

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Διπλωματική εργασία

Σχεδίαση αεροδυναμικού κελύφους για μη επανδρωμένο
όχημα κάθετης προσγείωσης-απογείωσης



ΓΚΑΣΤΗ ΜΑΡΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας, υπήρξαν αρκετοί άνθρωποι, οι οποίοι συνέβαλλαν στην ολοκλήρωσή της, ο καθένας με τον δικό του τρόπο. Θεωρώ απαραίτητο λοιπόν να αφιερώσω μερικές γραμμές σε αυτούς, για να τους ευχαριστήσω ξεχωριστά.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, Καθηγητή κ. Νίκο Τσουρβελούδη, για την καθοδήγησή του καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας και την ουσιαστική συμβολή του στη διαμόρφωση αυτής, με τις σκέψεις, παρατηρήσεις και διορθώσεις του σε κάθε προβληματισμό μου.

Τον κ. Πολυχρόνη Σπανουδάκη υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για τη συνεχή βοήθεια σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή του ζητήθηκε, τις πολύτιμες παρατηρήσεις του, και την άψογη συνεργασία του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, γιατί στέκεται πάντα δίπλα μου και η βοήθεια και στήριξή της είναι ανεκτίμητη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 ΣΚΟΠΟΣ
- 1.2 ΣΤΟΧΟΣ
- 1.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ
- 1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΓΕΝΙΚΑ
- 1.5 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

- 2.1 ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ
- 2.2 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ
 - 2.2.1 ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ
 - 2.2.2 ΥΑΛΟΝΗΜΑΤΑ
 - 2.2.3 ΡΗΤΙΝΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

- 3.1 ΓΕΝΙΚΑ
- 3.2 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΛΑΚΕΤΑ
- 3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ GUMSTIX OVERO
- 3.4 WIFI
- 3.5 ΚΑΜΕΡΑ
- 3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ
- 3.7 ΚΑΡΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 3.8 2.4GHZ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
- 3.9 ΔΟΜΗ
- 3.10 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΗ
- 3.11 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ
- 3.12 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ

- 4.1 ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ-ΔΟΜΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ
- 4.2 ΒΑΣΗ
 - 4.2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΣΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΒΑΣΗ
- 4.3 ΚΑΘΕΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΚΕΛΕΤΟΥ
- 4.4 ΘΗΚΗ ΚΑΜΕΡΑΣ
- 4.5 ΠΛΑΙΝΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ
- 4.6 ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

- 4.7 ΒΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
- 4.8 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ
- 4.9 ΚΙΝΗΤΗΡΙΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ
- 4.10 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ
- 4.11 ΑΞΟΝΑΣ ΜΕΤΑΛΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ
 - 4.11.1 ΚΟΜΒΟΙ ΚΑΙ ΑΡΠΑΓΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ
 - 4.11.2 ΠΤΕΡΥΓΙΑ
- 4.12 ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ
- 4.13 ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
- 4.14 ΣΤΗΡΙΞΗ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ
- 4.15 ΜΠΑΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

- 5.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ
- 5.2 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ
- 5.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ
- 5.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

- 6.1 ΓΕΝΙΚΑ
- 6.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
 - 6.2.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ
 - 6.2.2 ΘΕΩΡΙΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
 - 6.2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
- 6.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
 - 6.3.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ (ΑΙΩΡΗΣΗ)
 - 6.3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΒΑΣΜΑ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ
 - 6.3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΠΤΗΣΗΣ
 - 6.3.4 GROUND EFFECT
- 6.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
- 6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Ο κυρίως σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση ενός αεροδυναμικού κελύφους, το οποίο θα προστατεύει τον εσωτερικό μηχανισμό ενός ομοαξονικού ρομποτικού ελικοπτέρου, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, καθώς επίσης και σε τυχόν πτώση του και πρόσκρουσή του με το έδαφος. Η σχεδίαση θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες τεχνικές λεπτομέρειες ώστε το σχεδιαζόμενο αεροδυναμικό περίβλημα-κέλυφος να προσαρμόζεται πλήρως σε πραγματικό και εμπορικά διαθέσιμο ιπτάμενο ρομποτικό σκάφος εσωτερικού χώρου.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ

Στόχος της σχεδίασης είναι να δημιουργηθεί το βέλτιστο κέλυφος, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς που αφορούν τη σωστή λειτουργία του ελικοπτέρου. Ο πρώτος από αυτούς είναι ο όγκος, ο οποίος πρέπει να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος. Ο δεύτερος είναι η αντοχή του, που αφορά τη σωστή επιλογή υλικού. Επίσης, από το υλικό εξαρτάται και το βάρος του, το οποίο είναι το σημαντικότερο ζήτημα για τη δημιουργία και τη χρήση του κελύφους. Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στη σωστή τοποθέτησή του πάνω στο σκελετό του ρομπότ, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο θα στηρίζεται αλλά και θα ασφαλίσει πάνω στην συναρμολόγηση. Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση και η ανάλυση της μηχανικής του προβλήματος, τότε μπορούμε να μεταβούμε στο επόμενο στάδιο, που είναι η κατασκευή.

1.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται εισαγωγή και αναφορά στη χρήση και λειτουργία του ομοαξονικού ελικοπτέρου «Coax eye». Περιγράφεται ο στόχος αυτής της εργασίας και αναφέρονται οι περιορισμοί σχεδίασης που συνεκτιμήθηκαν. Γίνεται λόγος για τα προτεινόμενα υλικά της κατασκευής του κελύφους, καθώς επίσης σχεδιάζεται και η συναρμολόγηση του ελικοπτέρου. Ακολουθούν οι εναλλακτικές επιλογές σχεδίων του κελύφους και των τρόπων προσαρμογής τους στο ελικοπτερο. Στη συνέχεια, αξιολογούνται οι εναλλακτικές σχεδιάσεις με στόχο τον εντοπισμό των μειονεκτημάτων στην κάθε περίπτωση και επανασχεδίαση με σκοπό την εξάλειψη όλων των ευρεθέντων αδυναμιών. Μέσα από αυτή την επαναλαμβανόμενη διαδικασία, καταλήγουμε στο κατάλληλο σχέδιο, το οποίο θα εφαρμοστεί και στην πράξη. Αφού έχει ολοκληρωθεί και καθοριστεί με ακρίβεια η τελική μορφή του κελύφους, θα γίνει η αεροδυναμική και η μηχανική του ανάλυση, με τις φορτίσεις που δέχεται κατά την πτήση, προσγείωση, απογείωση, αλλά και ενδεχόμενη πτώση. Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο την πιστοποίηση της ορθότητας/καταλληλότητας του κελύφους ως ένα προστατευτικό μέσο για το ρομπότ.

1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΓΕΝΙΚΑ

Τα ελικόπτερα είναι αεροσκάφη που λειτουργούν με την συνεχόμενη περιστροφή των πτερυγίων τους και έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών τόσο πολιτικών όσο και στρατιωτικών. Η χρησιμότητά τους βασίζεται στην μοναδική ικανότητά που έχουν να απογειώνονται και να προσγειώνονται κάθετα, να αιωρούνται ακίνητα σχετικά με το έδαφος και να πετάνε προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτή η μοναδική ιδιότητα που έχουν στην ευκολία της επιλογής της κατεύθυνσης της πορείας τους ωστόσο, έχει και το ανάλογο τίμημα, περιλαμβάνοντας πολύπλοκα αεροδυναμικά προβλήματα, σημαντικές δονήσεις, υψηλά επίπεδα θορύβου και σχετικά μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας συγκριτικά με ένα αεροσκάφος σταθερών πτερυγίων.

Με τον όρο ομοαξονικό ελικόπτερο εννοούμε ένα ζευγάρι από ρότορες, που βρίσκονται ο ένας κάτω από τον άλλο, δηλαδή είναι ομόκεντροι με κοινό άξονα περιστροφής, αλλά διαφορετική διεύθυνση.

Το ομοαξονικό ελικόπτερο «Coax eye» είναι ένα μικρού μεγέθους ρομπότ, που χρησιμοποιείται κυρίως για εργαστηριακές εφαρμογές. Η χρήση του όμως δεν περιορίζεται μόνο εκεί. Η λειτουργία του με απομακρυσμένο έλεγχο, δίνει αμέσως το ισχυρό πλεονέκτημα στον άνθρωπο να κάνει χρήση του σε σημεία που ο ίδιος δεν θα μπορούσε να πάει. Έτσι, οι εφαρμογές του χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τις επαγγελματικές και τις εκπαιδευτικές [1], οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

Επαγγελματικές εφαρμογές του Coax eye:

- Επιτήρηση-επίβλεψη οδικής κυκλοφορίας
- Περίπολος πελατών
- Αναζήτηση επιζώντων χιονοστιβάδας
- Επιτήρηση-επίβλεψη φωτιάς
- Προειδοποιητική μηχανή φυσικών καταστροφών
- Συλλέκτης πληροφοριών εσωτερικού/εξωτερικού χώρου (κυρίως για την αστυνομία)
- Έλεγχος θορύβου
- Χαρτογράφηση εδάφους
- Εναέρια φωτογράφιση

Εκπαιδευτικές εφαρμογές του Coax eye:

- Έλεγχος πραγματικού χρόνου
- Αυτόνομη πλοήγηση
- Μη γραμμικά συστήματα
- Γραμμικοποίηση συστημάτων
- Ανάλυση συχνότητας πεδίων
- Θεωρία υπολογισμού
- HIL (Hardware in the loop)
- Έλεγχος πολυμεταβλητών συστημάτων
- Δυναμικές μοντελοποιήσεις και εξακρίβωση στοιχείων

1.5 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΩΝ

Για παρόμοια χρήση και ίδιες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί και άλλα μικρού μεγέθους ελικόπτερα, τα οποία έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά στοιχεία με το «Coax eye», τόσο στην λειτουργία τους, όσο και στον περιφερειακό εξοπλισμό τους. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται μερικές μορφές μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων.

Η πρώτη από αυτές είναι το όχημα Aibot X6, της εταιρίας Aibotix [2]. Πρόκειται για ένα ελικόπτερο με τρία διατεταγμένα ζεύγη πλαϊνών στροφείων. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, ο κυρίως μηχανισμός βρίσκεται στο κέντρο, διαθέτει στήριξη αλλά και κάμερα. Ακριβώς την ίδια δομή έχει και το όχημα Aibot XU της ίδιας εταιρίας με τη μόνη διαφοροποίηση ότι δεν διαθέτει κέλυφος, το οποίο προστατεύει τα έξι στροφεία. Αν και αυτή η διάταξη δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλής, έχει το σημαντικό πλεονέκτημα να είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη, αφού ακόμα και σε μια ενδεχόμενη μηχανική βλάβη έχει την δυνατότητα να προσγειωθεί με ασφάλεια.



Aibot X6



Aibot XU

Εικόνα 1.1 . Διάταξη πλαϊνών στροφείων.

Εικόνα 1.2 . Διάταξη πλαϊνών στροφείων χωρίς κέλυφος.

Μια δεύτερη μορφή οχήματος είναι αυτό που παρουσιάζεται παρακάτω, και είναι αποτέλεσμα έρευνας των πανεπιστημίων Stanford και Cornell των Ηνωμένων Πολιτειών [3]. Αποτελείται από ένα σύστημα δυο ομοαξονικών στροφείων, καθώς επίσης διαθέτει και κάμερα στο μπροστινό μέρος. Το πλεονέκτημα αυτού του ελικοπτέρου είναι ότι η λειτουργία του με απομακρυσμένο έλεγχο, μπορεί να είναι εφικτή ακόμα και σε στενό εσωτερικό χώρο.



Εικόνα 1.3 . Διάταξη ομοαξονικών στροφείων ίδιου μεγέθους.

Το τελευταίο μη επανδρωμένο όχημα που παρουσιάζεται, μοιάζει αρκετά με το «Coax eye» και είναι της εταιρίας Road Narrows Skybotics [4]. Έχει ακριβώς την ίδια στήριξη, είναι ομοαξονικό και διαθέτει ένα τοπικό προστατευτικό κέλυφος, όπως φαίνεται στην εικόνα. Η μεγαλύτερη διαφορά του με το «Coax eye», είναι το μέγεθος των πτερυγίων των δύο στροφείων. Όπως βλέπουμε ο χαμηλότερος ρότορας, που λειτουργεί ως βοηθητικός, έχει αισθητά μικρότερη ακτίνα από τον πάνω.



Εικόνα 1.4 . Διάταξη ομοαξονικών στροφείων διαφορετικού μεγέθους.

Φυσικά στην αγορά υπάρχουν ακόμα περισσότερα μοντέλα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται. Αυτά που παρουσιάστηκαν είναι μόνο ένα μικρό δείγμα για τα είδη που κυκλοφορούν στην παγκοσμίως. Τέλος, η ποικιλία είναι πολύ μεγαλύτερη, τόσο στην δομή της κατασκευής τους, όσο και στις δυνατότητες που παρέχει η τεχνολογία τους. Εκτενής ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς των μη επανδρωμένων παρουσιάζεται στην [15].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

2.1 ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Η έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε αφορά το υλικό το οποίο προορίζεται να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του κελύφους. Συλλέγοντας δεδομένα από άλλες εταιρίες που κατασκευάζουν τέτοιων διαστάσεων ελικόπτερα και ίδιας χρήσης, συγκεντρώνουμε τις διάφορες επιλογές μας. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αυτό το είδος των κατασκευών είναι μέταλλα, όπως το αλουμίνιο, το ατσάλι, κράματα χάλυβα, τιτάνιο και σύνθετα υλικά, από τα οποία ξεχωρίζουν τα ανθρακονήματα και το υαλονήματα [6]. Στη συνέχεια, μια πρώτη εκτίμηση αυτών των εναλλακτικών θα γίνει με βάση τους περιορισμούς που έχουν τεθεί στην παράγραφο 1.2, δηλαδή της αντοχής και του βάρους. Τα σύνθετα υλικά είναι εμφανώς ελαφρύτερα από τα μέταλλα και έχουν εξίσου καλή ανθεκτικότητα. Το μέγεθος που μας ενδιαφέρει, δεν είναι τόσο η απόλυτη αντοχή του υλικού, αλλά η ειδική αντοχή, δηλαδή ο λόγος της αντοχής προς την πυκνότητα. Έτσι, απορρίπτοντας τα μέταλλα λόγω της ειδικής αντοχής τους και του βάρους τους, έχουμε καταλήξει σε μια σειρά σύνθετων υλικών με παρόμοιες ιδιότητες.

2.2 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Εξ' ορισμού, σύνθετα υλικά, ονομάζονται τα υλικά τα οποία προκύπτουν από τη σύνθεση, σε μακροσκοπική κλίμακα, δύο ή περισσότερων υλικών με σκοπό την απόκτηση καλύτερων και χρησιμότερων ιδιοτήτων. Το σύνθετο υλικό είναι ανομοιογενές και ανισότροπο [5]. Ανομοιογενές είναι το υλικό του οποίου οι ιδιότητες είναι διαφορετικές από σημείο σε σημείο, ενώ το ανισότροπο συμπεριφέρεται με διαφορετική αντοχή όταν το φορτίο εφαρμόζεται υπό διαφορετικές διευθύνσεις. Επομένως τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι συναρτήσεις του προσανατολισμού σε έκαστο σημείο του υλικού. Για να αποκτηθεί ένα ισότροπο σύνθετο υλικό, επί παραδείγματι από υαλοϋφασμα, είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν περισσότερες στρώσεις υφάσματος υπό διαφορετικές κύριες διευθύνσεις αντοχής έτσι ώστε το υλικό που θα προκύψει να παρουσιάζει την αυτή συμπεριφορά υπό οποιαδήποτε διεύθυνση του εφαρμοστεί το φορτίο. Αντιθέτως με τα σύνθετα υλικά, τα μεταλλικά υλικά θεωρούνται ομοιογενή και ισότροπα. Το βασικότερο πλεονέκτημα των σύνθετων έναντι άλλων υλικών (μεταλλικών, πλαστικών, κεραμικών κτλ.) είναι η δυνατότητα απόκτησης της επιθυμητής αντοχής κατά τη διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου μέσω της απλής διεύθυνσης, προσανατολισμού, των νημάτων του υφάσματος. Εάν η διεύθυνση του φορτίου είναι σταθερή, τότε είναι εύλογο να χρησιμοποιηθεί υφασμα μίας κύριας διεύθυνσης στο οποίο τα κύρια νήματα είναι τοποθετημένα κατά μία μόνο διεύθυνση έτσι ώστε η μέγιστη αντοχή του υφάσματος να είναι κατά τη διεύθυνση αυτή. Σε αυτό τον τύπο υφάσματος υπάρχουν και λίγα δευτερεύοντα, αμελητέας σημασίας νήματα κάθετα προς την κύρια διεύθυνση με σκοπό να συγκρατούν με απλή πλέξη τα κύρια νήματα. Παρακάτω αναφέρονται τα δυο καταλληλότερα υλικά για την κατασκευή μας.

2.2.1 Ανθρακονήματα

Τα ανθρακονήματα πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στις διαστημικές έρευνες της NASA, λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητάς τους και του χαμηλού βάρους τους. Πλέον εξακολουθούν να αποτελούν επαναστατική ιδέα στον τομέα των κατασκευών και η χρήση τους συνεχίζει να διαδίδεται. Στην κατασκευή τους μοιάζουν με ταυαλονήματα, διότι και τα δύο φτιάχνονται από φύλλα νημάτων τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο σε επιστρώσεις. Τα ανθρακονήματα είναι στην πραγματικότητα κλωστές που έχουν πλεχτεί σε ύφασμα και με την πρόσμιξή τους με ρητίνες συνθέτουν το τελικό υλικό. Η υπεροχή του ανθρακονήματος έναντι των μετάλλων είναι ξεκάθαρη, στις ιδιότητες που μας ενδιαφέρουν, αλλά και από τα περισσότερα σύνθετα υλικά. Παρακάτω αριθμούνται τα πλεονεκτήματά του, τα οποία το καθιστούν κατάλληλο για την κατασκευή μας [5].

- 1) Χαμηλό βάρος.
- 2) Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό.
- 3) Αντοχή σε κόπωση, υγρασία και διάβρωση.
- 4) Δέχονται εύκολα κατεργασίες, όπως κοπή, βαφή και επίχρισμα.
- 5) Δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει οποιοδήποτε σχήμα, όσο πολύπλοκα και αν είναι τα καλούπια.
- 6) Η ιδιότητα του να θρυμματίζεται όταν σπάσει, με αποτέλεσμα η ενέργεια της πρόσκρουσης να διασκορπίζεται σε πολλά σημεία, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την σφοδρότητα της σύγκρουσης.
- 7) Υψηλή θερμική αγωγιμότητα.
- 8) Υψηλό σχετικό μέτρο ελαστικότητας.
- 9) Πολύ χαμηλό δείκτης γραμμικής θερμικής παραμόρφωσης.

Τα ανθρακονήματα βρίσκουν συχνή εφαρμογή σε καλύμματα αεροσκαφών και αυτοκινήτων, τμήματα μηχανών (μοτοσυκλετών), σε ποδήλατα, σε εξατμίσεις, αλλά και σε άλλους τομείς όπως επενδύσεις τοίχων και σε φράγματα.

2.2.2 Υαλονήματα

Σε αντίθεση με τα ανθρακονήματα, τα υαλονήματα [5] έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος. Για αυτόν τον λόγο είναι από τα γνωστότερα σύνθετα υλικά. Η χημική σύσταση των ινών τους είναι ίδια με αυτή ενός απλού τζαμιού, δηλαδή πρόκειται για ίνες με πολύ μεγάλη αντοχή. Παρόλα αυτά δεν είναι τόσο εύθραυστα όσο το γυαλί και αυτό διότι έχουν υποστεί κατεργασίες, προκειμένου να δημιουργηθούν πολύ λεπτές ίνες, ώστε το υλικό να έχει την ευκαμψία κλωστής. Η διάμετρος των ινών είναι μικρότερη από αυτήν που μπορεί να επηρεάσει μια ρωγμή, έτσι τα ψεγάδια στην επιφάνεια δεν θα είναι πλέον καταστροφικά. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η ρητίνη που μεταξύ άλλων προστατεύει την επιφάνεια των υαλονημάτων. Στη βιομηχανία των αεροσκαφών, δεν προτιμάται λόγω του αυξημένου βάρους του (παρότι είναι 20% ελαφρύτερο από το αλουμίνιο), αλλά χρησιμοποιείται για την ενίσχυση άλλων σύνθετων υλικών στην περιοχή των πτερυγίων, στα τοιχώματα και τις διαχωριστικές επιφάνειες και στα δάπεδα.

2.2.3 Ρητίνες

Η ρητίνη [5] αποτελεί το έτερον ήμισυ του τελικού προϊόντος, καθώς δένει τις ίνες μεταξύ τους, δίνει το επιθυμητό σχήμα και τις βοηθάει να παραλάβουν αποτελεσματικότερα τις δυνάμεις που προέρχονται από εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη, στρέψη. Υπάρχουν πολλά είδη ρητίνης, αλλά στα συνθετικά υλικά χρησιμοποιούμε τις πολυεστερικές, τις εποξικές και πιο σπάνια τις βινυλεστερικές και τις φαινόλες. Το κλειδί της ποιότητας του τελικού κατασκευάσματος, είναι ο τρόπος εμποτισμού του υφάσματος με τη ρητίνη, και έπειτα η μετατροπή της μορφής της από υγρή σε στερεή. Για να γίνει αυτό αναμιγνύουμε δυο συστατικά: τη ρητίνη, και ανάλογα με το είδος της τον καταλύτη ή το σκληρυντικό. Όταν αναμειχθούν σε σωστή αναλογία τότε γίνεται η χημική αντίδραση που τελικά θα οδηγήσει σε στερεοποίηση του ρευστού με το οποίο είναι εμποτισμένο το ύφασμα. Η στερεοποίηση αυτή, ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, τις αναλογίες και το είδος της ρητίνης, μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες μέχρι και μέρες μέχρι να ολοκληρωθεί. Η αντίδραση που συμβαίνει είναι εξώθερμη, δηλ. κατά τη διαδικασία το υλικό αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον. Οι πιο διαδεδομένες ρητίνες για τα συνθετικά υλικά είναι οι πολυεστερικές και οι εποξικές, αλλά όταν μιλάμε για σωστή κατασκευή fibre carbon ή fibre glass υπάρχει μόνο μια κατηγορία: οι εποξικές ρητίνες. Οι πολυεστερικές είναι φθηνότερες, πιο εύχρηστες λόγω μικρού ιξώδους και στερεοποιούνται γρηγορότερα, όμως οι εποξικές ρητίνες είναι οι πιο κατάλληλες επειδή διαθέτουν πιο μεγάλη μηχανική αντοχή, εκμεταλλεύονται πολύ καλύτερα το ύφασμα, δίνουν στο τελικό προϊόν επιφάνεια καλύτερης ποιότητας, και κατά την πήξη τους συστέλλονται κατά 50% λιγότερο από τις πολυεστερικές (ο όγκος τους μειώνεται γύρω στο 4%, ενώ των πολυεστερικών κυμαίνεται στο 7% με 8 %).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

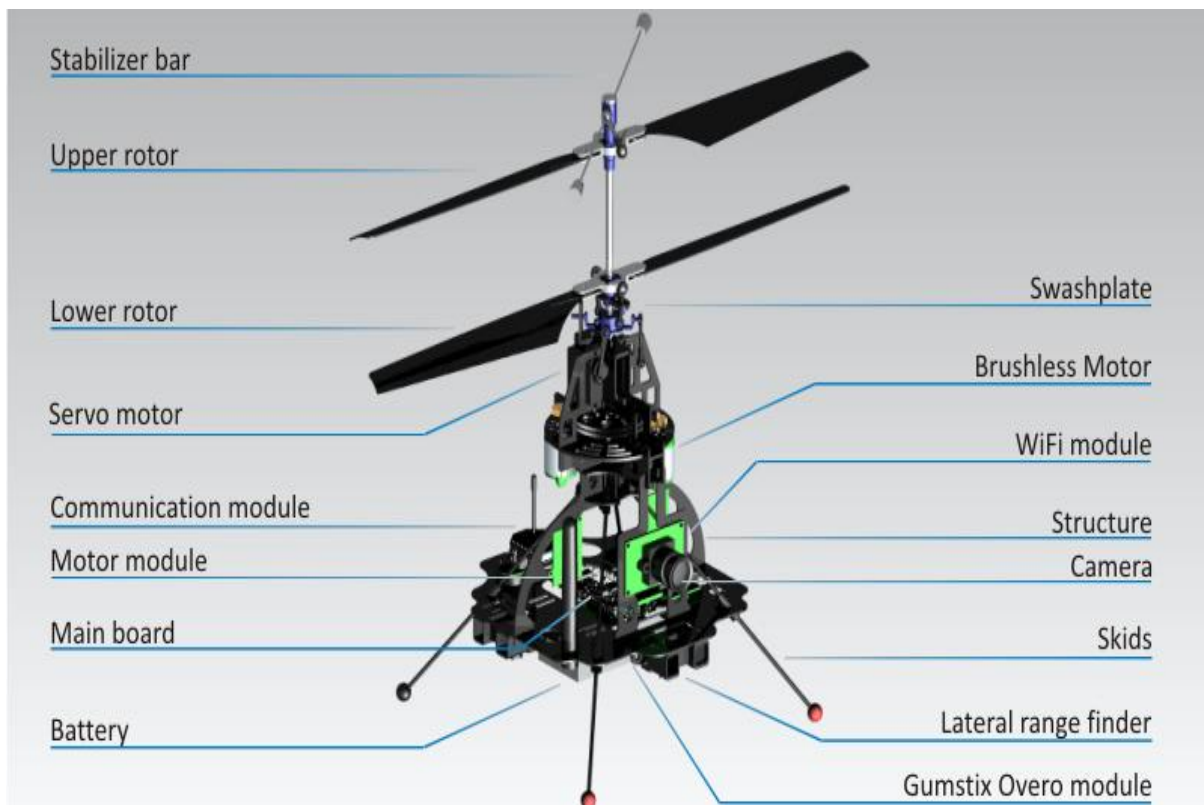
3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται κάποια πολύ βασικά τμήματα του ομοαξονικού ελικοπτέρου [1], μερικά από τα οποία είναι μόνιμα κομμάτια και άλλα απλά λειτουργούν ως πρόσθετη επιλογή για το χρήστη. Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται το ελικόπτερο ακίνητο και σε απλή αιώρηση.



