνω από  $10^5$ , η ροή χαρακτηρίζεται από ένα λεπτό στρώμα δίπλα στο τοίχωμα που ονομάζεται οριακό στρώμα (boundary layer). Για να επιτευχθεί χαμηλός συντελεστής αντίστασης ( $C_d$ ), το οριακό υπόστρωμα θα πρέπει να μείνει προσκολλημένο στην επιφάνεια του σώματος για όσο το δυνατόν περισσότερο, ώστε η ροή να παραμένει στρωτή [4].

Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός  $Re$ , τόσο γρηγορότερα γίνεται η μετάβαση από στρωτή σε τυρβώδη ροή. Στο σημείο εκείνο που η ροή θα μετατραπεί σε τυρβώδης ονομάζεται σημείο αποκόλλησης (flow separation) και εξαρτάται από την καμπυλότητα που έχει το σώμα στο μπροστινό μέρος. Για χαμηλούς αριθμούς  $Re$ , η ροή θα παραμείνει στρωτή ακόμα και μετά από την αποκόλληση [4].

Ο σχεδιασμός υδροδυναμικών σχημάτων βασίζεται στο γεγονός ότι η ροή δεν πρέπει να αποκολλάται μέχρι το άκρο εκφυγής της. Έτσι με βάση πειραματικά και επιστημονικά δεδομένα όπως σχεδιασμός αεροπλάνων, πλοίων, υποβρυχίων αλλά και δεδομένα της φύσης όπως σχήμα ψαριών, δημιουργήθηκε το συμπέρασμα ότι το υδροδυναμικό σχήμα με μικρότερες αντιστάσεις είναι στρογγυλό στο άκρο πρόσπτωσης και αιχμηρό στο άκρο εκφυγής του.

Στην εικόνα 1.2 δίνεται σχηματικά η ροή γύρω από κυκλικό κύλινδρο σε σχέση με τον αριθμό  $Re$  και το σημείο αποκόλλησης.

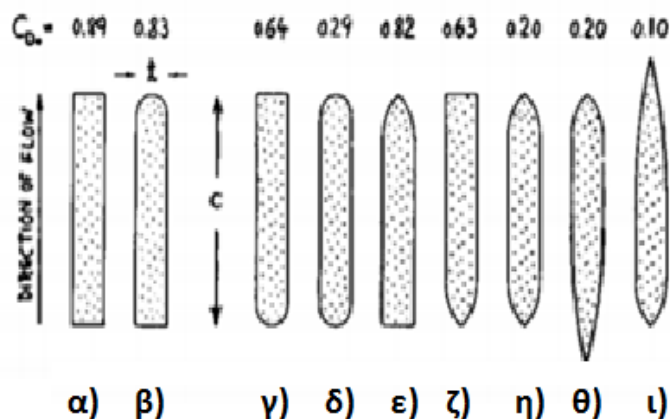


Εικόνα 1.2: Ροή γύρω από κυκλικό κύλινδρο όπου, α) χαμηλός αριθμός  $Re$ , β) μεσαίος αριθμός  $Re$ , γ) μεγάλος αριθμός  $Re$ . [4]

Ο σχεδιασμός του περιβλήματος της παρούσας εργασίας βασίστηκε στη θεωρία αυτή και έτσι το μπροστινό του μέρος είναι στρογγυλεμένο και το πίσω αιχμηρό ώστε να έχουμε τη μικρότερη δυνατή αντίσταση.

Για να βρεθεί ο ακριβής συντελεστής αντίστασης του εκάστοτε σχήματος απαιτούνται πειραματικές μέθοδοι ή προγραμματιστικές. Λαμβάνοντας υπόψιν όμως σχήματα με αποδεδειγμένα χαμηλά συντελεστή αντίστασης, μπορεί να βρεθεί προσεγγιστικά ο  $C_d$  του περιβλήματος της εργασίας.

Παρακάτω, εικόνα 1.3, παρουσιάζονται διάφορα σχήματα με τους αντίστοιχους συντελεστές υδροδυναμικής αντίστασης.



Εικόνα 1.3: Ενδεικτικά σχήματα με τους υδροδυναμικούς συντελεστές τους. [5]

Το ελλειπτικό σχήμα θ) μοιάζει αρκετά με το σχήμα του περιβλήματος της εργασίας άρα θεωρητικά και προσεγγιστικά επισημαίνεται ότι ο  $C_d$  είναι 0.20.

## Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός του περιβλήματος

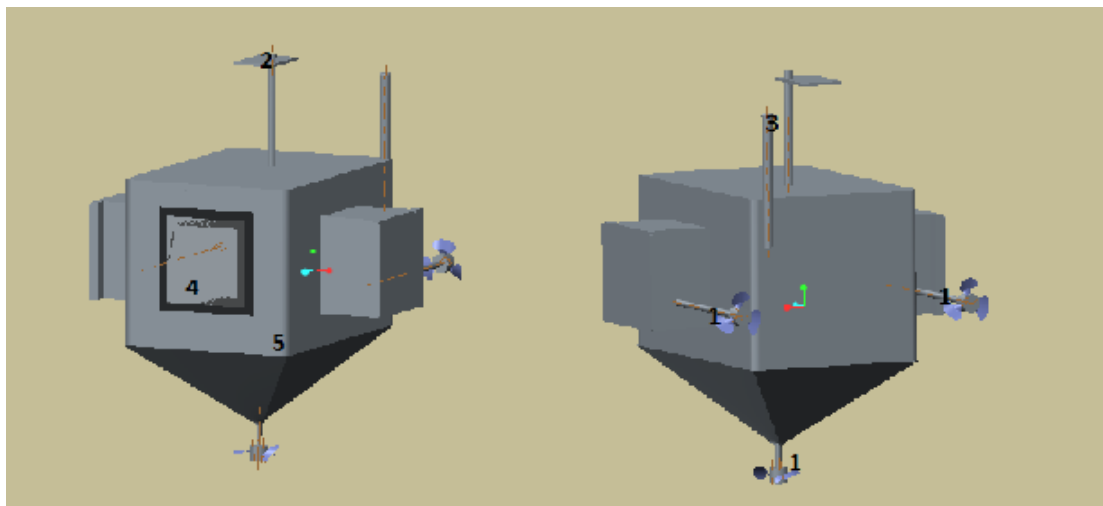
Ο σχεδιασμός του περιβλήματος βασίστηκε στο αυτόνομο ρομποτικό υποβρύχιο που διαθέτει το εργαστήριο ευφυών συστημάτων και ρομποτικής του Πολυτεχνείο Κρήτης. Πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες μετρήσεις με παχύμετρο με σκοπό την λεπτομερή καταγραφή των διαστάσεων του υποβρυχίου, ώστε γύρω από αυτό να σχεδιαστεί το περίβλημα.

Σημαντικές παράμετροι που λήφθηκαν υπόψιν για τον σχεδιασμό είναι το γεγονός ότι θα πρέπει να έχει υδροδυναμικό σχήμα, ώστε να απαιτεί λιγότερη ενέργεια και μικρότερη αντίσταση κατά τη κίνηση του στο νερό, και όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια, με σκοπό την συναρμολόγηση-αποσυναρμολόγηση θα πρέπει το κύριο μεταλλικό μέρος του υποβρυχίου να "χωράει" να περάσει μέσα από το περίβλημα.

Καμπυλωμένες επιφάνειες με εξομαλυμένες, στρωτές και λείες ακμές είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της κατασκευής που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

## 2.1 Παρουσίαση υποβρυχίου εργαστηρίου

Το υποβρύχιο του εργαστηρίου ανήκει στην κατηγορία των αυτόνομων ρομποτικών υποβρυχίων (AUV's), τα σχέδια του οποίου παρουσιάζονται στην εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Μπροστινή πλάγια όψη και πίσω πλάγια όψη.

Αποτελείται από τρεις προπέλες (1) που του επιτρέπουν να κινείται σε όλους του άξονες ευθύγραμμα αλλά και γύρω από τον εαυτό του, πυξίδα(2), κεραία (3), camera (4) και το κεντρικό στεγανό μεταλλικό μέρος (5), εικόνα 2.1.

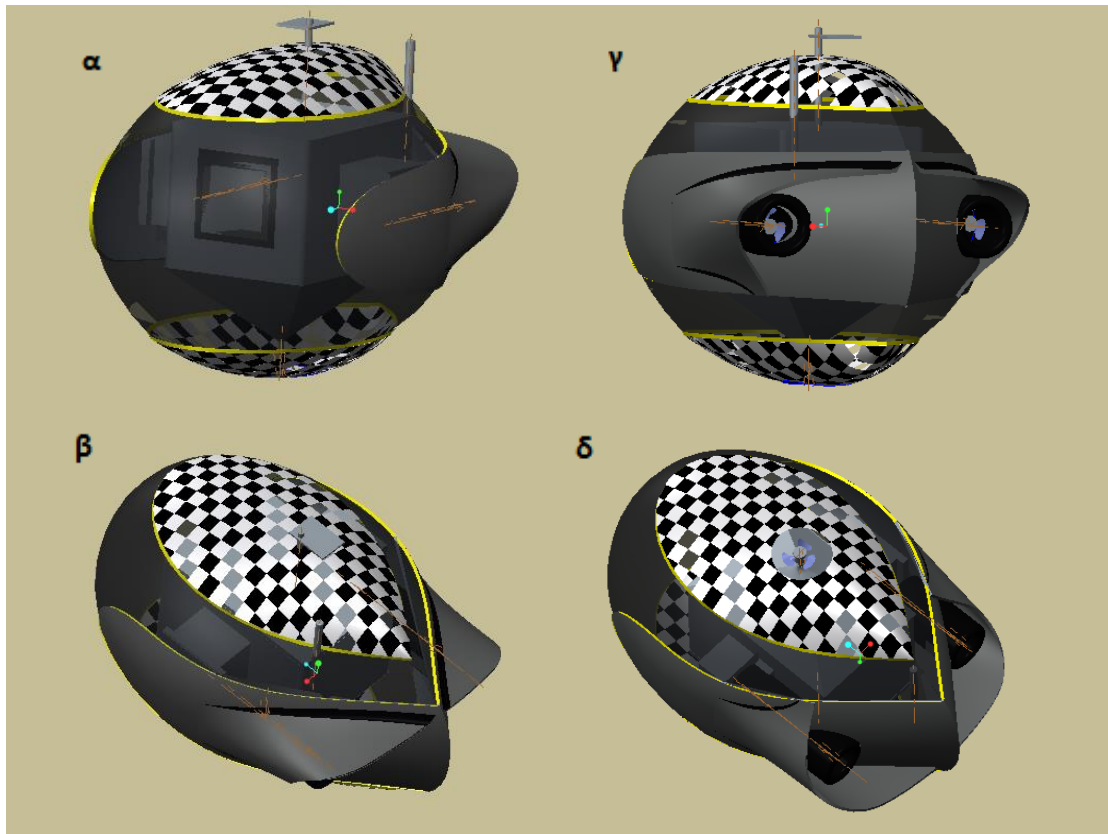
Οι βασικές διαστάσεις της κατασκευής του στεγανού μέρους σε πλάτος x μήκος x ύψος είναι 120.6 x 171.5 x 106.7 mm [6].

## 2.2 Σχεδιασμός περιβλήματος με τη χρήση προγράμματος CAD

Για να ξεκινήσει ο σχεδιασμός του περιβλήματος, μετά την καταγραφή των διαστάσεων του μεταλλικού μέρους του υποβρυχίου, πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο πρόγραμμα CAD με σκοπό την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Για την συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε το Creo Parametric 2.0, το οποίο αποτελεί τη νεότερη έκδοση του Pro engineer.

### 2.2.1 Αρχικός σχεδιασμός περιβλήματος

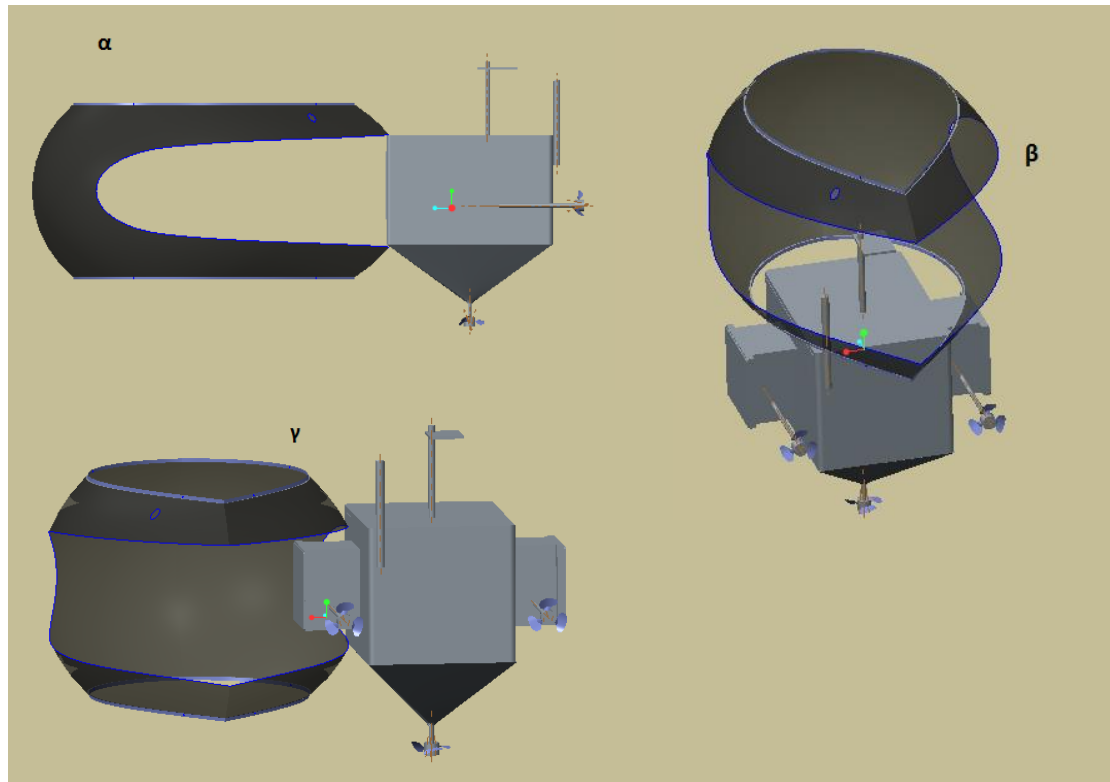
Ο αρχικός σχεδιασμός του περιβλήματος έχει υδροδυναμικό σχήμα με καμπύλες, εξομαλυσμένες ακμές, σχήμα έλλειψης και ευχάριστο design όπως παρουσιάζεται παρακάτω στην εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: α) Μπροστινή πλάγια όψη, β) κάτοψη πάνω πλάγιας πλευράς, γ) πίσω πλάγια όψη, δ) κάτοψη κάτω πλάγιας πλευράς.

Το μεσαίο κεντρικό κομμάτι του σχεδίου αποτελείται από τζάμι το οποίο καλύπτει ένα αρκετά μεγάλο μέρος του, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.2. Παρόλο που σαν design είναι ευπαρουσίαστο, πρακτικά δεν μπορεί να επιτευχθεί για τους παρακάτω λόγους:

- Είναι αρκετά δύσκολο και καθόλου οικονομικό να επιτευχθεί τόσο μεγάλη καμπυλότητα σε γυαλί. Οπότε θα πρέπει να μειωθεί η επιφάνεια που καλύπτει.
- Για την 3d σχεδίαση, που αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο, το γυαλί σαν υλικό δεν χρησιμοποιείται ακόμα από εκτυπωτές τρισδιάστατης σχεδίασης, οπότε το υλικό θα πρέπει να αντικατασταθεί από ένα άλλο αντίστοιχο, όσο αφορά τη διαφάνεια.
- Κατά την αποσυναρμολόγηση και στη συνέχεια την συναρμολόγηση των επιμέρους κομματιών που παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο, το μεταλλικό μέρος δεν "χωράει" να περάσει μέσα στο κομμάτι του τζαμιού, εικόνα 2.3. Και στις τρεις περιπτώσεις που παρουσιάζονται παρακάτω είναι αδύνατο να εισέλθει το μεταλλικό μέρος για την συνέχιση της κατασκευής. Οπότε πρέπει το ενιαίο κομμάτι τζαμιού να αντικατασταθεί από μικρότερα κομμάτια.

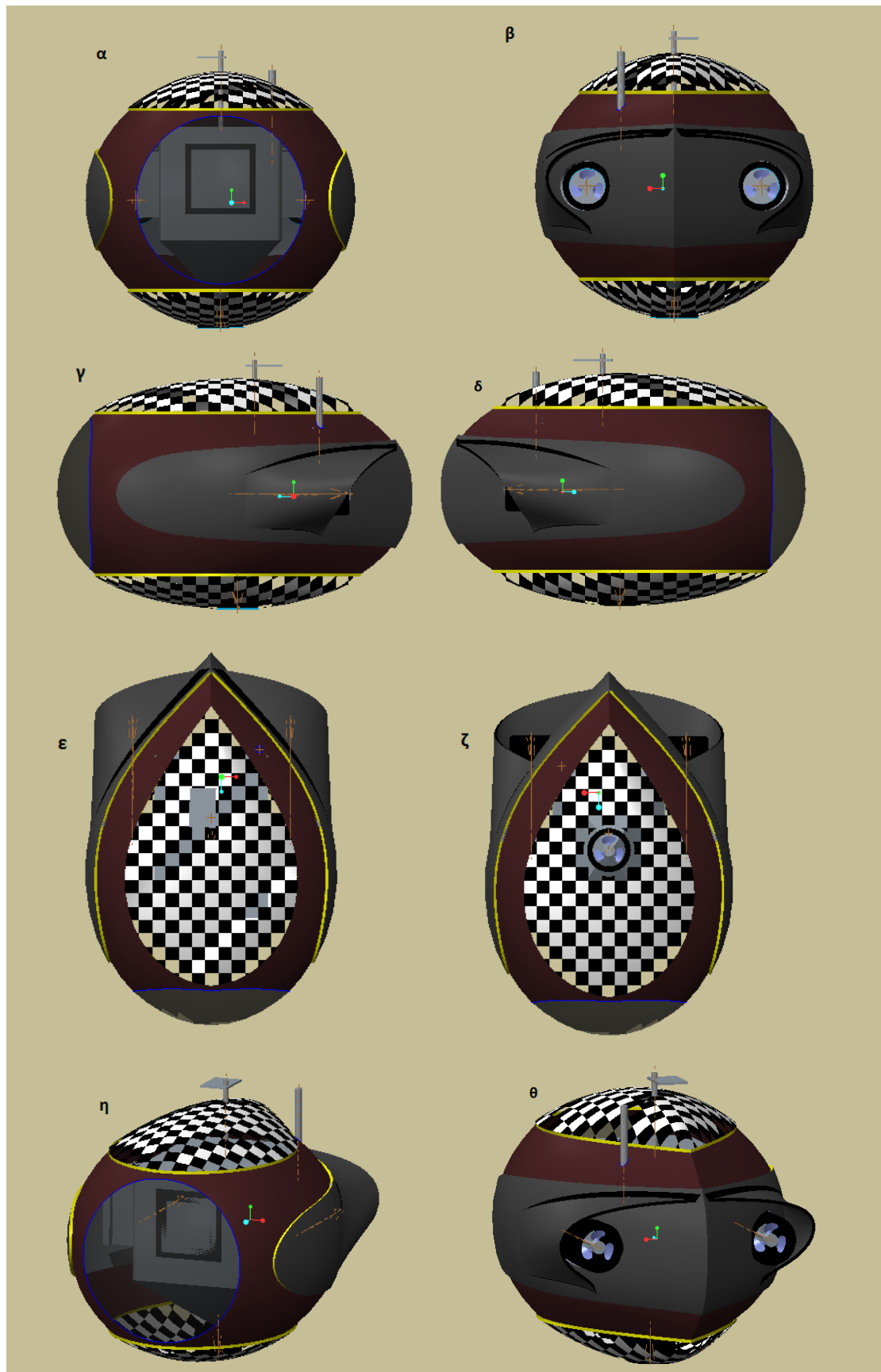


Εικόνα 2.3: α) Δεξιά όψη, το μεταλλικό μέρος βρίσκεται πίσω από το κομμάτι του τζαμιού, β) πίσω πλάγια όψη, το μεταλλικό μέρος βρίσκεται κάτω από το κομμάτι του τζαμιού, γ) πίσω πλάγια όψη, το μεταλλικό μέρος βρίσκεται δίπλα από το κομμάτι του τζαμιού.

### 2.2.2 Τελικό σχέδιο περιβλήματος

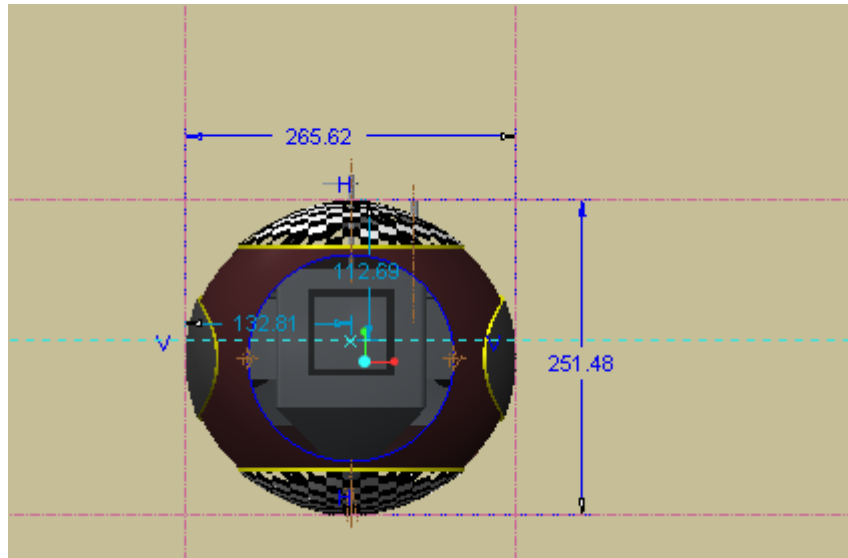
Χωρίς να χρειαστεί να αλλάξει εξολοκλήρου το σχέδιο για να επιδιορθωθούν τα παραπάνω προβλήματα που αφορούν το μεσαίο μέρος του περιβλήματος δηλαδή το τζάμι, πραγματοποιήθηκαν μερικές αλλαγές που παρουσιάζονται στην εικόνα 2.4 που ακολουθεί.



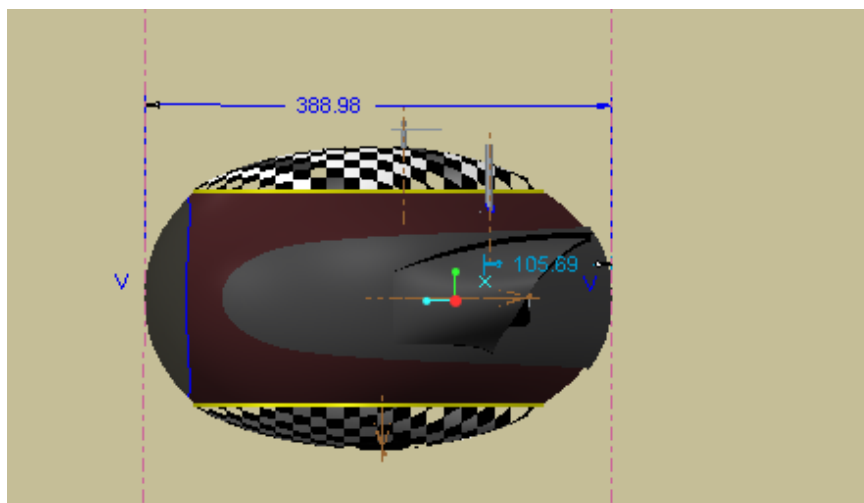


Εικόνα 2.4: α) Μπροστινή όψη, β) πίσω όψη, γ) δεξιά όψη, δ) αριστερή όψη, ε) κάτοψη πάνω μέρους, ζ) κάτοψη κάτω μέρους, η) μπροστινή πλάγια όψη, θ) πίσω πλάγια όψη.

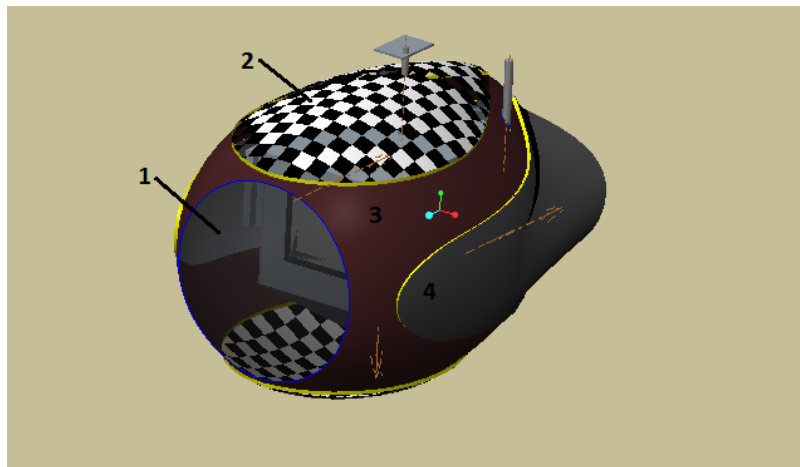
Στις εικόνες που ακολουθούν, 2.5, 2.6 και 2.7, 2.8 παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαστάσεις του περιβλήματος καθώς και τα επιμέρους στοιχεία του αντίστοιχα.



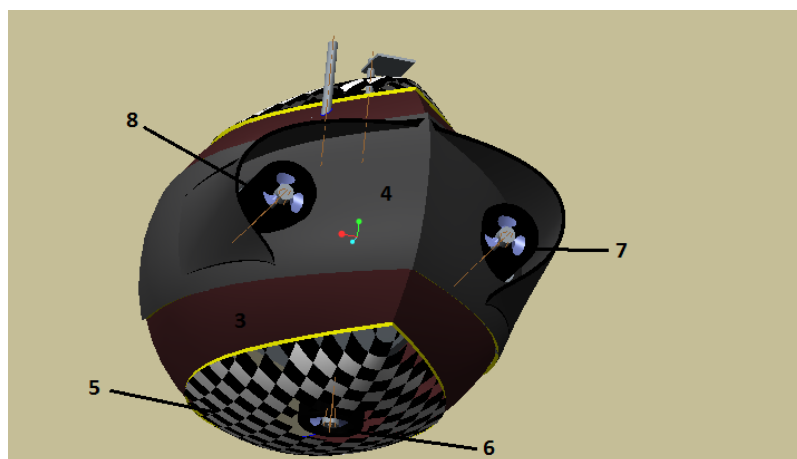
Εικόνα 2.5: Ύψος 251.48mm, πλάτος 265.62mm.



Εικόνα 2.6: Μήκος 383.98mm.

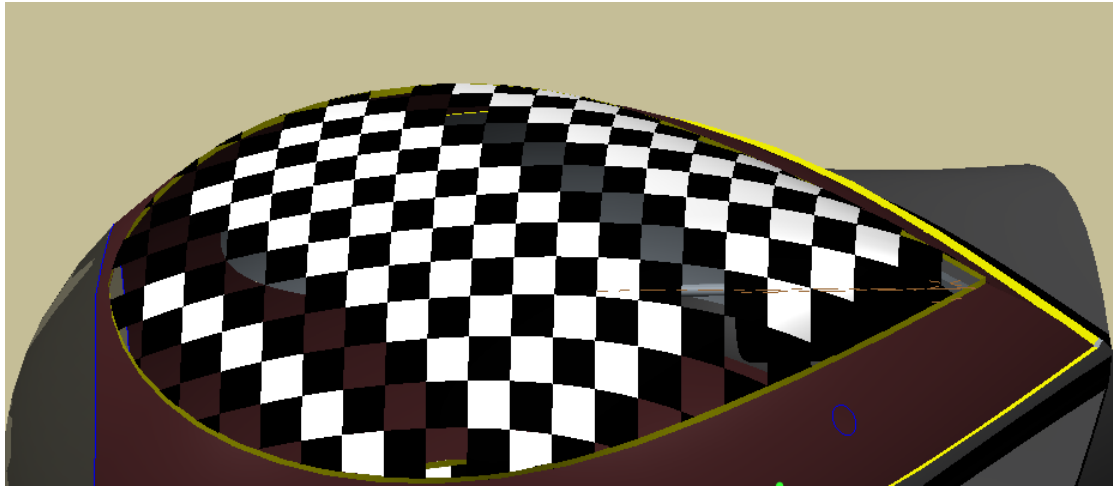


Εικόνα 2.7: 1--> τζάμι  
 2--> πάνω μέρος "σκακιέρα"  
 3--> κεντρικό κομμάτι 1  
 4--> κεντρικό κομμάτι 2



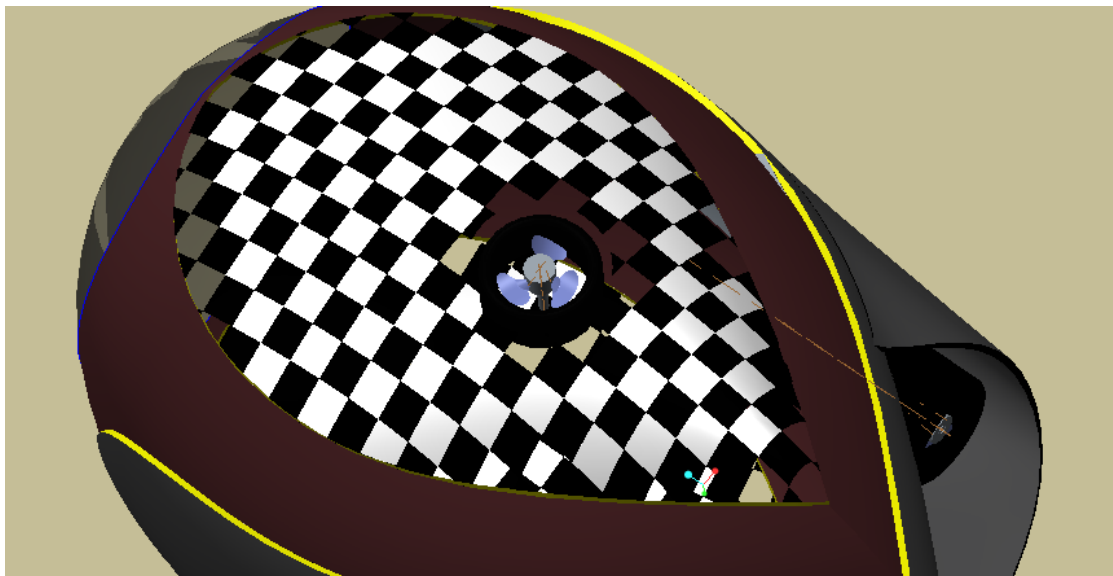
Εικόνα 2.8: 5--> κάτω μέρος "σκακιέρα"  
 6,7,8--> κύλινδρος προπέλας

Στη συνέχεια θα γίνει μια προσεκτική απεικόνιση του πάνω και του κάτω μέρους καθώς και του μεσαίου πίσω μέρους, ώστε να γίνει ακόμα πιο αντιληπτή η κατασκευή, εικόνες 2.9, 2.10 και 2.11 αντίστοιχα.



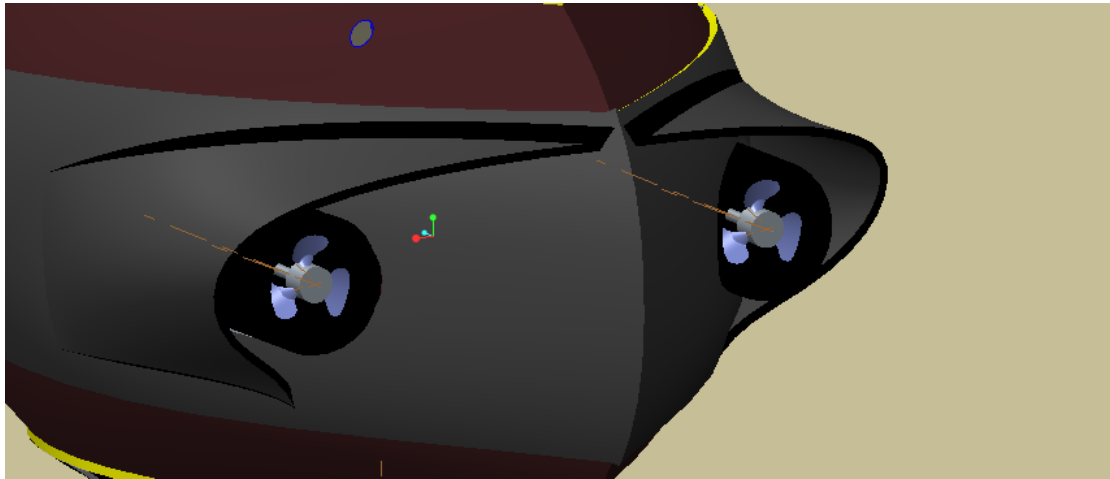
Εικόνα 2.9: Πάνω μέρος κατασκευής.

Στο πάνω μέρος του περιβλήματος σε σχέδιο σκακιέρας παρατηρείται ότι κάποια τετράγωνα είναι κενά. Με αυτόν τον τρόπο το νερό εισέρχεται μέσα από το περίβλημα ώστε να μπορέσει να βυθιστεί μέχρι το επιθυμητό βάθος.



Εικόνα 2.10: Κάτω μέρος κατασκευής.

Στο κάτω μέρος φαίνονται επίσης κενά στα τετράγωνα της "σκακιέρας" με την διαφορά ότι δεν βρίσκονται στα ίδια σημεία και είναι λιγότερα, αφού στο σημείο του κυλίνδρου υπάρχει αρκετό κενό για να εισέλθει το νερό.



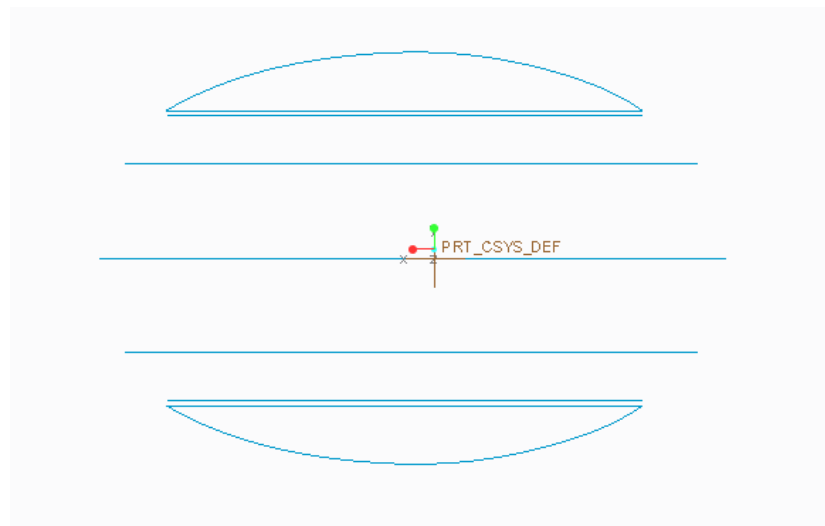
Εικόνα 2.11: Κεντρικό κομμάτι 2-Καμπύλες που καλύπτουν τις πλαϊνές προπέλες.

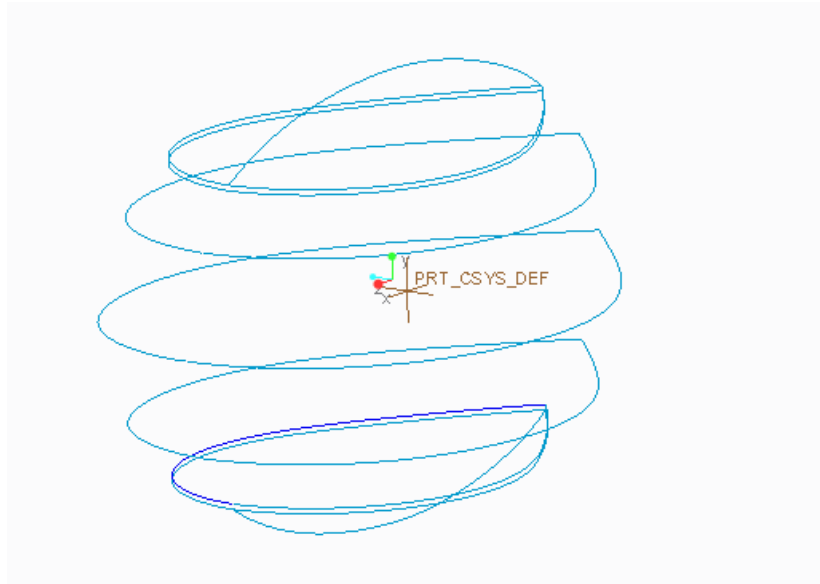
Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός γύρω από τις προπέλες προσδίδει σταθερότητα και ευστάθεια, αφού έχει παρόμοιο ρόλο με αυτών των πτερυγίων.

### 2.2.3 Διαδικασία σχεδιασμού

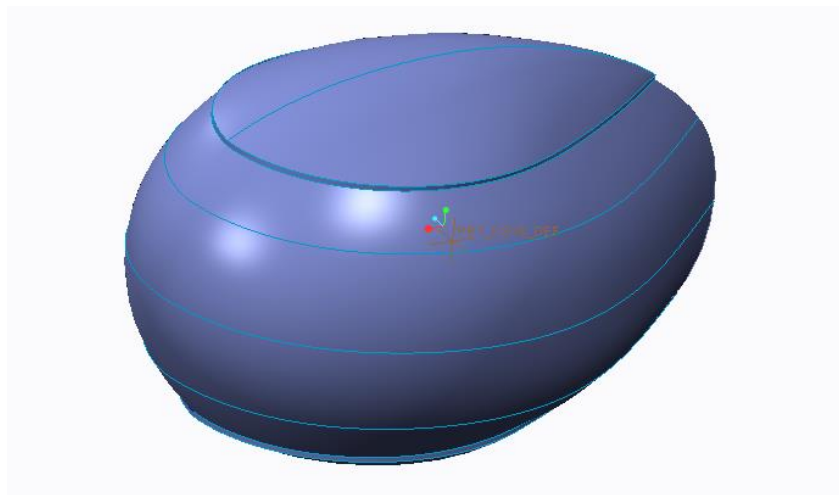
Το περίβλημα σχεδιάστηκε σαν ένα ενιαίο κομμάτι, του οποίου τα βήματα θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Αρχικά δημιουργήθηκαν καμπύλες σε διάφορα επίπεδα με τις επιθυμητές διαστάσεις, εικόνα 2.12, και στη συνέχεια ενώθηκαν με την εντολή boundary blend για τη δημιουργία επιφανειών, εικόνα 2.13.



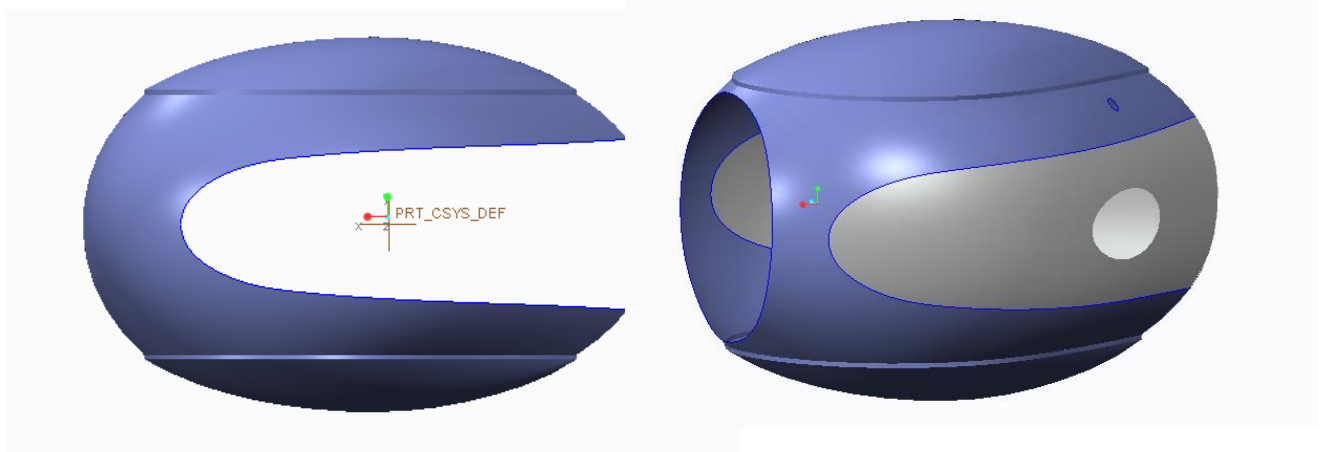


Εικόνα 2.12: Πλάγια όψη και μπροστινή πλάγια όψη.



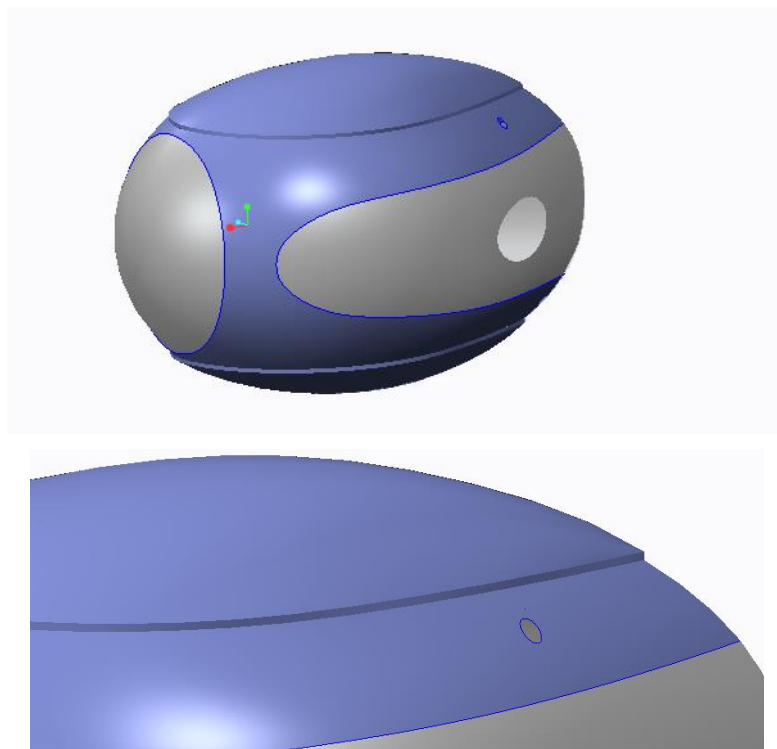
Εικόνα 2.13: Μπροστινή πλάγια όψη μετά από boundary blend.

Στη συνέχεια, σε νέα επίπεδα δημιουργούνται νέες καμπύλες και με την εντολή *drop curve* στο *style* τοποθετούνται πάνω στις υπάρχουσες επιφάνειες. Μετά με την εντολή *trim* στο *style*, κόβονται επιφάνειες στα επιθυμητά σημεία όπως φαίνεται στην εικόνα 2.14 που ακολουθεί.



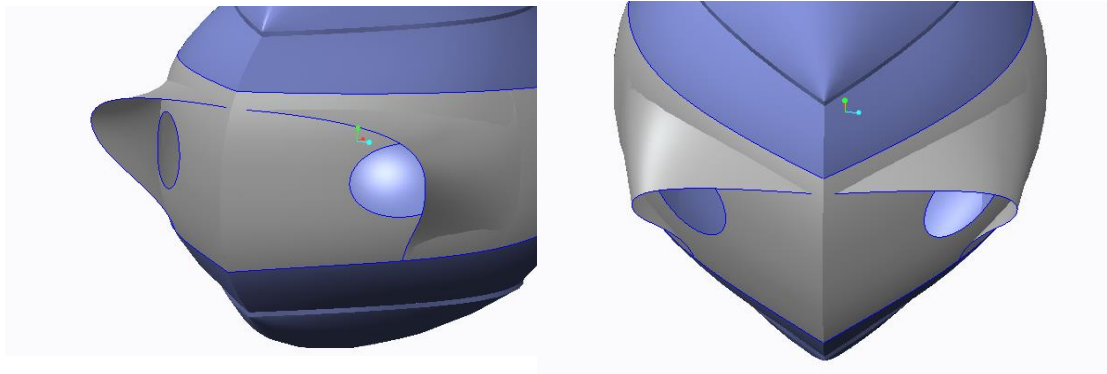
Εικόνα 2.14: Πλάγια όψη με τις επιφάνειες που κόπηκαν μετά από την εντολή trim. Τρύπα στο μεσαίο μέρος, στο μπροστινό μέρος, στη θέση της προπέλας και της κεραίας.

Αφού κόπηκαν οι επιθυμητές επιφάνειες, ενώνονται ξανά μόνο αυτές που χρειάζονται με boundary blend. Έτσι επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός της προηγούμενης επιφάνειας με την καινούργια και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δοθεί άλλο χρώμα ή διαφορετικό υλικό, εικόνα 2.15.



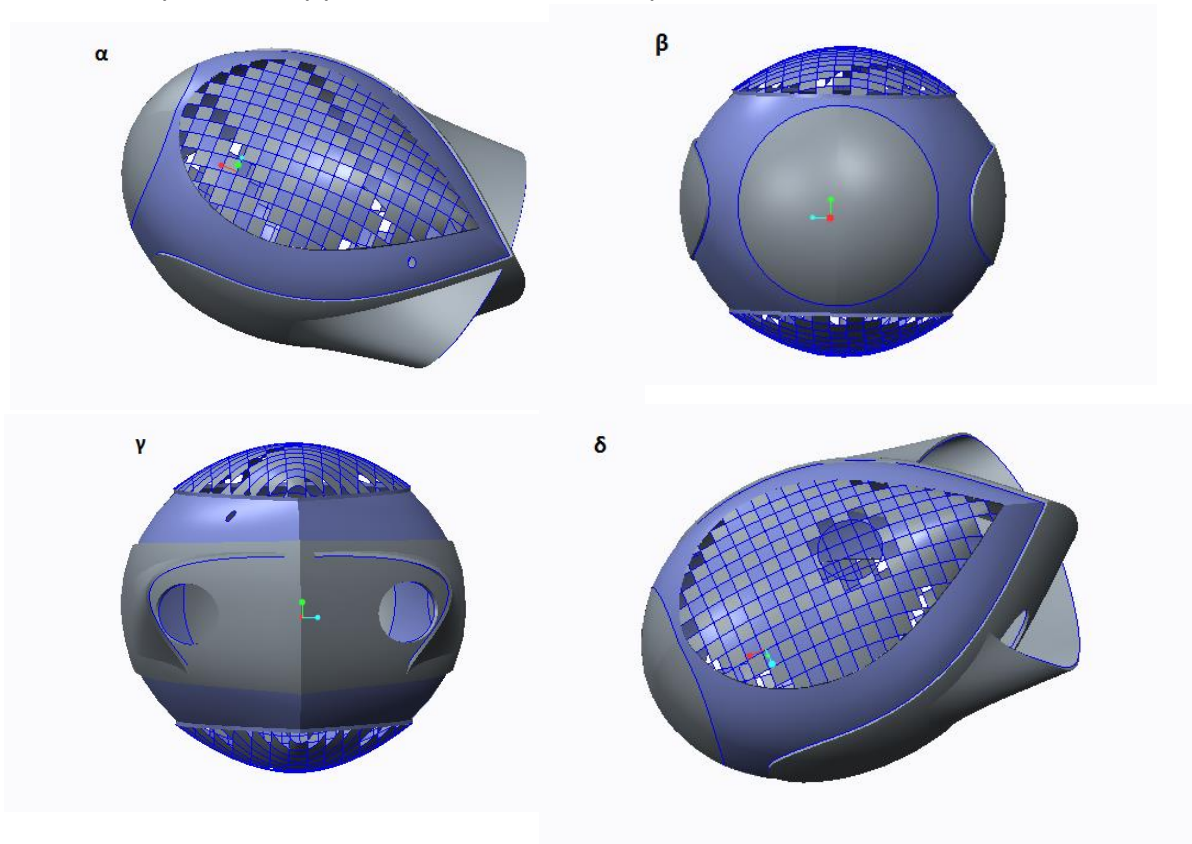
Εικόνα 2.15: Μπροστινή πλάγια όψη, διαφορετικό χρώμα στο μεσαίο και μπροστινό μέρος. Οι τρύπες στα σημεία της προπέλας και της κεραίας παραμένουν.

Στη συνέχεια πάλι με style δημιουργείται καμπύλη που περικλείει τις προπέλες και ενώνονται με το βασικό περίβλημα με boundary blend, εικόνα 2.16.



Εικόνα 2.16: Καμπύλες στα σημεία των προπελών.

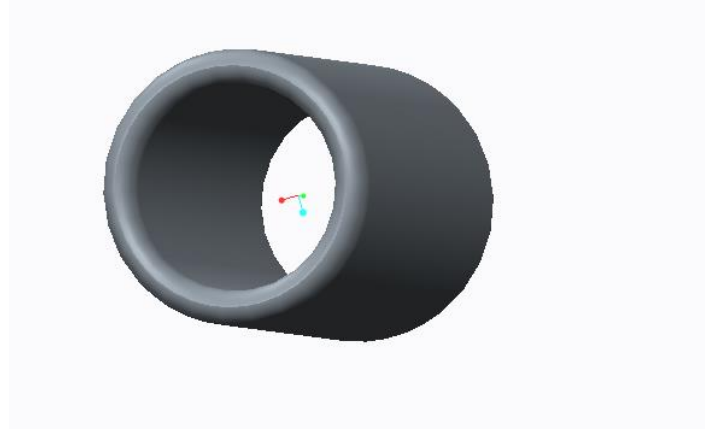
Σειρά έχουν το πάνω και το κάτω μέρος του περιβλήματος. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο δημιουργούνται τα τετράγωνα, ενώ κάποια θα παραμείνουν κενά. Τέλος, με την εντολή thicken δίδεται πάχος στις καμπύλες των προπελών και στο μεσαίο κομμάτι όπως φαίνεται παρακάτω, εικόνα 2.17.



Εικόνα 2.17: α) Κάτοψη πάνω πλευράς, β) μπροστινή όψη, γ) πίσω όψη, δ) κάτοψη κάτω πλευράς.



Τέλος, με τη εντολή extrude δημιουργούνται οι κύλινδροι της κάτω προπέλας καθώς και των πλαϊνών, εικόνες 2.18, 2.19.



Εικόνα 2.18: Πλάγια κάτοψη κυλίνδρου κάτω προπέλας.