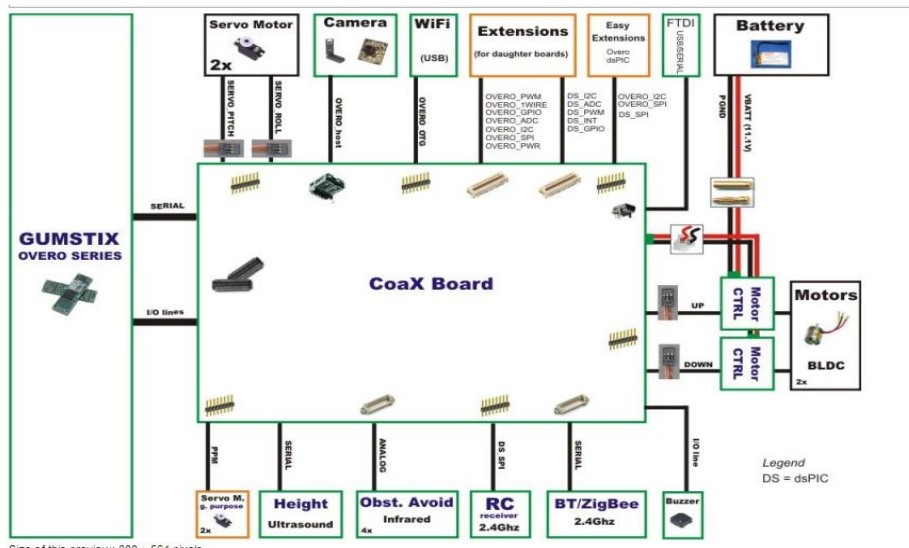
Εικόνα 3.1 . Coax eye σε αιώρηση.

Η Εικόνα 3.2 παρουσιάζει τον περιφερειακό εξοπλισμό του ελικοπτερού Coax eye.



Εικόνα 3.2 . Ονομαστική απεικόνιση περιφερειακού εξοπλισμού.

Το σύστημα του ελικοπτερού έχει χτιστεί γύρω από την κεντρική πλακέτα, η οποία είναι ένα υψηλά ολοκληρωμένο σύστημα ηλεκτρονικών με σημαντικές συνδέσεις με τον περιφερειακό εξοπλισμό, αλλά και με άλλα modules. Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται η διάταξη και ο τρόπος σύνδεσης των περιφερειακών συσκευών γύρω από την κεντρική πλακέτα.



Εικόνα 3.3 . Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικών στοιχείων.

Ο κύριος περιφερειακός εξοπλισμός αποτελείται από τα εξής:

- **Gumstix Overo**, το οποίο είναι συνδεδεμένο μέσω των δυο 70-pin AVX συνδέσεων ακριβώς κάτω από την κεντρική πλακέτα.
- **Camera**, που συνδέεται μέσω της πρώτης μόνιμης USB πύλης που είναι διαθέσιμη στην κεντρική πλακέτα και ενώνεται με την USB OTG του Overo.
- **WiFi**, που ενώνεται με το Overo μέσω της πύλης USB HOST.
- **FTDI**, που συνδέεται μέσω της δεύτερης μόνιμης USB πύλης της κεντρικής πλακέτας και προσφέρει άμεση πρόσβαση στην κονσόλα του Overo. Το FTDI chip είναι τοποθετημένο μέσα στην κεντρική πλακέτα μέσω μιας Picoblade πύλης.
- **BT/ZigBee** είναι το Bluetooth του ρομπότ ή το ZigBee module και είναι απευθείας συνδεδεμένο με την κεντρική πλακέτα.
- **Οι Δευτερεύουσες πλακέτες** έχουν αναπτυχθεί από τους χρήστες του ρομπότ και έχουν τη δυνατότητα να προστίθενται σε αυτό χάριν των δυο υπερυψωμένων συνδέσεων, που βρίσκονται στο πάνω μέρος της κεντρικής πλακέτας.
- **Οι Εύκολες επεκτάσεις** είναι μια σειρά διαδοχικών πυλών (2.54mm), παρεχόμενες στο χρήστη για γρήγορες και εύκολες συνδέσεις με αισθητήρες ή άλλου είδους περιφερειακό εξοπλισμό.
- **Έναν αισθητήρα για την αποφυγή αντικειμένων** που συνδέεται με το υπόλοιπο ρομπότ μέσω μιας Picoblade πύλης.
- **Δυο πρόσθετους σερβοκινητήρες**, οι οποίοι ενώνονται μέσω των επεκτάσεων που προαναφέρθηκαν.

Στη συνέχεια θα αναλυθεί η κεντρική πλακέτα, αλλά και κάθε συνθετικό στοιχείο του κύριου περιφερειακού εξοπλισμού.

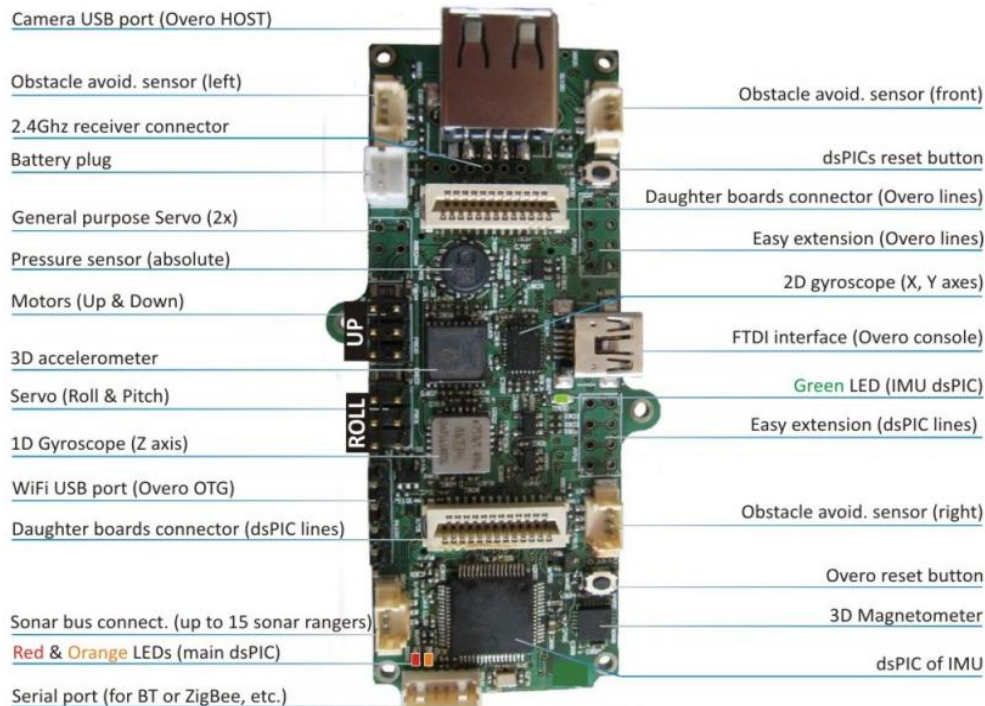
3.2 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΛΑΚΕΤΑ

Η κεντρική πλακέτα είναι το σημαντικότερο κομμάτι στο σύστημα λειτουργίας του ομοαξονικού ελικοπτέρου. Είναι μια πλακέτα γεμάτη από ηλεκτρονικά στοιχεία, συμπεριλαμβάνοντας πολλούς αισθητήρες και chips, τα οποία χρειάζεται να χειριστούν με μεγάλη προσοχή. Τα κύρια στοιχεία της κεντρικής πλακέτας είναι τα εξής:

- **Μια θύρα USB για την κάμερα (Overo HOST)**
- **Έναν αισθητήρα για την αποφυγή αντικειμένων**-Η σύνδεση με τον Sharp GP2Y0A02YK0F γίνεται να αποφευχθεί τυχόν πρόσκρουση από τα δεξιά, αριστερά και μπροστινή πλευρά του.
- **Έναν 2.4GHz δέκτη**-Αυτή είναι μια RC σύνδεση και δεν είναι προσβάσιμη για τους χρήστες, διότι είναι απευθείας συγκολλημένη με την κεντρική πλακέτα.
- **Μια δίοδος για τη μπαταρία**-Αυτή είναι η κύρια είσοδος για παροχή ενέργειας. Επικοινωνεί με μια μπαταρία λιθίου και σε κανονικές συνθήκες λειτουργεί στα 11.1V.
- **Δυο διόδους για σύνδεση με δύο σέρβο**-Οι δύο αυτοί χρησιμοποιούνται για τους πρόσθετους σερβοκινητήρες και είναι προσβάσιμοι στους χρήστες.
- **Έναν αισθητήρα πίεσης**-Ο αισθητήρας αυτός μετρά με μεγάλη ακρίβεια την απόλυτη πίεση και έχει μέγιστη ανάλυση 1.5Pa.

- **Δυο διόδους για τους δυο κινητήρες (brushless motors).**
- **Έναν τρισδιάστατο μετρητή επιτάχυνσης-** Ο μετρητής SCA3000_E01 from VTI υπολογίζει τη γραμμική επιτάχυνση στους X, Y, Z άξονες.
- **Ένα μονοδιάστατο γυροσκόπιο** -Ο δημοφιλής αισθητήρας ADXRS610 from Analog είναι χαμηλού ρεύματος και χρησιμοποιείται για μετρήσεις στον κάθετο (Z) άξονα.
- **Μια θύρα USB για WiFi (Overo OTG)**
- **Διόδους για συνδέσεις με τις δευτερεύουσες πλακέτες (dsPIC lines)**-Η μια από τις δυο διόδους χρησιμοποιείται για να δέχεται άλλες ρυθμιστικές πλακέτες, τις οποίες έχει σχεδιάσει ο ίδιος ο χρήστης. Αυτοί οι διόδοι εξυπηρετούν και άλλες πλακέτες, που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των dsPICs και έχουν τη δυνατότητα να αφαιρούνται.
- **Κόκκινα και πορτοκαλί LEDs**-Είναι συνδεδεμένα με τα dsPICs.
- **Σειριακές θύρες για BT ή ZigBee**-Χρησιμοποιούνται για να συνδέουν οποιοδήποτε UART επικοινωνιακό module. Το ελικόπτερο λειτουργεί με ένα BT ή ZigBee module.
- **Διακόπτη επανατοποθέτησης dsPICs**
- **Οι εύκολες επεκτάσεις (Overo lines)**-Έχουν μήκος 2.54mm και συνδέουν δυο I/O γραμμές της Overo πλακέτας. Μια παρόμοια σύνδεση είναι διαθέσιμη και για τις dsPIC γραμμές.
- **Ένα δισδιάστατο γυροσκόπιο (X, Y άξονες)**-Είναι το IDG500 from Invensense
- **FTDI σύνδεση (υποστήριξη του Overo)** - Είναι μια μικρή θύρα USB που παρέχει πρόσβαση στην Overo κάρτα.
- **Πράσινο Led**-Είναι συνδεδεμένο με το IMU dsPICs.
- **Έναν τρισδιάστατο μαγνητομετρητή**- Ένας αισθητήρας ,που λειτουργεί σε τρεις άξονες και ένα ASIC, συνδεδεμένα ψηφιακά, αποτελούν τον HMC5843 from Honeywell.
- **dsPIC of IMU**-Είναι ένα από τα δυο dsPICs του ελικοπτέρου. Η λειτουργία του είναι να τρέχει όλα τα δεδομένα των ενωμένων αλγορίθμων.
- **Ένα δέκτη RC-2.4GHz.**
- **Overo 70 pin connector**-Υπάρχουν δυο 70-pin σύνδεσμοι προς την Overo κάρτα. Ο πρώτος είναι ο J₄ και ο δεύτερος ο J₁ .
- **Μια θύρα σύνδεσης για τον αισθητήρα μέτρησης ύψους**
- **Μια ηλεκτρική ασφάλεια των 3A**
- **Το κυρίως dsPIC**-Τρέχει όλους τους χαμηλού επιπέδου ελεγκτές και διαχειρίζεται την επικοινωνία με το Overo και το BT ή (ZigBee) module.

Στην Εικόνα 3.4 φαίνεται η πρόσοψη της κεντρικής πλακέτας και οι θέσεις των ηλεκτρονικών στοιχείων που την απαρτίζουν.



Εικόνα 3.4 . Κεντρική πλακέτα.

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ GUMSTIX OVERO

Το ομοαξονικό ελικόπτερο υποστηρίζει τις λειτουργίες του δημοφιλούς Gumstix Overo με τις ισχυρές υπολογιστικές εφαρμογές. Με διαστάσεις μόνο 17mm x 58mm x 4.2mm και βάρος 6g, η Overo μητρική κάρτα είναι ο πιο μικροσκοπικός και χαμηλότερου κόστους Linux υπολογιστής, που είναι διαθέσιμος από την Gumstix στην αγορά. Το Overo βασίζεται στον ταχύτατο OMAP35x επεξεργαστή, ο οποίος υπάρχει σε τέσσερις διαφορετικές παραλλαγές, που όλες τους υποστηρίζονται από το ρομπότ. Η εφαρμογή Overo συνδέεται απλά στο κάτω μέρος της πλακέτας. Οι απαραίτητες Overo I/O γραμμές περνάνε μέσα από την πλακέτα και γίνονται διαθέσιμες στο χρήστη. Οι παρακάτω διασυνδέσεις είναι διαθέσιμες απευθείας από την πλακέτα και είναι οι επόμενες:

- **USB HOST**, χρησιμοποιείται γενικά για την κάμερα.
- **USB OTG**, χρησιμοποιείται στην περίπτωση που υπάρχει σύνδεση WiFi.
- **I2C bus**, επίπεδο κατασκευής 3V3, για ευκολότερη χρήση.
- **SPI bus**, επίπεδο κατασκευής 3V3, για ευκολότερη χρήση.
- **UART**-πρώτη διασύνδεση. Είναι κατασκευασμένη σε επίπεδο 3V3 και είναι απευθείας συνδεδεμένη με το DSP της κεντρικής πλακέτας.
- **UART**-Τρίτη διασύνδεση και είναι απευθείας συνδεδεμένη με το FTDI της κεντρικής πλακέτας.
- **Analog Input 2,3**
- **Διάφορες GPIO γραμμές διασύνδεσης**
- **PWM γραμμές διασύνδεσης**
- **Μια επιπλέον σύνδεση**

Η Εικόνα 3.5 το παρουσιάζει τοποθετημένο πάνω στην κεντρική πλακέτα. Τα βελάκια υποδεικνύουν τις διαστάσεις του.



Εικόνα 3.5 . Θέση Gumstix Overo.

3.4 WiFi

Το ομοαξονικό ελικόπτερο μπορεί να εφοδιαστεί με δυο τύπους εφαρμογής WiFi.

- **Εξωτερική εφαρμογή WiFi (802.11n).** Αυτή είναι η αυτόματη επιλογή και συνδέεται μέσω της θύρας USB(OTG) της Gumstix Overo πλακέτας. Επίσης επιτρέπει στο ρομπότ να έχει πολύ καλή ανάλυση εικόνας και σε μεγαλύτερη οθόνη. Η εφαρμογή WiFi που χρησιμοποιείται είναι το Netgear WNDA3100 και είναι διπλού δεσμού, (802.11n) και (802.11g). Η χρήση του σε (802.11n) απαιτεί συμβατό σημείο εισόδου. Αν αυτό δεν είναι διαθέσιμο, τότε μπορεί απλά να συνδεθεί μέσω ενός (802.11n)router, όπως το Netgear WNR2000.
- **Εσωτερική εφαρμογή WiFi (802.11g)** του Gumstix Overo 'Air' ή Overo 'Fire'. Αυτές είναι οι δυο επιλογές που μπορούν να συναρμολογηθούν πάνω στην κεντρική πλακέτα του Overo. Για αυτά μια πρόσθετη διπολική κεραία πρέπει να τοποθετηθεί. Αυτή η λύση εξοικονομεί χώρο και βάρος, παρότι οι εφαρμογές Overo δεν έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων και για αυτό το λόγο θα πρέπει να αποφεύγονται στην περίπτωση που χρειαζόμαστε video πραγματικού χρόνου.

3.5 KAMERA

Οι κάμερες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το ρομπότ είναι δυο ειδών. Και οι δύο έχουν ανάλυση 640x480 και frame rate 15fps. Αυτό σε δεδομένα αντιστοιχεί σε 37Mbps, τα οποία στέλνονται μέσω της σύνδεσης WiFi. Το μέγιστο αγγίζει τα 25fps, δηλαδή περίπου 60Mbps για VGA ανάλυση. Δοκιμές έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν να αγγίξει τα 90Mbps με ένα n-standard WiFi.

- **Standard USB 2.0 κάμερα,** η οποία συνδέεται απευθείας μέσω της A USB πύλης της κεντρικής πλακέτας του ελικοπτέρου. Η κάμερα αυτή έχει τη δυνατότητα να παίρνει κλίση προς τα μπροστά, προς τα κάτω, αλλά και δεξιά και αριστερά. Έχει ανάλυση 1.3 Mpixel, ενσωματωμένο μικρόφωνο, αισθητήρα εικόνας CMOS SXGA και ικανότητα να εστιάζει έως και 30 εκατοστά.



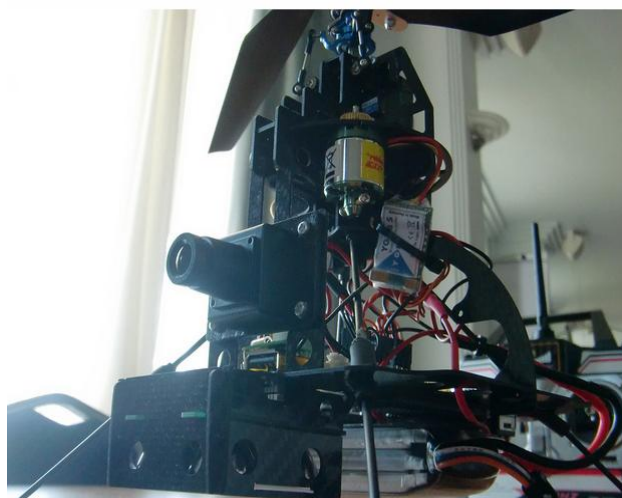
Εικόνα 3.6 . Standard USB 2.0 έγχρωμη κάμερα.

- **Κάμερα με δυνατότητα περιστροφής (b/w)**, συνδέεται μέσω ενός καλωδίου με την A USB πύλη της κεντρικής πλακέτας. Αυτή η κάμερα είναι εξοπλισμένη με ένα κάλυμμα φακού ύψους 12 mm και φακό διαμέτρου 150deg. Έχει ανάλυση 0.36 Mpixel, δεν έχει μικρόφωνο, αισθητήρα εικόνας Micron 1/3" global shutter CMOS. Επίσης, με αυτή την κάμερα έχουμε τη δυνατότητα προσαρμογής της εστίασης, καθώς επίσης και την παραγωγή μερικής εικόνας.



Εικόνα 3.7 . Research grade κάμερα (b/w).

- **CCD έγχρωμη κάμερα**, η οποία είναι η αυτόματη επιλογή για το ελικόπτερο. Έχει μια αναλογική έξοδο για video, μέσω της οποίας μεταδίδεται ασύρματα το σήμα σε έναν ελεγκτή ή σε ένα ζευγάρι ελεγκτών. Η κάμερα αυτή έχει διαστάσεις 25x25x27mm, λειτουργεί στα 5V και 120mA, έχει ευαισθησία 0.05lux και διάμετρο φακού 3.6mm.

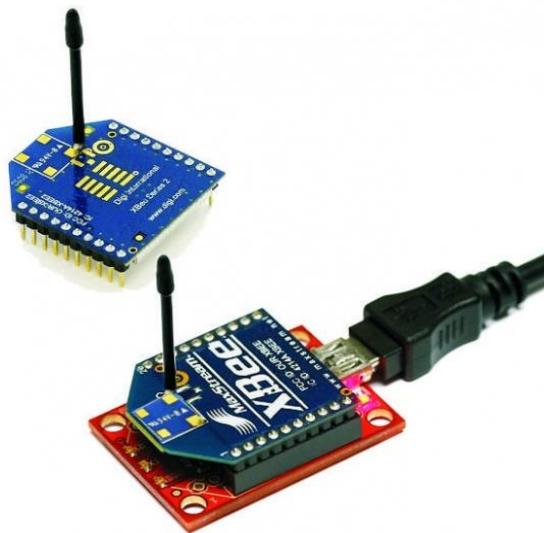


Εικόνα 3.8 . CCD έγχρωμη κάμερα. Εικόνα 3.9 . Η κάμερα συναρμολογημένη πάνω στο ελικόπτερο.

3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Το ρομπότ έχει μια σειριακή θύρα (3V3 TTL level) διαθέσιμη για την τοποθέτηση διαφόρων σειριακών συσκευών διαμέσου ενός 6-pin συνδέσμου. Η Skybotix προσφέρει την επιλογή μεταξύ δυο εφαρμογών ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίες προσαρμόζονται και συνδέονται άμεσα με την 6-pin σειριακή θύρα της κεντρικής πλακέτας. Οι δυο επιλογές είναι οι εξής:

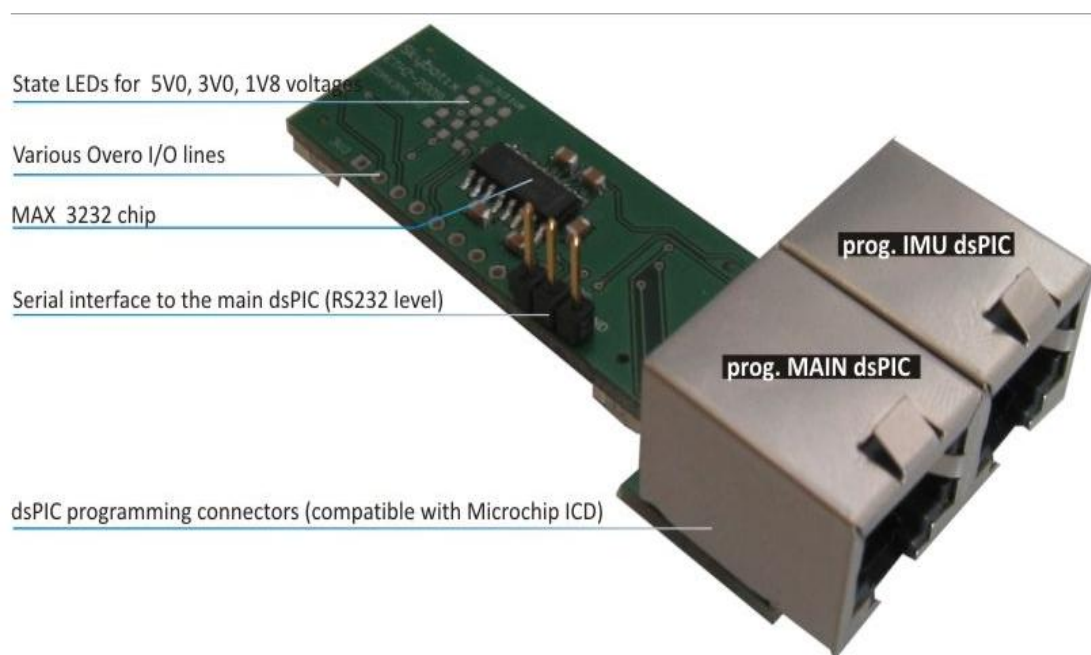
- **Εφαρμογή Bluetooth 2.0**, που είναι η αυτόματη επιλογή-Μια άψογη αντικατάσταση ενός σειριακού καλωδίου. Αυτή η σύμβαση προσφέρει εύκολη ασύρματη συνδεσιμότητα με τον Η/Υ και τα Smart phones σε αρκετά μέτρα.
- **Εφαρμογή ZigBee** είναι μια πολυσύνθετη και εύκολη στη χρήση λειτουργία, η οποία βασίζεται στη δημοφιλή λειτουργία Xbee του DIGI. Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του Xbee στην αγορά που μπορούν να προσαρμοστούν στο ελικόπτερο. Γενικά, συγκριτικά με το Bluetooth, αυτό προσφέρει μεγαλύτερο εύρος, αλλά μικρότερο όγκο δεδομένων.



Εικόνα 3.10 .Εφαρμογή ασύρματης επικοινωνίας.

3.7 ΚΑΡΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Τα εσωτερικά DSPs της κεντρικής πλακέτας μπορούν να προγραμματιστούν μέσω ενός παρεχόμενου προγραμματισμένου μέσου σύνδεσης, το οποίο έχει τη δυνατότητα να ενωθεί με την κεντρική πλακέτα μόνο κατά τη διαδικασία του προγραμματισμού και να αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας. Η σύνδεση αυτή αποτελείται από μια σειριακή συσκευή προγραμματισμού, το Microchip ICD. Επίσης περιλαμβάνει ένα UART TTL-RS232 μετατροπέα και προσφέρει είσοδο σε μερικές I/O γραμμές στα εσωτερικά DSPs της κεντρικής πλακέτας. Η Εικόνα 3.11 δείχνει την κάρτα προγραμματισμού και αναλύονται τα κυρίως μέρη της.



Εικόνα 3.11 . Κάρτα προγραμματισμού.

- **dsPIC προγραμματιστικές συνδέσεις**-Αυτές είναι οι RJ-11 συνδέσεις που είναι συμβατές με τις αντίστοιχες συνδέσεις του Microchip. Η μια χρησιμοποιείται για να προγραμματίζει το MAIN dsPIC και η άλλη για το IMU dsPIC.
- **State LEDs**-Πρόκειται για τρία χωριστά LEDs που χρησιμοποιούνται για να δείχνουν αν οι 5V0, 3V3, 1V8 της κεντρικής πλακέτας είναι διαθέσιμες.
- **Διάφορες Overo I/O γραμμές**
- **Σειριακές συνδέσεις του κυρίως dsPIC**-Αυτό είναι ένα RS232 επίπεδο, δηλαδή μια σειριακή θύρα συνδεδεμένη με το κυρίως dsPIC. Πρόκειται για την ίδια UART θύρα του dsPIC, η οποία επίσης συνδέεται με το Overo.

3.8 2.4GHz ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Το ομοαξονικό ελικόπτερο λειτουργεί με ένα σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου τεσσάρων καναλιών και συχνότητας 2.4GHz. Στο ξεκίνημά του, ο δέκτης μειώνει την ευαισθησία για να ελέγξει τους απομακρυσμένους πομπούς που βρίσκονται κοντά του σε απόσταση μικρότερη από 1m. Έπειτα, ο δέκτης του ελικοπτερου συλλέγει το δυνατότερο σήμα. Από τη στιγμή που το σήμα έχει ληφθεί, παραμένει έως ότου το ελικόπτερο απενεργοποιηθεί. Κατά τη διάρκεια της πτήσης, η ακτίνα δράσης του σήματος μπορεί να είναι αρκετές δεκάδες μέτρα ακόμα και σε κλειστό χώρο. Παρόλ'αυτά, εξαρτάται από τα αντικείμενα τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ του χειριστήριου απομακρυσμένου ελέγχου και του ελικοπτερου. Το ρομπότ διαθέτει δυο χειριστήρια απομακρυσμένου ελέγχου το WK2402 και το WK2401.



Εικόνα 3.12 . Χειριστήριο WK2402.



Εικόνα 3.13 . Χειριστήριο WK 2401.

3.9 ΔΟΜΗ

Η δομή του ομοαξονικού ελικοπτερου είναι μια συναρμολόγηση από μερικά φύλλα ανθρακονήματος (δυο διαστάσεων), τα οποία έχουν προέλθει από υδροκοπή. Αυτή η δομή δίνει το πλεονέκτημα στο ρομπότ να είναι 'δυνατό', ελαφρύ, αλλά και τη δυνατότητα να είναι πολύ εύκολο να τροποποιηθεί ή να επισκευασθεί. Το σημαντικότερο φύλλο ανθρακονήματος είναι αυτό που αποτελεί τη βάση του ρομπότ (βρίσκεται σε οριζόντιο επίπεδο) και πάνω του είναι τοποθετημένη η κεντρική πλακέτα. Η συναρμολόγηση αυτών των φύλλων αποτελεί τον κυρίως χώρο του ρομπότ και όλος ο εξοπλισμός που είναι δυνατόν να τοποθετηθεί πάνω σε αυτό είναι συμβατός με τις διαστάσεις των φύλλων, δηλαδή δεν είναι αναγκαία καμία τροποποίηση. Τα τέσσερα πόδια που αποτελούν τη στήριξη του ελικοπτερου είναι κατασκευασμένα από ανθρακονήματα διαστάσεων 2mm, όπου στην εξωτερική τους επιφάνεια έχει τοποθετηθεί ένα ειδικό υλικό, το οποίο έχει συσταλεί και μπορεί να αφαιρεθεί με απλή θέρμανση.

3.10 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΗ

Το ομοαξονικό ελικόπτερο είναι εξοπλισμένο με μια μπαταρία λιθίου των 11.1V και 1350mAh και από τον φορτιστή Thunder Power LiPo TP-610C, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με 10amps (80 watt)συνολικά.

3.11 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Το ομοαξονικό ελικόπτερο είναι να εξοπλισμένο με τρεις πλευρικούς IR range finders. Στη συνέχεια, υποστηρίζει τον αισθητήρα Sharp GP2Y0A02YK0F, ο οποίος λειτουργεί έως 1.2m(4ft) με ακρίβεια μερικών εκατοστών, με κατευθυντήρια ακτινοβολία (διάμετρο μερικών εκατοστών για απόσταση 1m). Η χρήση τους πάνω στο ελικόπτερο είναι πολύπλοκη, και επηρεάζεται πολύ από το περιβάλλον, την εφαρμογή που γίνεται και την ίδια την πτήση (π.χ. το ύψος). Τα dsPIC παρέχουν ήδη μια βιβλιοθήκη που μπορεί να διαβάσει ο αισθητήρας. Παρόλα αυτά η λειτουργία της αποφυγής τυχών εμποδίων πρέπει να προγραμματιστεί από τον ίδιο τον χρήστη.

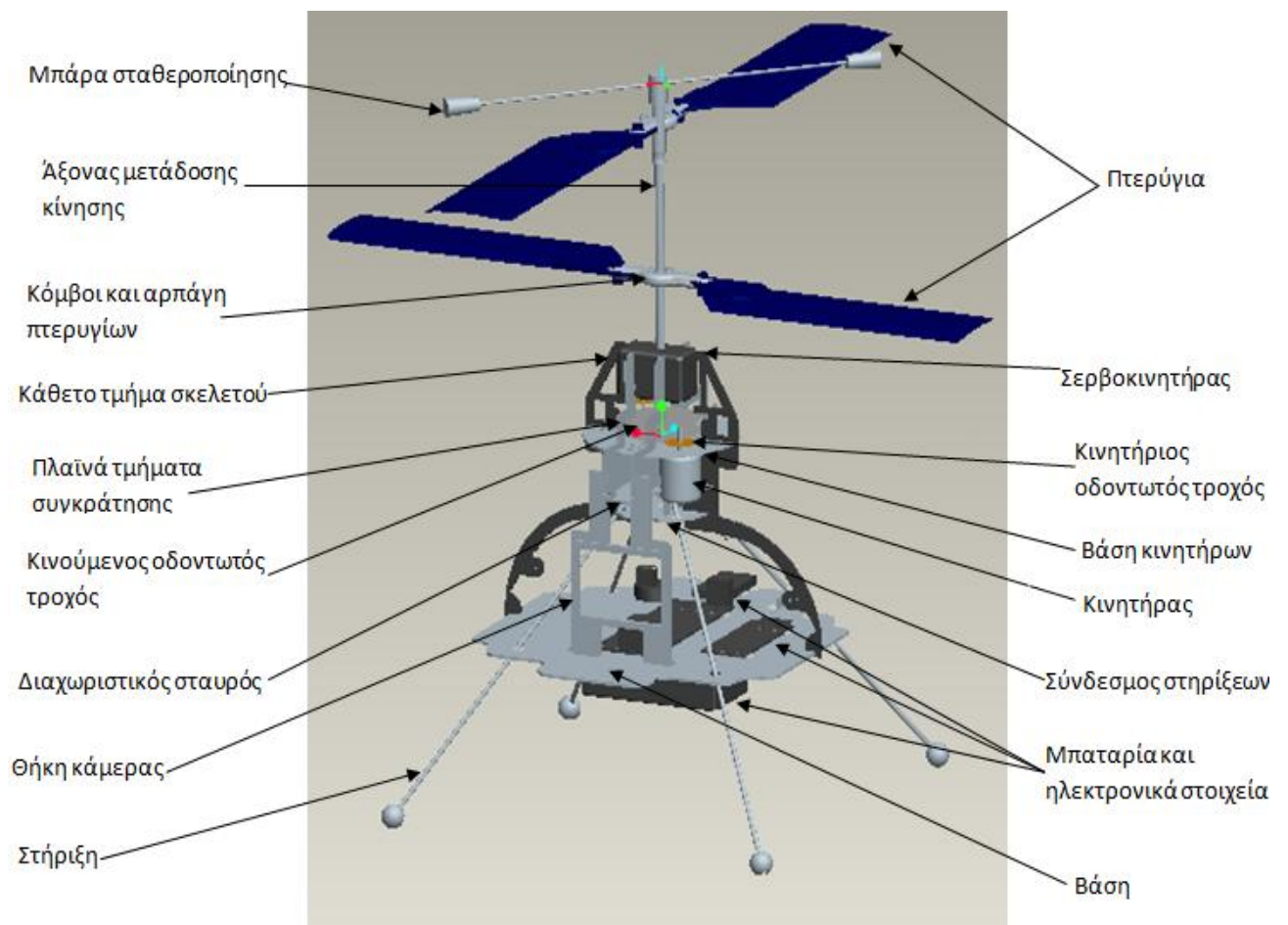
3.12 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Η εφαρμογή προσδιορισμού ταχύτητας είναι ένας αισθητήρας, ο οποίος παρέχει τη γραμμική ταχύτητα του ελικοπτερου στους X και Y άξονες σε m/s. Ο υπολογισμός της ταχύτητας βασίζεται στις σχετικές πληροφορίες που διαβάζονται από τον optical mouse sensor, όπως το ύψος από το έδαφος που υπολογίζεται από τον down-looking sonar. Η ταχύτητα των δυο στροφείων είναι αντίρροπη η μια με την άλλη για να αφαιρεί την επίδραση του στροβιλισμού στον υπολογισμό της γραμμικής ταχύτητας. Το συγκεκριμένο module αποτελείται από έναν οπτικό αισθητήρα, κάποια περιφερειακά ηλεκτρονικά στοιχεία και από τέσσερα Leds, για εύκολο και σωστό χειρισμό ταχύτητας ακόμα και τη νύχτα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ

4.1 ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ-ΔΟΜΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ

Στην Εικόνα 4.1 γίνεται η ονομαστική παρουσίαση των επιμέρους τμημάτων του τελικού σχεδίου της συναρμολόγησης.

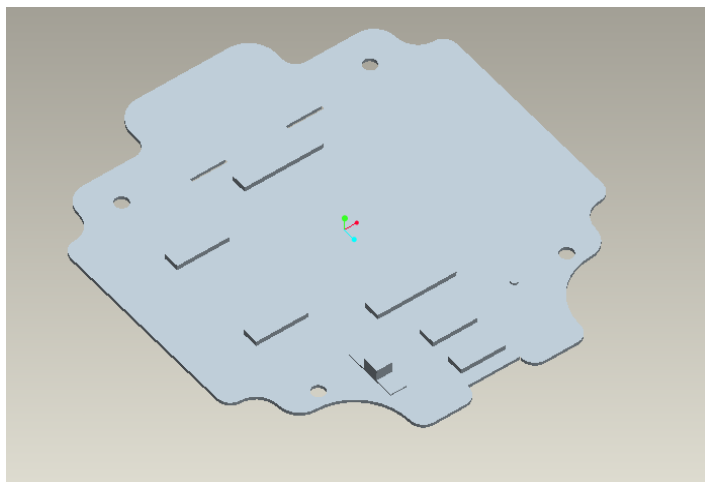


Εικόνα 4.1 .Δομικά στοιχεία τελικής συναρμολόγησης.

Ακολουθεί η αναλυτική απεικόνιση των επιμέρους τμημάτων του ελικοπτήρου, καθώς επίσης και η σταδιακή κατασκευή του τελικού σχεδίου.

4.2 ΒΑΣΗ

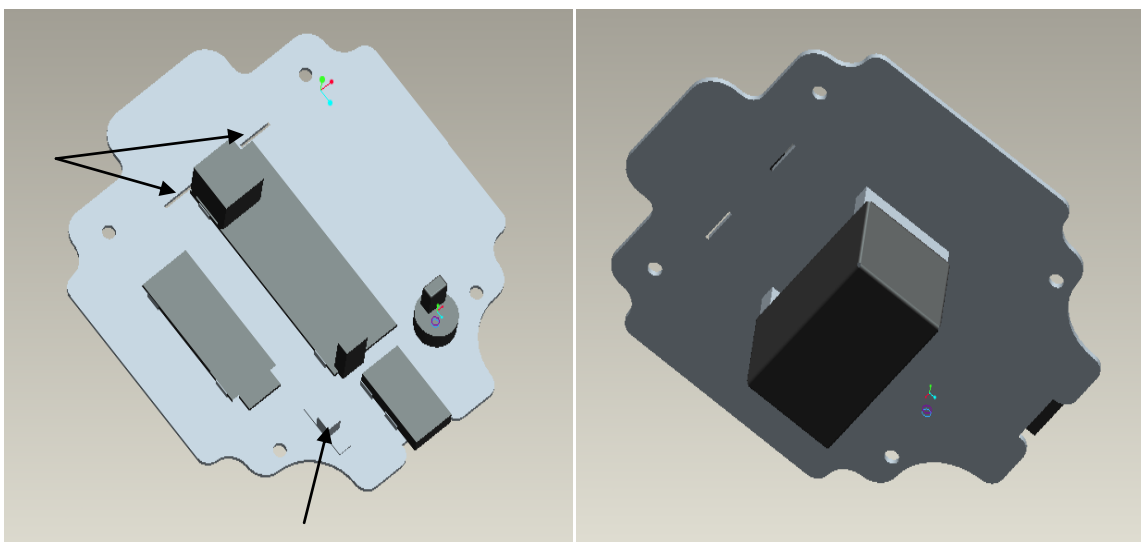
Ένα από τα σημαντικότερα μέρη του ρομπότ είναι η βάση του, δηλαδή ένα φύλλο ανθρακονήματος το οποίο σχεδιάστηκε για να στηρίζει τα περισσότερα ηλεκτρονικά στοιχεία. Το σχήμα του δίνει καθοριστική μορφή στο σκελετό του ελικοπτερου, καθώς αποτελεί το μεγαλύτερο σε μέγεθος κομμάτι της συναρμολόγησης. Η μορφή του είναι η παρακάτω:



Εικόνα 4.2 . Βάση από φύλλο ανθρακονήματος.

4.2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΣΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΒΑΣΗ

Πάνω στο επίπεδο της βάσης έχουν σχεδιαστεί και τοποθετηθεί τα βασικότερα ηλεκτρονικά στοιχεία, αλλά και στο κάτω μέρος φαίνεται η μπαταρία, που αποτελεί το πιο βαρύ αντικείμενο πάνω στο ελικόπτερο.

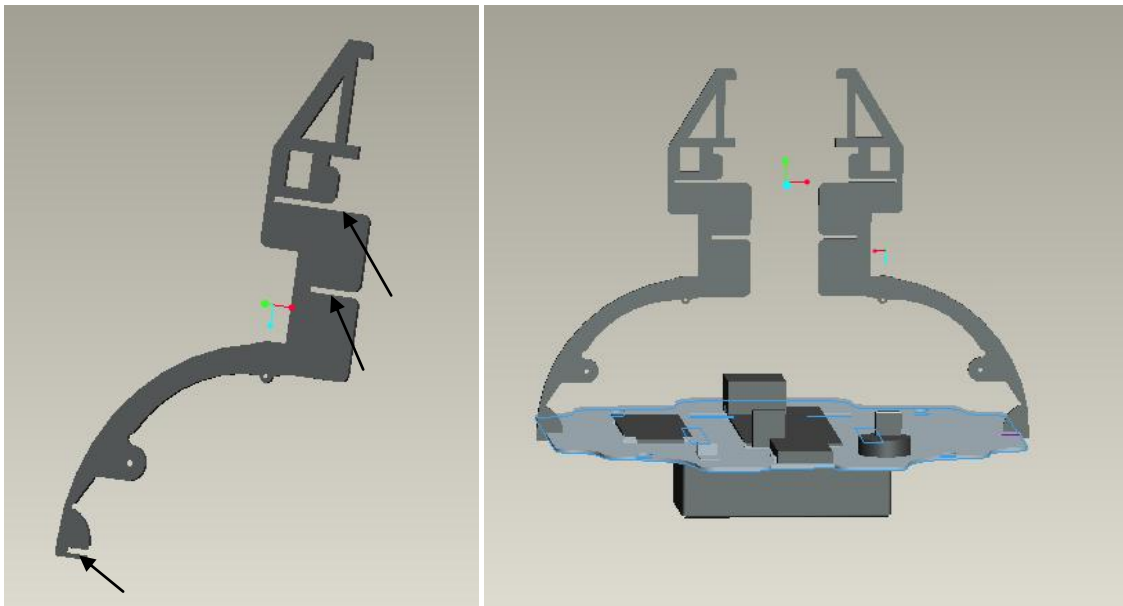


Εικόνα 4.3 . Πάνω πλευρά βάσης με διακόπτη, οπές και ηλεκτρονικά στοιχεία. Εικόνα 4.4 . Κάτω πλευρά βάσης με Μπαταρία.

Οι τέσσερις οπές χρησιμοποιούνται για τη στήριξη, οι δυο ορθογώνιες τρύπες(τα δυο βέλη) για την τοποθέτηση της θήκης της κάμερας και το τελευταίο σημείο(το μονό βέλος) είναι ο διακόπτης on/off, τον οποίο καλείται ο χρήστης να χρησιμοποιεί.

4.3 ΚΑΘΕΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

Στη συνέχεια ένα ακόμα πολύ σημαντικό κομμάτι το οποίο είναι και αυτό κατασκευασμένο από ανθρακόνημα και αποτελεί στήριγμα για αρκετά άλλα δευτερεύοντα κομμάτια καθόλο το ύψος του ρομπότ είναι και το παρακάτω.

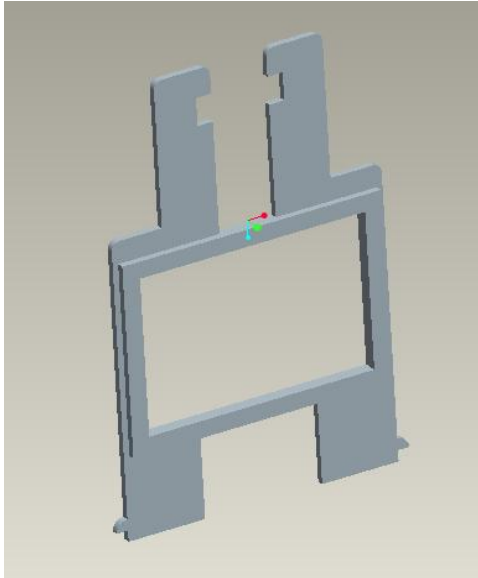


Εικόνα 4.5 . Πρόσοψη πλάκας και σημεία συναρμολόγησης. Εικόνα 4.6 . Συναρμολόγηση.

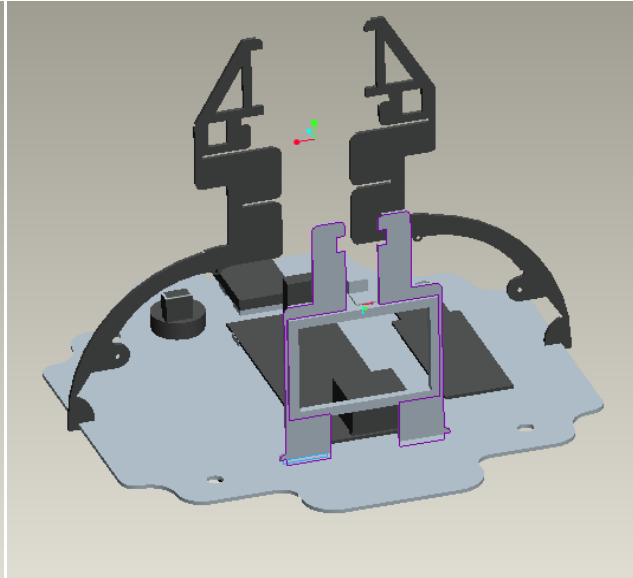
Οι δυο οπές λειτουργούν ως βοηθητικές για καλώδια. Οι τρεις εσοχές που δείχνουν τα βέλη είναι για την τοποθέτηση δευτερευουσών πλακών από ανθρακόνημα. Στο πιο κάτω μέρος είναι η βάση που μπαίνει στο ενδιάμεσο. Με αυτόν τον τρόπο έχει επιτευχθεί η πραγματική συναρμολόγηση και αυτά τα κομμάτια στερεωμένα με αυτόν τον τρόπο συνθέτουν τον σκελετό του ελικοπτέρου.

4.4 ΘΗΚΗ ΚΑΜΕΡΑΣ

Το τελευταίο κομμάτι που πρόκειται να συνδεθεί με τη βάση είναι όπως προαναφέραμε η θήκη της κάμερας, η οποία εισέρχεται στις δύο ορθογώνιες τρύπες. Το κομμάτι αυτό εκτός από την βάση διαθέτει και μια ακόμα στήριξη στο πάνω μέρος του με ένα δεύτερο κομμάτι το οποίο θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Η θήκη και η συνολική της εικόνα στη συναρμολόγηση μέχρι στιγμής είναι η εξής:



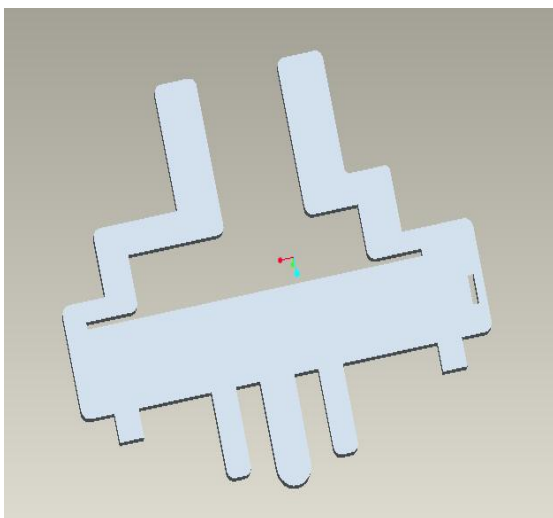
Εικόνα 4.7 . Θήκη κάμερας.



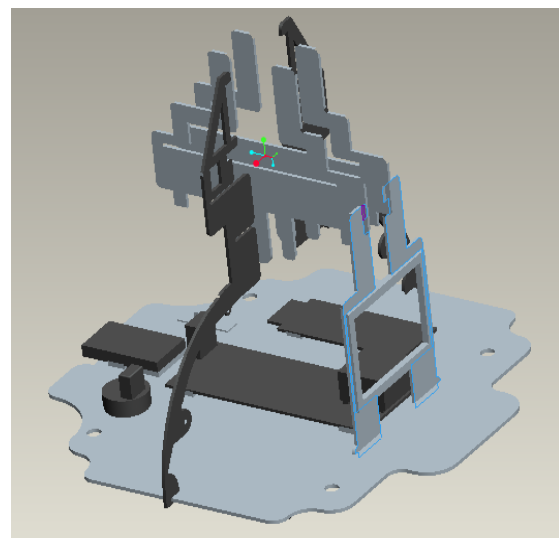
Εικόνα 4.8 . Συναρμολόγηση.