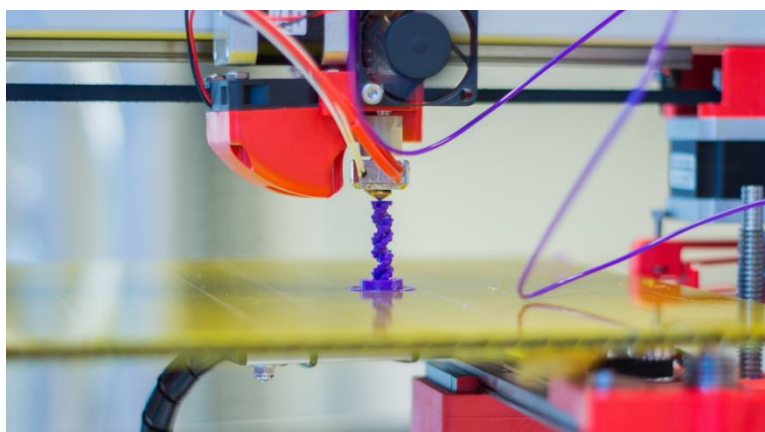
Εικόνα 2.19: Μπροστινή πλάγια όψη κυλίνδρου πλαϊνής προπέλας.

## Κεφάλαιο 3: Αποσυναρμολόγηση με σκοπό 3d εκτύπωση (3d printing)

Σε αυτό το κεφάλαιο το περίβλημα αποσυναρμολογείται σε κομμάτια με σκοπό να εκτυπωθούν σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Τα κομμάτια που προέκυψαν προς εκτύπωση είναι 9 και θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω. Επίσης, δίδεται εισαγωγή για την τρισδιάστατη εκτύπωση καθώς και πληροφορίες για τα υλικά που χρησιμοποιούνται.

### 3.1 Εισαγωγή στη τρισδιάστατη εκτύπωση (3d printing)

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3d printing) είναι η διαδικασία που μετατρέπει τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματικά αντικείμενα, εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατη εκτύπωση

Είναι μια ευέλικτη διαδικασία με πολλά πλεονεκτήματα όπως:

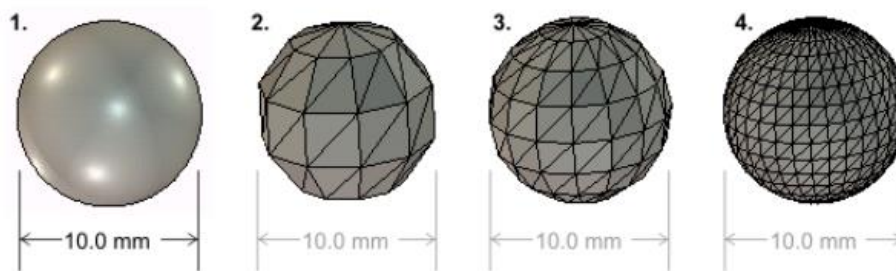
- υψηλή ακρίβεια πολύπλοκων γεωμετριών
- ταχύτητα
- μειωμένο κόστος

Η τεχνολογία αυτή βρίσκει ήδη εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπως:

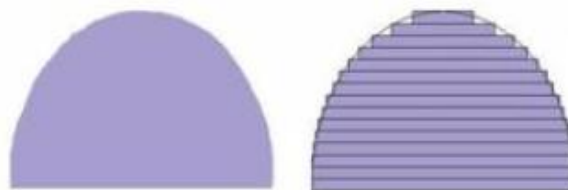
- αρχιτεκτονική
- κοσμήματα
- ιατρική
- βιομηχανικό σχεδιασμό
- μηχανολογία

Η διαδικασία της εκτύπωσης είναι προσθετική, αυτό σημαίνει ότι ένα αντικείμενο δημιουργείται μέσω διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Αυτή είναι και η βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται από εκτυπωτές οποιασδήποτε τεχνολογίας ενώ τα στάδια υλοποίησης της εκτύπωσης είναι σε όλους τα ίδια:

- 1) Σχεδιασμός τρισδιάστατου αντικειμένου μέσω ενός προγράμματος CAD.
- 2) Μετατροπή του σε αρχείο που αναγνωρίζει ο εκτυπωτής. Συνήθως έχουν τη μορφή .stl. Το αρχείο αυτό περιγράφει το μοντέλο με προσέγγιση της επιφάνειάς του από τρίγωνα στον τρισδιάστατο χώρο. Όσο περισσότερα και μικρότερα τρίγωνα, τόσο καλύτερη η προσέγγιση του μοντέλου, εικόνα 3.2.
- 3) Μέσω ενός προγράμματος επικοινωνίας του εκτυπωτή με τον υπολογιστή το μοντέλο “κόβεται” σε επίπεδα με το επιθυμητό πάχος, εικόνα 3.3.
- 4) Επιλογή του κατάλληλου υλικού και εκτύπωση. Υπάρχει μια αρκετά μεγάλη ποικιλία από υλικά βάση των οποίων γίνεται και η κατηγοριοποίηση των εκτυπωτών όπως θα παρουσιαστούν παρακάτω.
- 5) Φινίρισμα και τελειοποίηση των ατελειών που ενδέχεται να προκύψουν μετά την εκτύπωση με λείανση ή βάψιμο.



Εικόνα 3.2: Προσέγγιση επιφάνειας μοντέλου με τρίγωνα. [7]



Εικόνα 3.3: Τεμαχισμός μοντέλου σε επίπεδα. [7]

### 3.1.1 Υλικά που χρησιμοποιούνται για 3d printing

Τα υλικά αγοράζονται είτε σε μορφή νήματος μέσα σε καρούλι, εικόνα 3.4, είτε σε μορφή σκόνης, είτε σε υγρή μορφή ανάλογα με την λειτουργία του κάθε εκτυπωτή.



Εικόνα 3.4: Νήμα υλικού σε καρούλι.

Ανάλογα με το τι υλικό χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί θα γίνει ο καθορισμός της επιλογής του κατάλληλου εκτυπωτή και της τεχνικής που θα ακολουθηθεί. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των υλικών που υποστηρίζονται από συγκεκριμένες τεχνολογίες εκτυπωτών καθώς και ονομαστικά η διαδικασία που εφαρμόζεται.

Πίνακας 3: Υλικά που υποστηρίζονται από διάφορες τεχνολογίες εκτυπωτών. [8]

Τεχνολογία	Προσθετική διαδικασία κατασκευής	Υλικά που βασίζονται σε πλαστικό	Μέταλλο, ορείχαλκος	Ρητίνη, κερί	Πολύχρωμα
Fused Deposition Modelling (FDM)	Εξώθηση υλικού	✓			
Selective Laser Sintering (SLS)	Σύντηξη σκόνης	✓			
Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	Σύντηξη σκόνης		✓		
Electron Beam Melting (EBM)	Σύντηξη σκόνης		✓		

<b>Stereolithography (SLA)</b>	Φωτοπολυμερισμός			✓	
<b>Digital Light Processing (DLP)</b>	Φωτοπολυμερισμός			✓	
<b>Multijet &amp; Polyjet</b>	Εκροή υλικού			✓	✓
<b>Binder Jetting</b>	Εκροή				✓
<b>Selective Deposition Lamination</b>	Συγκόλληση φύλλων				✓

Επιπλέον, στον πίνακα 4 που ακολουθεί καταγράφονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τεχνολογιών εκτύπωσης καθώς αναφέρεται συνοπτικά η λειτουργία τους.

Πίνακας 4: Τεχνολογίες εκτύπωσης. [8]

<b>Τεχνολογία</b>	<b>Λειτουργία</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
<b>Fused Deposition Modelling (FDM)</b>	Το υλικό σε μορφή νήματος λιώνει και εξωθείται μέσω ενός ακροφυσίου υψηλής θερμοκρασίας και εναποθέτεται σε στρώσεις. Όταν τελειώσει ένα επίπεδο η πλατφόρμα κατεβαίνει για το επόμενο.	Δυνατά κομμάτια-Εύκολη εκτύπωση	Αργό και “φτωχό” φινίρισμα επιφάνειας-Απαιτείται δομή στήριξης
<b>Selective Laser Sintering (SLS)</b>	Το αντικείμενο κατασκευάζεται με την τήξη διαδοχικών στρωμάτων κόνεως.	Υψηλή θερμοκρασία-Μεγάλη ταχύτητα-Δεν απαιτείται δομή στήριξης	Τραχιά επιφάνεια στο τελείωμα-Περιορισμένη ακρίβεια λόγω του μεγέθους των σωματιδίων της άμμου
<b>Direct Metal Laser Sintering (DMLS)</b>	Χρησιμοποιεί laser ως πηγή ενέργειας για την πυροσυσσωμάτωση μεταλλικής σκόνης.	Υψηλής πυκνότητας περίπλοκα μέρη	Απαιτείται φινίρισμα
<b>Electron Beam Melting (EBM)</b>	Χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων ως πηγή ενέργειας για	Καλή εκτύπωση-Ταχύτητα-Λιγότερη παραμόρφωση	Χρειάζεται φινίρισμα-

	να λιώσει τη μεταλλική σκόνη.		Απαιτείται προσοχή με τις ακτίνες X-Ray
<b>Stereolithography (STA)</b>	Χρησιμοποιεί δεξαμενή με υγρή ρητίνη. Η πλάκα κατασκευής βρίσκεται στη επιφάνεια του υγρού και μια δέσμη UV ακτινοβολίας στερεοποιεί τα επιθυμητά σημεία. Στη συνέχεια η πλάκα κατεβαίνει για τη στερεοποίηση του επόμενου στρώματος.	Σύνθετες γεωμετρικές-Λεπτομερή κομμάτια-Λείο φινίρισμα	Απαιτεί δομές στήριξης-Επιπλέον φινίρισμα
<b>Digital Light Processing (DLP)</b>	Ίδιο με SLA με τη διαφορά ότι αντί για UV φως χρησιμοποιείται λαμπτήρας.	Σύνθετα σχήματα και διαστάσεις-Υψηλή ακρίβεια-Ταυτόχρονη παραγωγή	Μικρή ποικιλία υλικών-Περιορισμός στο πάχος
<b>Multijet &amp; Polyjet</b>	Ο εκτυπωτής ψεκάζει μικροσκοπικές σταγόνες φωτοπολυμερούς υλικού οι οποίες στερεοποιούνται με τη βοήθεια UV ακτινοβολίας. Η πλατφόρμα κατεβαίνει για την επόμενη στρώση.	Καλή ακρίβεια-Καλό φινίρισμα επιφάνειας-Χρήση πολλαπλών υλικών και χρωμάτων	Αργή διαδικασία
<b>Binder Jetting</b>	Ένας αυτοματοποιημένος κύλινδρος χρησιμοποιείται για να ωθήσει στρώμα σκόνης στην πλατφόρμα κατασκευής. Οι κεφαλές εκτύπωσης εναποθέτουν ένα είδος υγρής κόλλας και χρώματος στα σημεία που θέλουμε να εκτυπωθούν. Νέα στρώση υλικού μεταφέρεται στην πλατφόρμα.	Υψηλή ταχύτητα-Χαμηλή τιμή-Έγχρωμη εκτύπωση	Εύθραυστα κομμάτια-Μικρή ποικιλία υλικών

<b>Selective Deposition Lamination</b>	Χρησιμοποιεί χαρτί. Περιλαμβάνει στρώματα συγκολλητικού χαρτιού (ή πλαστικού ή μεταλλικό έλασμα) που κολλάνε διαδοχικά μεταξύ τους με τη βοήθεια θερμαινόμενου κυλίνδρου και κόβονται στην επιθυμητή γεωμετρία με laser.	Χαμηλή τιμή-Όχι τοξικά υλικά-Μεγάλα κομμάτια	Μη ομοιογενή κομμάτια-Λιγότερη ακρίβεια
--	--	--	---

### 3.1.2 Υλικό με αντίστοιχες ιδιότητες τζαμιού

Το περίβλημα όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω αποτελείται από ένα στρογγυλό κομμάτι τζαμιού. Όμως το τζάμι σαν υλικό για να χρησιμοποιηθεί για τρισδιάστατη εκτύπωση απαιτεί πολύ μεγάλες θερμοκρασίες για να λιώσει, πράγμα που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την χρήση του.

Επομένως είναι δυνατόν να αντικατασταθεί από ένα αντίστοιχο αλλά διαφορετικής σύστασης υλικό το οποίο είναι το ακρυλικό γυαλί ή αλλιώς plexiglass. Το plexiglass λιώνει στους 105°C, είναι πιο ανθεκτικό και πιο οικονομικό από το γυαλί.

Στην αγορά με σκοπό την τρισδιάστατη εκτύπωση υπάρχει σαν αντίστοιχο υλικό το λεγόμενο Crystal Flex [9]. Η διαφάνεια του παρομοιάζεται με εκείνης του plexiglass αφού επιτρέπει στο 91% του φωτός να περάσει μέσα. Έχει πολύ μεγάλη αντοχή και ελαστικότητα ενώ η προτεινόμενη θερμοκρασία εκτύπωσης κυμαίνεται στους 215°C και 240°C. Επίσης είναι συγκρίσιμο με το ABS [9].

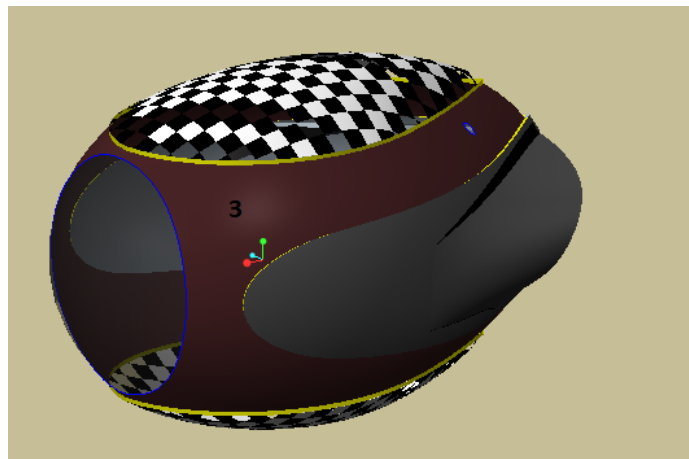
### 3.2 Αποσυναρμολόγηση κομματιών περιβλήματος

Με σκοπό την τρισδιάστατη εκτύπωση του περιβλήματος είναι απαραίτητο να αποσυναρμολογηθεί σε κομμάτια ώστε να εκτυπωθεί το κάθε ένα από αυτά ξεχωριστά. Με αυτό το τρόπο η διαδικασία γίνεται γρηγορότερα καθώς οι διαστάσεις ολόκληρου του περιβλήματος είναι αρκετά μεγάλες.

#### 3.2.1 Αποσυναρμολόγηση κεντρικού κομματιού 1

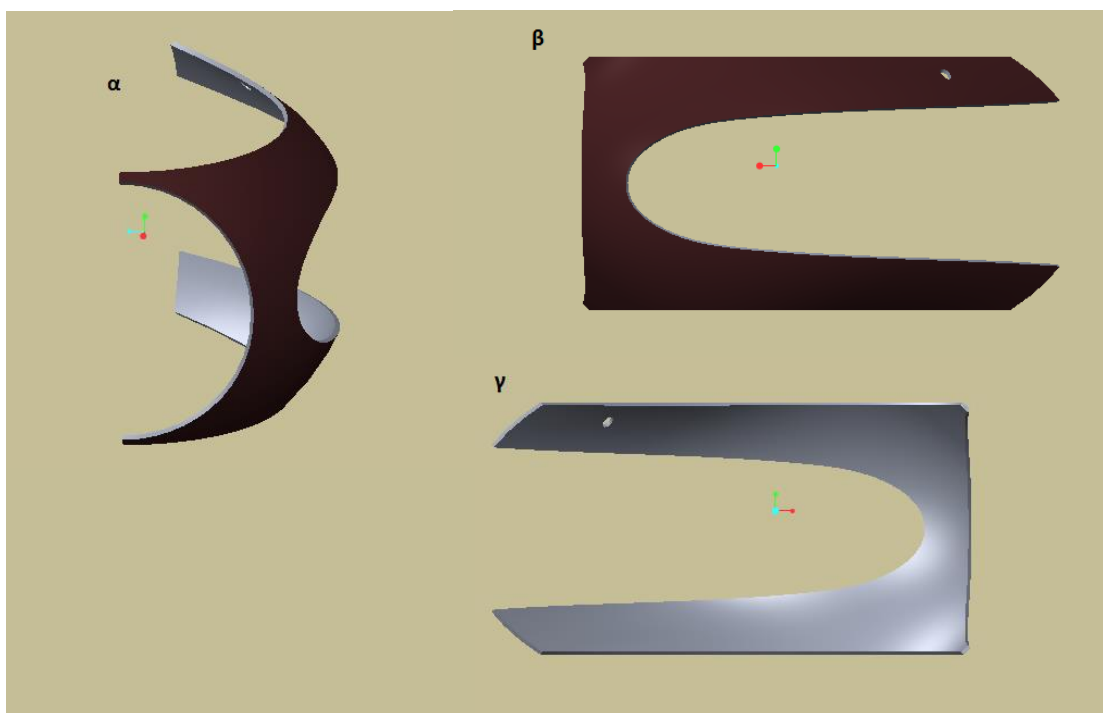
Τα επιμέρους κομμάτια σχεδιάστηκαν από την αρχή εφόσον το περίβλημα, όπως περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 2, σχεδιάστηκε σαν ενιαίο μέρος.

Παρακάτω στις εικόνες 3.6, 3.7 παρουσιάζονται τα κομμάτια που προέκυψαν από το κεντρικό κομμάτι 1, εικόνα 3.5, της κατασκευής. Στην εικόνα 3.8 παρουσιάζονται και τα δύο κομμάτια μαζί.

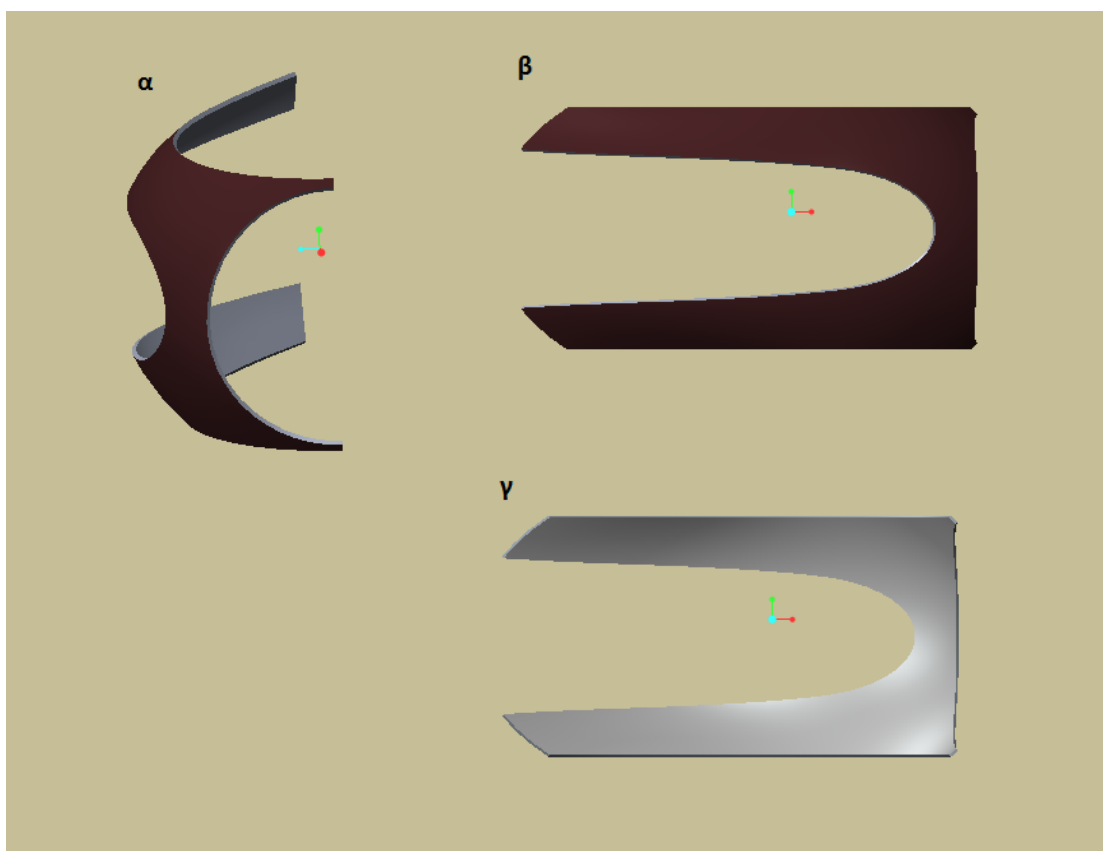


Εικόνα 3.5: 3 --> κεντρικό κομμάτι 1

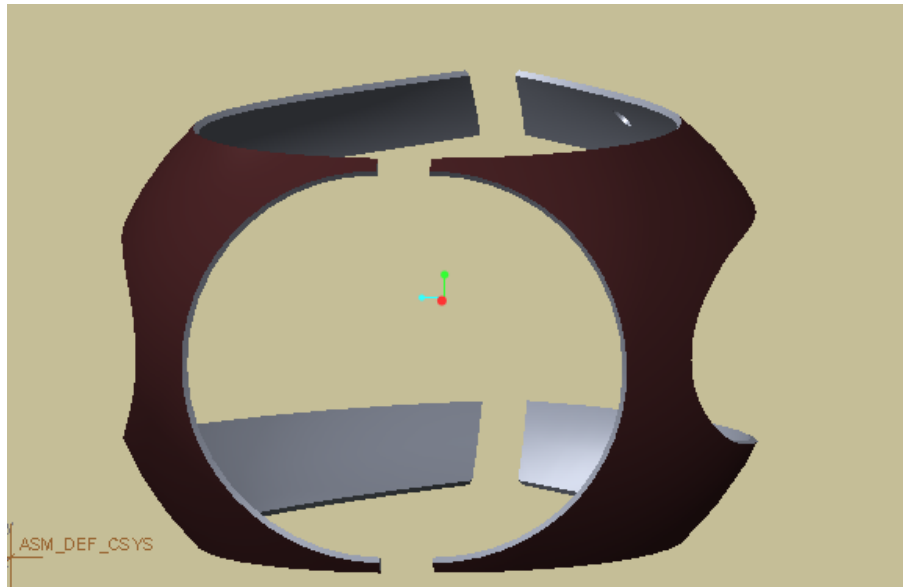




Εικόνα 3.6: α) Μπροστινή πλάγια όψη αριστερού κομματιού, β) αριστερή όψη αριστερού, γ) δεξιά όψη αριστερού κομματιού.



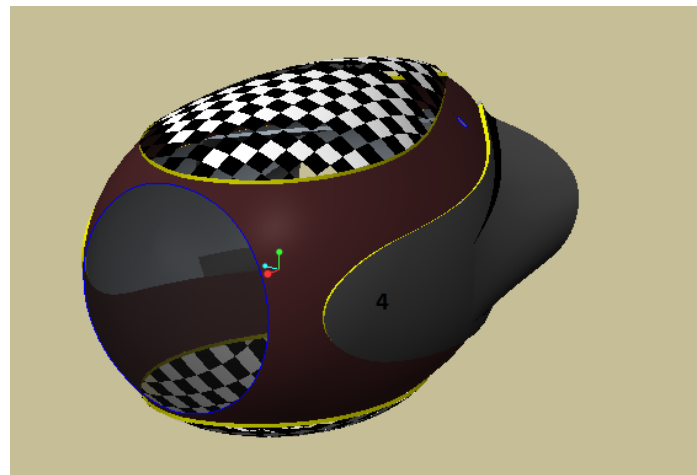
Εικόνα 3.7: α) Μπροστινή πλάγια όψη δεξιού κομματιού, β) δεξιά όψη δεξιού κομματιού, γ) αριστερή όψη δεξιού κομματιού.



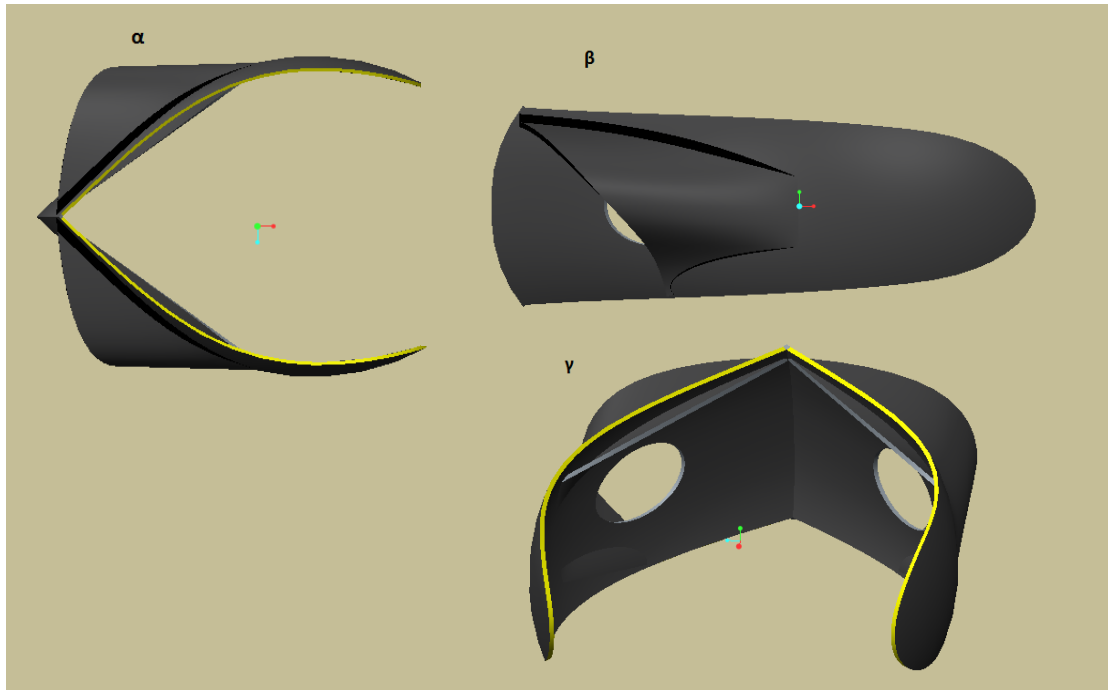
Εικόνα 3.8: Παρουσίαση και των δύο κομματιών.