4.5 ΠΛΑΙΝΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ

Η τέταρτη πλάκα ανθρακονήματος που έχει σχεδιαστεί και αποτελεί την πάνω στήριξη για την προαναφερθείσα θήκη φαίνεται στην επόμενη εικόνα αλλά και τρόπος που έχει ταιριάζει με το σύστημα του ρομπότ.



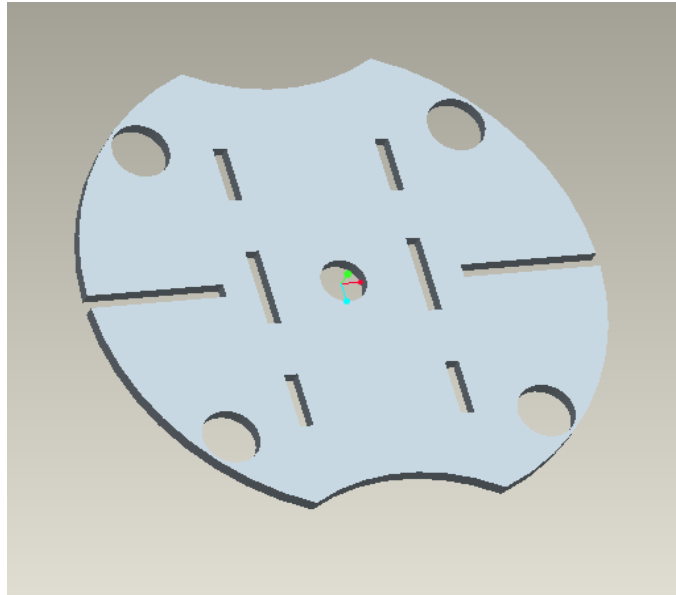
Εικόνα 4.9 . Πρόσωση πλάκας.



Εικόνα 4.10 . Συναρμολόγηση.

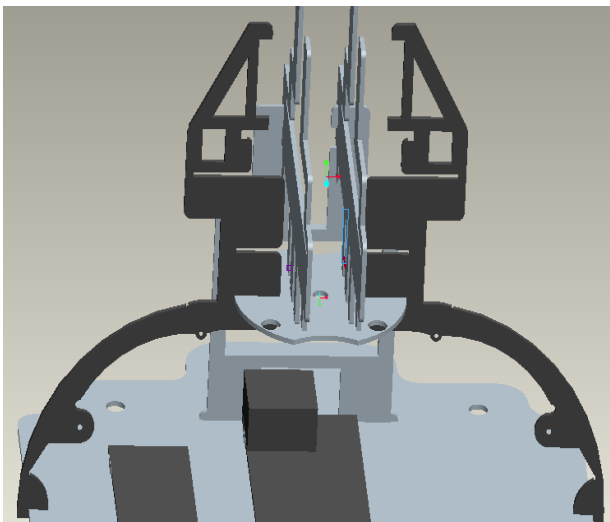
4.6 ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Το επόμενο συνθετικό στοιχείο της συναρμολόγησης είναι ένα κυκλικού σχήματος φύλλο ανθρακονήματος. Οι τέσσερις οπές είναι για τα πόδια του ελικοπτέρου, δηλαδή τη στήριξη του στο έδαφος και οι υπόλοιπες οπές ορθογωνίου σχήματος, είναι για να ταιριάζει ακριβώς με τα γειτονικά φύλλα ανθρακονήματος.

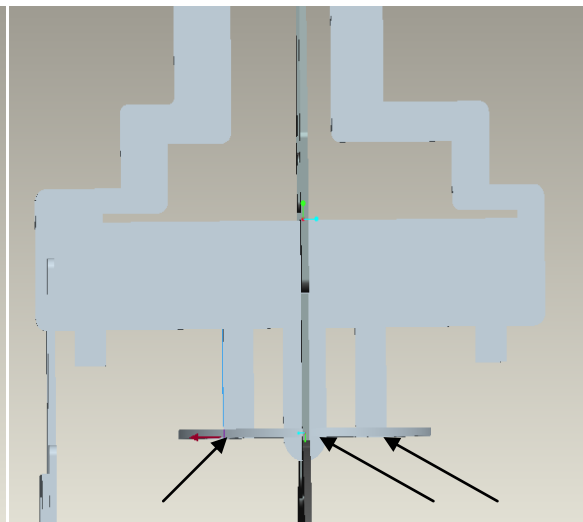


Εικόνα 4.11 . Πρόσοψη πλάκας.

Η θέση του ανάμεσα στα υπόλοιπα κομμάτια φαίνεται παρακάτω. Επίσης, από τη δεύτερη εικόνα, που παρουσιάζει την πλάγια όψη της συναρμολόγησης, μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι το προηγούμενο κομμάτι που σχεδιάστηκε διαπερνά την κυκλική πλάκα χωρίς να προσφέρει κάποια στήριξη.



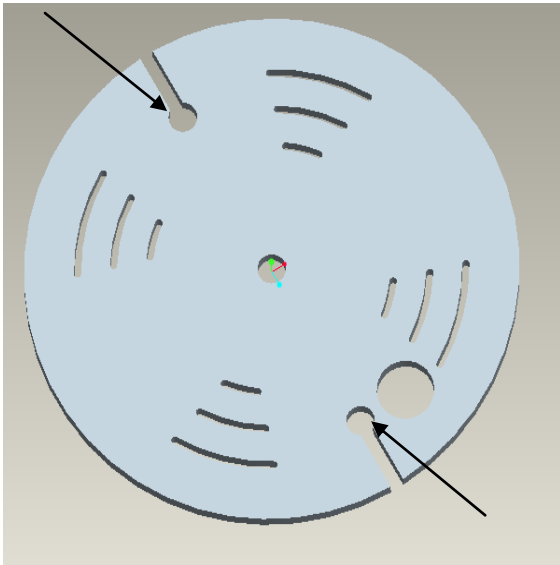
Εικόνα 4.12 . Συναρμολόγηση.



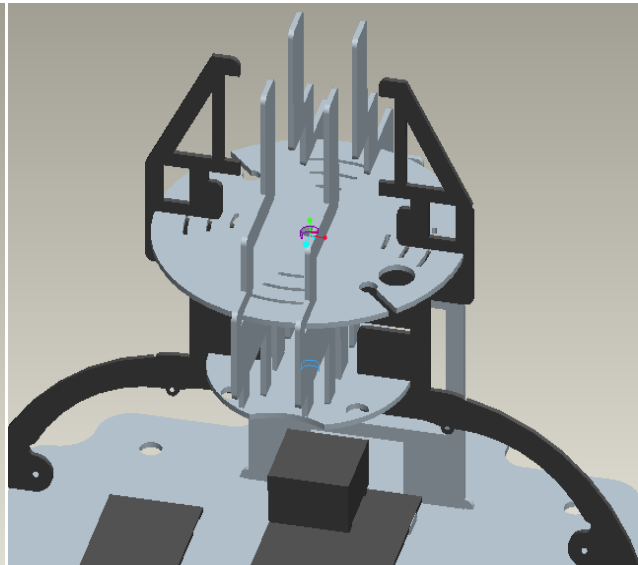
Εικόνα 4.13. Πλάγια όψη συναρμολόγησης.

4.7 ΒΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Ακολουθεί ένα κομμάτι παρόμοιο με το προηγούμενο κατασκευασμένο με το ίδιο υλικό και ενωμένο με τα γειτονικά κομμάτια κατά τον ίδιο τρόπο, διαθέτοντας όμως κάποιες επιπλέον οπές. Τα δυο βέλη δείχνουν τα σημεία που θα μπουν οι δυο κινητήρες (Brushless motors). Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, οι κινητήρες αυτοί παράγουν θερμότητα, έτσι η πλάκα αυτή αναπτύσσει μεγάλη θερμοκρασία. Για να μειωθεί αυτή η θερμοκρασία έχουν δημιουργηθεί αυτές οι οπές πάνω ακριβώς από τους κινητήρες, οι οποίοι ακουμπούνε αυτό το φύλλο. Τέλος η μεγάλη κυκλική οπή έχει κατασκευασθεί για τυχόν καλώδια.



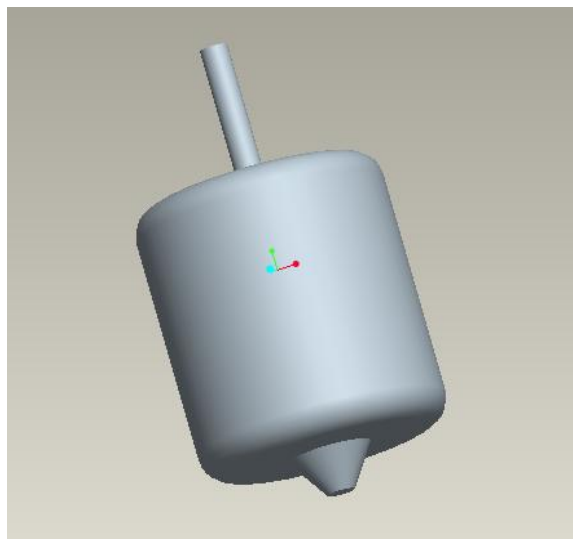
Εικόνα 4.14 . Πρόσοψη πλάκας και οπές.



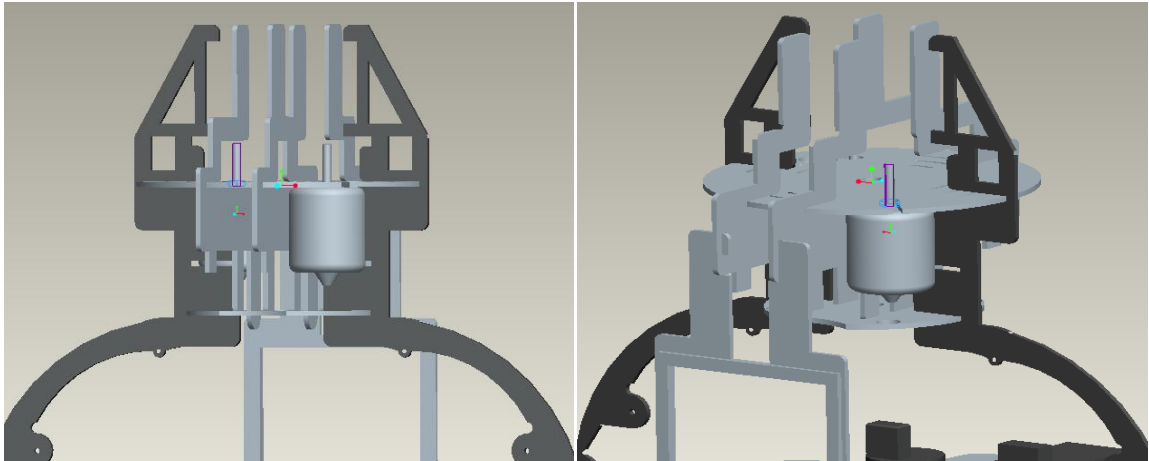
Εικόνα 4.15 . Συναρμολόγηση.

4.8 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ακολουθεί η σχεδίαση των δυο κινητήρων που προαναφέρθηκαν. Ουσιαστικά πρόκειται για το ίδιο εξάρτημα το οποίο έχει τοποθετηθεί δυο φορές στη συναρμολόγηση (ανά 180°).



Εικόνα 4.16 . Κινητήρας.

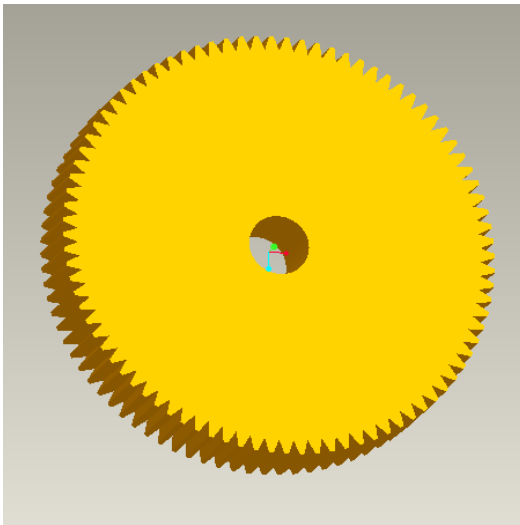


Εικόνα 4.17 . Πίσω όψη συναρμολόγησης.

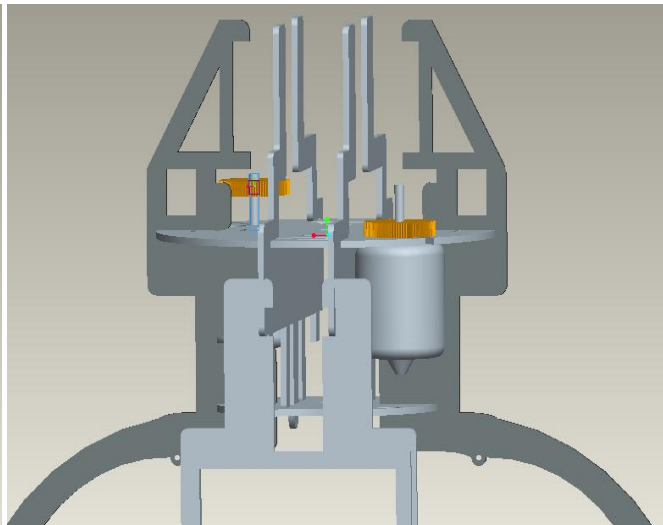
Εικόνα 4.18 . Μπροστινή όψη συναρμολόγησης.

4.9 ΚΙΝΗΤΗΡΙΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

Οι κινητήρες αυτοί, δίνουν δύναμη σε ένα σύστημα γρاناζιών, κάποια από τα οποία είναι κολλημένα πάνω τους. Τα πρώτα γρανάζια που σχεδιάστηκαν είναι τα μικρότερα και είναι τοποθετημένα σε διαφορετικό ύψος το καθένα, ανάλογα με το που βρίσκονται τα μεγαλύτερα γρανάζια που θα μεταδώσουν την κίνηση.



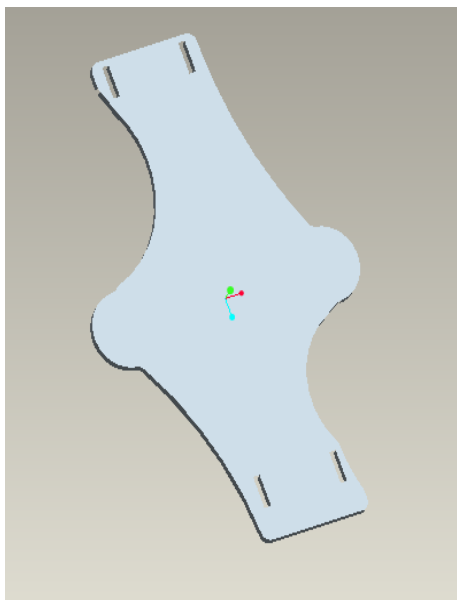
Εικόνα 4.19 . Κινητήριος οδοντωτός τροχός.



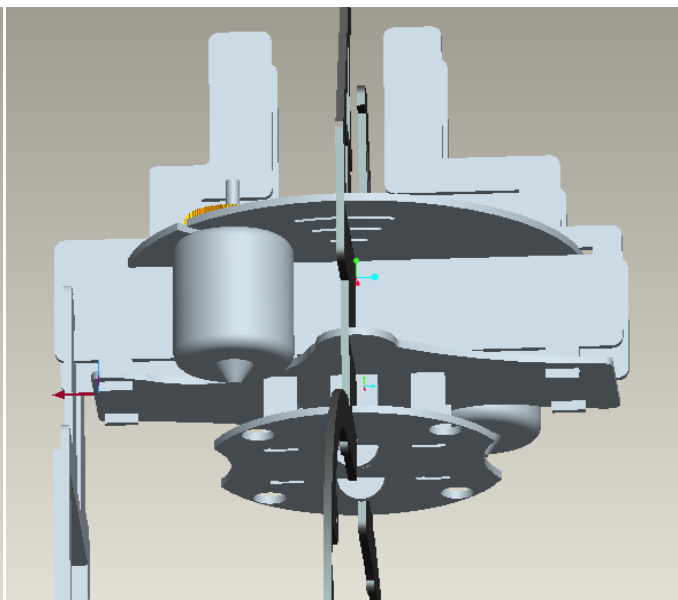
Εικόνα 4.20 . Συναρμολόγηση.

4.10 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

Μια ακόμα πλάκα ανθρακονήματος σε σχήμα σταυρού, τοποθετείται στη συναρμολόγηση. Το σχήμα είναι τέτοιο ώστε να μην τέμνει του δυο κινητήρες, αλλά και να στηρίζεται στην κατακόρυφα τοποθετημένη πλάκα ανθρακονήματος. Τέλος, οι τέσσερις ορθογώνιες οπές χρησιμοποιούνται για τη στήριξη δύο προαναφερθέντων κομματιών όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω.



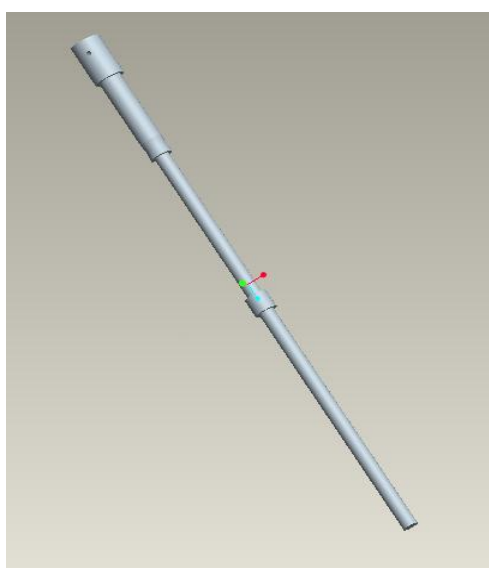
Εικόνα 4.21 . Πρόσοψη πλάκας.



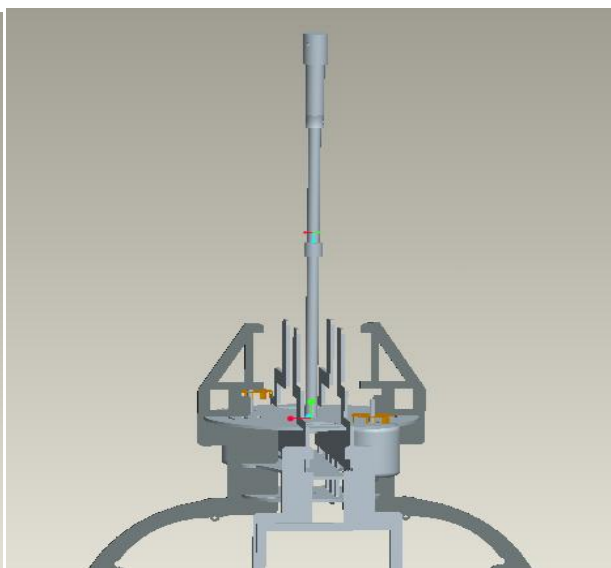
Εικόνα 4.22 . Συναρμολόγηση.

4.11 ΑΞΟΝΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Στη συνέχεια έχουμε την σχεδίαση του άξονα, ο οποίος προς το παρόν στερεώνεται πάνω στο μεγαλύτερο κυκλικό φύλλο ανθρακονήματος. Ο άξονας έχει και άλλες στηρίξεις, οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Η τρύπα στο πάνω μέρος είναι για τη μπάρα σταθεροποίησης.



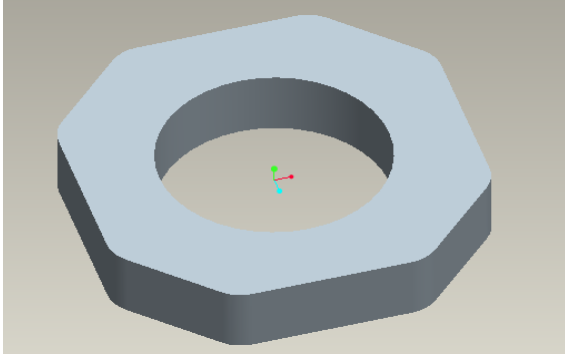
Εικόνα 4.23 . Άξονας μετάδοσης κίνησης.



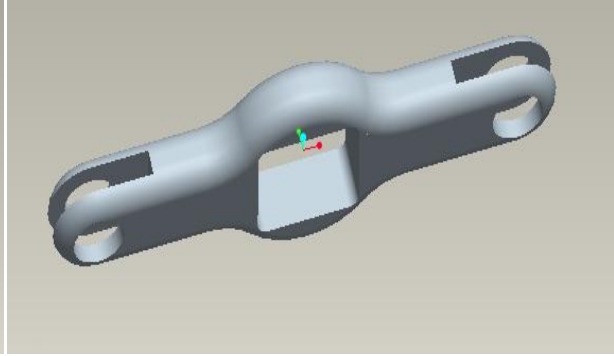
Εικόνα 4.24 . Συναρμολόγηση.

4.11.1 ΚΟΜΒΟΙ ΚΑΙ ΑΡΠΑΓΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

Πάνω σε αυτόν τον άξονα βρίσκονται οι δυο ρότορες. Ο κάθε ένας από αυτούς αποτελείται από τρία διαφορετικά εξαρτήματα, το ένα από αυτά, τα πτερύγια, είναι δυο φορές τοποθετημένα. Τα εξαρτήματα του ρότορα παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.

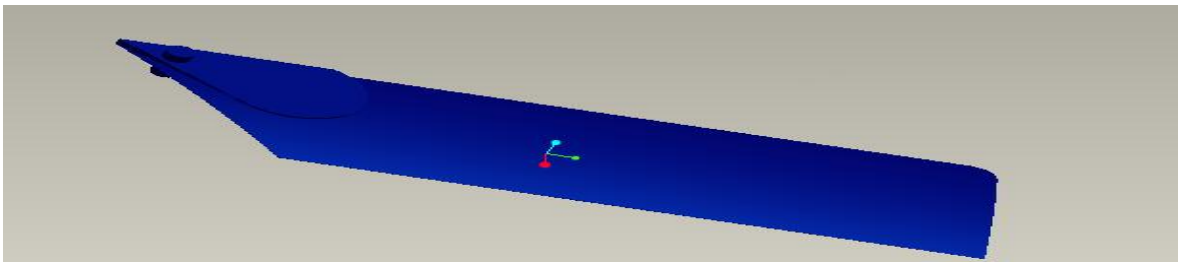


Εικόνα 4.25 . Κόμβος.



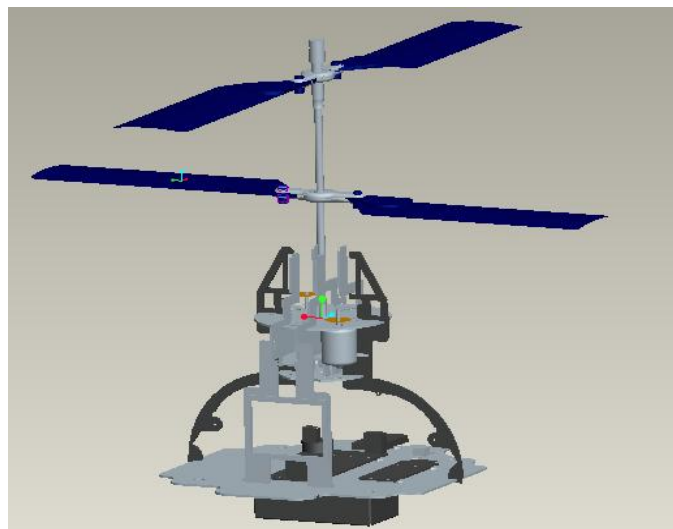
Εικόνα 4.26 . Αρπάγη πτερυγίων.

4.11.2 ΠΤΕΡΥΓΙΑ



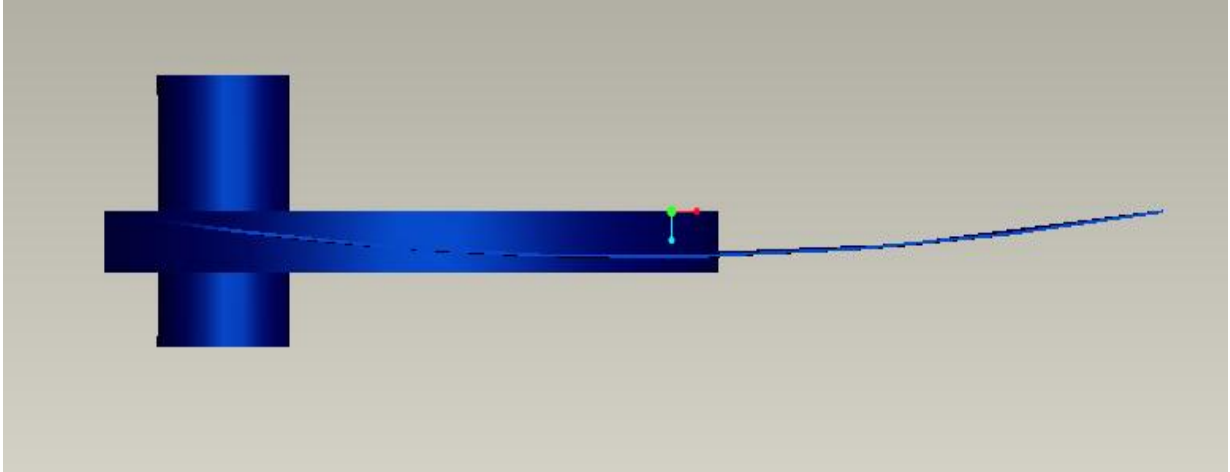
Εικόνα 4.27 . Πτερύγιο.