### 3.2.2 Αποσυναρμολόγηση κεντρικού κομματιού 2

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στην εικόνα 3.10 τα κομμάτια που προέκυψαν από το κεντρικό κομμάτι 2, το οποίο δίδεται παρακάτω στην εικόνα 3.9.



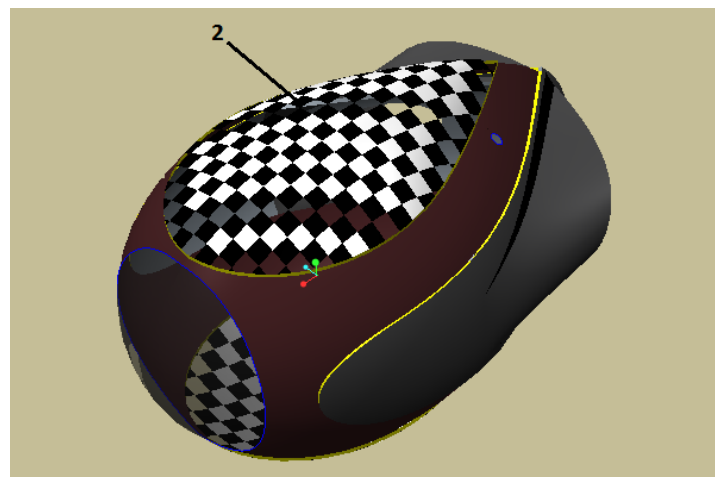
Εικόνα 3.9: 4--> κεντρικό κομμάτι 2



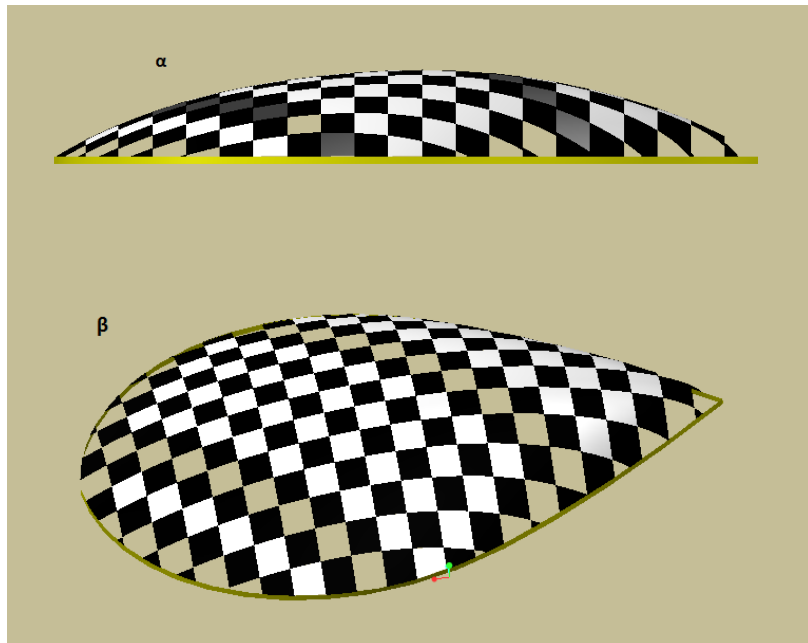
Εικόνα 3.10: α) Κάτοψη πάνω πλευράς, β) δεξιά όψη, γ) μπροστινή πλάγια όψη.

### 3.2.3 Αποσυναρμολόγηση πάνω μέρος "σκακιέρα"

Το επόμενο κομμάτι που θα παρουσιαστεί είναι το πάνω μέρος της "σκακιέρας", εικόνες 3.11 και 3.12.



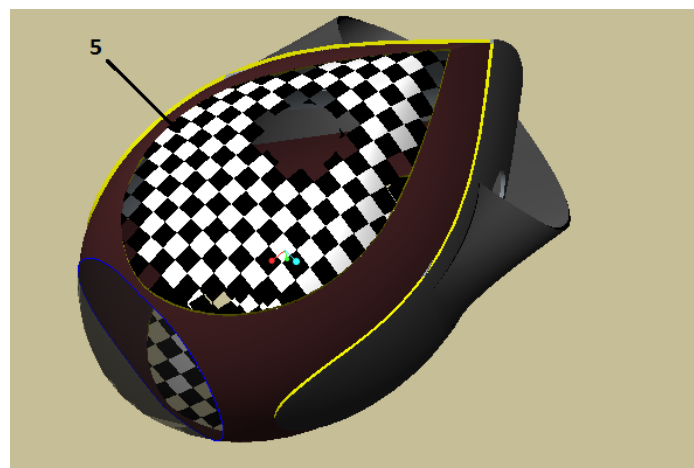
Εικόνα 3.11: 2--> το πάνω μέρος της "σκακιέρας"



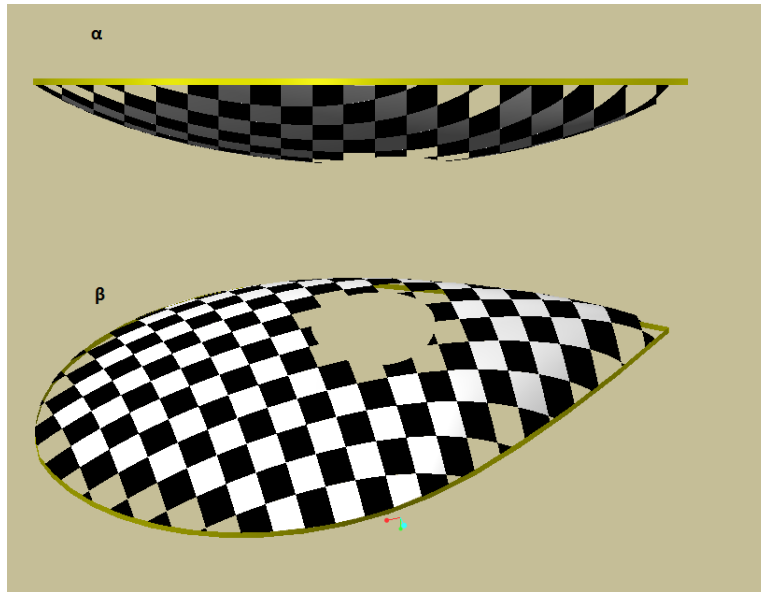
Εικόνα 3.12: α) Αριστερή όψη, β) πλάγια κάτοψη.

### 3.2.4 Αποσυναρμολόγηση κάτω μέρους "σκακιέρα"

Συνεχίζοντας παρουσιάζεται το επόμενο κομμάτι το οποίο είναι το κάτω μέρος της "σκακιέρας", εικόνες 3.13 και 3.14.



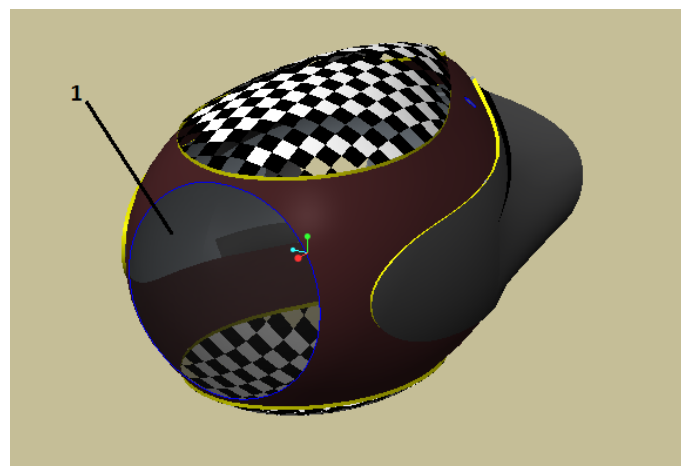
Εικόνα 3.13: 5--> κάτω μέρος "σκακιέρας"



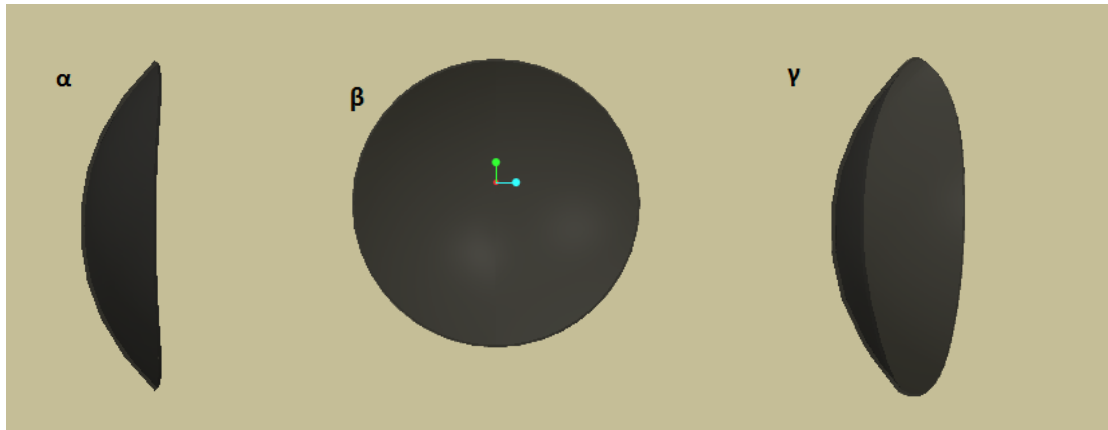
Εικόνα 3.14: α) Αριστερή όψη, β) πλάγια κάτοψη.

### 3.2.5 Αποσυναρμολόγηση τζαμιού

Συνεχίζοντας την αποσυναρμολόγηση των κομματιών με το κομμάτι plexiglass το οποίο παρουσιάζεται στις εικόνες 3.15, 3.16.



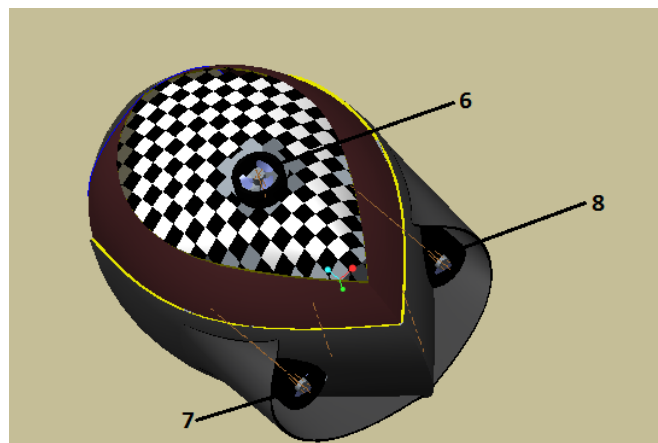
Εικόνα 3.15: 1--> plexiglass



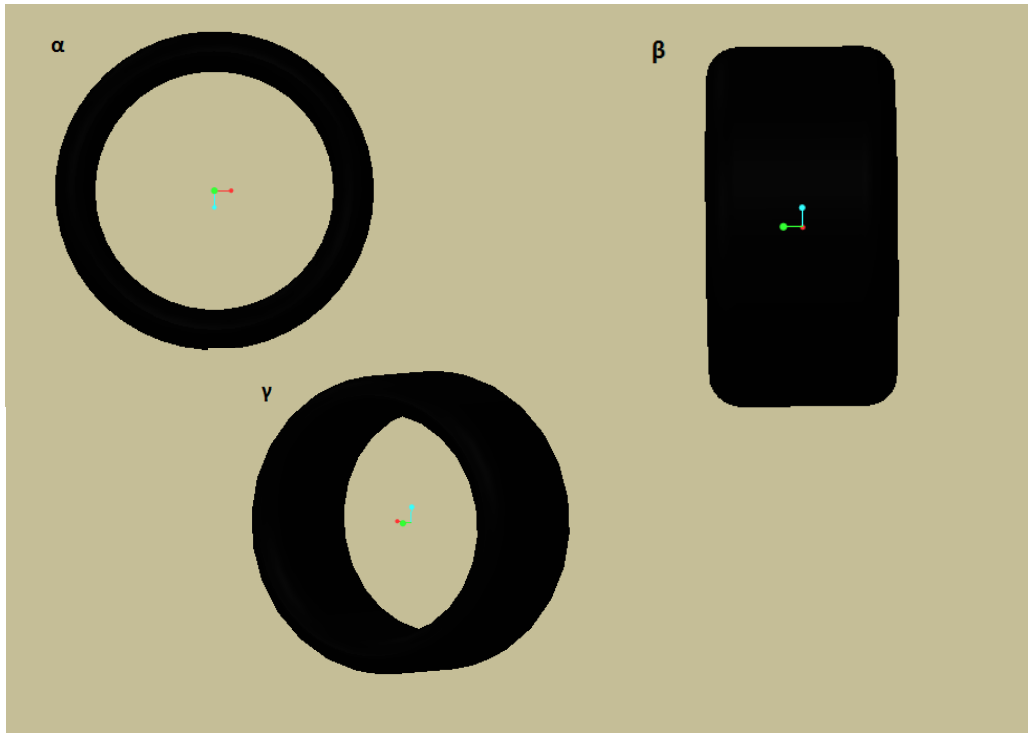
Εικόνα 3.16: α) Αριστερή όψη, β) μπροστινή όψη, γ) αριστερή πλάγια όψη.

### 3.2.6 Αποσυναρμολόγηση κυλίνδρων

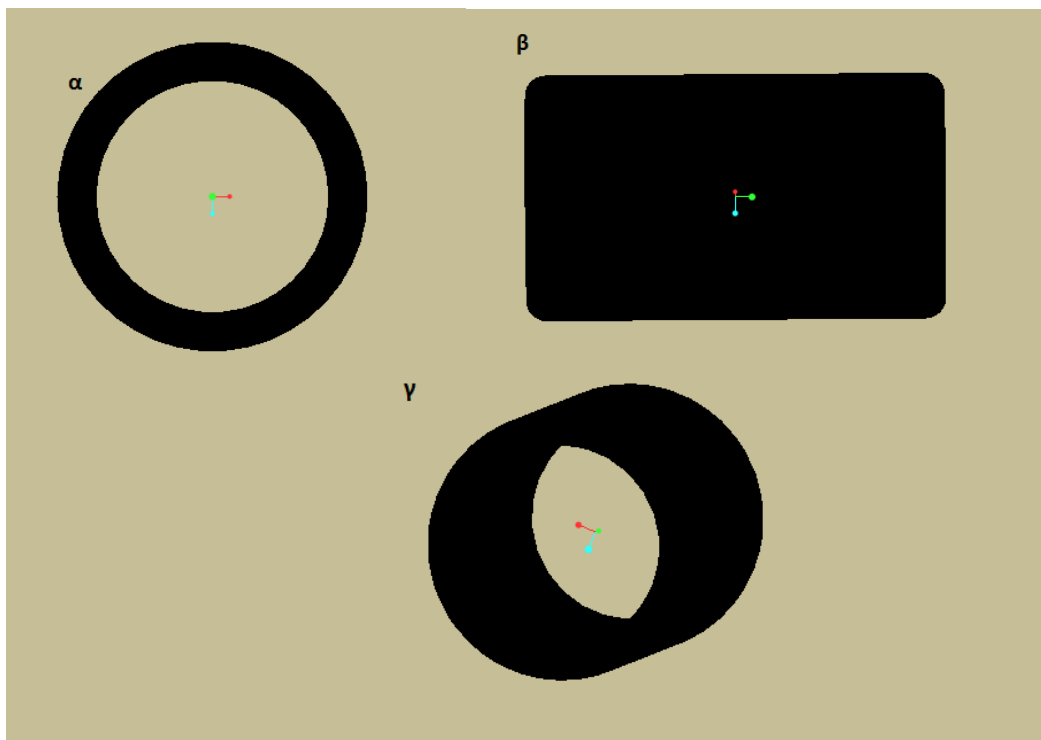
Τέλος, ολοκληρώνοντας την αποσυναρμολόγηση παρουσιάζονται τα τρία τελευταία κομμάτια τα οποία είναι οι τρεις κύλινδροι που περικλείουν την κάτω προπέλα και τις πλαϊνές, εικόνες 3.18, 3.19 αντίστοιχα. Στην εικόνα 3.17 φαίνονται οι θέσεις των προπελών γενικά πάνω στο περίβλημα.



Εικόνα 3.17: 6-->κύλινδρος κάτω προπέλας  
7--> κύλινδρος δεξιάς προπέλας  
8--> κύλινδρος αριστερής προπέλας



Εικόνα 3.18: α) Κάτοψη κυλίνδρου κάτω προπέλας, β) αριστερή όψη κάτω κυλίνδρου, γ) πλάγια όψη κυλίνδρου κάτω προπέλας.



Εικόνα 3.19: α) Κάτοψη κυλίνδρου πλαϊνής προπέλας, β) αριστερή όψη κυλίνδρου πλαϊνής προπέλας, γ) πλάγια όψη κυλίνδρου πλαϊνής προπέλας.

## Κεφάλαιο 4: Συναρμολόγηση με σκοπό την ολοκληρωμένη κατασκευή

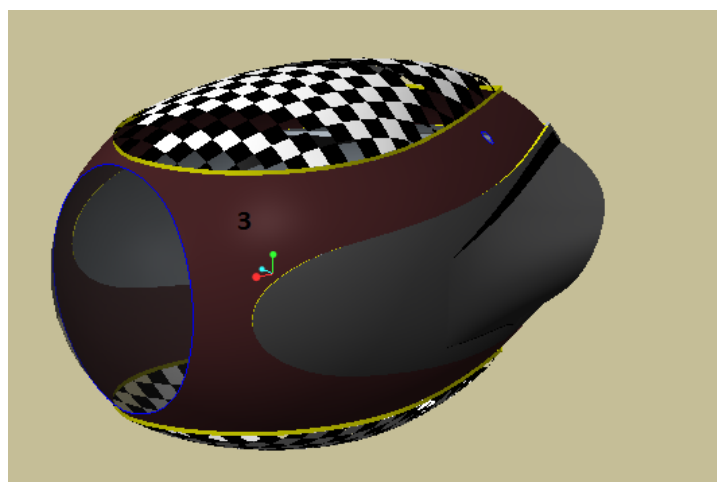
### 4.1 Παρουσίαση συναρμολόγησης επί μέρους κομματιών

Τελευταίο βήμα της εργασίας είναι η ολοκληρωμένη συναρμολόγηση που θα προκύψει από τα εκτυπωμένα κομμάτια μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης όπως είδαμε παραπάνω. Πραγματοποιήθηκε συμπληρωματική σχεδίαση πάνω στα υπάρχοντα κομμάτια του περιβλήματος καθώς και εξ ολοκλήρου νέα σχεδίαση συμπληρωματικών εξαρτημάτων.

Τα κομμάτια σε συνδυασμό με τα νέα εξαρτήματα θα συναρμολογηθούν με συγκεκριμένη σειρά και φυσικά θα πρέπει να στηριχτούν στο βασικό μεταλλικό μέρος. Παρακάτω η μελέτη ξεκινάει με την παρουσίαση των κομματιών με την συμπληρωματική σχεδίαση και πως ενώνονται μεταξύ τους μαζί με τα εξαρτήματα του εκάστοτε κομματιού.

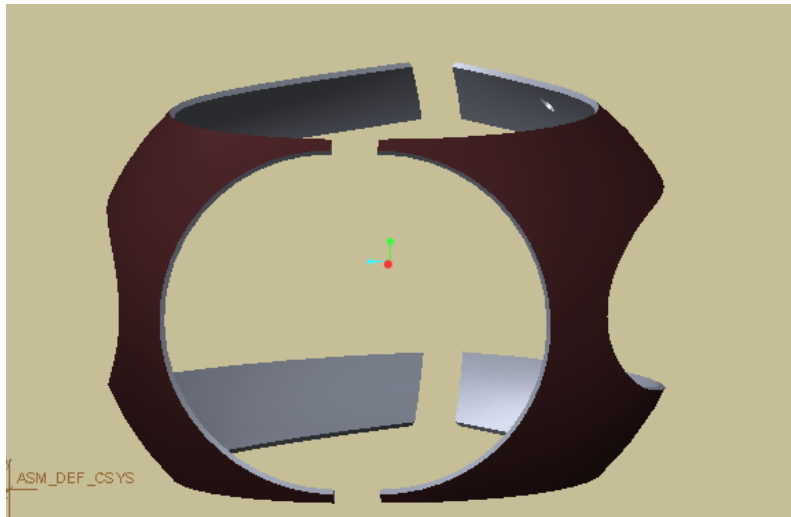
#### 4.1.1 Συναρμολόγηση κεντρικού κομματιού 1

Το πρώτο κομμάτι που θα παρουσιαστεί είναι το κεντρικό κομμάτι 1, εικόνες 4.1 και 4.2.



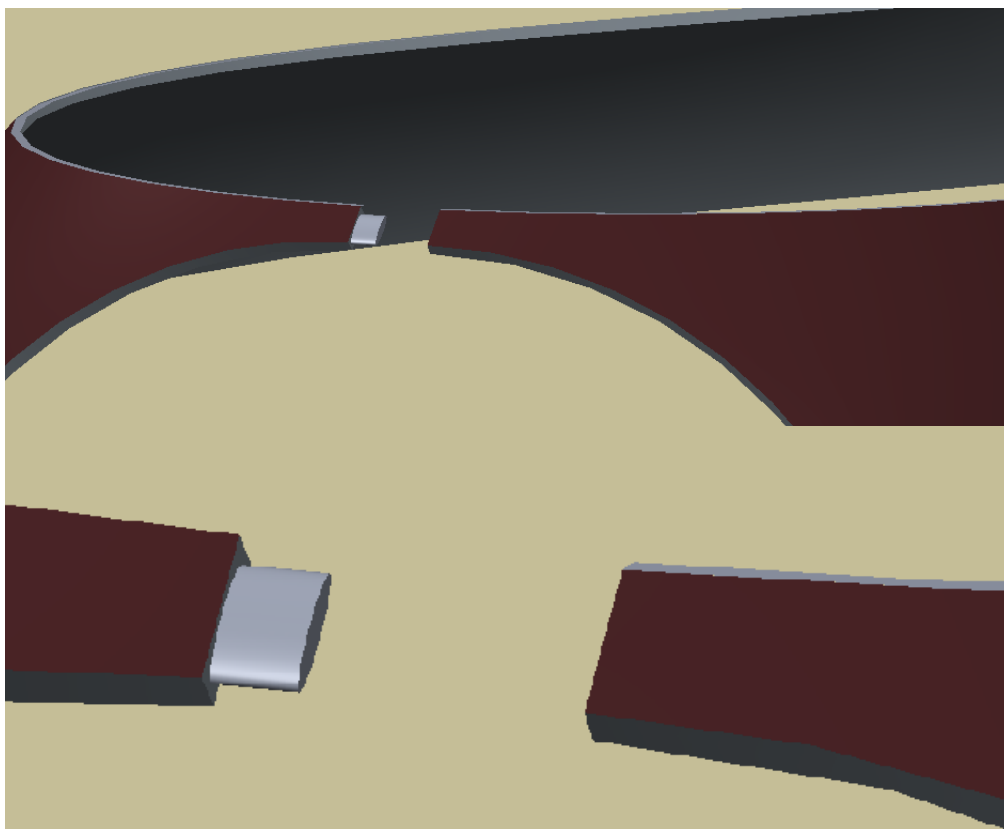
Εικόνα 4.1: 3 --> κεντρικό κομμάτι 1



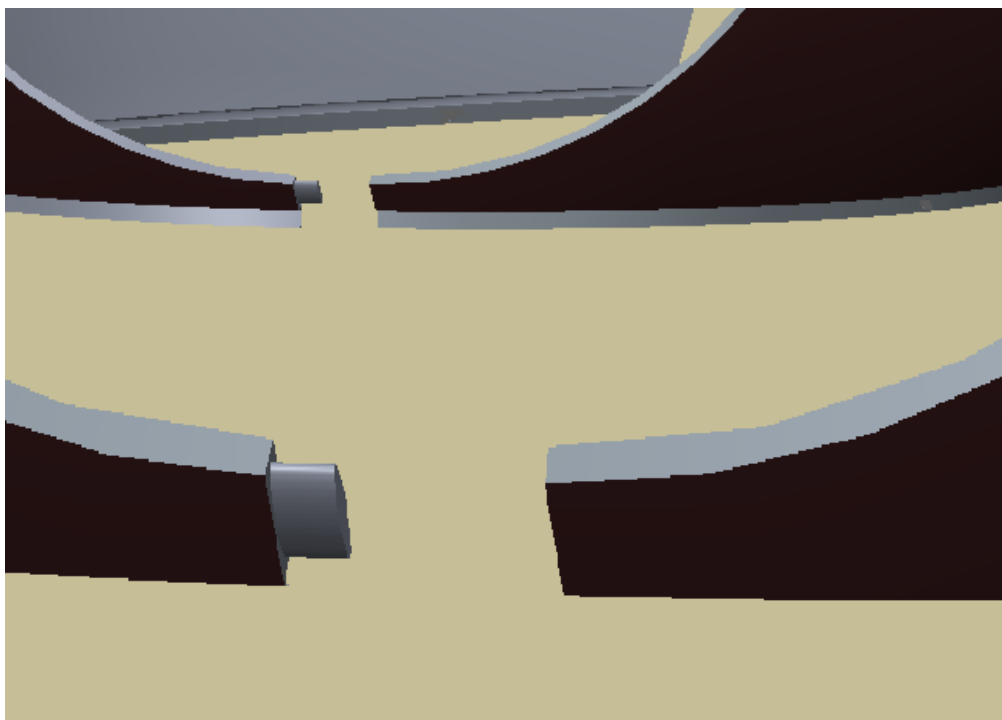


Εικόνα 4.2: Τα δύο αποτελούμενα μέρη του κεντρικού κομματιού 1 πριν την επεξεργασία.