Η συναρμολόγηση μέχρι στιγμής, μαζί με τους δυο ρότορες που διαθέτει το ελικόπτερο, έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 4.28 . Συναρμολόγηση.

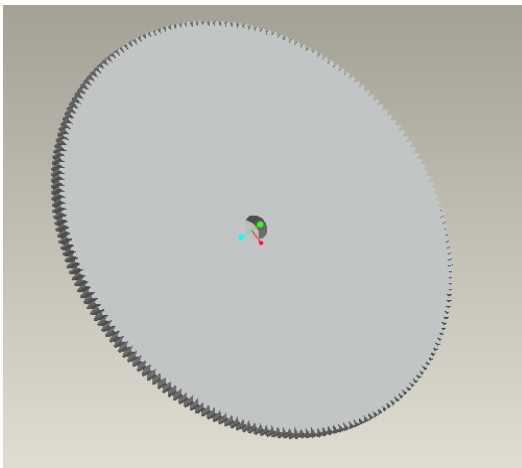
Στα πτερύγια, προκειμένου να αποδοθεί σωστά η απαραίτητη καμπυλότητα, έχουν σχεδιαστεί με καμπύλη B-Spline, μήκους 1.58in και μέγιστου ύψους 0.06in. Έχουν ένα πολύ μικρό πάχος των 0.003937in, και αυτό συμβαίνει για να έχει τη δυνατότητα το πρόγραμμα να τα «βλέπει» και να τα αναγνωρίζει ως στερεά κομμάτια και όχι ως αδιάστατες επιφάνειες.



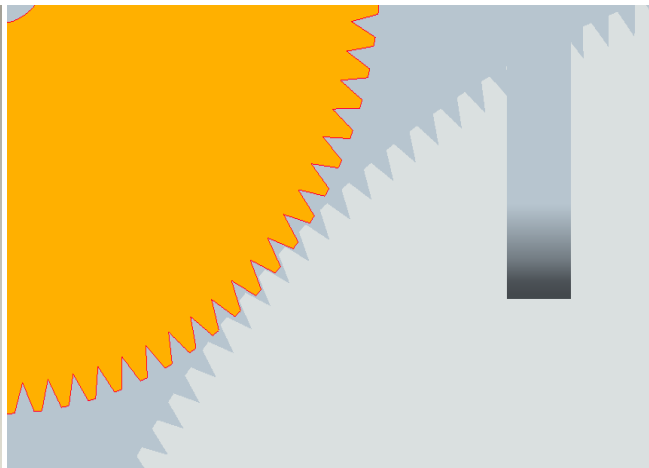
Εικόνα 4.29 . Πλάγια όψη πτερυγίου.

4.12 ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΙ ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

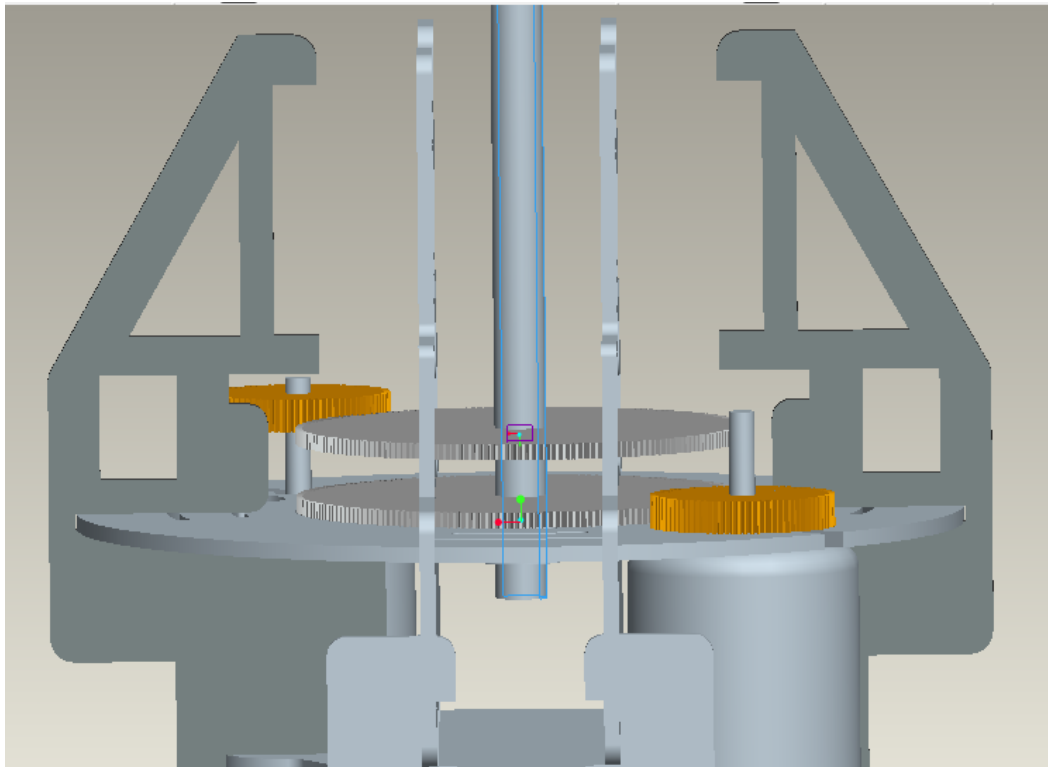
Το σύστημα γραναζιών ολοκληρώνεται με τη δημιουργία του τελευταίου ζεύγους, τους μεγαλύτερους οδοντωτούς τροχούς. Σε αυτούς μεταδίδεται η κίνηση από τα δυο μικρότερα που έχουν σχεδιαστεί, αυτά με τη σειρά τους και τη βοήθεια των σερβοκινητήρων κινούνε το όλο σύστημα. Επίσης έχουν τοποθετηθεί στο αντίστοιχο ύψος με τα δυο μικρότερα, αλλά και σε τέτοια γωνία ώστε να ταιριάζουν τα δόντια τους . Στις δυο επόμενες εικόνες φαίνεται η μορφή και η θέση τους σε σχέση με τα διπλανά, μικρότερα γρανάζια και στην παρακάτω εικόνα η θέση τους στη συναρμολόγηση.



Εικόνα 4.30 . Κινούμενος οδοντωτός τροχός.



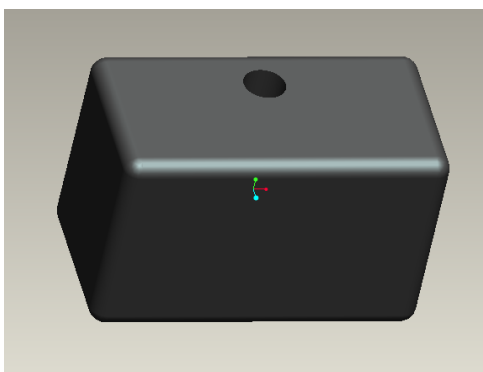
Εικόνα 4.31 . Επαφή με γειτονικά γρανάζια.



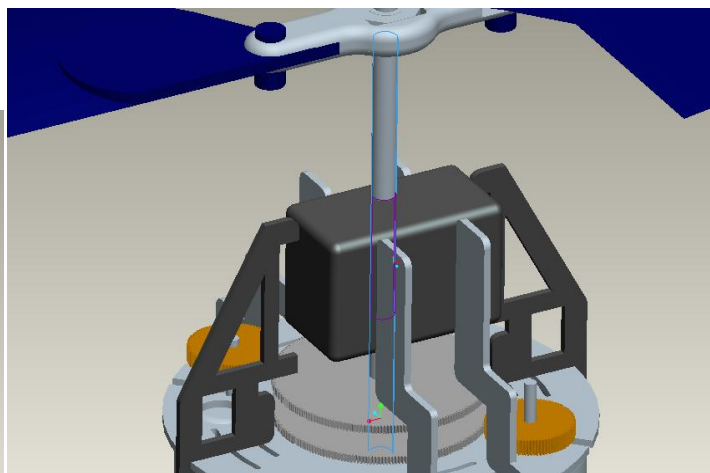
Εικόνα 4.32 . Συναρμολόγηση.

4.13 ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Το επόμενο κομμάτι είναι ο σερβοκινητήρας. Έχει σχεδιαστεί ως ένα ορθογώνιο κουτί, χωρίς πολλές λεπτομέρειες και αυτό, διότι μας ενδιαφέρουν μόνο τα σημεία τα οποία έρχονται σε επαφή με τα υπόλοιπα μέρη της συναρμολόγησης.



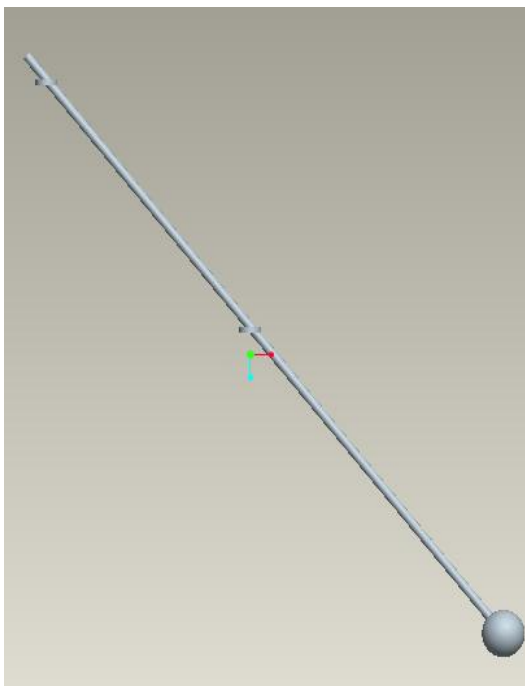
Εικόνα 4.33 . Σερβοκινητήρας.



Εικόνα 4.34 . Συναρμολόγηση.

4.14 ΣΤΗΡΙΞΗ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ

Η στήριξη του ομοαξονικού ελικοπτερού στο έδαφος επιτυγχάνεται με την προσθήκη τεσσάρων «ποδιών», τα οποία είναι ενσωματωμένα πάνω σε αυτό, δηλαδή κολλημένα πάνω σε δύο πλάκες ανθρακονηματος. Η πρώτη από αυτές είναι η βάση και η δεύτερη είναι η μικρότερη κυκλική πλάκα (υποδεικνύονται με βέλη). Τα πόδια είναι τοποθετημένα ανά 45° μεταξύ τους και έχουν κλίση σε σχέση με το κάθετο επίπεδο 42° .



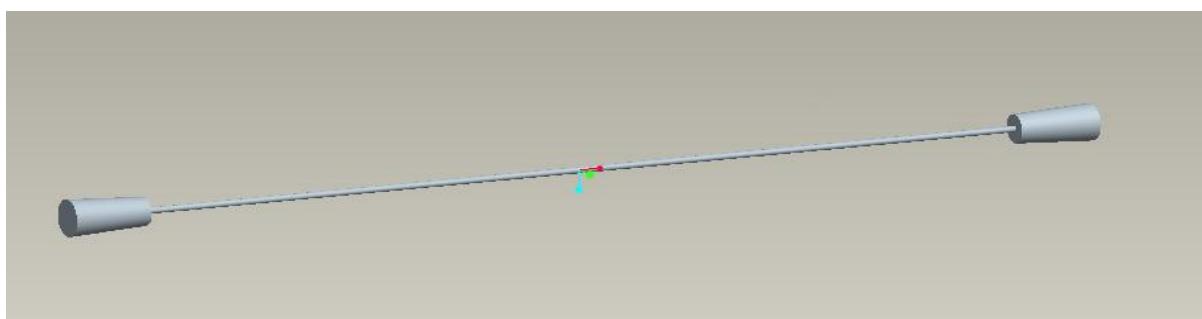
Εικόνα 4.35 . Μια από τις τέσσερις στηρίξεις.



Εικόνα 4.36 . Συναρμολόγηση.

4.15 ΜΠΑΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το τελευταίο κομμάτι που πρέπει να τοποθετηθεί είναι η μπάρα σταθεροποίησης, η οποία μπαίνει στο πάνω μέρος του άξονα στη σπή που έχει, όπως προαναφέρθηκε. Με τη σχεδίαση της μπάρας ολοκληρώνεται η συνολική μορφή της συναρμολόγησης. Με βάση αυτό το σχέδιο θα υπολογιστεί και σχεδιαστεί το ζητούμενο κέλυφος.



Εικόνα 4.37 . Μπάρα σταθεροποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

5.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Η προσθήκη ενός κελύφους στην παρούσα συναρμολόγηση είναι απαραίτητη για την προστασία των μηχανικών μερών του οχήματος. Το κάλυμμα αυτό πρέπει έχει αεροδυναμική μορφή και να λειτουργεί αρμονικά με τα υπόλοιπα μέρη του ελικοπτέρου. Επίσης πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα απομάκρυνσής του, αποκαλύπτοντας τα μέρη του οχήματος ή τουλάχιστον ένα σημαντικό μέρος αυτών. Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο έχουν επιλεγεί οι συγκεκριμένες διαστάσεις, καθώς επίσης και το πώς θα κουμπώνει με το ελικόπτερο. Τόσο το θέμα των διαστάσεων, όσο και της συναρμολόγησής του, έχει περάσει από μια επαναληπτική διαδικασία σχεδίασης με σκοπό τη συνεχή βελτίωση του εκάστοτε σχεδίου. Οι διαστάσεις που έχουν παρθεί είναι οι βέλτιστες δυνατές και αυτό δικαιολογείται στη συνέχεια. Για τον τρόπο συναρμολόγησης, έχουν σχεδιαστεί διαφορετικά κελύφη, το καθένα από τα οποία κουμπώνει με ξεχωριστό τρόπο. Κάποιοι από αυτούς τους τρόπους είναι οι εξής: Σύνδεση των δυο κελυφών με μαγνήτες ή μαγνητική ταινία και σύνδεση με κοχλίες. Η καλύτερη από αυτές τις εναλλακτικές είναι εκείνη η οποία παρέχει μεγαλύτερη δύναμη συγκράτησης μεταξύ των δυο τμημάτων, αλλά και μεταξύ των δυο τμημάτων και του ελικοπτέρου, συνεπώς παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια για το όχημα.

5.2 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

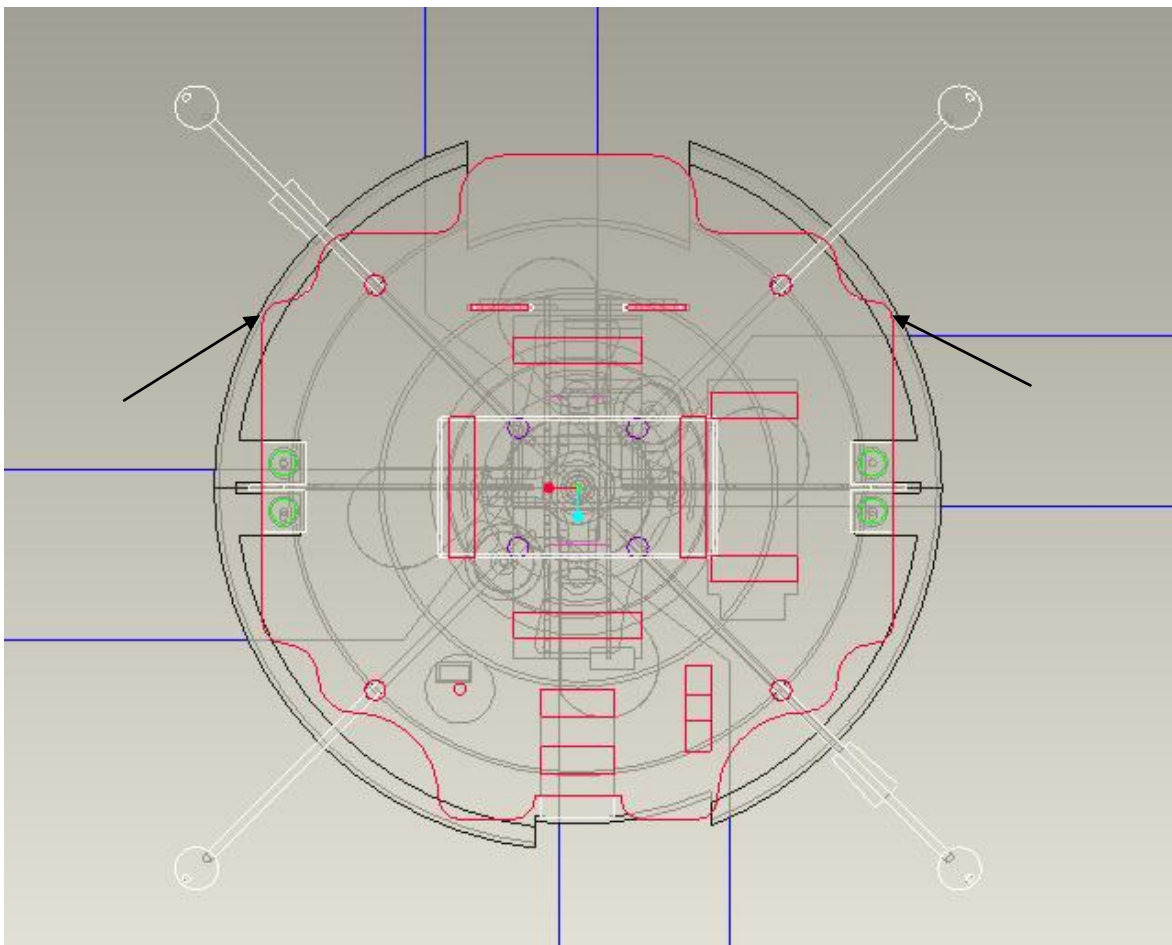
Η προσπάθεια για μια αρχική σχεδίαση του κελύφους ξεκινά από ένα σετ από απαιτήσεις για κάθε ενδεχόμενη κίνηση του ελικοπτέρου, από μια έρευνα αγοράς ή από άλλα μέσα. Οι απαιτήσεις οι οποίες έχουν συνήθως τη μεγαλύτερη επίδραση στη σχεδίαση είναι οι εξής:

- Το συνολικό φορτίο του αεροσκάφους (ωφέλιμο φορτίο)
- Το εύρος της κλίμακας της αντοχής
- Η συνθήκη αναρρίχησης
- Η μέγιστη ταχύτητα
- Το φορτίο του μέγιστου ελιγμού

Επίσης υπάρχουν πάντα σχεδιαστικοί περιορισμοί (βασικότεροι το μέγιστο φυσικό σχήμα και το μέγιστο επίπεδο μύτης [8]) οι οποίοι κατά κάποιο τρόπο περιορίζουν τις σχεδιαστικές εναλλακτικές επιλογές. Η επιλογή όμως του σωστού βάρους, που αποτελεί τον σημαντικότερο περιορισμό, δεν είναι τυχαία. Για δεδομένο βάρος υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε(ανά μονάδα όγκου), επιλέγουμε και το κατάλληλο πάχος της κατασκευής μας. Ανάλογα με αυτό το πάχος, θα προσδιορίσουμε στη συνέχεια και την επιφάνεια του κελύφους, έτσι ώστε το συνολικό βάρος του ελικοπτέρου να μην ξεπερνά τις δυνατότητές του.

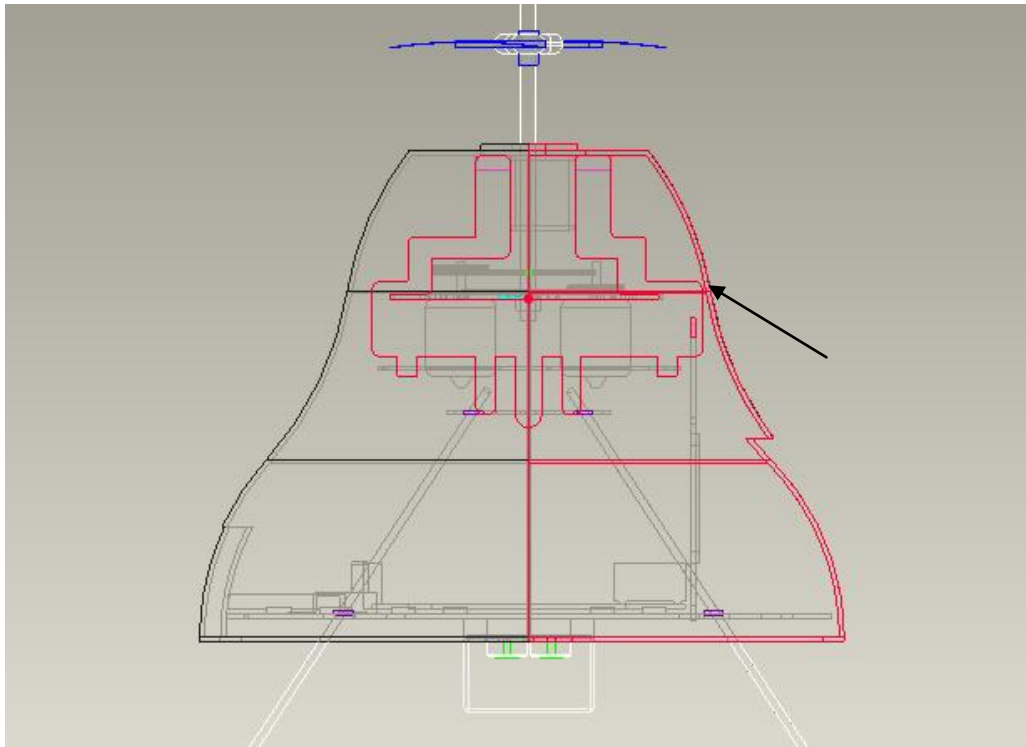
5.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Η επιλογή των διαστάσεων του κελύφους έγινε με βάση το σχέδιο της τελικής συναρμολόγησης του προηγούμενου κεφαλαίου. Πάνω στις τρεις κύριες όψεις αυτής της συναρμολόγησης σχεδιάστηκαν καμπύλες, με την ένωση των οποίων, σχηματίστηκε η τελική μορφή του κελύφους. Οι καμπύλες οι οποίες σχεδιάστηκαν και με την περιστροφή τους προέκυψε το συγκεκριμένο σχήμα του κελύφους, καθώς επίσης και οι αποστάσεις τους από τον κεντρικό άξονα είναι οι μικρότερες δυνατές και δικαιολογούνται από τα παρακάτω τρία σημεία. Το πρώτο είναι το κάτω μέρος του κελύφους που έρχεται οριακά κοντά στη βάση του ρομπότ. Αυτό φαίνεται από την απεικόνιση όλων των γραμμών(ορατών και μη ορατών).



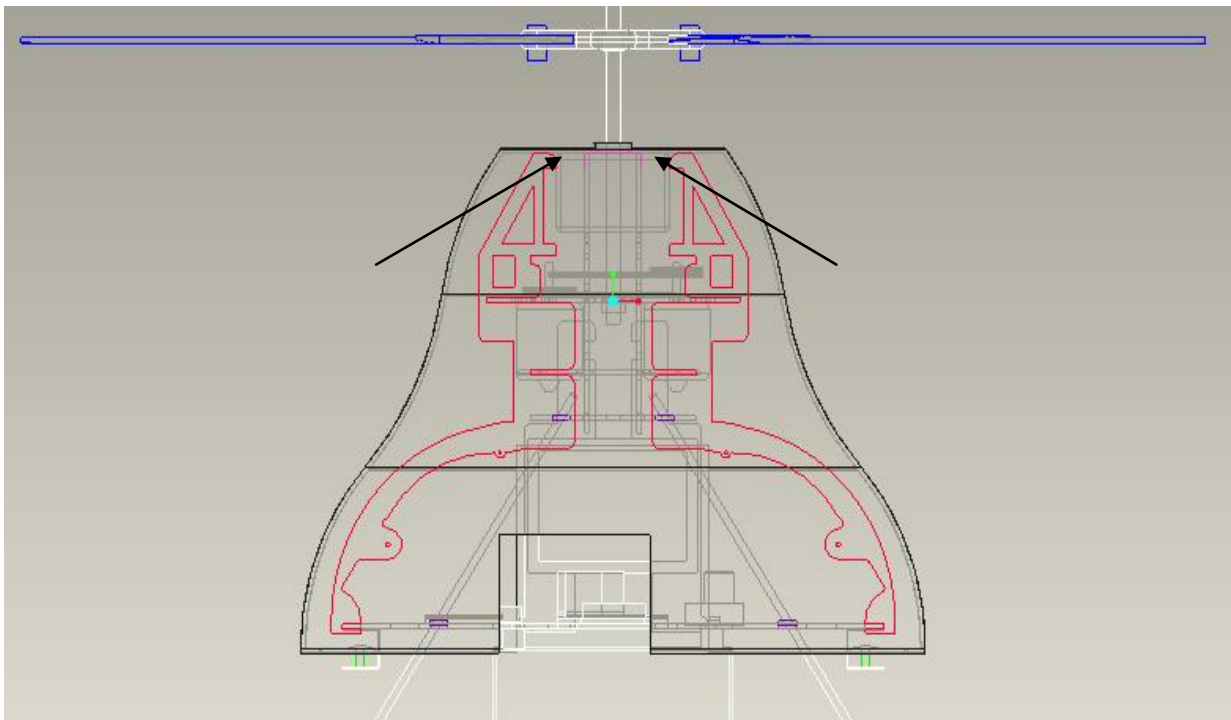
Εικόνα 5.1 . Κάτω όψη συναρμολόγησης.