Στη συνέχεια ενώνοντας αυτά τα δύο κομμάτια κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία οπών στο δεξί κομμάτι και βυσμάτων στο αριστερό όπως παρουσιάζονται στις εικόνες 4.3 και 4.4, 4.5 και 4.6 αντίστοιχα.



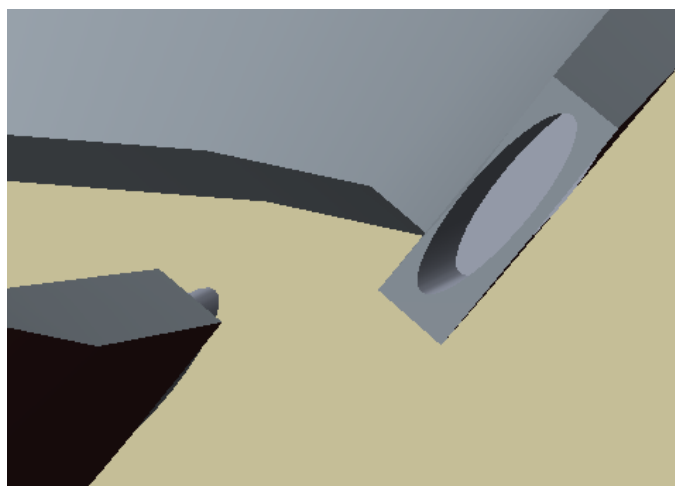
Εικόνα 4.3: Βύσμα πάνω πλευράς σε μπροστινή πλάγια όψη και σε μεγέθυνση.



Εικόνα 4.4: Βύσμα κάτω πλευράς σε μπροστινή πλάγια όψη και σε μεγέθυνση.

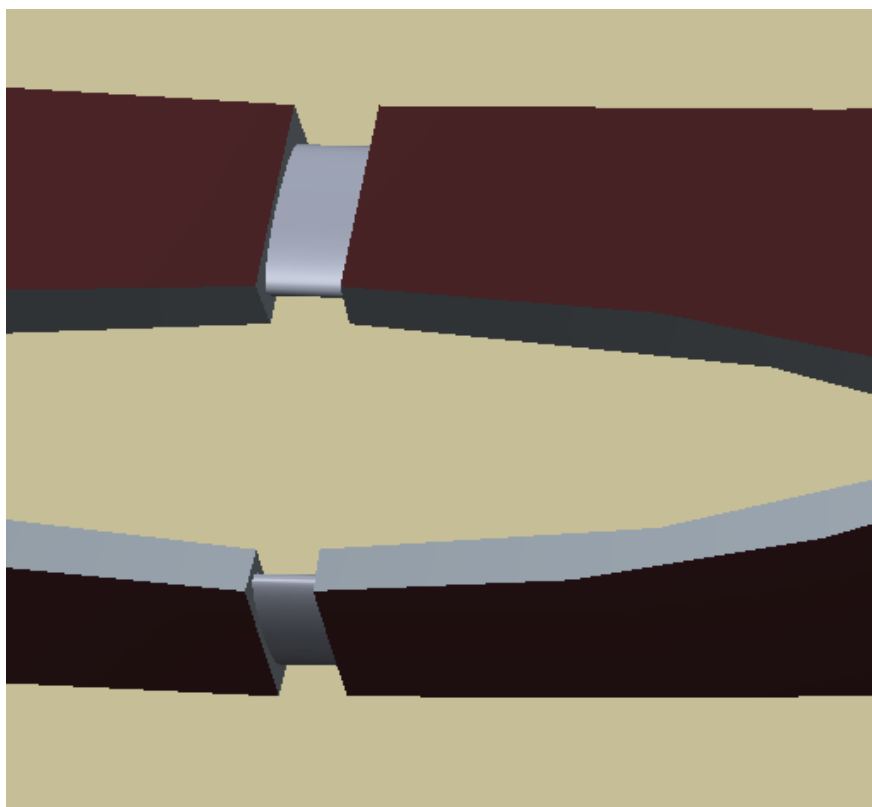


Εικόνα 4.5 : Οπή πάνω πλευράς αριστερού κομματιού.



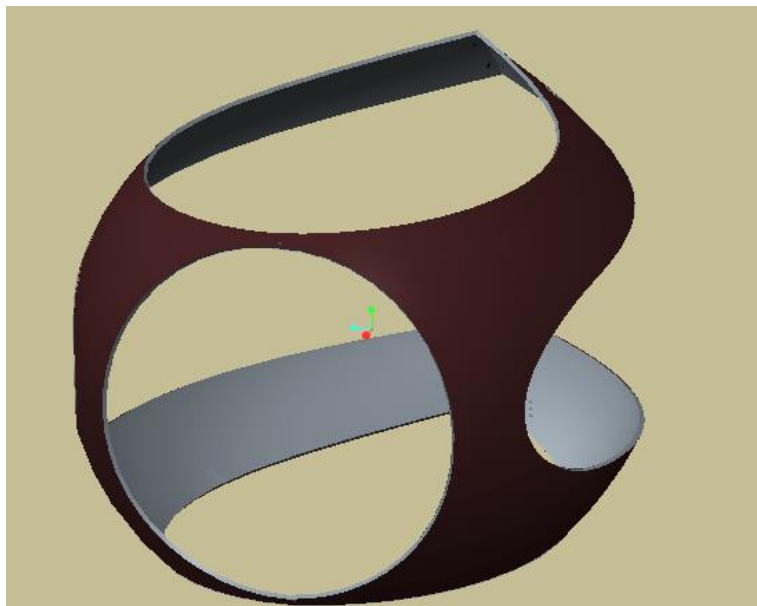
Εικόνα 4.6: Οπή κάτω πλευράς αριστερού κομματιού.

Έτσι με βάση τα παραπάνω τα κομμάτια θα ενωθούν με τον τρόπο που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.7. Δηλαδή το ένα κομμάτι θα "μπει" μέσα στο άλλο.



Εικόνα 4.7: Ένωση πάνω και κάτω μέρους των δύο κομματιών, μπροστινή όψη σε μεγέθυνση.

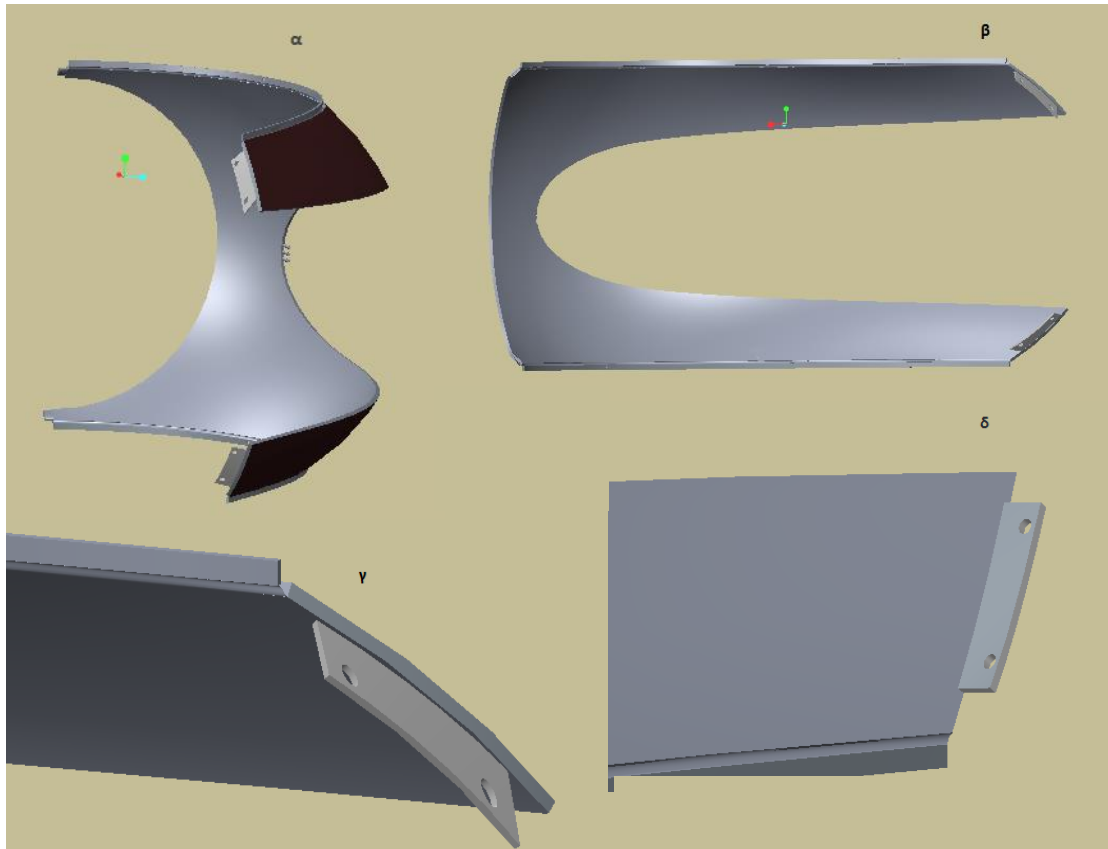
Συνολικά φαίνεται η ένωση των κομματιών στην εικόνα 4.8.



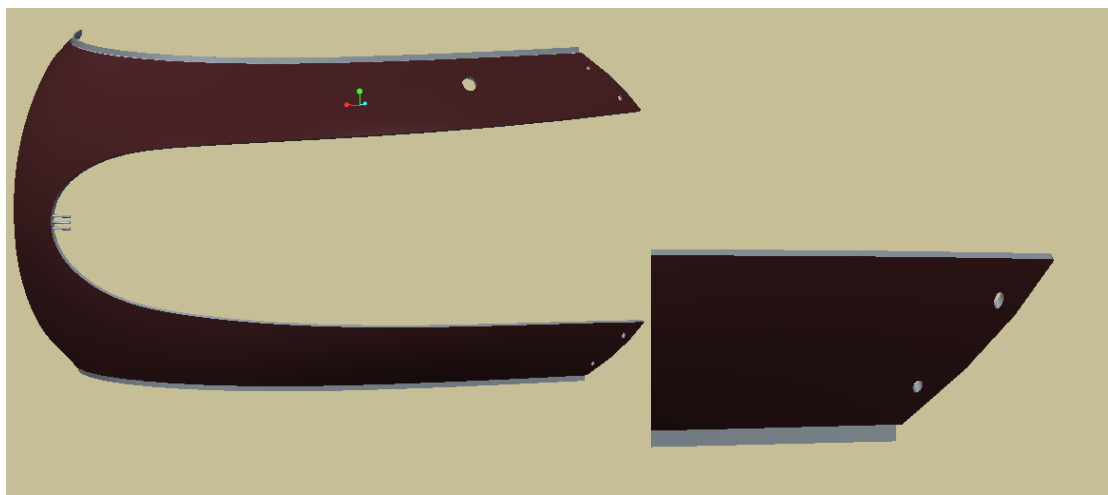
Εικόνα 4.8: Παρουσίαση ενωμένων κομματιών.

Τέλος, για να "σφραγιστεί" η ένωση των δύο κομματιών κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία προέκτασης στο πίσω μέρος του δεξιού κομματιού, η οποία αποτελείται από δύο οπές όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.9. Επιπλέον, στο αντίστοιχο σημείο του αριστερού κομματιού δημιουργούνται επίσης οπές, εικόνα 4.10.

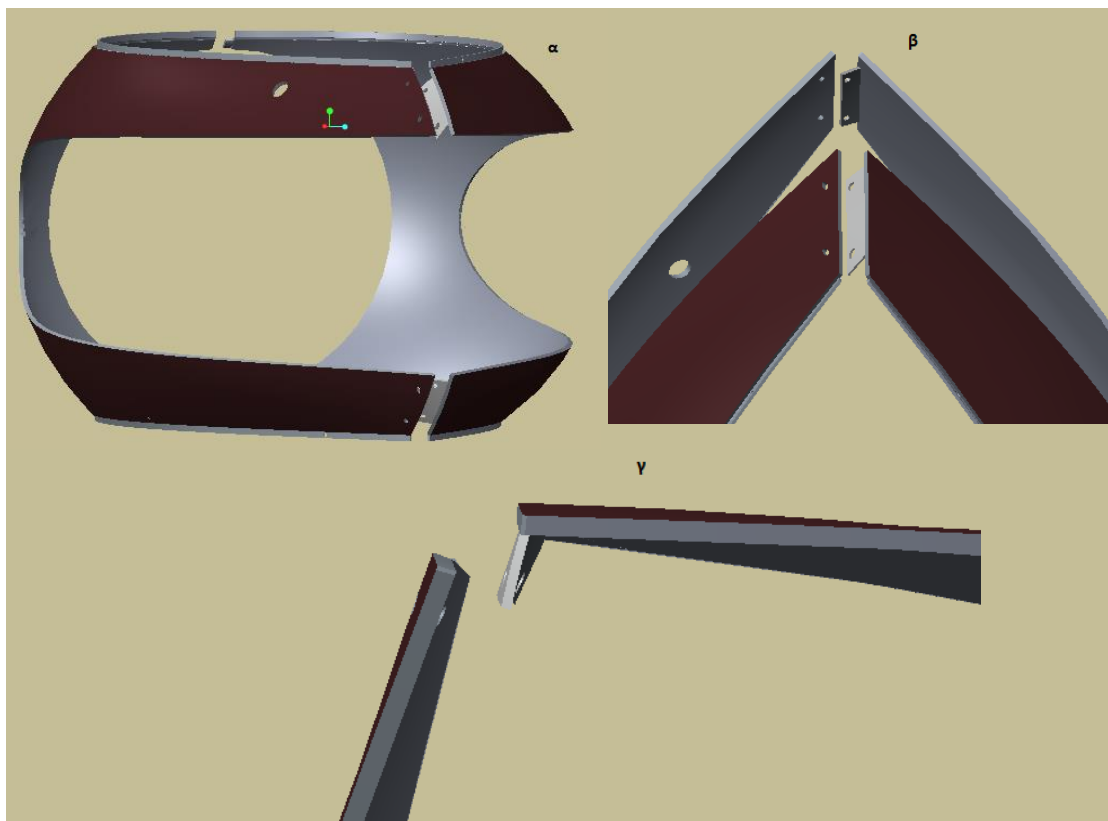
Ο σκοπός της προέκτασης αυτής είναι ότι το αριστερό κομμάτι καθώς ενώνεται θα καλύψει την προέκταση ενώ τα σημεία που βρίσκονται οι οπές τόσο στην προέκταση όσο και στο κομμάτι ταυτίζονται. Έτσι, με τη βοήθεια βίδας και παξιμαδιού οι οπές σφραγίζονται με αποτέλεσμα την ολοκληρωμένη σύνδεση των δύο κομματιών που απαρτίζουν το κεντρικό κομμάτι 1, εικόνες 4.11 και 4.12.



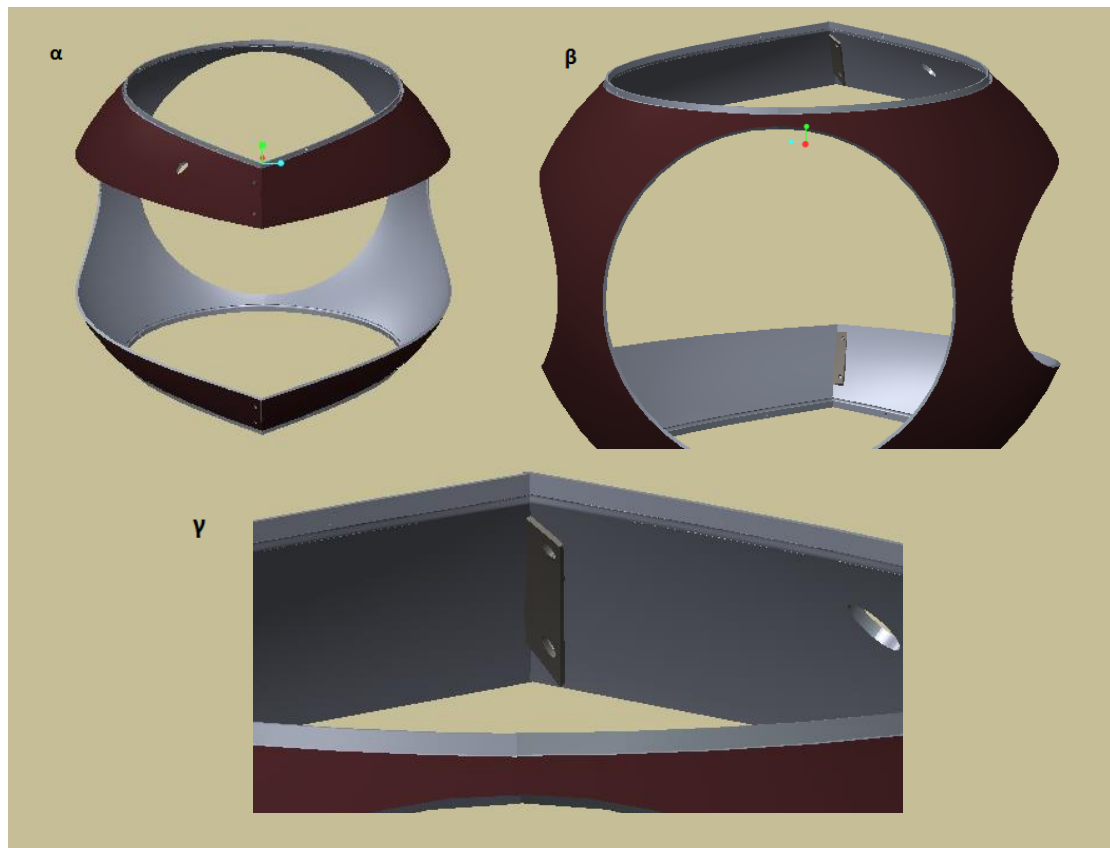
Εικόνα 4.9: Προέκταση στο δεξί κομμάτι του κεντρικού κομματιού 1. Υπάρχουν δύο τρύπες στην πάνω προέκταση και δύο στη κάτω, α) πίσω πλάγια όψη, β) αριστερή όψη, γ) μεγέθυνση αριστερής όψης, δ) μεγέθυνση αριστερής όψης.



Εικόνα 4.10: Τρύπες στο αριστερό κομμάτι του κεντρικού κομματιού 1. Δύο στη πάνω και δύο στη κάτω μεριά του κομματιού. Αριστερή όψη–Αριστερή όψη σε μεγέθυνση του κάτω μέρους.



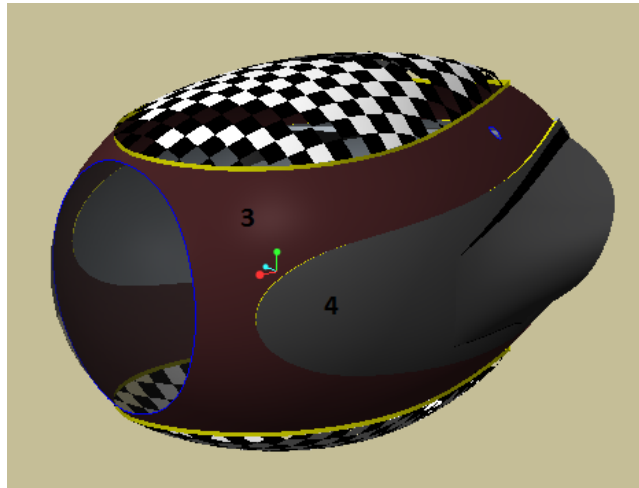
Εικόνα 4.11: Τα δύο κομμάτια του κεντρικού κομματιού 1 μαζί με την προέκταση και τις οπές. Το ένα κομμάτι περνάει “συρταρωτά” πάνω από το άλλο, α) πίσω πάγια όψη, β) κάτοψη κάτω πλευράς, γ) κάτοψη του ενός μέρους των κομματιών σε μεγέθυνση.



Εικόνα 4.12: Τα επιμέρους κομμάτια του κεντρικού κομματιού 1 ενώθηκαν με τη βοήθεια της προέκτασης, α) πίσω πλάγια όψη, β) μπροστινή πλάγια όψη, γ) μεγέθυνση για την καλύτερη κατανόηση της προέκτασης.

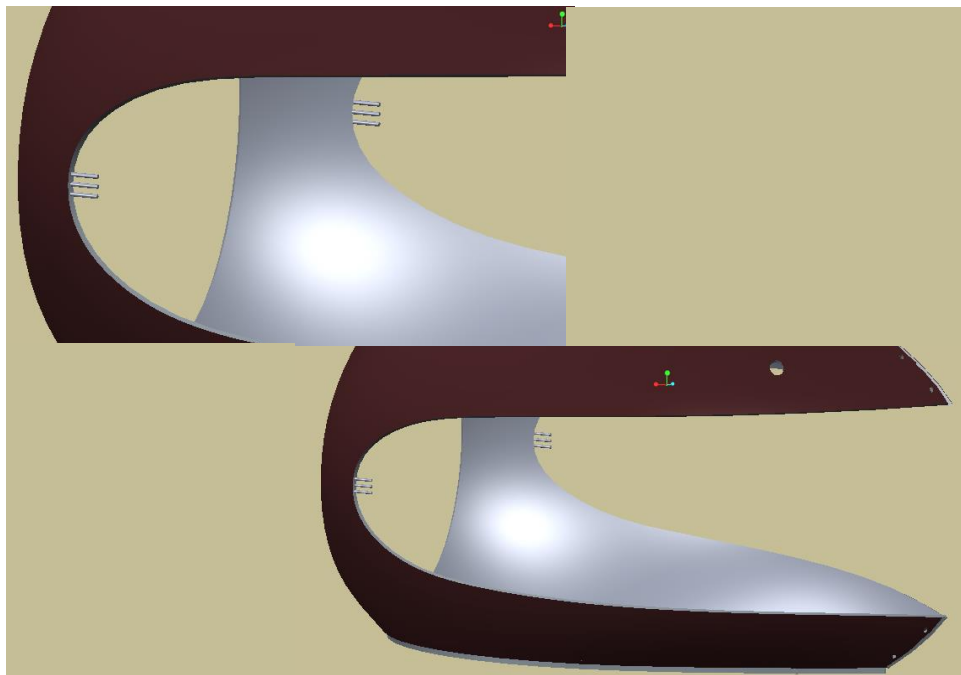
#### 4.1.2 Συναρμολόγηση του κεντρικού κομματιού 1 με το κεντρικό κομμάτι 2

Τα επόμενα κομμάτια που θα ενωθούν είναι το κεντρικό κομμάτι 1 που παρουσιάστηκε παραπάνω με το κεντρικό κομμάτι 2, εικόνα 4.13.



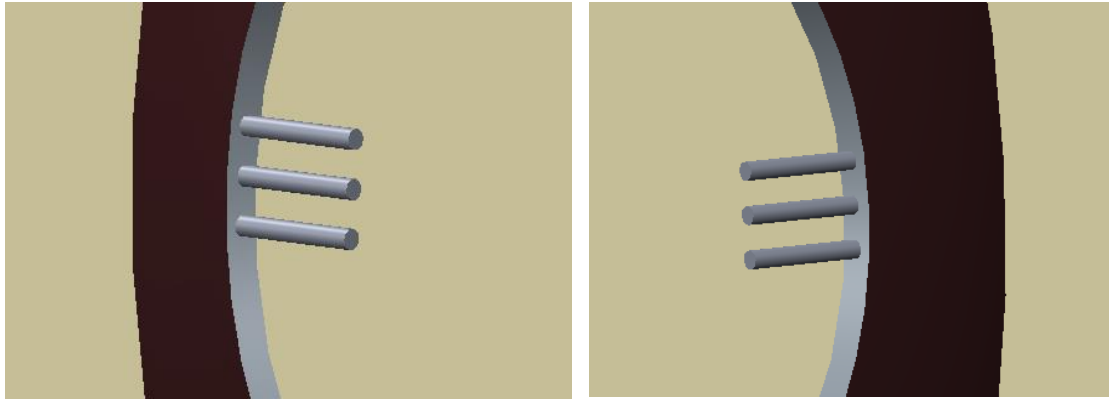
Εικόνα 4.13: 3--> κεντρικό κομμάτι 1  
4--> κεντρικό κομμάτι 2

Στο κεντρικό κομμάτι 1 σχεδιάστηκαν έμβολα όπως φαίνεται στις εικόνες 4.14 και 4.15.



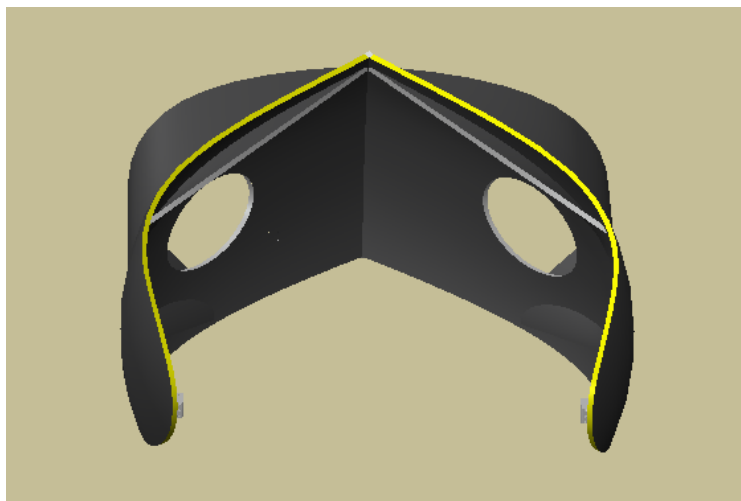
Εικόνα 4.14: Αριστερή πλάγια όψη-Παρουσίαση εμβόλων.



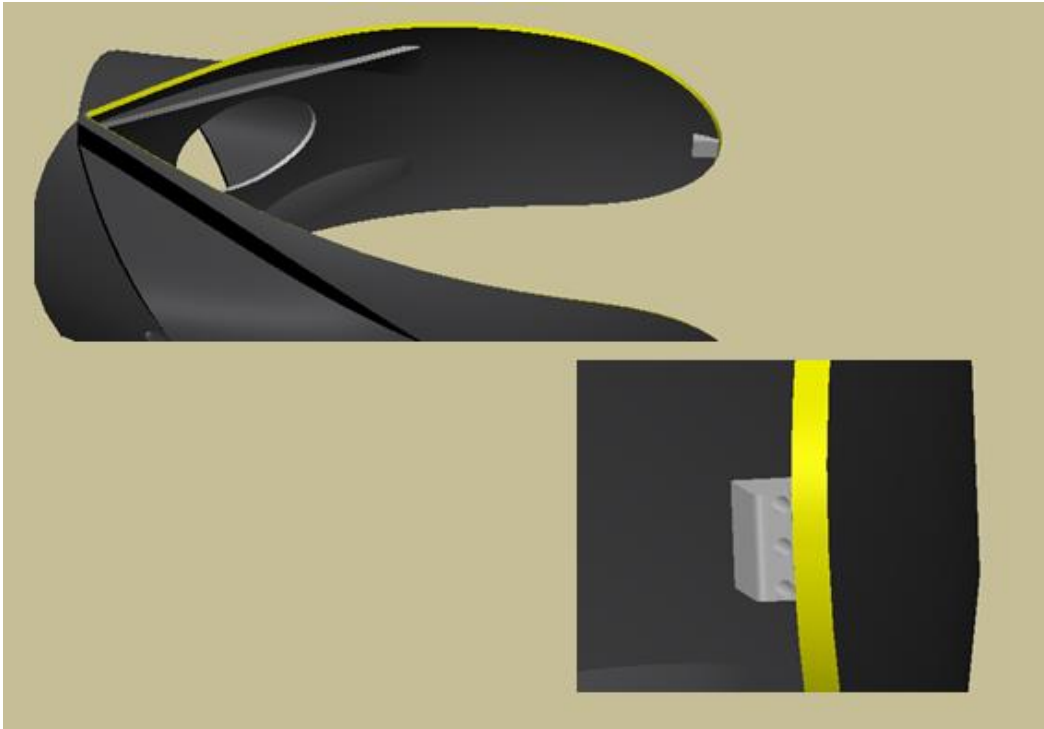


Εικόνα 4.15: Κοντινή παρουσίαση εμβόλων, αριστερής και δεξιάς πλευράς.

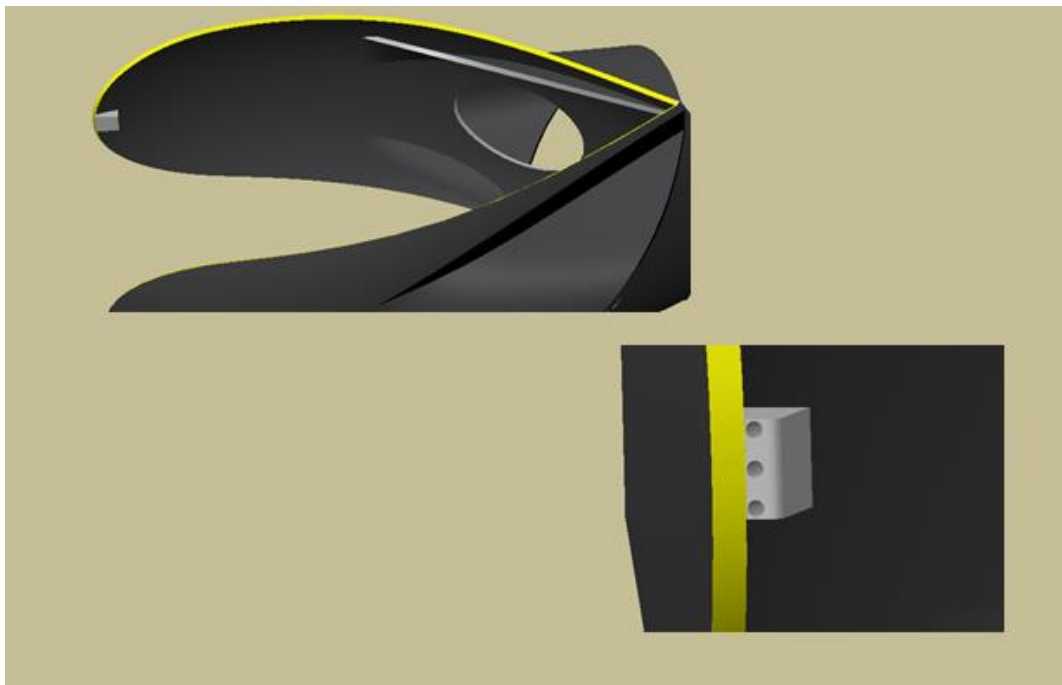
Στο κεντρικό κομμάτι 2, εικόνα 4.16, σχεδιάστηκε ένα είδος "θήκης", εικόνες 4.17 και 4.18, το οποίο παρουσιάζεται συνολικά στην εικόνα 4.19. Η χρησιμότητα του είναι σημαντική αφού τα έμβολα του κεντρικού κομματιού 1 θα εισαχθούν μέσα στο κεντρικό κομμάτι 2. Στις εικόνες 4.20 και 4.21 φαίνεται πως πραγματοποιείται αυτή η εισαγωγή στο αριστερό κομμάτι. Ακριβώς ίδια είναι η διαδικασία και για το δεξί.



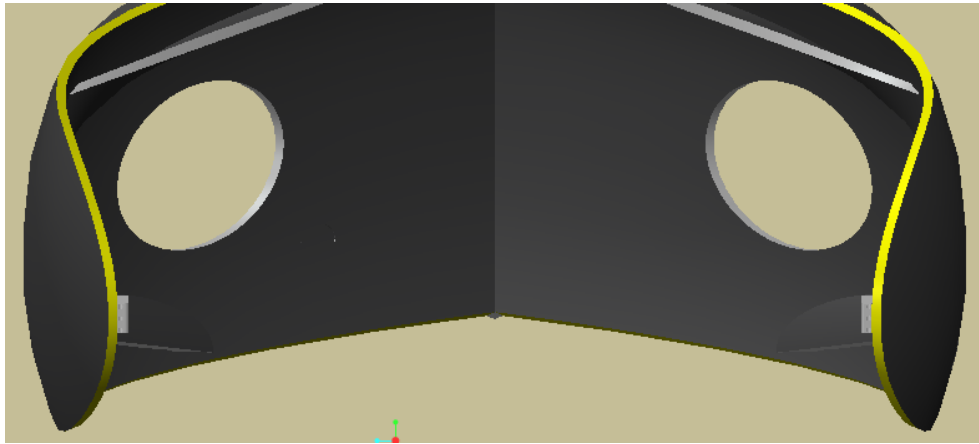
Εικόνα 4.16: Κεντρικό κομμάτι 2.



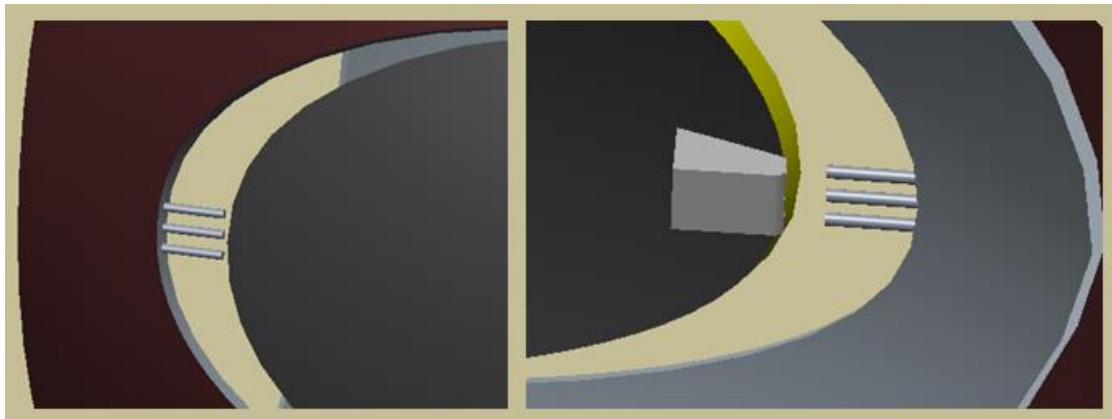
Εικόνα 4.17: "Θήκη" αριστερής πλευράς κεντρικού κομματιού 2. Δεξιά πλάγια όψη και μεγέθυνση "θήκης".



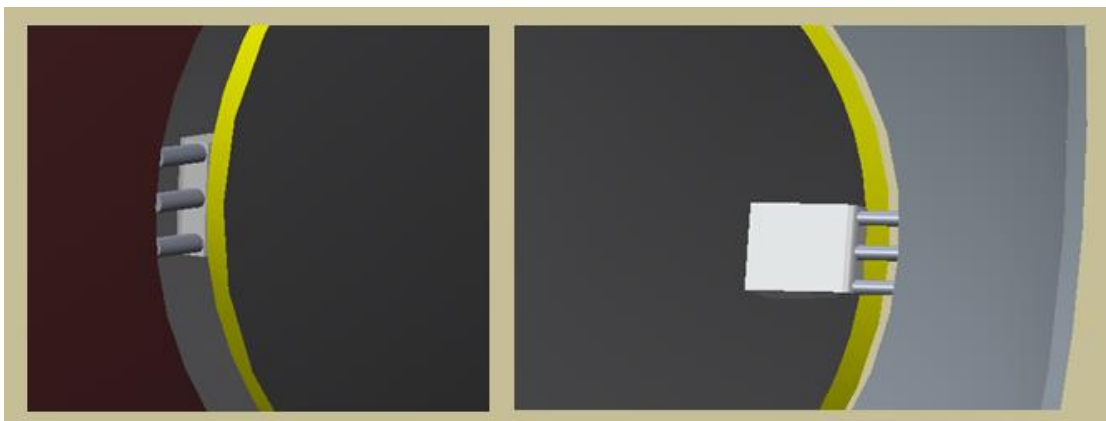
Εικόνα 4.18: "Θήκη" δεξιάς πλευράς κεντρικού κομματιού 2. Αριστερή πλάγια όψη και μεγέθυνση "θήκης".



Εικόνα 4.19: Οι "θήκες" του κεντρικού κομματιού 2.

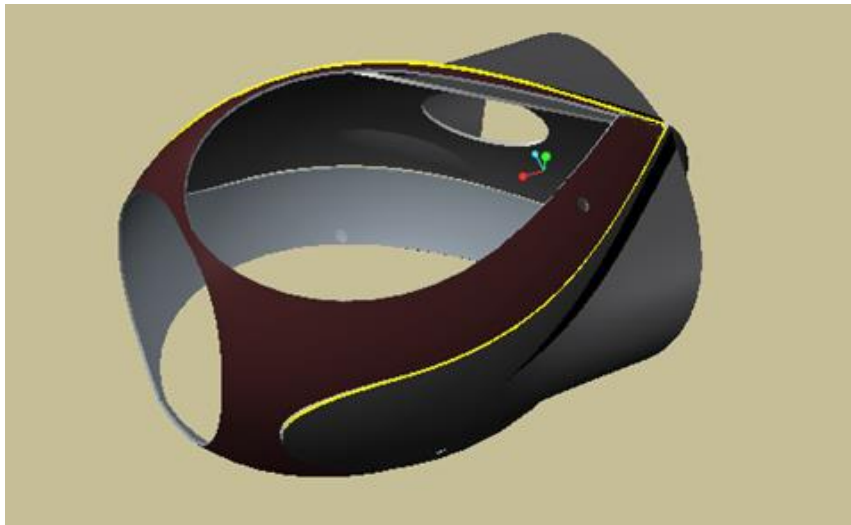


Εικόνα 4.20: Ένωση εμβόλων και "θήκης"-Όψη: από την εξωτερική και την εσωτερική πλευρά.



Εικόνα 4.21: Το έμβολο εισχωρεί στην οπή-Όψη: από την εξωτερική πλευρά και την εσωτερική.

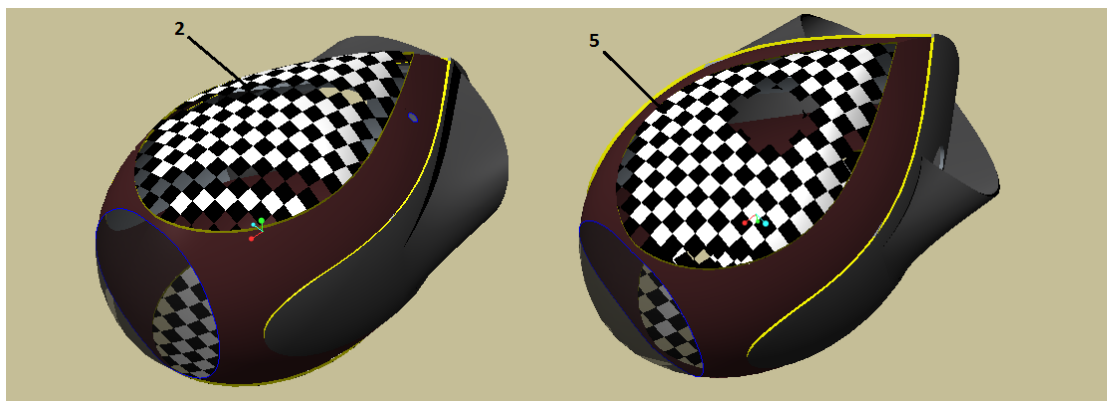
Έτσι η συναρμολόγηση μέχρι στιγμής παρουσιάζεται στην εικόνα 4.22.



Εικόνα 4.22: Συναρμολόγηση μετά από την τοποθέτηση και των δύο κομματιών κεντρικού κομματιού 1 μαζί με το κεντρικό κομμάτι 2.

#### 4.1.3 Συναρμολόγηση πάνω και κάτω μέρος "σκακιέρα" με το υπόλοιπο περίβλημα

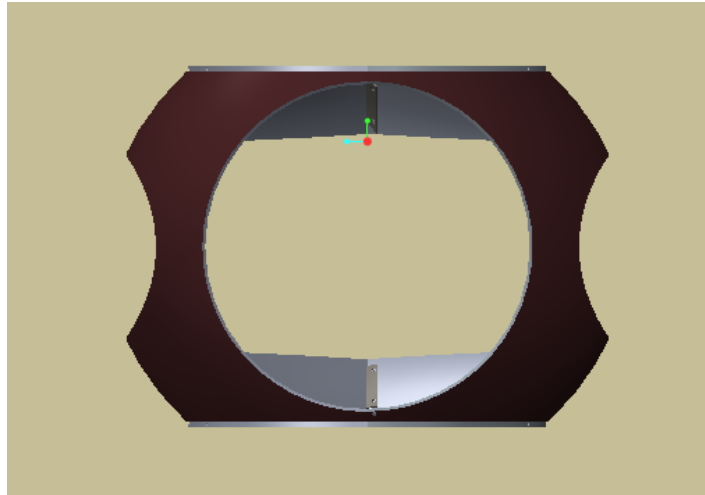
Τα επόμενα κομμάτια που θα ενωθούν είναι το πάνω και το κάτω μέρος "σκακιέρα", εικόνα 4.23.



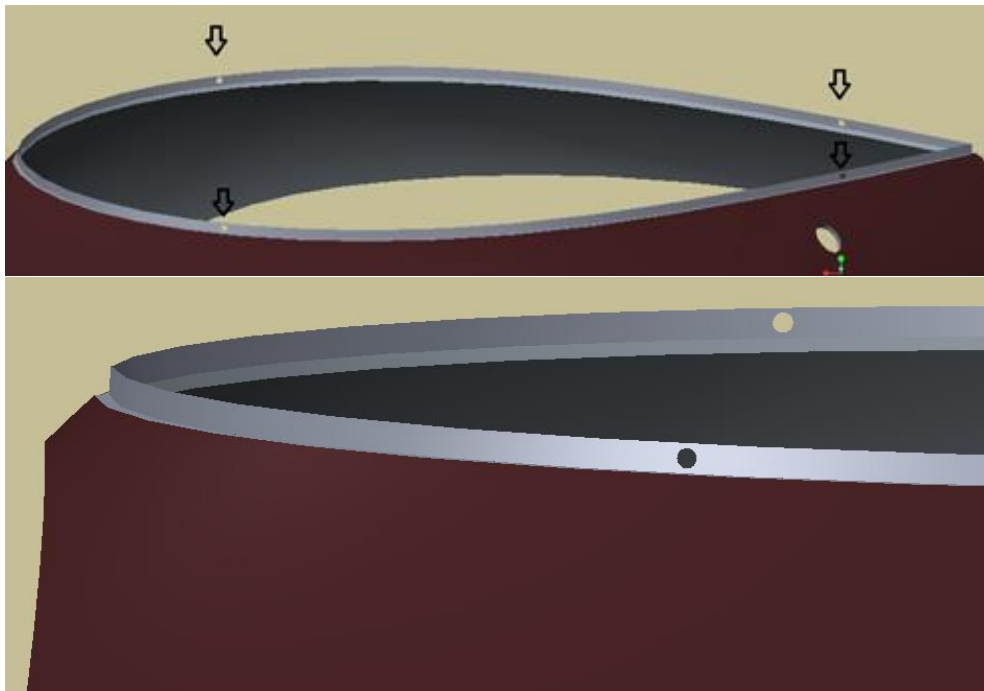
Εικόνα 4.23: 2--> πάνω μέρος "σκακιέρα"  
5--> κάτω μέρος "σκακιέρα"

Και τα δύο μέρη συναρμολογούνται με τον ίδιο τρόπο πάνω στα υπόλοιπα κομμάτια.

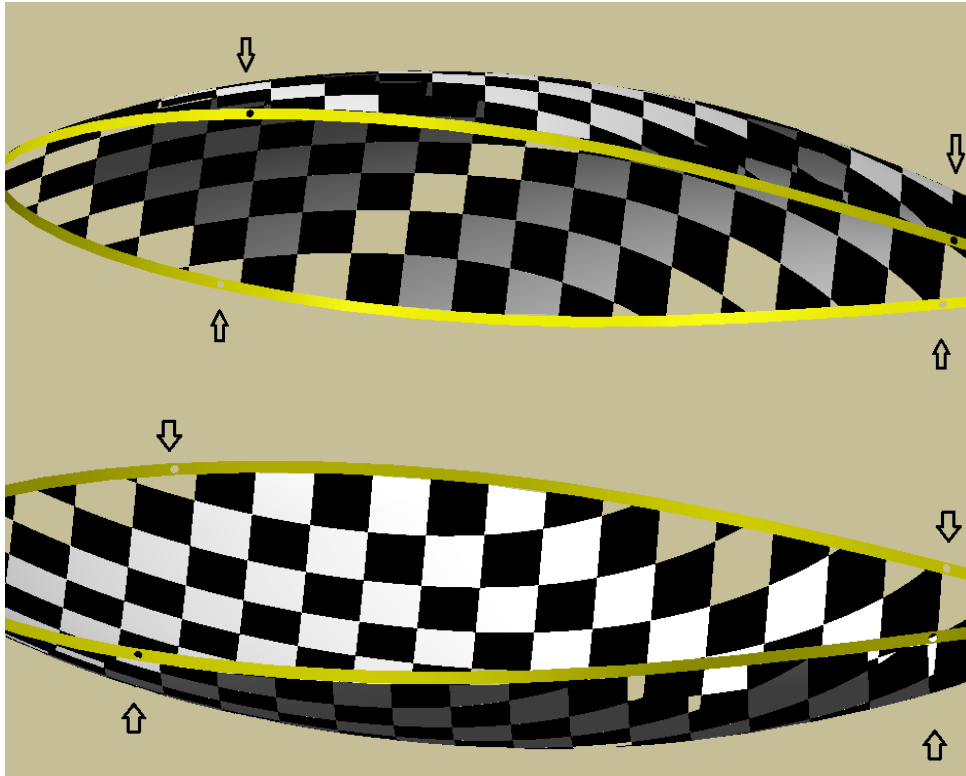
Αρχικά πάνω στο κεντρικό κομμάτι 1 δημιουργήθηκε μια μικρή εσοχή τόσο από τη πάνω πλευρά όσο και από τη κάτω, εικόνα 4.24, καθώς και οι απαραίτητες τρύπες στη πάνω και στη κάτω εσοχή, εικόνα 4.25. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν επίσης τρύπες και στο πάνω και κάτω μέρος "σκακιέρα" στα ίδια σημεία, εικόνα 4.26. Με αυτό τον τρόπο το πάνω και κάτω μέρος "σκακιέρα" θα ενωθούν με το κεντρικό κομμάτι 1 ακουμπώντας το ένα πάνω στο άλλο ώστε η εσοχή να βρεθεί εκατέρωθεν και να "σφραγιστούν" με τη βοήθεια βίδας και παξιμαδιού στα σημεία που βρίσκονται οι τρύπες, εικόνες 4.27 και 4.28.



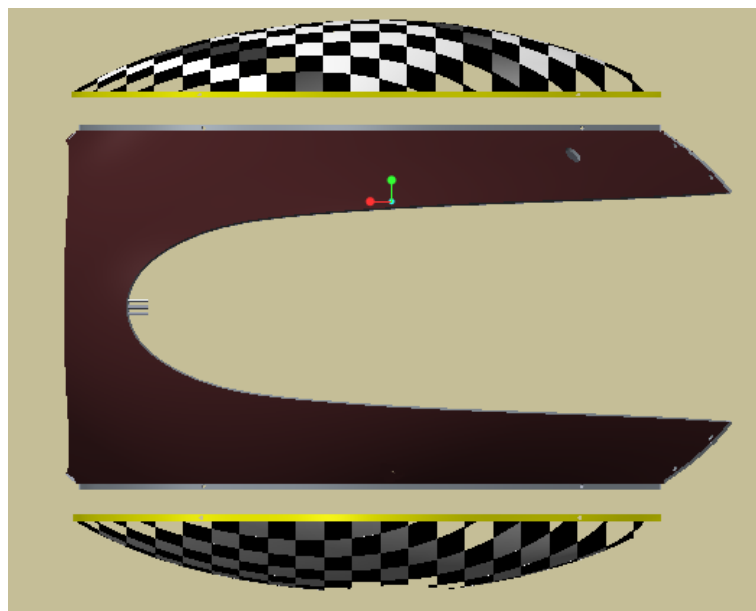
Εικόνα 4.24: Κεντρικό κομμάτι 1 με τις εσοχές στο πάνω και κάτω μέρος.



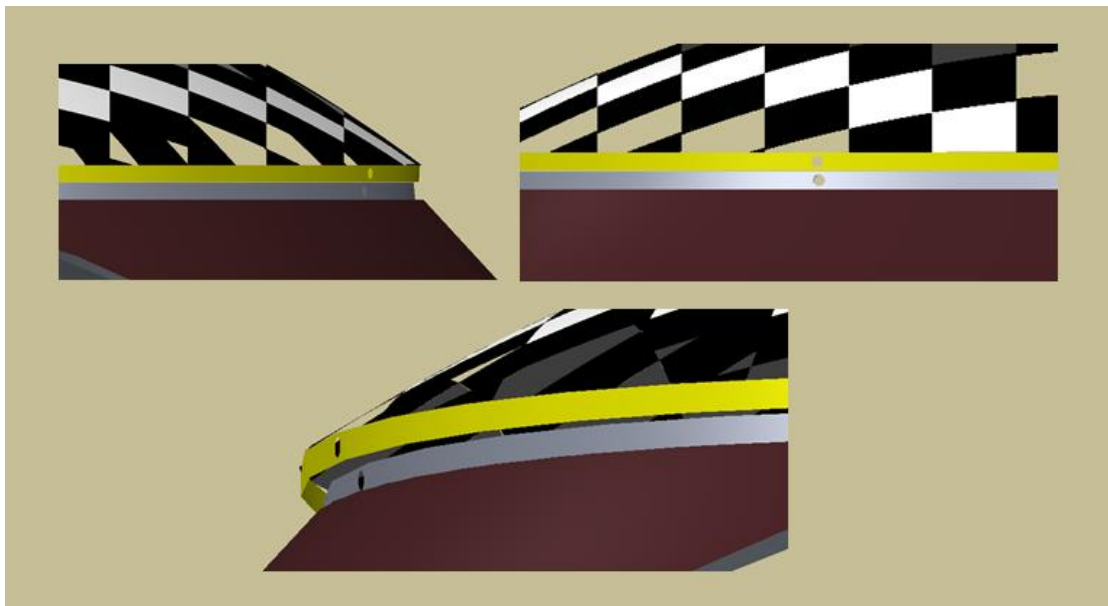
Εικόνα 4.25: Εσοχή πάνω μέρους με τις τέσσερις τρύπες, κοντινή όψη της εσοχής πάνω μέρους με τις δύο τρύπες. Αντίστοιχα εργαζόμαστε και για το κάτω.