Το δεύτερο είναι από την αριστερή πλάγια πλευρά, όπου το κέλυφος έρχεται και ακουμπά οριακά πάνω με ένα κομμάτι του ρομπότ.



Εικόνα 5.2 . Αριστερή πλάγια όψη συναρμολόγησης.

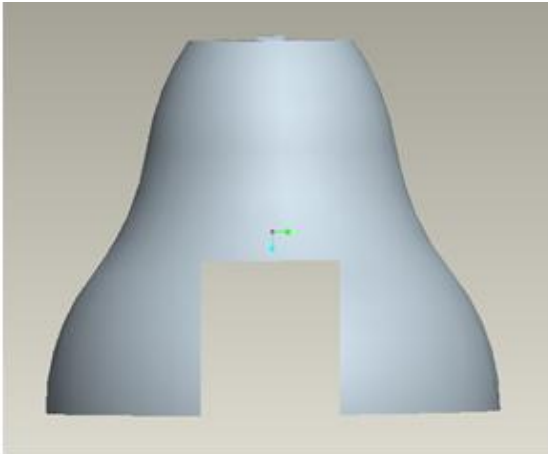
Τέλος η παρακάτω εικόνα δείχνει τη δεξιά πλάγια όψη, όπου το μοναδικό σημείο που ακουμπά το ρομπότ είναι το σημείο στήριξής του, στο πάνω μέρος.



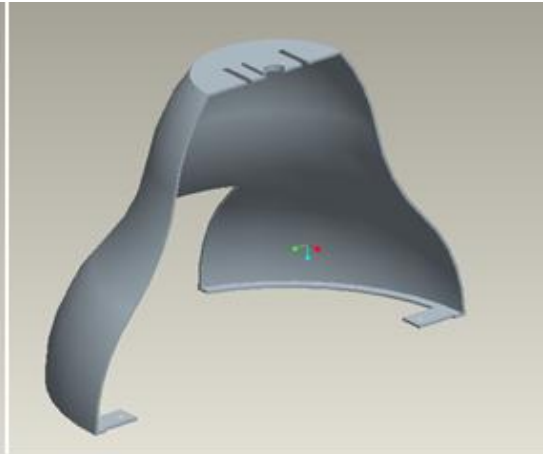
Εικόνα 5.3 . Δεξιά πλάγια όψη συναρμολόγησης.

Για να έχει τη δυνατότητα το κέλυφος να κουμπώνει και να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, έχει χωριστεί σε δύο τμήματα, τα οποία διαθέτουν τις απαραίτητες οπές.

1) Πρώτο τμήμα:

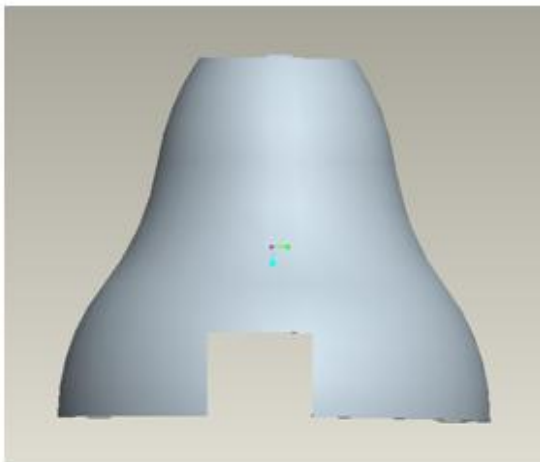


Εικόνα 5.4 .Πρόσοψη.

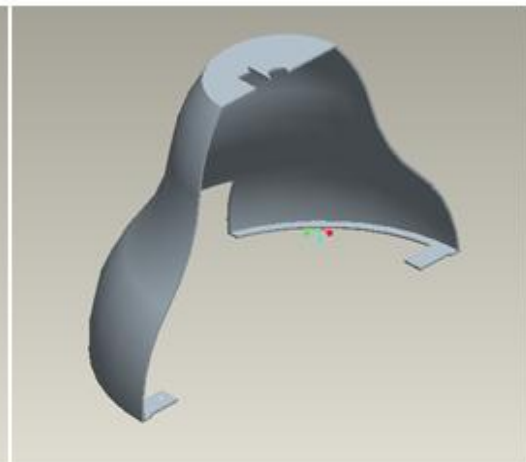


Εικόνα 5.5 . Γενική εικόνα.

2) Δεύτερο τμήμα:



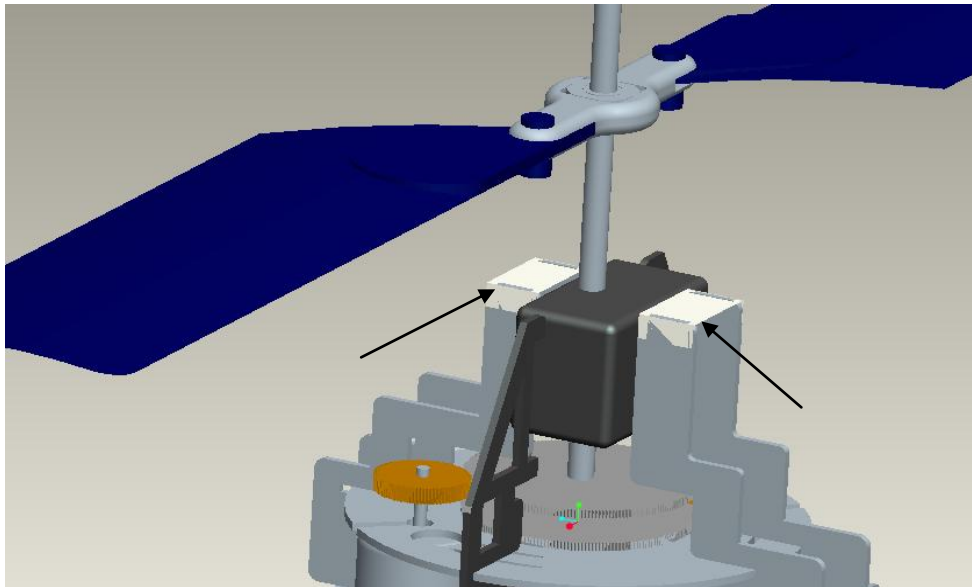
Εικόνα 5.6 .Πρόσοψη.



Εικόνα 5.7 . Γενική εικόνα.

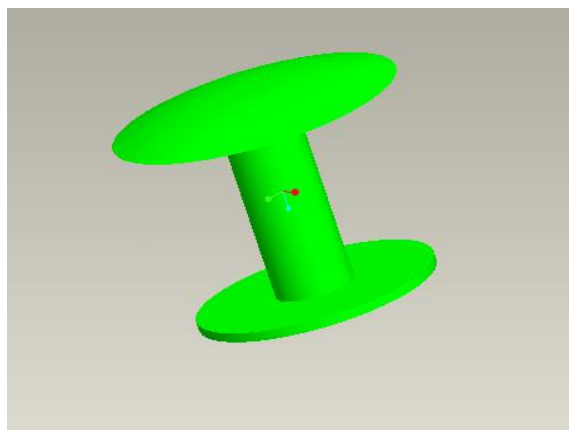
5.4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ-ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΟΥ

Η σύνδεση των δυο τμημάτων του κελύφους πάνω στο ομοαξονικό ελικόπτερο έχει επιτευχθεί με την προσθήκη κάποιων βοηθητικών επιφανειών. Στην πραγματικότητα πρόκειται για έξι λαμάκια με πάρα πολύ μικρό πάχος, τα οποία λειτουργούν σαν στήριξη. Τα πρώτα δυο έχουν τοποθετηθεί στο πάνω μέρος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.8.



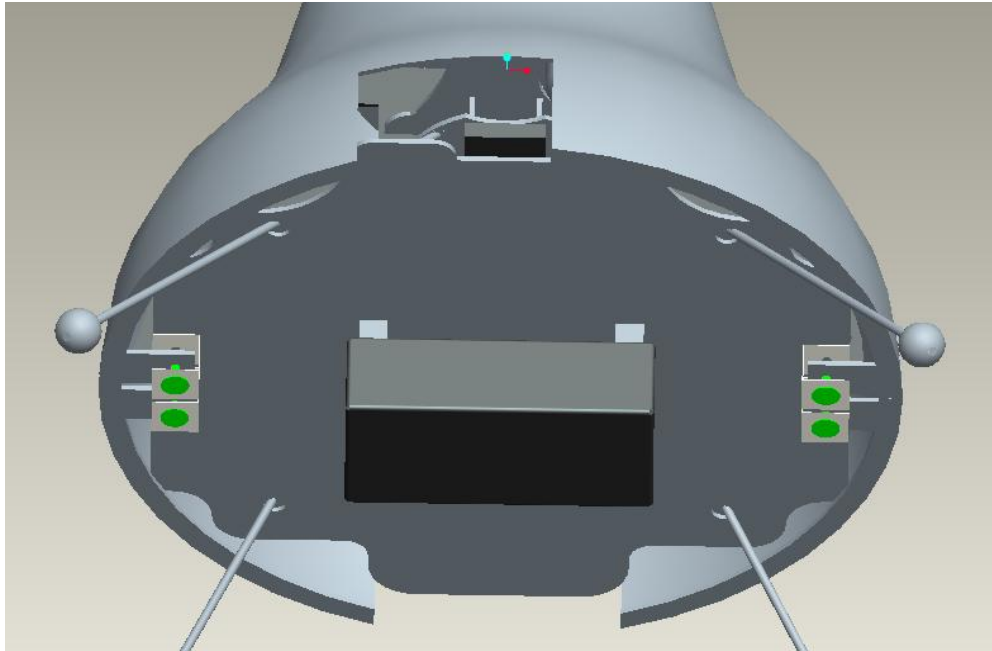
Εικόνα 5.8 . Βοηθητικές επιφάνειες.

Για να υπάρχει καλύτερη στήριξη του κελύφους, πάνω σε αυτές τις δυο επιφάνειες έχουμε τοποθετήσει scratch. Τα υπόλοιπα τέσσερα μεταλλικά ελάσματα έχουν τοποθετηθεί στο κάτω μέρος της βάσης του ελικοπτέρου και συνδέονται με το κέλυφος με τέσσερις ασφάλειες (κουμπώματα) της παρακάτω μορφής.



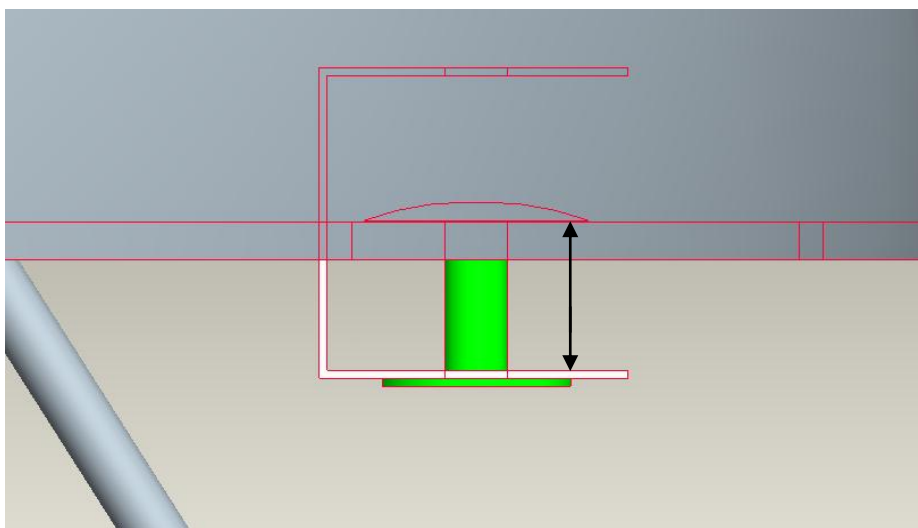
Εικόνα 5.9 . Ασφάλεια.

Στην Εικόνα 5.10 φαίνονται τα σημεία που έχουν κολληθεί τα τελευταία τέσσερα βοηθητικά ελάσματα κάτω από τη βάση. Τα ελάσματα σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά μικρότερα σε μέγεθος. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε μια καλή στήριξη πάνω στον σκελετό του ελικοπτέρου, αφού το κάθε τμήμα του κελύφους κουμπώνει σε τρία διαφορετικά σημεία, τα άκρα του και το πάνω μέρος.



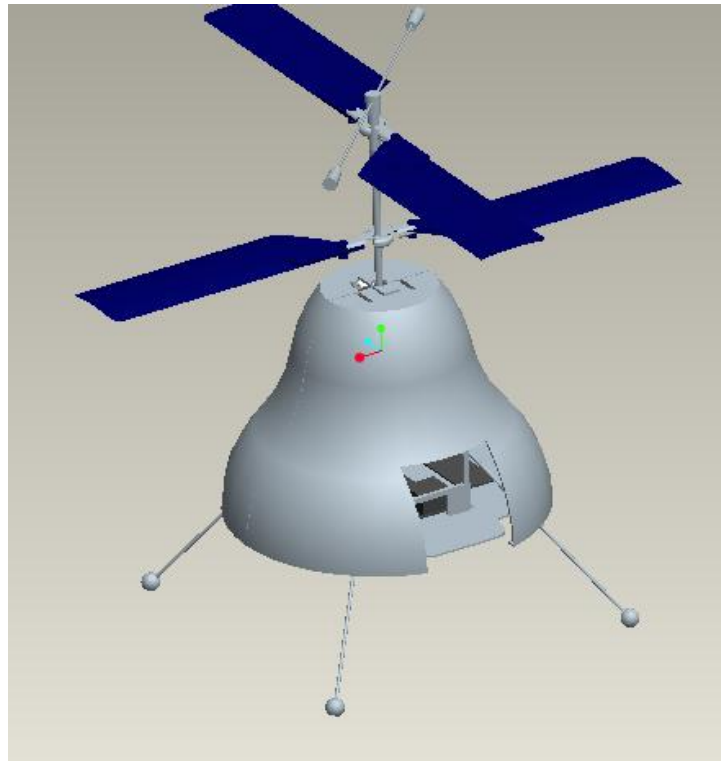
Εικόνα 5.10 . Τέσσερις συνδέσεις.

Το κάθε κέλυφος έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε η κάθετη απόσταση από την ορθογώνια προεξοχή που διαθέτει στο κάτω μέρος έως και την κάτω επιφάνεια από το έλασμα να είναι ακριβώς ίση με το ύψος της ασφάλειας. Τα βελάκια δείχνουν αυτήν την απόσταση η οποία είναι



Εικόνα 5.11 . Υπάρχουσα απόσταση.

Τέλος η συνολική εικόνα του ελικοπτέρου μαζί με το κέλυφος σε δυο όψεις (πάνω και κάτω) παρουσιάζεται στις Εικόνες 5.12, 5.13:



Εικόνα 5.12 . Πάνω όψη ελικοπτέρου.



Εικόνα 5.13 . Κάτω όψη ελικοπτέρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης της μορφής του κελύφους υπάρχει η ανάγκη για μελέτη και έλεγχο της μηχανικής του προβλήματος. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει είτε πειραματικά με πολλαπλές δοκιμές με σκοπό την εξακρίβωση της αντοχής της κατασκευής, είτε με τη χρήση Η/Υ. Σε αεροπορικού τύπου κατασκευές προστίθεται ένα επιπλέον ζήτημα, η ασφάλεια του εσωτερικού χώρου του αεροσκάφους, δηλαδή οι επιβάτες και στη δική μας περίπτωση ο εσωτερικός μηχανισμός του ελικοπτέρου. Το κέλυφος πρέπει να δοκιμαστεί τόσο στην ασφάλεια, όσο και στην αντοχή του κατά την πρόσκρουσή του με το έδαφος. Αυτό θα επιτευχθεί με τη χρήση του προγράμματος Pro-Mechanica, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Για καλύτερη κατανόηση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων στη συνέχεια δίνονται κάποια στοιχεία θεωρίας [9], που σχετίζονται με τις γενικές αρχές τους, ώστε να γίνει δυνατή η κατανόηση των υπολογισμών που ακολουθείται κατά την επίλυση του προβλήματος. Επίσης, επεξηγείται ο τρόπος μοντελοποίησης των φορτίσεων πριν την έναρξη της εκάστοτε υπολογιστικής διαδικασίας. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω του προαναφερθέντος λογισμικού πακέτου.

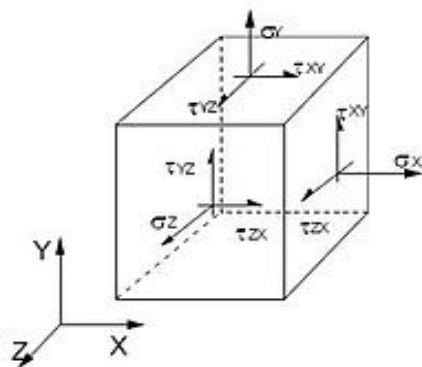
6.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι. Μία από αυτές είναι και τα πεπερασμένα στοιχεία [9]. Η μέθοδος αυτή είναι μια αριθμητική μέθοδος για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Βρίσκει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων που εκτείνονται από την παραμόρφωση και την ανάλυση τάσεων σε αυτοκίνητα, αεροπλάνα, κτίρια και γέφυρες, μέχρι την ανάλυση πεδίων ροής θερμότητας, ροής υγρών, μαγνητικής ροής, υπόγειας ροής και άλλων προβλημάτων ροής. Με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των Η/Υ και των συστημάτων CAD, σύνθετα προβλήματα μπορούν να μοντελοποιηθούν πολύ εύκολα και διάφορες εναλλακτικές συνθέσεις μπορούν να δοκιμαστούν σε ένα Η/Υ πριν κατασκευαστεί το πρώτο πρωτότυπο τους. Αυτή η μέθοδος ανάλυσης αναφέρεται στον κατακερματισμό του χώρου του προβλήματος σε πολλά διακριτοποιημένα απλά γεωμετρικά σχήματα τα πεπερασμένα στοιχεία. Οι ιδιότητες των υλικών και οι διέπουσες σχέσεις θεωρούνται πάνω σε αυτά τα στοιχεία και εκφράζονται σε όρους των άγνωστων τιμών στις γωνίες (κόμβους) των στοιχείων. Αυτή η διαδικασία σύνθεσης θεωρεί για κάθε ένα από τα γεωμετρικά σχήματα τα αντίστοιχα φορτία και τους περιορισμούς, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα σύστημα N εξισώσεων με N αγνώστους. Η λύση αυτή των εξισώσεων δίνει την κατά προσέγγιση συμπεριφορά του συνεχούς. Το μεγάλο μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό το μειονέκτημα έχει ξεπεραστεί τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών. Η

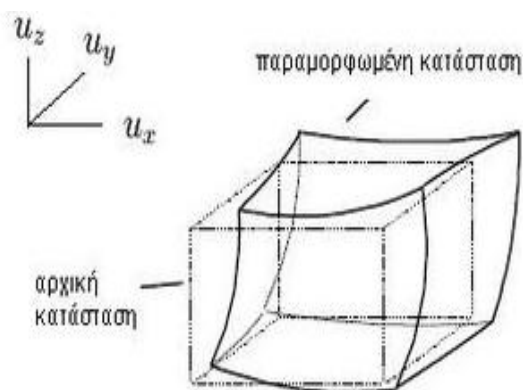
επιτυχία αυτής της μεθόδου ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στη βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διαφόρων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια εξέλιξη των μητρωικών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων. Το σύστημα των κομβικών σημείων περιγράφεται από μια μήτρα δυσκαμψίας, η οποία είναι αποτέλεσμα μιας προεπεξεργασίας που περιλαμβάνει δεδομένα όπως οι κομβικές συντεταγμένες, η συνδεσμολογία, οι συνοριακές συνθήκες, οι φορτίσεις και πληροφορίες για το υλικό. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζοντας τον πίνακα των μετατοπίσεων των κόμβων του κάθε στοιχείου με τη μήτρα δυσκαμψίας, οδηγούμαστε στον υπολογισμό των κομβικών μεταβλητών.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένας στοιχειώδης κύβος και οι τάσεις που ασκούνται πάνω σε αυτόν. Στη διπλανή εικόνα βλέπουμε τον ίδιο κύβο σε παραμορφωμένη κατάσταση.



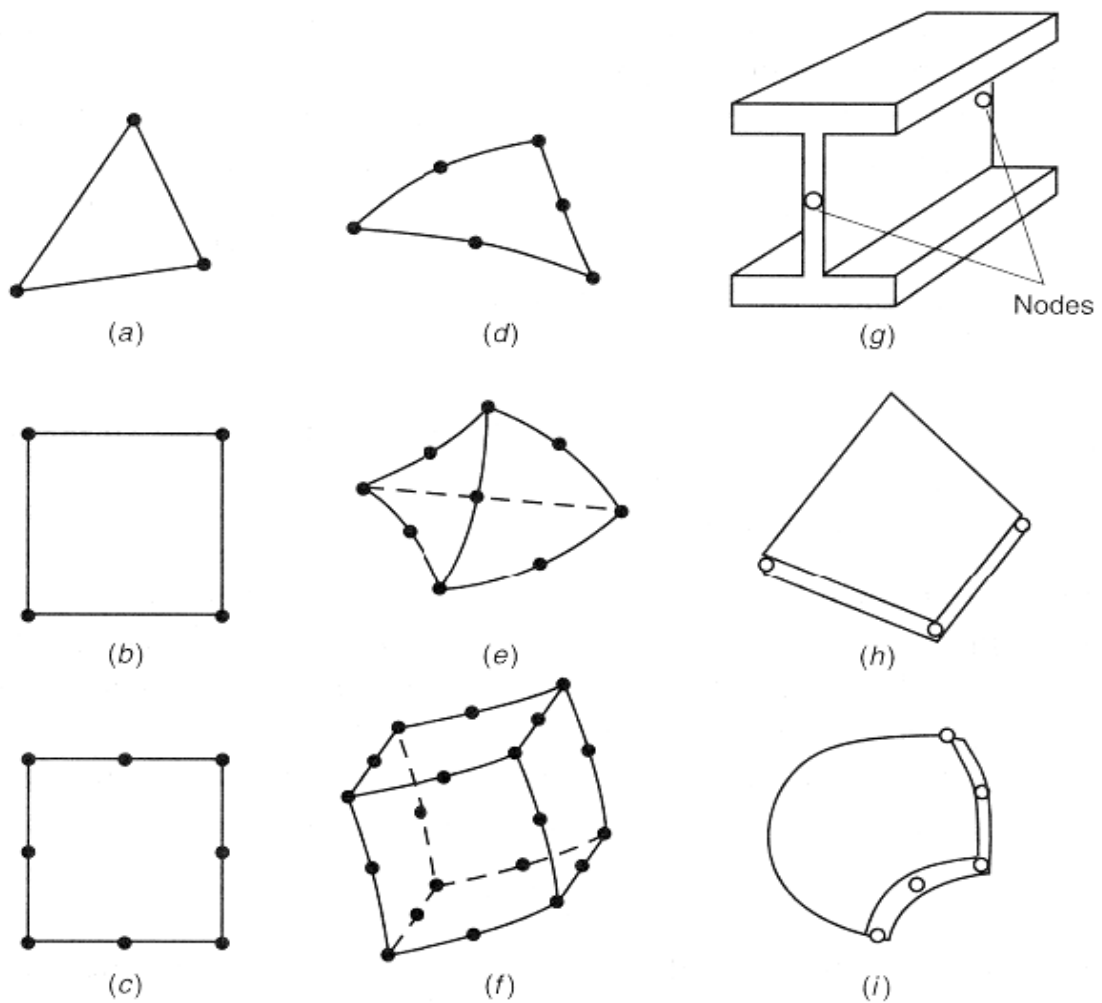
Εικόνα 6.1 .Τάσεις σε στοιχειώδη κύβο.



Εικόνα 6.2 . Παραμόρφωση στοιχειώδους κύβου.