Εικόνα 4.26: Τέσσερις τρύπες του πάνω μέρους "σκακιέρα" και τέσσερις τρύπες του κάτω μέρους "σκακιέρα".

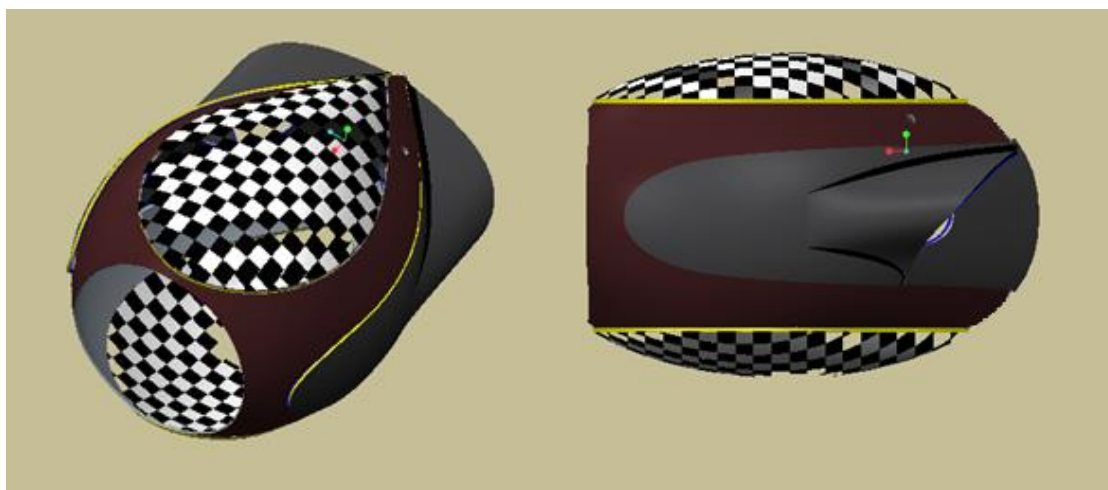


Εικόνα 4.27: Συναρμολόγηση-Το πάνω και κάτω μέρος θα ακουμπήσει πάνω στο κεντρικό κομμάτι 1 καλύπτοντας την εσοχή.



Εικόνα 4.28: Συναρμολόγηση σε μεγέθυνση-Κάλυψη εσοχής.

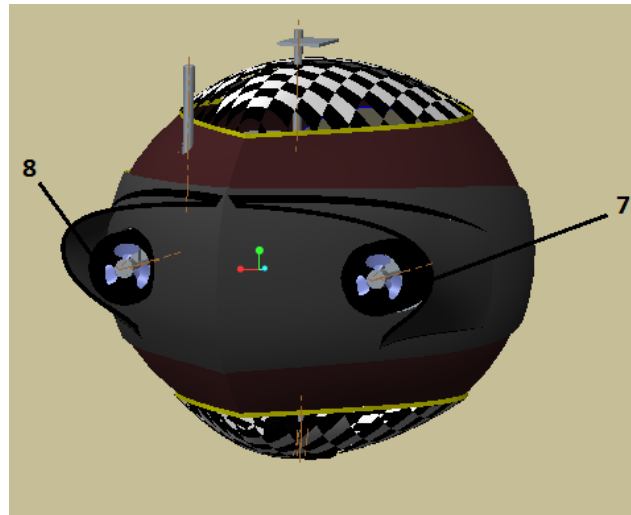
Έτσι, μετά από τη συναρμολόγηση του πάνω και του κάτω μέρους το περίβλημα μέχρι στιγμής παρουσιάζεται στην εικόνα 4.29.



Εικόνα 4.29: Το περίβλημα μετά από την τοποθέτηση του πάνω και κάτω μέρους "σκακιέρα". Πλάγια κάτοψη και αριστερή όψη.

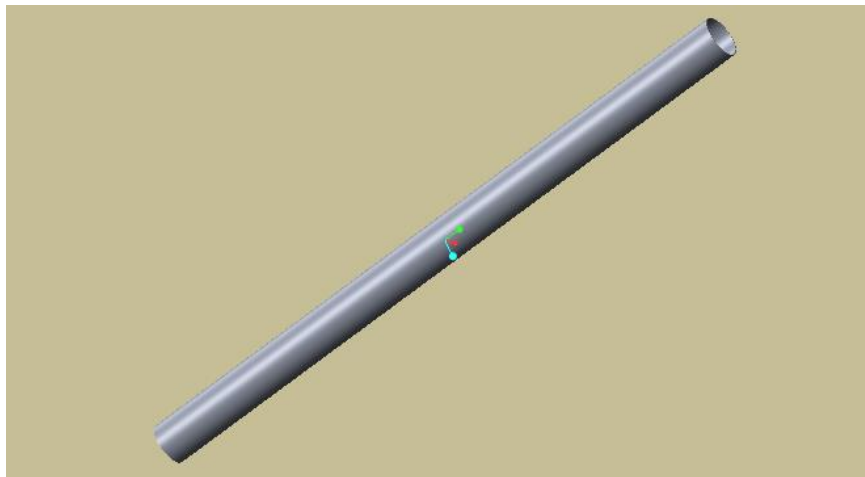
#### 4.1.4 Συναρμολόγηση κυλίνδρων πλαϊνών προπελών

Τα επόμενα κομμάτια που θα συναρμολογηθούν είναι οι κύλινδροι που περικλείουν τις δύο πλαϊνές προπέλες όπως φαίνεται στην εικόνα 4.30.



Εικόνα 4.30: 7-->κύλινδρος δεξιάς προπέλας  
8--> κύλινδρος αριστερής προπέλας

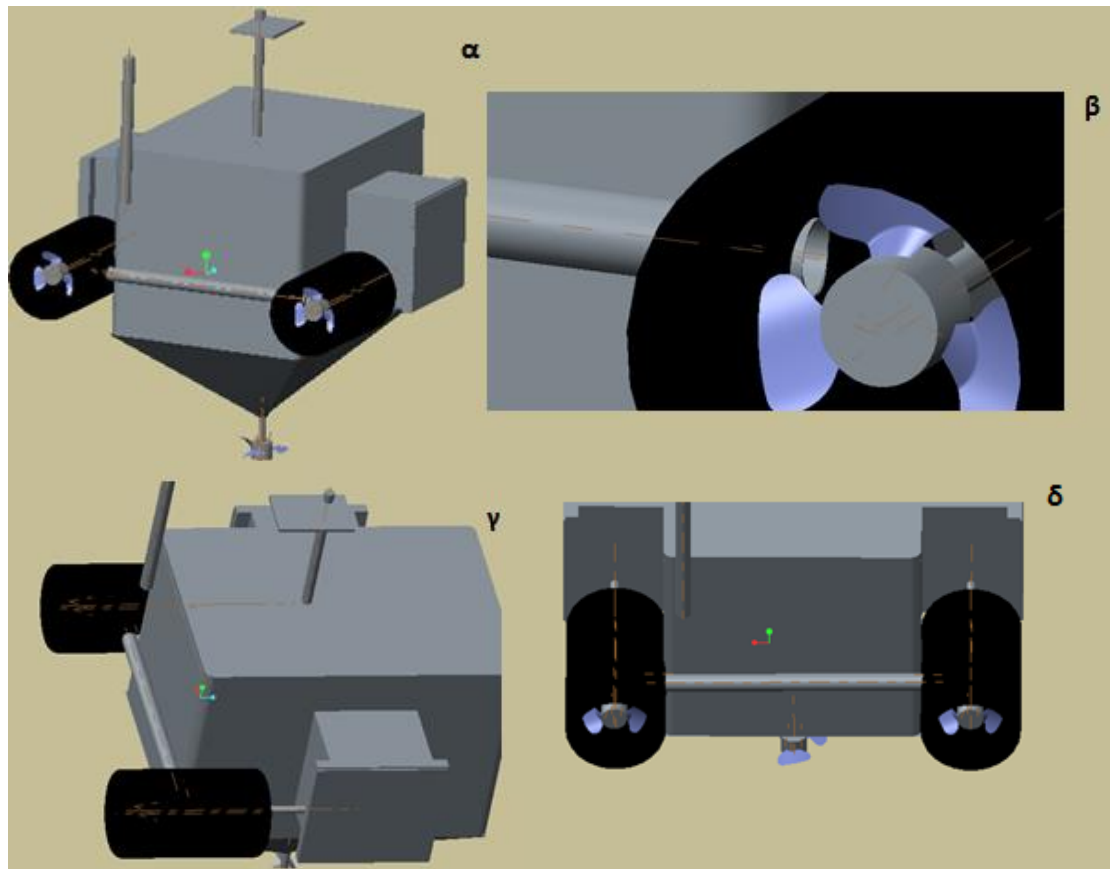
Για την στήριξη των δύο κυλίνδρων στην συγκεκριμένη θέση κρίθηκε απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός συμπληρωματικού εξαρτήματος, εικόνα 4.31.



Εικόνα 4.31: Συμπληρωματικό εξάρτημα 1



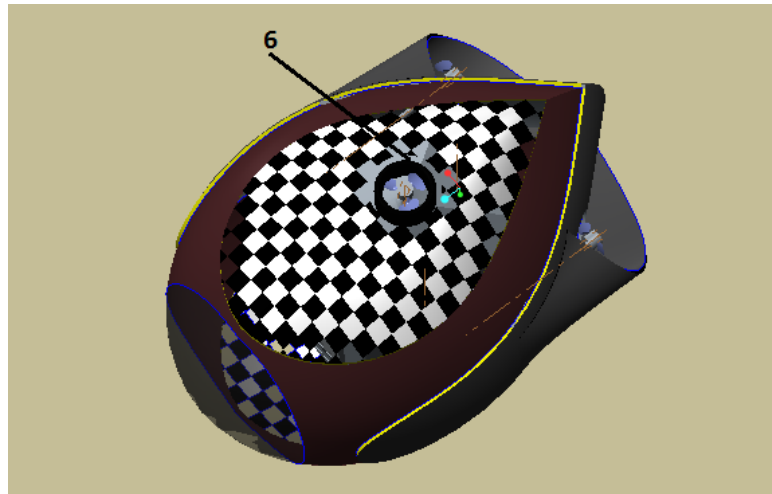
Το συμπληρωματικό εξάρτημα ακουμπώντας στο αρχικό μεταλλικό μέρος του υποβρυχίου θα στηρίζει και θα κρατάει του δύο κυλίνδρους στη θέση τους διαπερνώντας τους από την εσωτερική τους πλευρά. Αφού έχουν δημιουργηθεί οι κατάλληλες οπές τόσο στο εξάρτημα όσο και στους κυλίνδρους, θα "σφραγιστούν" με τη βοήθεια κλιπς, εικόνα 4.32.



Εικόνα 4.32: Συναρμολόγηση κυλίνδρων με χρήση εξαρτήματος 1, α) πίσω πλάγια όψη, β) μεγέθυνση από τη μέσα πλευρά του κυλίνδρου, γ) πλάγια κάτοψη, δ) πίσω πλάγια όψη.

#### 4.1.5 Συναρμολόγηση κυλίνδρου κάτω προπέλας

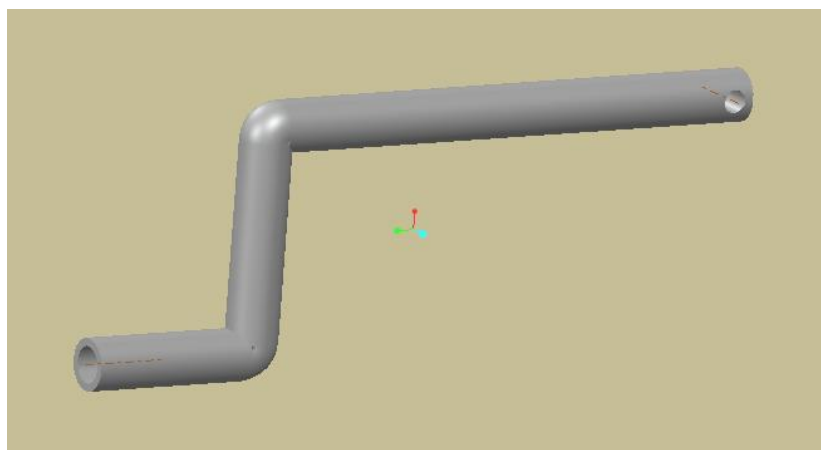
Το επόμενο κομμάτι που θα τοποθετηθεί είναι ο κύλινδρος της κάτω προπέλας, εικόνα 4.33.



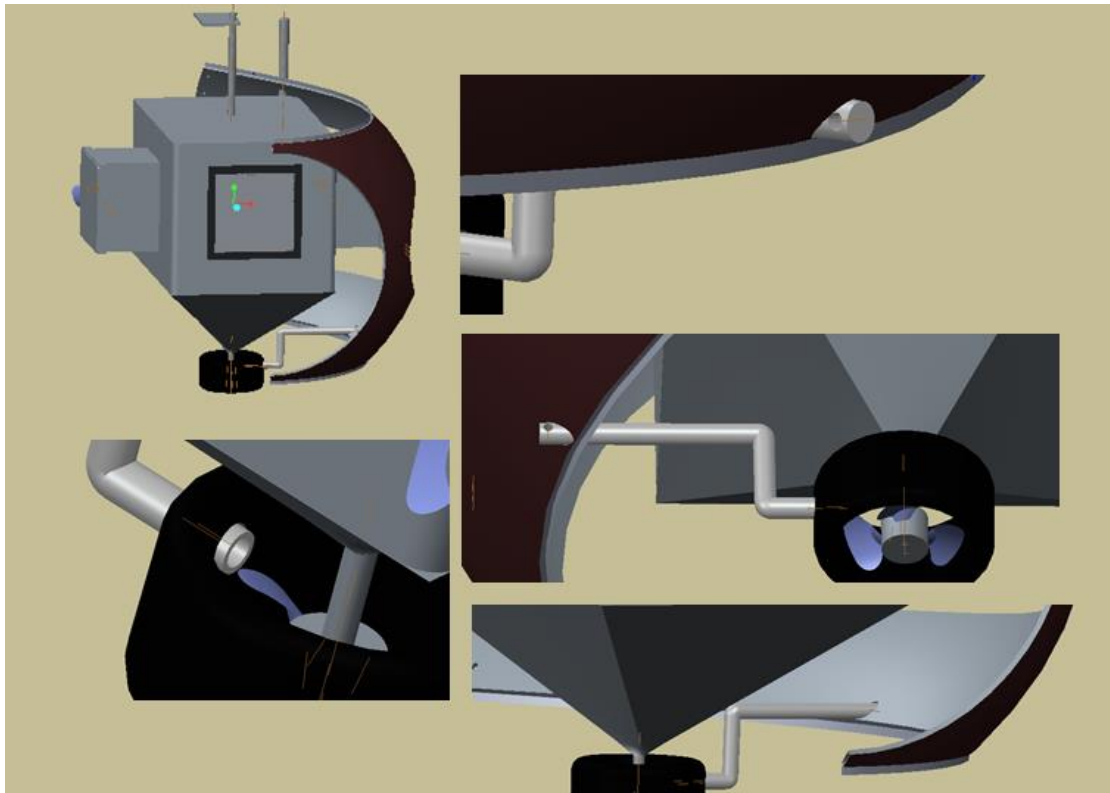
Εικόνα 4.33: 6--> κύλινδρος κάτω προπέλας

Για την τοποθέτηση και στήριξη του στη συγκεκριμένη θέση είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός νέου εξαρτήματος, εικόνα 4.34, το οποίο θα διαπερνά τον κύλινδρο από τη μια πλευρά και το κεντρικό κομμάτι 1 του περιβλήματος από την άλλη.

Κατάλληλες οπές κατασκευάστηκαν και στα δύο, όπου θα "σφραγιστούν" με κλιπς από την πλευρά του κυλίνδρου και βίδα με παξιμάδι από την μεριά του περιβλήματος, εικόνα 4.35.



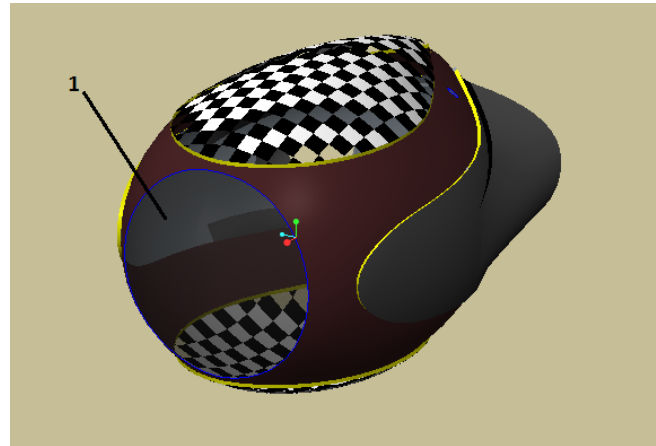
Εικόνα 4.34: Συμπληρωματικό εξάρτημα 2.



Εικόνα 4.35: Παρουσίαση τοποθέτησης συμπληρωματικού εξαρτήματος 2. Μπροστινή πλάγια όψη και όψεις σε μεγέθυνση για την καλύτερη κατανόηση.

#### 4.1.6 Συναρμολόγηση τζαμιού

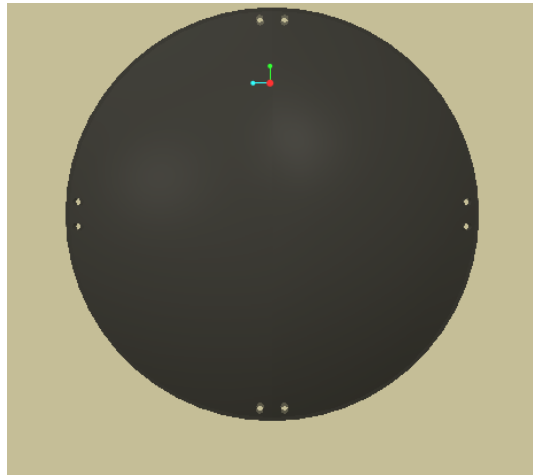
Το επόμενο κομμάτι που θα συναρμολογηθεί είναι το τζάμι-plexiglass, το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 4.36.



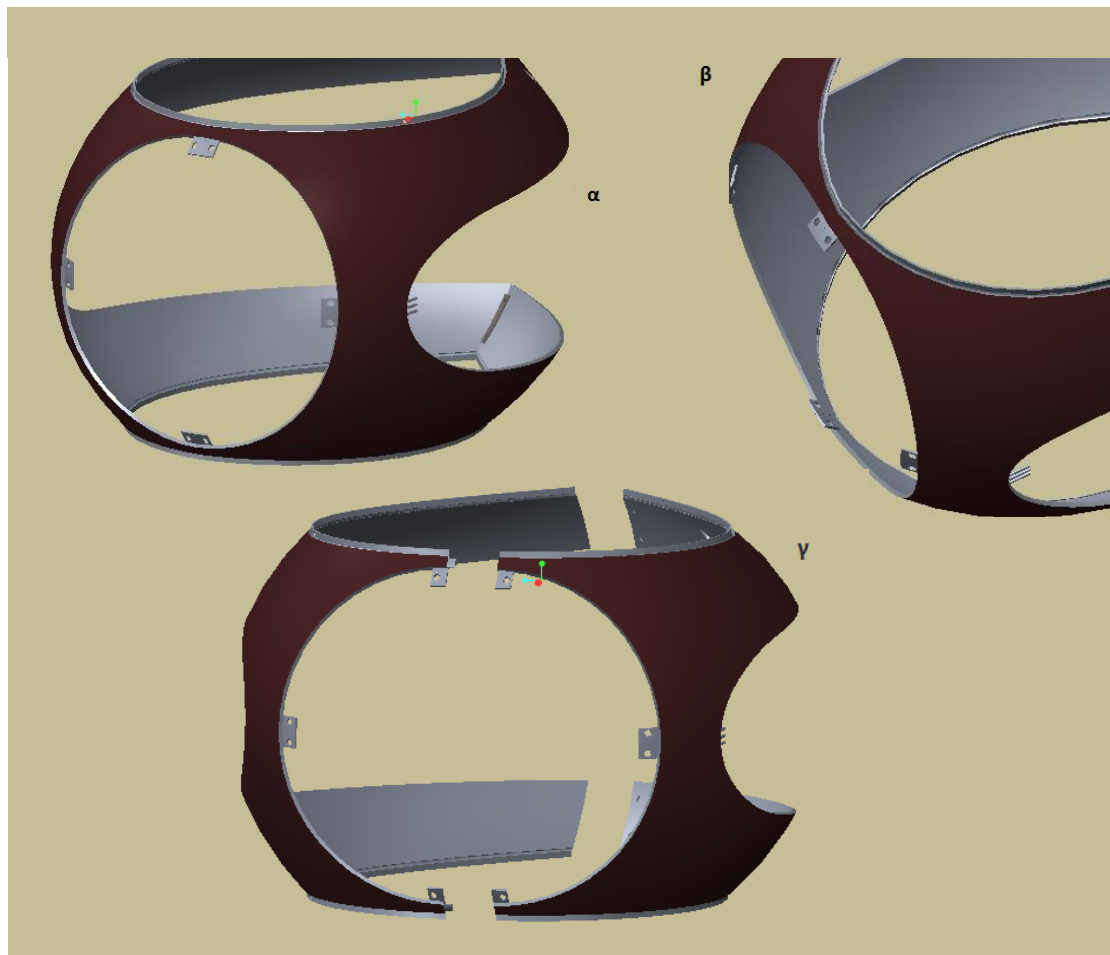
Εικόνα 4.36: 1--> τζάμι-plexiglass

Το plexiglass δεν μπορεί να κολληθεί με στεγανωτικό υλικό, αφού αυτό δε θα καθιστά δυνατή την αποσυναρμολόγηση των κομματιών εάν κριθεί αναγκαίο. Στο plexiglass δημιουργήθηκαν δύο οπές σε τέσσερα σημεία όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 4.37. Στην συνέχεια στο κεντρικό κομμάτι 1 δημιουργήθηκαν προεκτάσεις με δύο οπές σε τέσσερα σημεία αντίστοιχα με εκείνα που δημιουργήθηκαν οι οπές στο plexiglass, εικόνα 4.38.

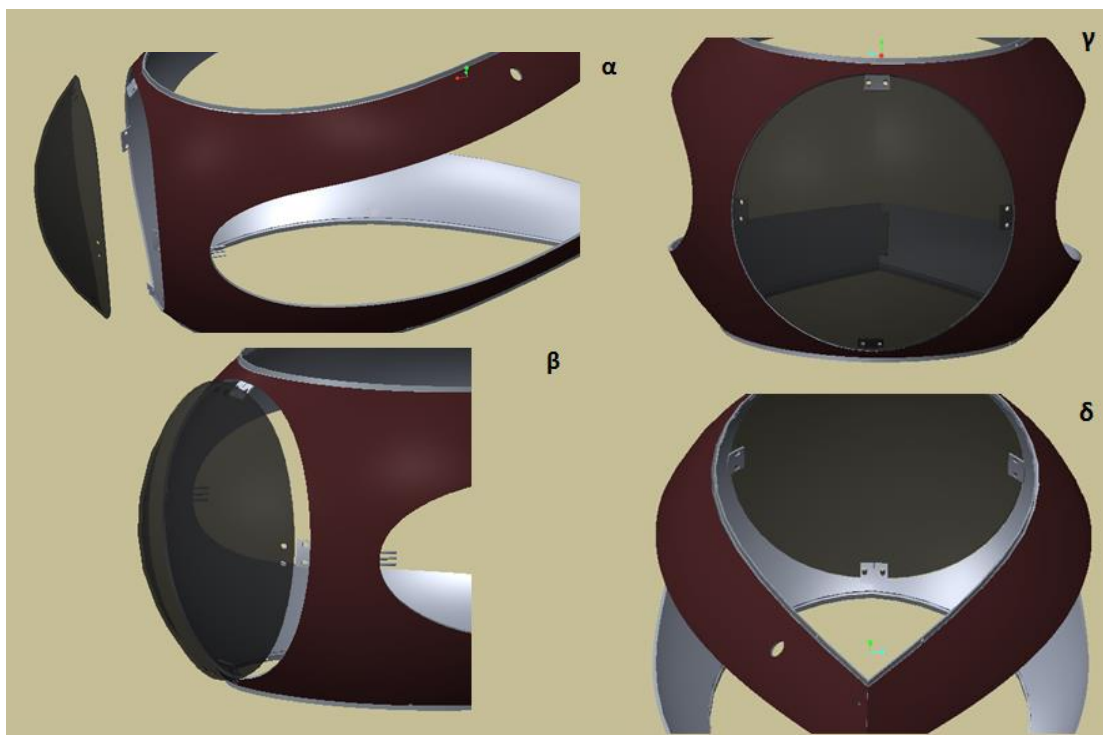
Ο σκοπός των προεκτάσεων είναι ότι καθώς το plexiglass τοποθετείται πάνω στο κεντρικό κομμάτι 1 για την συναρμολόγηση, οι οπές τόσο στο plexiglass όσο και στο κεντρικό κομμάτι 1 ταυτίζονται και σφραγίζονται με τη βοήθεια βιδών και παξιμαδιού, εικόνα 4.39.



Εικόνα 4.37: Το τζάμι plexiglass μετά από δημιουργία δύο οπών σε τέσσερα σημεία.