6.2.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η βασική ιδέα ενός σχήματος δημιουργίας πλέγματος είναι η παραγωγή δεδομένων συνδεσμολογίας στοιχείων και κομβικών συντεταγμένων με την εισαγωγή δεδομένων για μερικά σημαντικά στοιχεία. Οι τύποι στοιχείων μοντελοποίησης χωρίζονται σε δύο είδη, τα συνεχή και τα δομικά. Στα συνεχή η γεωμετρία τους ορίζεται πλήρως από τις συντεταγμένες των κόμβων τους. Τα δομικά στοιχεία είναι στοιχεία που συμπεριφέρονται σύμφωνα με παραδοχές της συμπεριφοράς των κατασκευών σε σχέση με την αντοχή των υλικών. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται μερικά από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων [10]. Τα τρίγωνα και τετράγωνα (a,b) είναι τα πιο απλά στοιχεία με δυο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο. Προσθέτοντας και άλλους κόμβους στις άκρες ή στο κέντρο μοντελοποιούνται καλύτερα καμπύλες και μέτωπα (c). Τρισδιάστατα μοντέλα έχουμε: τα ισοπαραμετρικά τρίγωνα (d), τα τετράεδρα (e) και τα εξάεδρα (f). Τέλος, τα πιο κοινά δομικά στοιχεία είναι: το στοιχείο της δοκού (g), το στοιχείο του δίσκου (h) και το στοιχείο του κελύφους (i).



Εικόνα 6.3 . Τύποι στοιχείων μοντελοποίησης στην ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων.

6.2.2 ΘΕΩΡΙΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

- **Θεωρία μέγιστης ορθής τάσης**

Οι ορθές τάσεις που ασκούνται πάνω σε ένα πρισματικό τεμάχιο ονομάζονται κύριες τάσεις και οι διευθύνσεις τους, κύριες διευθύνσεις και είναι κάθετες στα κύρια επίπεδα του τεμαχίου. Για μια δεδομένη τιμή αντοχής του υλικού, η θεωρία αυτή προβλέπει την αστοχία του όταν μια από τις ορθές τάσεις γίνει ίση με αυτή τη δεδομένη τιμή.

- **Θεωρία μέγιστης διατμητικής τάσης**

Στην ανάλυση τρισδιάστατης εντατικής κατάστασης ενός πρισματικού τεμαχίου, τα επίπεδα στα οποία αναπτύσσονται οι μέγιστες διατμητικές τάσεις σχηματίζουν γωνίες των 45° με τα κύρια επίπεδα. Για κάθε ζεύγος κύριων τάσεων υπάρχουν δυο επίπεδα μέγιστων διατμητικών τάσεων, τα οποία διχοτομούν τις διευθύνσεις των κυρίων τάσεων. Οι τιμές των μέγιστων διατμητικών τάσεων υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\tau_1 = \sigma_2 - \sigma_3 / 2$$

$$\tau_2 = \sigma_1 - \sigma_3 / 2$$

$$\tau_3 = \sigma_1 - \sigma_2 / 2$$

Καθώς έχει επικρατήσει παγκοσμίως η σύμβαση με σ_1 να συμβολίζεται η αλγεβρικά μεγαλύτερη κύρια τάση, ενώ με σ_3 η αλγεβρικά μικρότερη κύρια τάση, η μέγιστη διατμητική τάση σε αυτό το τεμάχιο ισούται με την $\tau_2 = \tau_{\max}$. Στη θεωρία αυτή όταν η τ_2 φτάσει τη μέγιστη τιμή της, η οποία δίνεται από τον προηγούμενο τύπο, τότε ξεκινά η διαρροή του υλικού. Η μέγιστη διατμητική τάση έχει πολύ μεγάλη σημασία στην θεωρία της πλαστικότητας, καθώς επίσης και στις κατεργασίες διαμόρφωσης των μετάλλων (έλαση, βαθεία κοίλανση κ.τ.λ.).

- **Θεωρία ενέργειας παραμόρφωσης ή Von Misses**

Στην επιστήμη υλικών, όπως και στη μηχανική η απόδοση του Von Misses κριτηρίου μπορεί να διατυπωθεί και ως η Von Misses τάση ή η ισοδύναμη τάση σ' , δηλαδή μια κλιμακωτή τιμή τάσης, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από τον τανυστή των τάσεων. Σε αυτή την περίπτωση λέγεται ότι ένα υλικό αρχίζει να αστοχεί όταν η Von Misses τάση γίνει ίση με το όριο διαρροής του υλικού σ_y . Αυτή η τιμή της τάσης ικανοποιεί την ιδιότητα όπου όταν δύο τάσεις έχουν την ίδια ενέργεια παραμόρφωσης, έχουν και την ίδια Von Misses, και η τιμή της τάσης αυτής δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right]^{1/2}$$

Σχέση 6.1 .

Η Von Misses τάση χρησιμοποιείται για να προβλέψει την αστοχία των υλικών κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες φόρτισης, οι οποίες προκύπτουν από απλές μονοαξονικές εντατικές δοκιμές. Επίσης είναι εφαρμόσιμη στην ανάλυση πλαστικής παραμόρφωσης εύκαμπτων υλικών, καθώς η προσβολή τους σε αστοχία δεν εξαρτάται από τα υδροστατικά στοιχεία του τανυστή των τάσεων. Τέλος, τα πλεονεκτήματά της είναι ότι μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα, να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα, μοντελοποιώντας ολόκληρη την κατάσταση των τάσεων και ότι αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο στο είδος της.

6.2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Συνοψίζοντας για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται προεπεξεργαστές (pre processors).
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το ποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται επιλυτές (solver) και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
4. Όταν τελειώσει η επίλυση, για τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται μεταεπεξεργαστής (post processor), για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

6.3 ΕΠΙΛΥΣΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το κέλυφος αποτελεί το μεγαλύτερο σε επιφάνεια συνθετικό στοιχείο του ελικοπτέρου που έρχεται σε επαφή με τον αέρα και τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του έχουν σημαντική αλληλεπίδραση στην εκτέλεση της λειτουργίας του στο σύνολο. Για να είναι σε θέση το ρομπότ να λειτουργεί κανονικά θα πρέπει το κέλυφός του να είναι άψογα αεροδυναμικά συνδεδεμένο με τους δύο ρότορες. Απομονωμένα, αυτά τα κομμάτια μπορεί να φαίνεται ότι αντιλαμβάνονται τα ροϊκά φαινόμενα καλά και να διαθέτουν όλα τα απαραίτητα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά. Παρόλα αυτά, όταν βρίσκονται συνδεδεμένα, μπορεί να συμπεριφέρονται διαφορετικά και οι αεροδυναμικές αλληλεπιδράσεις που παράγονται μεταξύ τους, μπορεί να προξενούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, το κέλυφος είναι βυθισμένο μέσα στη στήλη του αέρα που προξενούν οι ρότορες ή ο ένας ρότορας λειτουργεί διαφορετικά μόνος του από ότι σε συνεργασία με τον άλλο. Επειδή, όμως η λειτουργία του ελικοπτέρου πρέπει να είναι αποτελεσματική και προβλεπόμενη, η συμφωνία της κάθε αλληλεπίδρασης είναι απαραίτητη για την προσθήκη του κελύφους.

Ως δεδομένα από την κατασκευαστική εταιρία [1] έχουμε την κατά προσέγγιση μέγιστη ταχύτητα αναρρίχησης, η οποία είναι 1-2 m/s και την κατά προσέγγιση μέγιστη ταχύτητα για οριζόντια πτήση 4-5m/s. Έχοντας αυτά τα δεδομένα μπορούμε να διαχωρίσουμε την αεροδυναμική ανάλυση σε τέσσερα μέρη: Το πρώτο και πιο απλό η ισορροπία στην αιώρηση (hover), το δεύτερο η ανύψωσή του και το κατέβασμά του αντίστοιχα, το τρίτο η οριζόντια πτήση και τέλος η αιώρησή του όταν βρισκόμαστε κοντά στο έδαφος (βρισκόμαστε σε ground effect).

6.3.1 Περίπτωση ισορροπίας(αιώρηση)

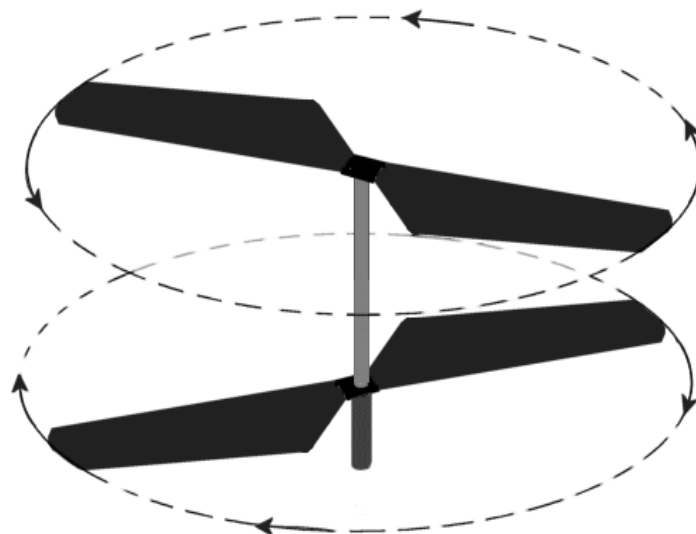
Σε αυτή την περίπτωση οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο ελικόπτερο είναι η συνολική ώθηση και το βάρος του, το οποίο από τα κατασκευαστικά δεδομένα κυμαίνεται από 280g(0.617292 lb_m) με βασικό εξοπλισμό ως και 340g(0.74957 lb_m) με πλήρη εξοπλισμό. Θα χρησιμοποιήσουμε την τιμή του μέγιστου βάρους, για να επιτύχουμε τις μέγιστες δυνάμεις που είναι δυνατόν να ασκηθούν πάνω στο κέλυφος. Το βάρος του πρώτου μέρους του κελύφους, ζυγίζει 0.1131g (0.000249372 lb_m) και έχει υπολογιστεί μέσα από το Pro-Mechanica, το δεύτερο 0.121g (0.000266798 lb_m). Οι ασφάλειες είναι τέσσερις και η κάθε μια έχει βάρος 0.0523g (0.000115274 lb_m).

Από το σύνολο των επιμέρους βαρών έχουμε συνολική συνιστώσα της δύναμης της βαρύτητας, η οποία λόγω γεωμετρίας ασκείται στο κέντρο:

$$W_{helicopter} + W_{κελύφους} + 4W_{κοχλιών} = (m_{helicopter} + m_{κελύφους} + 4m_{κοχλιών}) * g =$$

$$(0.74957 + 0.000249372 + 0.000266798 + 4 * 0.000115274) * 32.174049 = \mathbf{24.148lb_f}$$

Στη συνέχεια, το κάθε στροφέιο έχει διαφορετική γωνιακή ταχύτητα και δίνει τη δική του ώθηση. Από την περιστροφή του κάθε στροφείου παράγεται και η ανάλογη ροπή στρέψης στον κοινό τους άξονα. Επειδή όμως τα δύο στροφεία περιστρέφονται με αντίθετη φορά, όπως φαίνεται παρακάτω η συνολική ροπή αντισταθμίζεται [8].



Εικόνα 6.4 . Αντίθετη φορά κίνησης στροφείων.

Καθώς πρόκειται για ομοαξονικό ελικόπτερο οι δύο αυτές δυνάμεις λειτουργούν αθροιστικά στο σύνολό τους και έτσι έχουμε:

- Για το πρώτο στροφέιο η ώθηση είναι:

$$T_1 = 2 * \rho * A * v_{i1}^2$$

- Για το δεύτερο έχουμε αντίστοιχα:

$$T_2 = 2 * \rho * A * v_{i2}^2$$

, όπου $\rho = 1,1226 \text{ kg/m}^3$ είναι η πυκνότητα αέρα

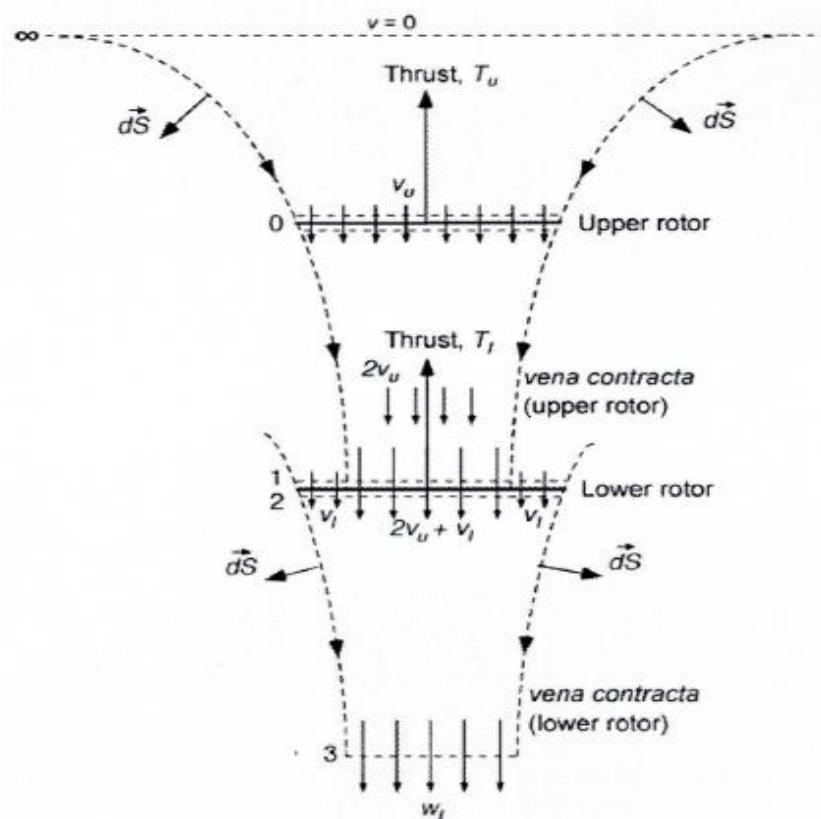
$A = \pi * R^2 = 3.14 * (0.3408/2)^2 = 0.0911735 \text{ m}^2$ είναι το εμβαδό του δίσκου του κάθε ρότορα και

v_i η προς τα κάτω παραγόμενη ταχύτητα του αέρα

Η συνολική ώθηση που παράγεται είναι:

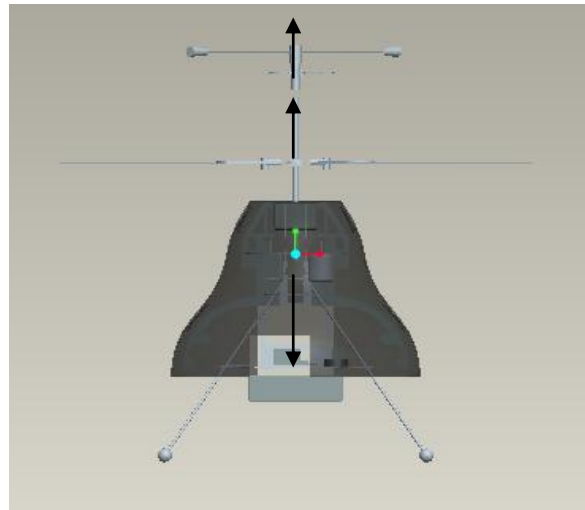
$$T = T_1 + T_2,$$

και η ροή του αέρα σε αιώρηση παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.5.



Εικόνα 6.5 . Η διεύθυνση της ροής του αέρα ομοαξονικού ελικοπτέρου.

Οι T_1, T_2 , εφαρμόζονται πάνω από τα αντίστοιχα στροφεία και στην ίδια ευθεία με τη δύναμη του βάρους.



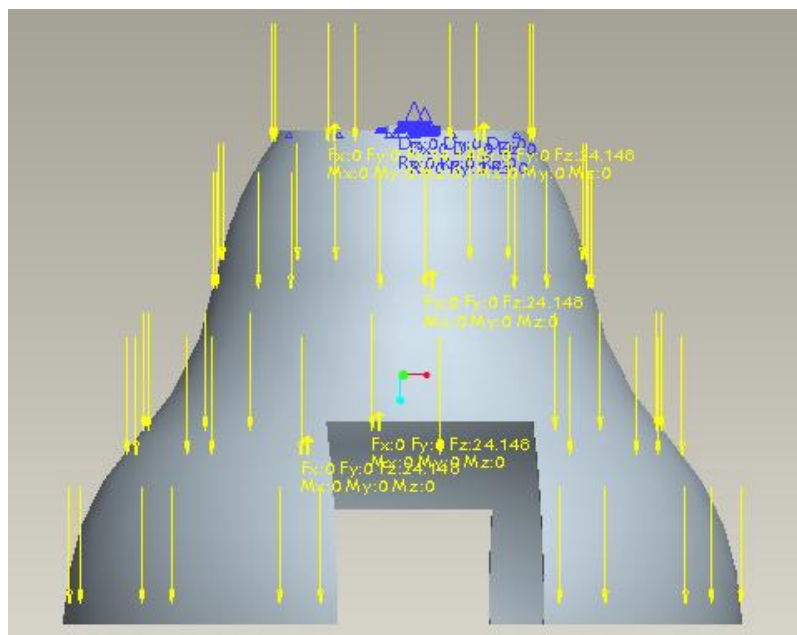
Εικόνα 6.6 . Σημεία εφαρμογής δυνάμεων.

Για ισορροπία στον κάθετο άξονα, έχουμε:

$$\Sigma F=0 \text{ δηλαδή } T=W, \text{ άρα } T=24.148\text{lb}_f \text{ ή } T=107.4156\text{N}$$

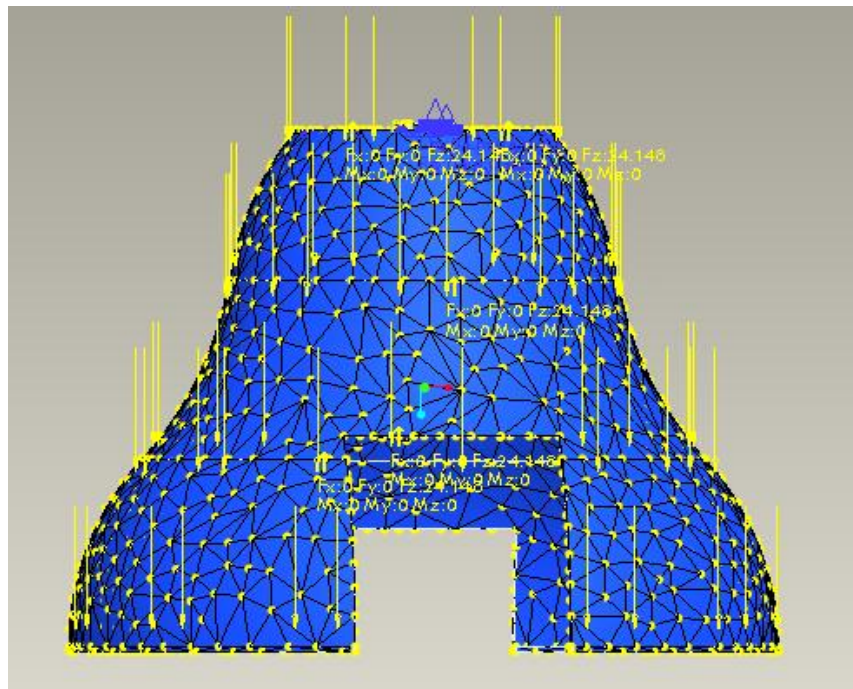
Η ώθηση όμως που παράγει το ελικόπτερο προς τα πάνω είναι μια στήλη αέρα που οδηγείται προς τα κάτω, διαμέσου των επιπέδων των στροφείων. Δηλαδή η δύναμη αυτή ασκείται κατανομημένη σε ολόκληρη την επιφάνεια του κελύφους. Με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, μπορούμε να βρούμε την κατανομή αυτής της δύναμης στο κέλυφος.

Παρακάτω φαίνεται η δύναμη που ασκεί ο αέρας στο κέλυφος, και η στήριξη του κελύφους στο πάνω μέρος.



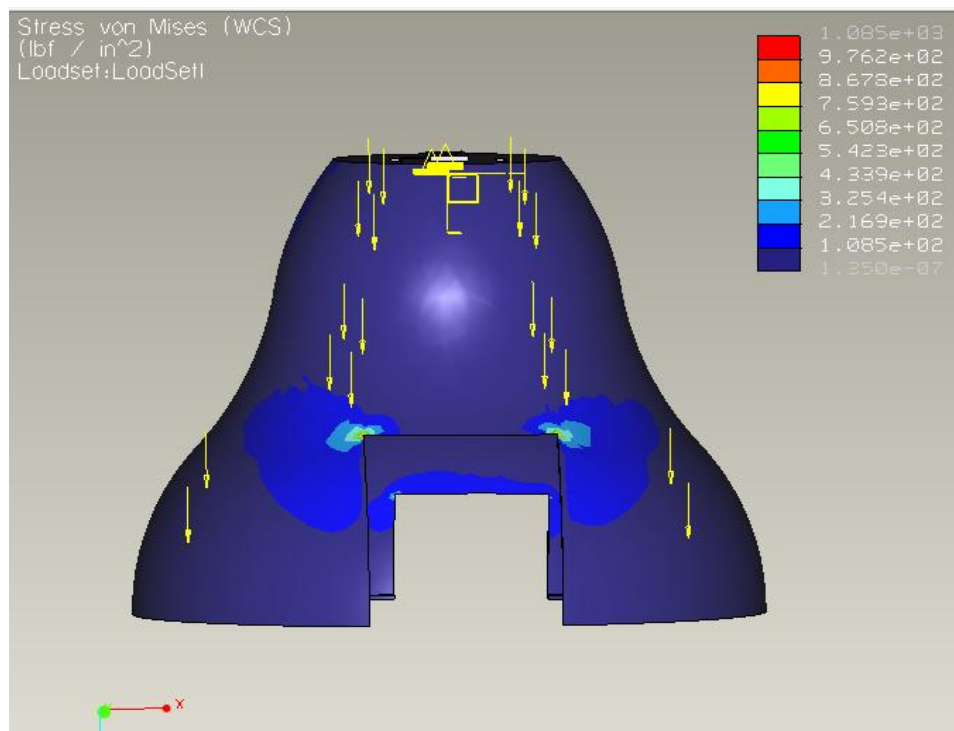
Εικόνα 6.7 . Μοντελοποίηση προβλήματος.

Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων φτιάχνουμε το ανάλογο πλέγμα σε όλο τον όγκο του κελύφους.



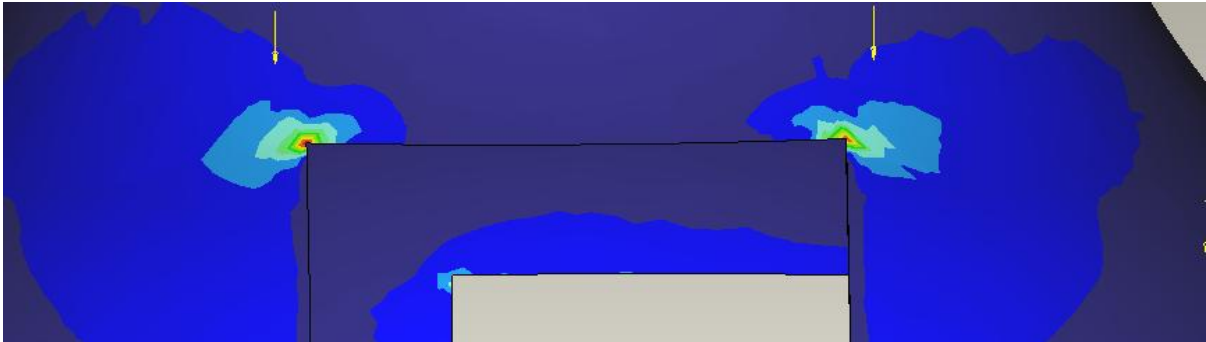
Εικόνα 6.8 . Δημιουργία πλέγματος.

Στη συνέχεια, βλέπουμε τις τιμές των Von Mises τάσεων στην αρχική εικόνα, και στη δίπλα πως τείνει να γίνει το κέλυφος, δηλαδή την παραμόρφωση. Η πρώτη εικόνα παρουσιάζει την πρόσοψη, όπου απεικονίζονται οι τάσεις που ασκούνται πάνω στο κέλυφος.