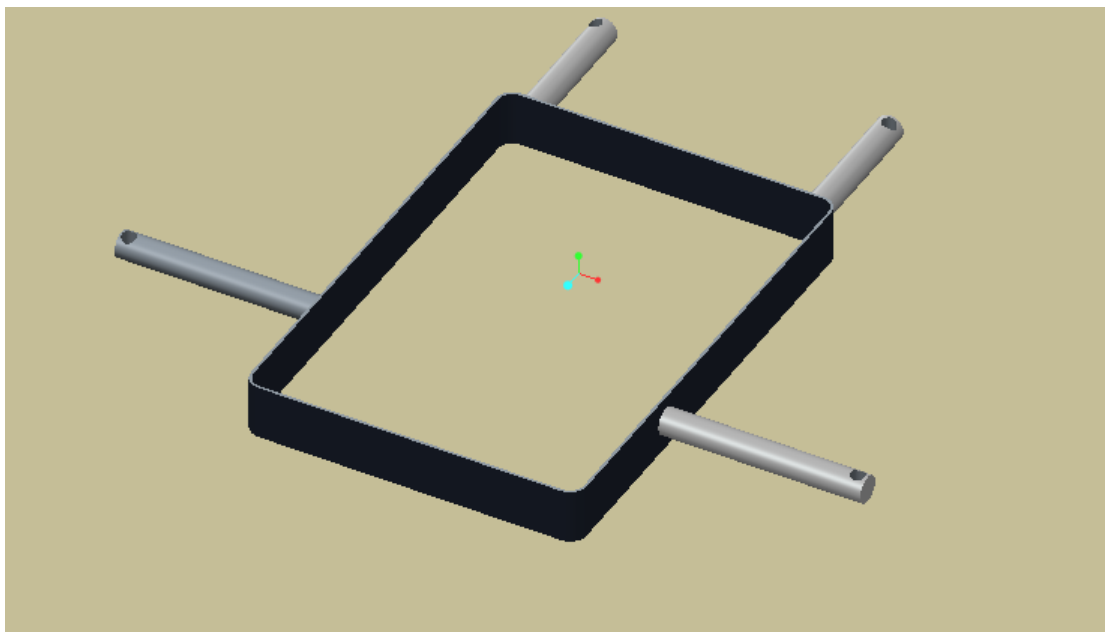
Εικόνα 4.38: Δημιουργία προέκτασης σε τέσσερα σημεία με δύο τρύπες. Σε δύο σημεία η προέκταση χωρίζεται στη μέση, α) μπροστινή πλάγια όψη, β) πλάγια κάτοψη, γ) μπροστινή πλάγια όψη αποσυναρμολογημένου κεντρικού κομματιού 1 για την κατανόηση των προεκτάσεων.



Εικόνα 4.39: Τοποθέτηση τζαμιού- plexiglass πάνω στο κεντρικό κομμάτι 1, α) αριστερή πλάγια όψη λίγο πριν την τοποθέτηση, β) αριστερή πλάγια όψη όπου το plexiglass ακουμπάει πάνω στις προεκτάσεις, γ) μπροστινή όψη της συναρμολόγησης όπου οι οπές έχουν ταυτιστεί, δ) πίσω όψη όπου φαίνονται οι προεκτάσεις πάνω στο plexiglass από τη μέσα πλευρά.

## 4.2 Στήριξη μεταλλικού μέρους υποβρυχίου με περίβλημα

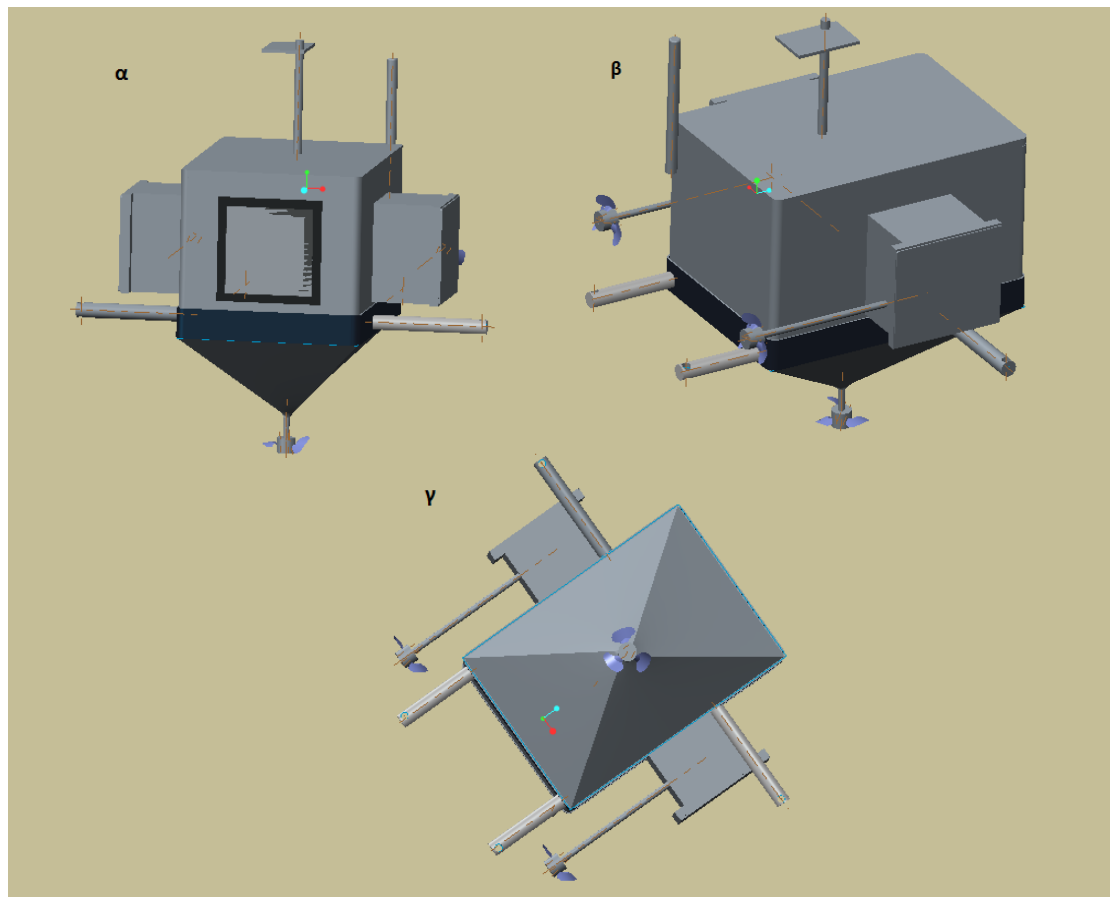
Ένα από τα κύρια ζητήματα της εργασίας ήταν ότι το περίβλημα που σχεδιάστηκε θα έπρεπε να μπορέσει να στηριχτεί με το κεντρικό μεταλλικό μέρος του υποβρυχίου του εργαστηρίου που περιεγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για να επιτευχθεί αυτό σχεδιάστηκε ένα επιπλέον εξάρτημα το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 4.40.



Εικόνα 4.40: Συμπληρωματικό εξάρτημα 3

Αποτελείται από ένα παραλληλόγραμμο στερεό πάχους 1mm και τέσσερις μπάρες με τρύπες. Οι διαστάσεις παραλληλογράμμου είναι ίδιες με του κεντρικού μεταλλικού μέρους του υποβρυχίου, ώστε να "σφηνώνει" πάνω σε αυτό στο κάτω μέρος του.

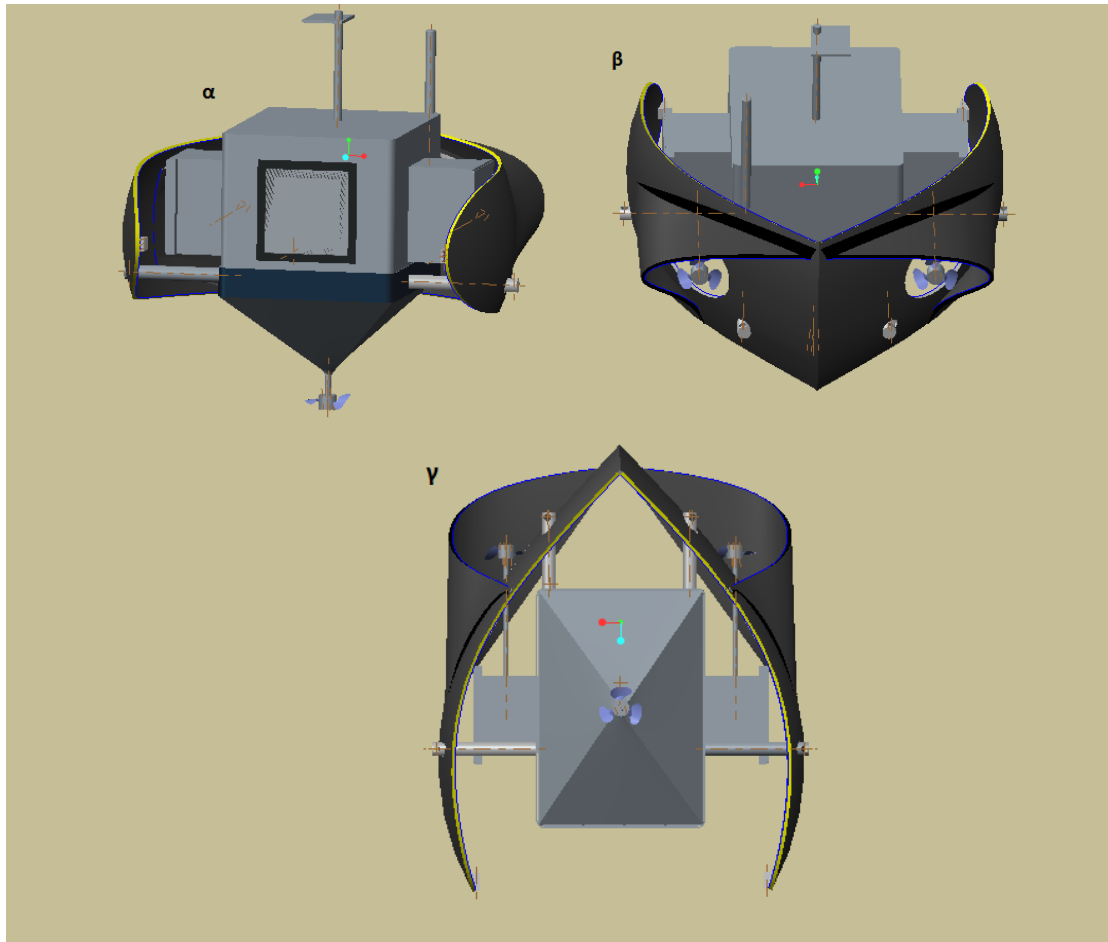
Οι τέσσερις μπάρες θα διαπερνάνε το περίβλημα σε τέσσερα σημεία, συγκεκριμένα στο κεντρικό κομμάτι 2, και οι τρύπες θα "σφραγιστούν" με βίδα και παξιμάδι. Επίσης, στο κεντρικό κομμάτι 2 δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες οπές. Παρακάτω στην εικόνα 4.41 φαίνεται η τοποθέτηση πάνω στο μεταλλικό μέρος.



Εικόνα 4.41: Τοποθέτηση μεταλλικού εξαρτήματος 3, α) μπροστινή πλάγια όψη, β) πλάγια πίσω όψη, γ) κάτοψη κάτω πλευράς.

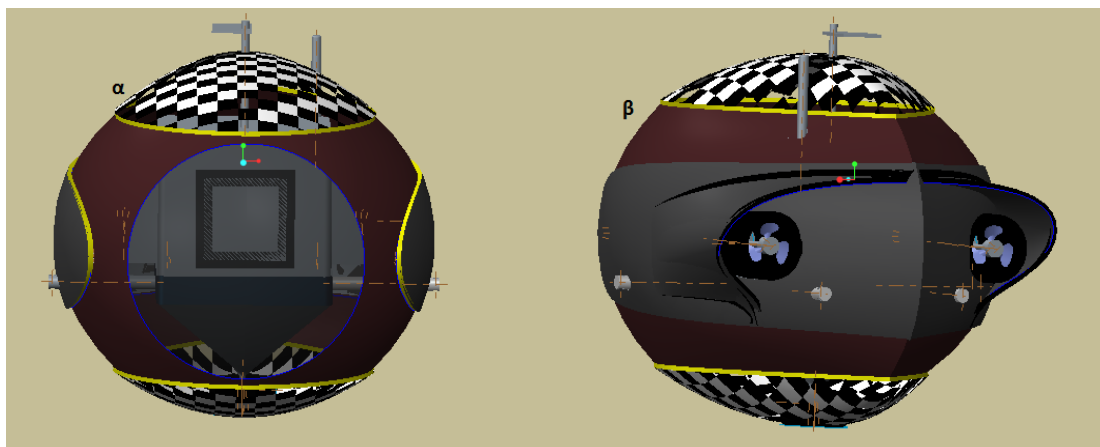


Στην εικόνα 4.42 φαίνεται η σύνδεση με το κεντρικό κομμάτι 2.



Εικόνα 4.42: Τοποθέτηση κεντρικού κομματιού 2 στην κατασκευή, α) μπροστινή πλάγια όψη, β) πίσω πλάγια όψη, γ) κάτοψη κάτω μέρους.

Τέλος, στην εικόνα 4.43 παρουσιάζεται η σύνδεση με το περίβλημα.



Εικόνα 4.43: Ένωση περιβλήματος με το συμπληρωματικό εξάρτημα 3, α) μπροστινή όψη, β) πίσω πλάγια όψη.

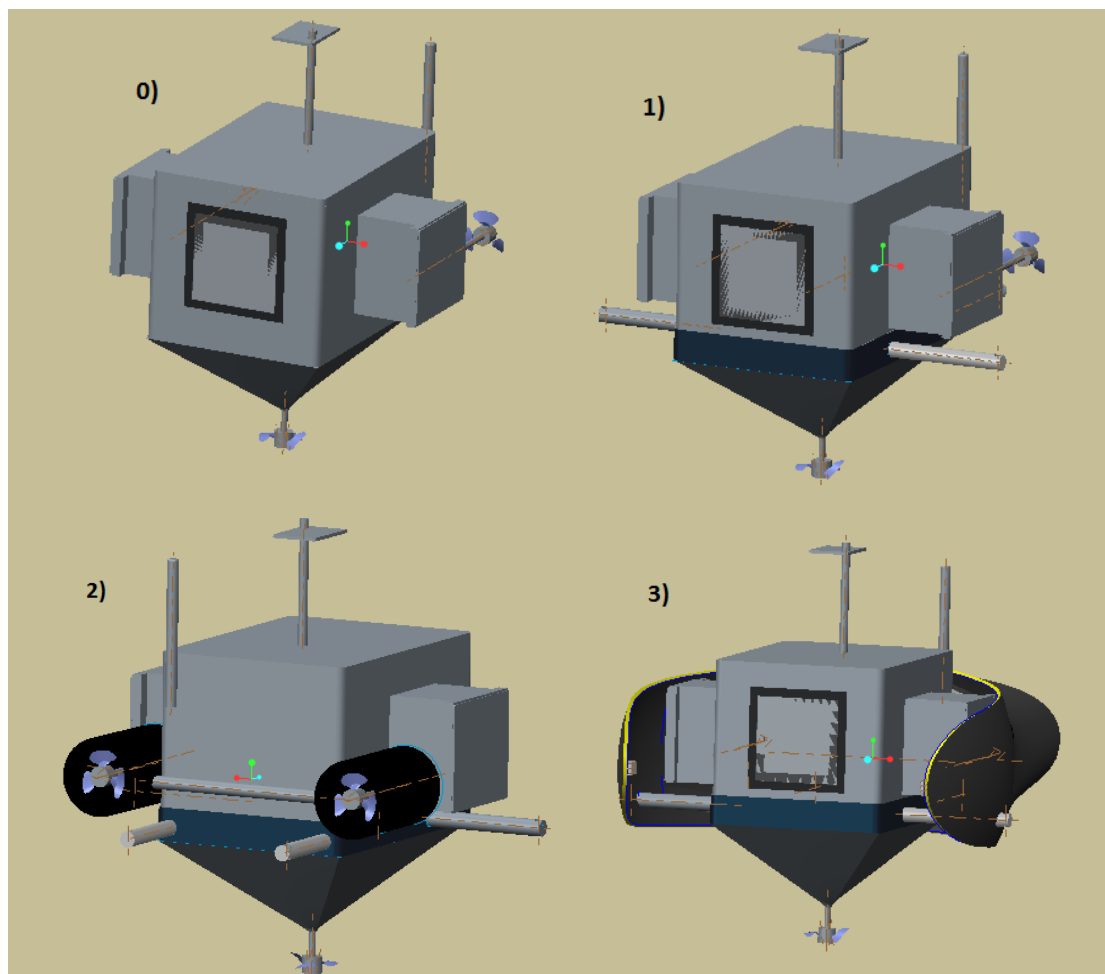
### 4.3 Σειρά της συναρμολόγησης

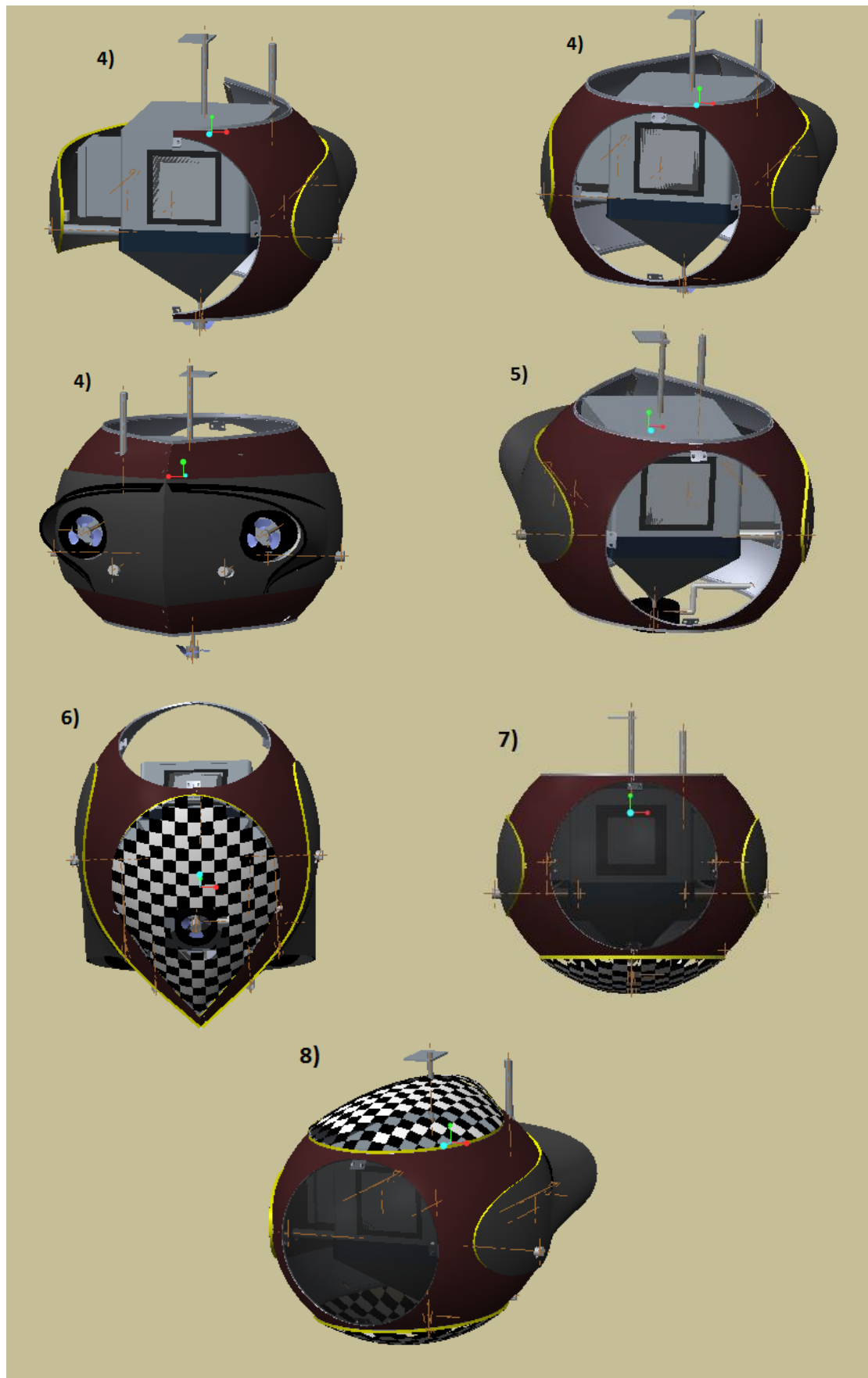
Για να μπορέσει η συναρμολόγηση να επιτευχθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο θα πρέπει όλα τα παραπάνω μέρη και εξαρτήματα να τοποθετηθούν με συγκεκριμένη χρονική σειρά. Η προτεραιότητα και η σειρά των βημάτων που θα ακολουθηθούν για την επιτυχημένη συναρμολόγηση παρουσιάζεται παρακάτω.

1. Πρώτα θα συναρμολογηθεί το συμπληρωματικό εξάρτημα 5 με το μεταλλικό μέρος του υποβρυχίου, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.
2. Στη συνέχεια, θα τοποθετηθούν οι κύλινδροι στις πλαϊνές προπέλες με τη βοήθεια του συμπληρωματικού εξαρτήματος 2.
3. Έπειτα, τοποθετείται το κεντρικό κομμάτι 2 στο οποίο θα στηριχθεί το εξάρτημα 5 σε τέσσερα σημεία, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.
4. Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω, θα πραγματοποιηθεί η συναρμολόγηση του κεντρικού κομματιού 1. Ξεκινώντας τοποθετείται ένα από τα δύο κομμάτια του κεντρικού κομματιού 1 μέσα στο κεντρικό κομμάτι 2, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία και με το άλλο κομμάτι του κεντρικού κομματιού 1, τα κομμάτια ενώνονται και σφραγίζονται με τον τρόπο που παρουσιάστηκε παραπάνω στο σημείο των προεκτάσεων.

5. Το επόμενο στάδιο συναρμολόγησης περιλαμβάνει την τοποθέτηση του κυλίνδρου της κάτω προπέλας, η οποία ενώνεται με τη βοήθεια του συμπληρωματικού εξαρτήματος 3 τόσο στο κύλινδρο όσο και πάνω στο κεντρικό κομμάτι 1.
6. Συνεχίζοντας, θα τοποθετηθεί το κάτω μέρος "σκακίερα" με τον τρόπο που παρουσιάστηκε παραπάνω.
7. Έπεται η τοποθέτηση του τζαμιού-plexiglass πάνω στο κεντρικό κομμάτι 1 με τη βοήθεια των προεκτάσεων, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.
8. Και τέλος ολοκληρώνεται η συναρμολόγηση με την τοποθέτηση του πάνω μέρους "σκακίερα".

Για καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας στην εικόνα 4.44 δίδονται συνοπτικά τα παραπάνω 8 βήματα.





Εικόνα 4.44: Συναρμολόγηση σε βήματα.

## Συμπεράσματα

Το περίβλημα που κατασκευάστηκε ικανοποιεί τις βασικές υδροδυναμικές αρχές με σκοπό την λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι το στρογγυλό μπροστινό του μέρος, το αιχμηρό πίσω άκρο και γενικά οι στρογγυλεμένες-εξομαλυμένες ακμές του. Ιδιαίτερο σημείο της κατασκευής είναι η σκακιέρα που δημιουργήθηκε με σκοπό κάποια τετράγωνα να είναι κενά ώστε να επιτρέπει την είσοδο του νερού στο εσωτερικό του.

Στη συνέχεια, με σκοπό τη τρισδιάστατη εκτύπωση και την επιλογή των κατάλληλων υλικών κρίθηκε απαραίτητο να αντικατασταθεί το μπροστινό τζάμι του περιβλήματος με ένα άλλο αντίστοιχο υλικό με εξίσου μεγάλη διαφάνεια, υποστηριζόμενο από τρισδιάστατους εκτυπωτές. Τα επιμέρους κομμάτια του περιβλήματος αποσυναρμολογήθηκαν ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της εκτύπωσης.

Τέλος, για την συναρμολόγηση των επιμέρους κομματιών κρίθηκε απαραίτητη η κατασκευή συμπληρωματικών εξαρτημάτων ενώ τα ήδη υπάρχοντα σχέδια εμπλουτίστηκαν με νέα χαρακτηριστικά. Η τοποθέτηση κάθε κομματιού και εξαρτήματος γίνεται με συγκεκριμένη σειρά αφού είναι ειδικά σχεδιασμένα να "χωρέσουν" ακριβώς στη θέση τους με τη βοήθεια του ανθρώπινου χεριού.

## Βιβλιογραφία

- [1] «Woods Hole Oceanographic,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.whoi.edu/main/auvs>.
- [2] Thor.I.Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles, New York: Wiley, 1994.
- [3] M. N. Hval, «Modelling and control of underwater inspection vehicle for aquaculture sites,» june 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:566932/FULLTEXT01.pdf>.
- [4] O. , , Munson, Fundamentals of Fluid Mechanics, Wiley, 2013.
- [5] S.F.Hoerner, «Fluid-Dynamic Drag,» 1965. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://docs.google.com/file/d/0Bx0MqOfev7dnTnB0eFRIN2JQb0k/edit?pli=1>.
- [6] S. Piperidis, «Autonomous Underwater Robots' Cooperative Behaviour,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/F711E594-2F41-4D39-9576-2984D7AF638F>.
- [7] «Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=3d\\_printer:3d\\_printer](http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=3d_printer:3d_printer).
- [8] «sculpteo,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/>.
- [9] «Form Futura,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.formfutura.com/175mm-crystal-flex.html>.