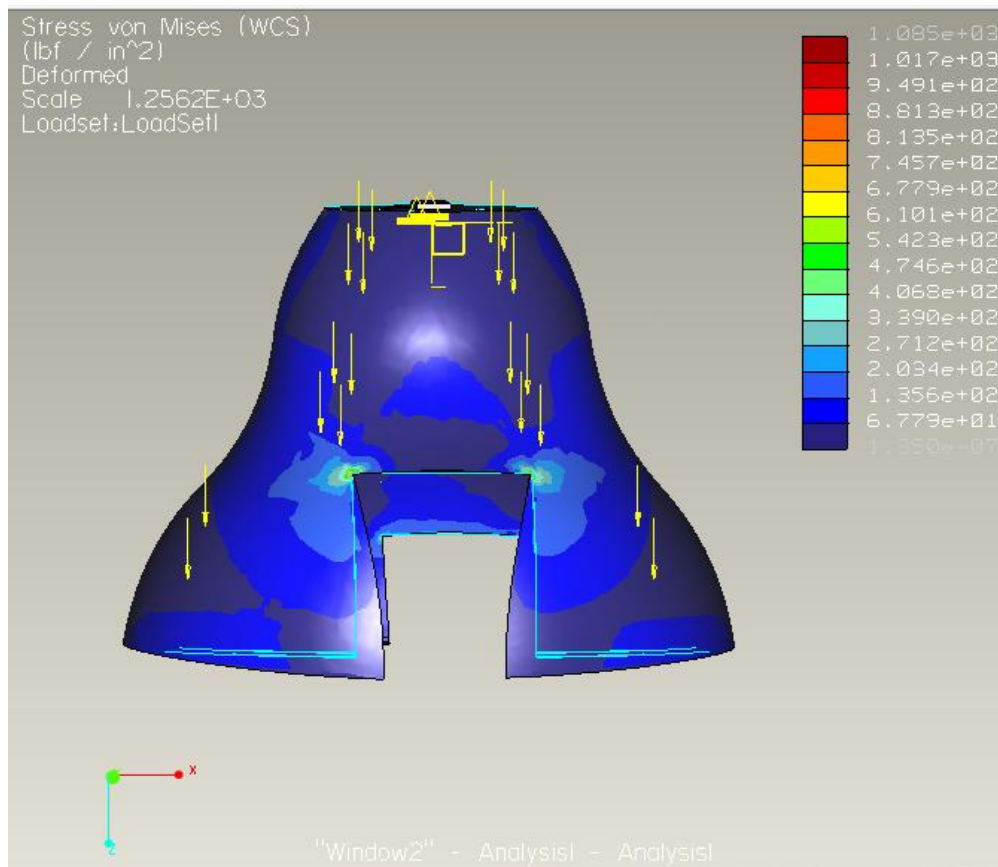
Εικόνα 6.9 . Απεικόνιση τάσεων στην πρόσοψη κατά την αιώρηση.

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς οι περισσότερες τάσεις είναι συγκεντρωμένες στις γωνίες και αυτό συμβαίνει διότι λόγω της συγκεκριμένης γεωμετρίας αλλάζει η ροή του αέρα και η πίεση στο κάθετο άξονα μειώνεται, καθώς σχηματίζονται διαφόρων ειδών δίνες.



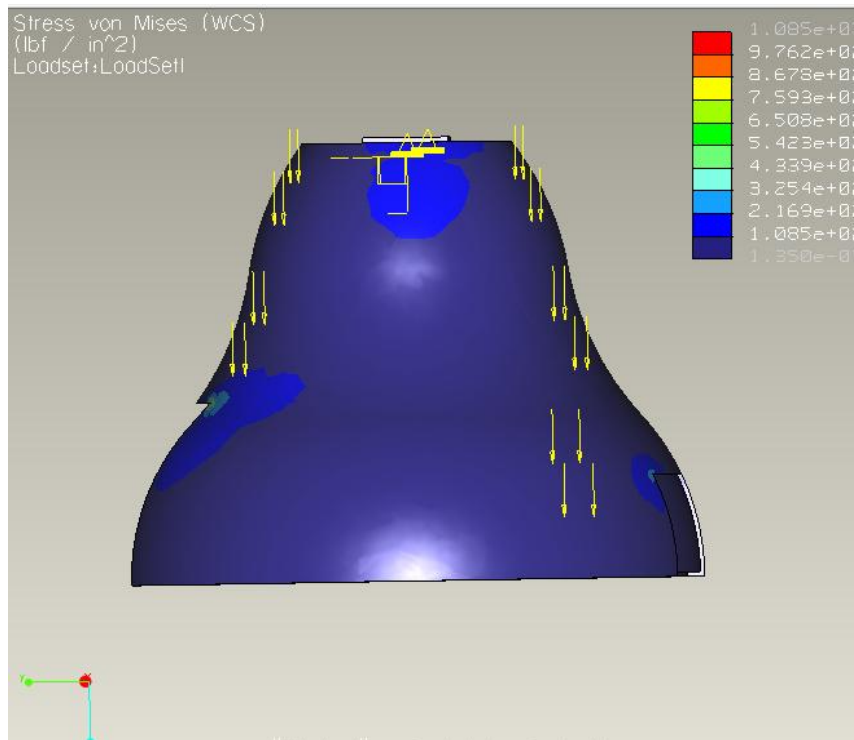
Εικόνα 6.10 . Εστίαση στις περιοχές με τις περισσότερες τάσεις.

Στη δεύτερη εικόνα φαίνεται ξανά η πρόσοψη του κελύφους, αλλά με παραμόρφωση. Δηλαδή πρόκειται για τη μορφή που τείνει να πάρει το κέλυφος λόγω των δυνάμεων που ασκούνται πάνω του.

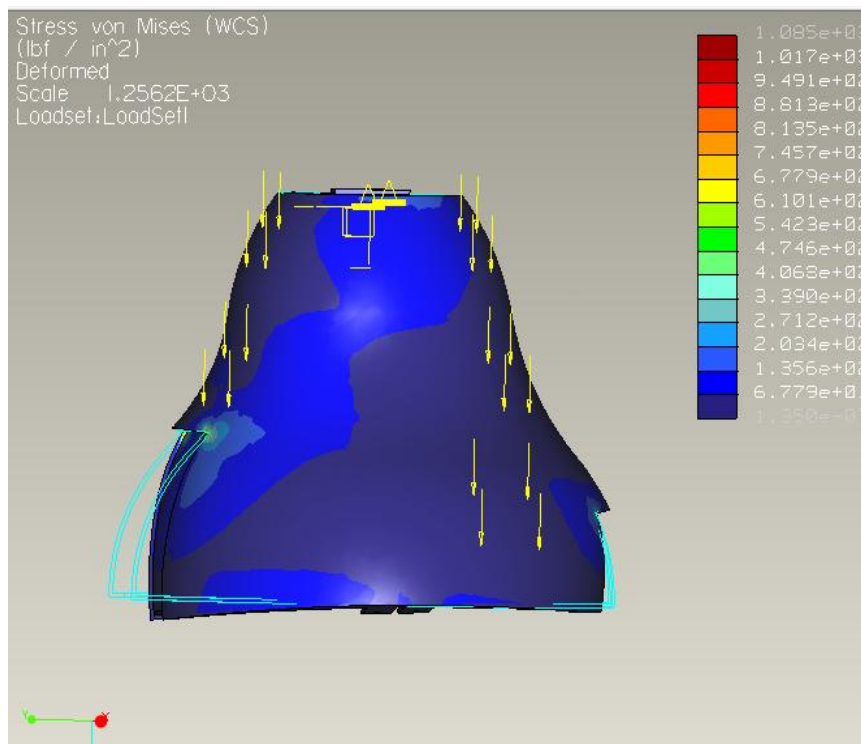


Εικόνα 6.11 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στην πρόσοψη κατά την αιώρηση.

Στη συνέχεια ακολουθεί η δεξιά πλάγια όψη. Η πρώτη εικόνα παρουσιάζει τις τάσεις που ασκούνται πάνω στο κέλυφος και η δεύτερη την παραμόρφωση που προκύπτει, όπως και προηγουμένως.



Εικόνα 6.12 . Απεικόνιση τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την αιώρηση.



Εικόνα 6.13 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την αιώρηση.

6.3.2 Περίπτωση ανύψωσης και κατάβασης ελικοπτέρου

Κατά την ανύψωση του ελικοπτέρου οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω του εξακολουθούν να είναι το βάρος του και η ώθηση που δίνουν τα δύο στροφέα, μόνο που αυτή τη φορά η ώθηση είναι μεγαλύτερη. Από την κατασκευαστική εταιρία έχουμε την κατά προσέγγιση μέγιστη ταχύτητα αναρρίχησης, η οποία είναι 1-2 m/s, έτσι έχουμε την παρακάτω σχέση που περιγράφει την κατάσταση του ελικοπτέρου κατά την ανύψωση:

$$H \text{ συνολική ώθηση, } T = 2 * \rho * A * (v_c + v_i) * v_i ,$$

Όπου v_c είναι η μέγιστη ταχύτητα ανύψωσης, δηλαδή $v_c = 2 \text{ m/s}$, και v_i είναι η προς τα κάτω παραγόμενη ταχύτητα του αέρα που προξενείται από τα στροφέα, και έχει την ίδια τιμή με την περίπτωση της αιώρησης, και προκύπτει από τον τύπο: $v_i^2 = T / 2 * \rho * A \Rightarrow v_i = 22.15 \text{ m/s}$

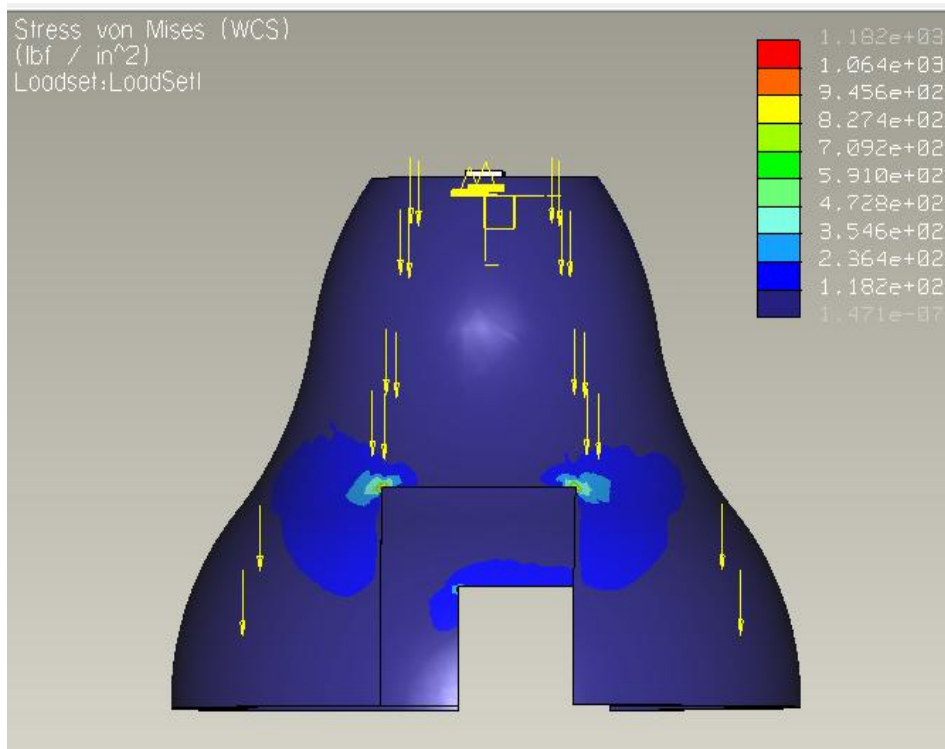
Αντικαθιστώντας, υπολογίζουμε την v_h

$$v_h^2 = (v_c + v_i) * v_i \Rightarrow v_h = 23.1283 \text{ m/s}$$

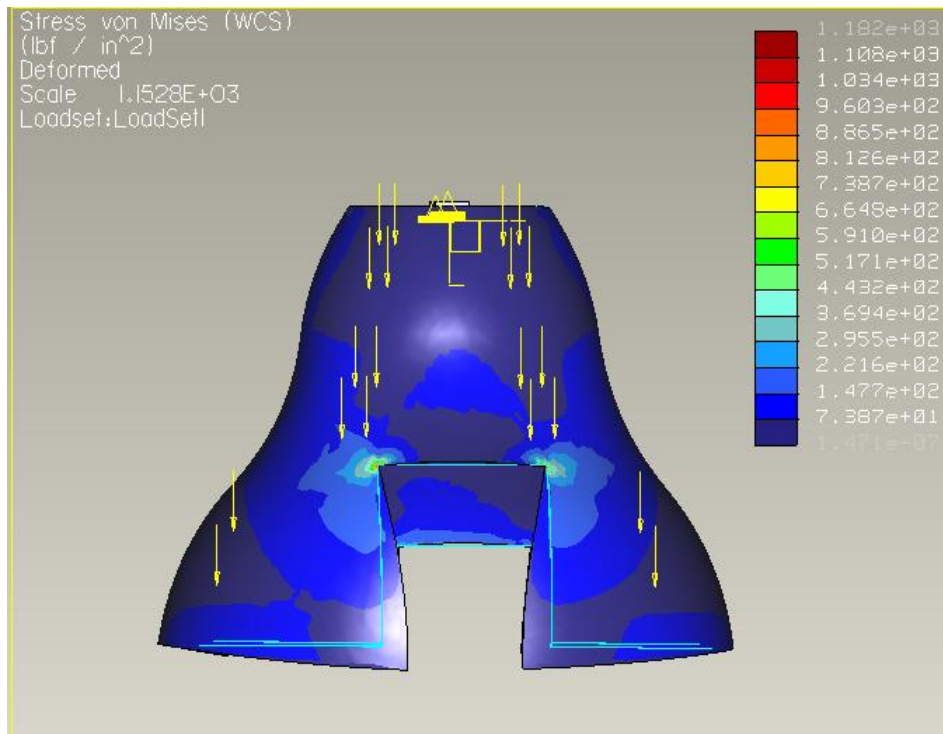
Πρέπει $T > W$

Πράγματι μετά από πράξεις παίρνουμε $T = 26.313 \text{ lb}_f$ ή 117.04888 N .

Η μοντελοποίηση του προβλήματος είναι ίδια με την περίπτωση της αιώρησης με τη μόνη διαφορά ότι αλλάζει η τιμή της ασκούμενης δύναμης. Παρακάτω βλέπουμε τις τάσεις.

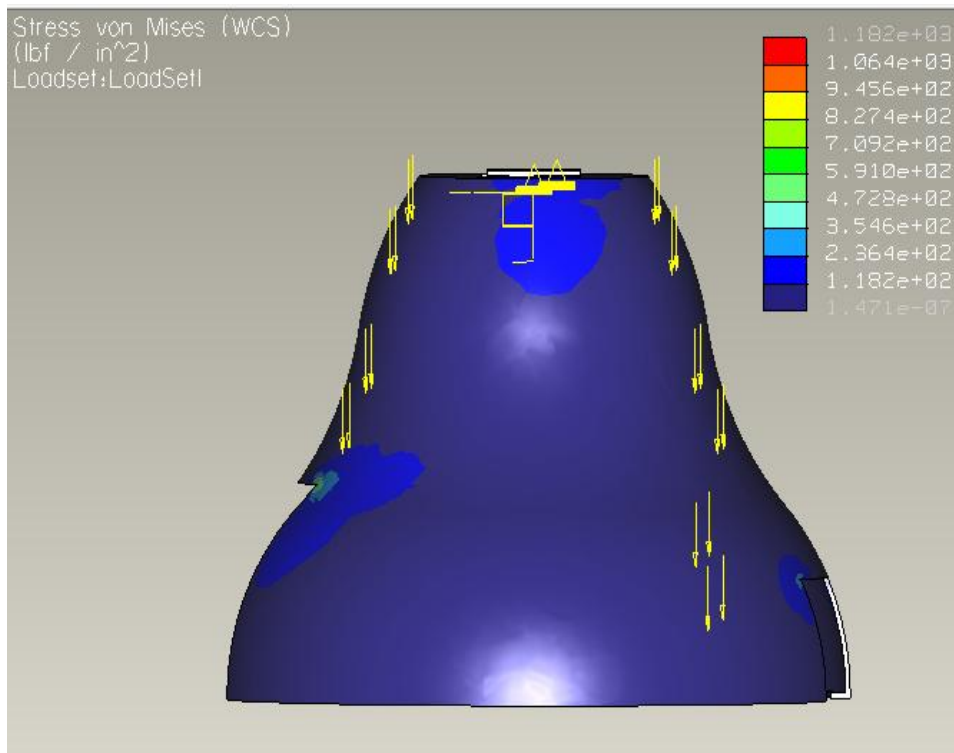


Εικόνα 6.14 . Απεικόνιση τάσεων στην πρόσοψη κατά την ανύψωση του ελικοπτέρου.

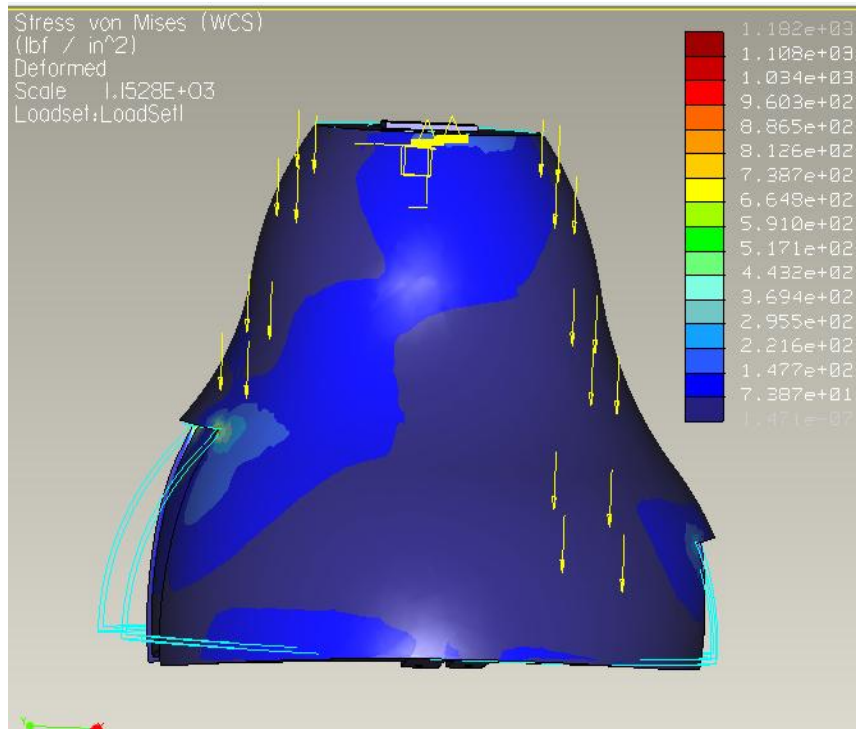


Εικόνα 6.15 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στην πρόσοψη κατά την ανύψωση του ελικοπτήρου.

Επίσης για τη δεξιά πλάγια όψη έχουμε τα επόμενα αποτελέσματα.



Εικόνα 6.16 . Απεικόνιση τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την ανύψωση του ελικοπτήρου.

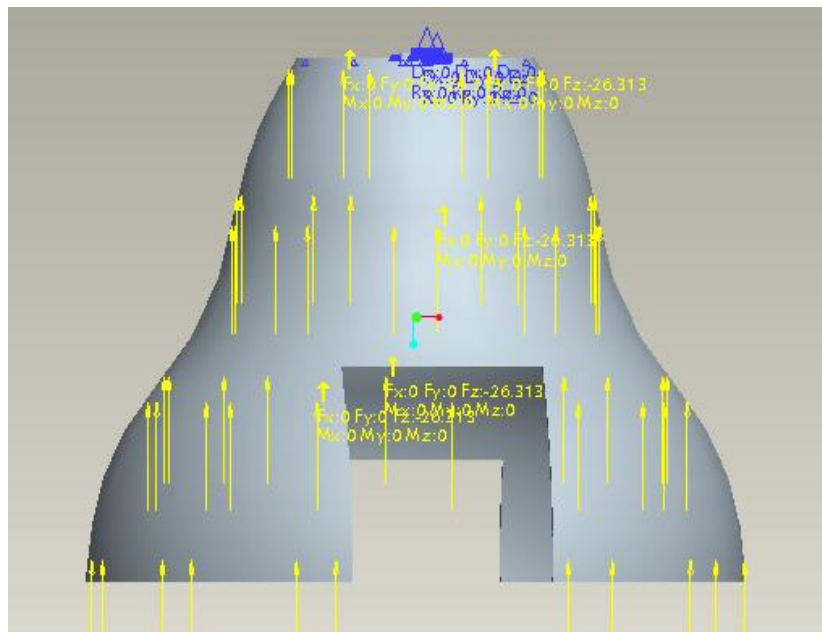


Εικόνα 6.17 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την ανύψωση του ελικοπτέρου.

Για την περίπτωση όπου το ελικοπτερο κατεβαίνει με μέγιστη ταχύτητα έχουμε 2 m/s , ισχύει ο παρακάτω τύπος, και η ροή του αέρα είναι προς τα πάνω, σε αντίθεση με τις περιπτώσεις της αιώρησης και της ανύψωσης που η ροή του αέρα είναι προς τα κάτω.

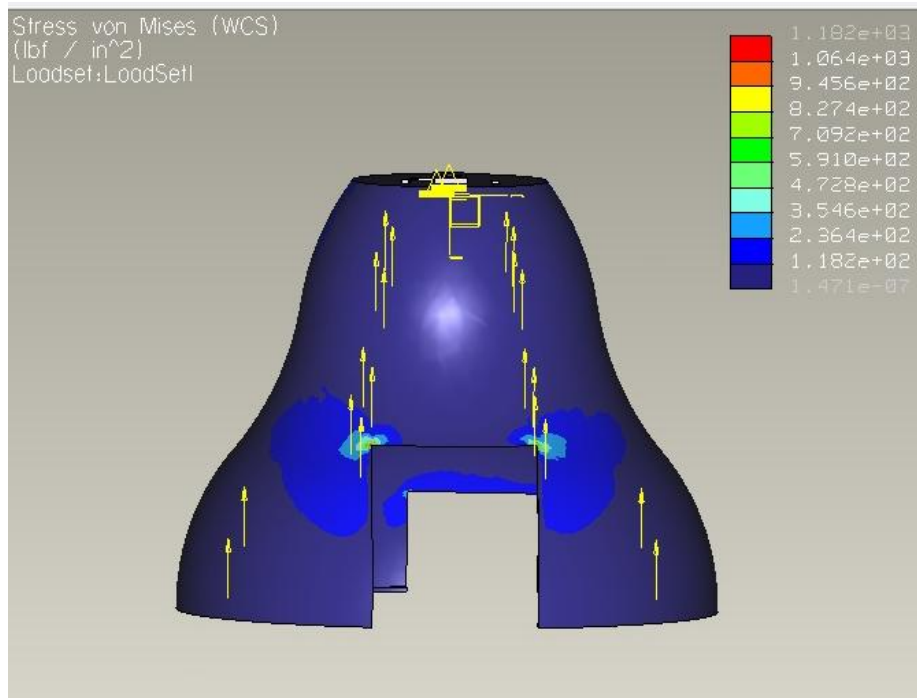
$$T = -2 * \rho * A * (v_c + v_i) * v_i, \text{ όπου } v_h^2 = -(v_c + v_i) * v_i$$

Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση μοντελοποιείται ως εξής:

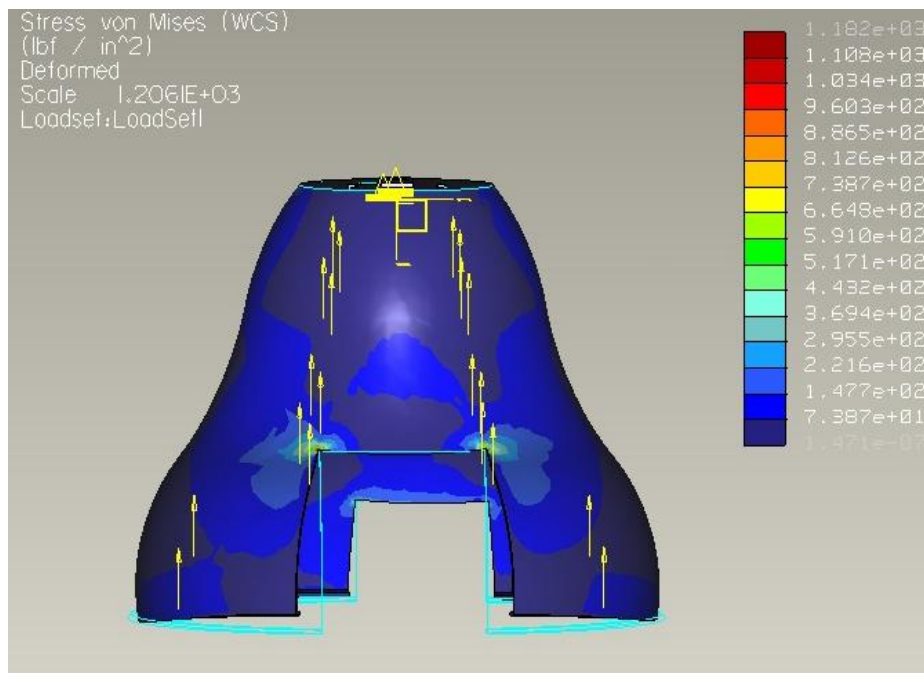


Εικόνα 6.18 . Μοντελοποίηση προβλήματος.

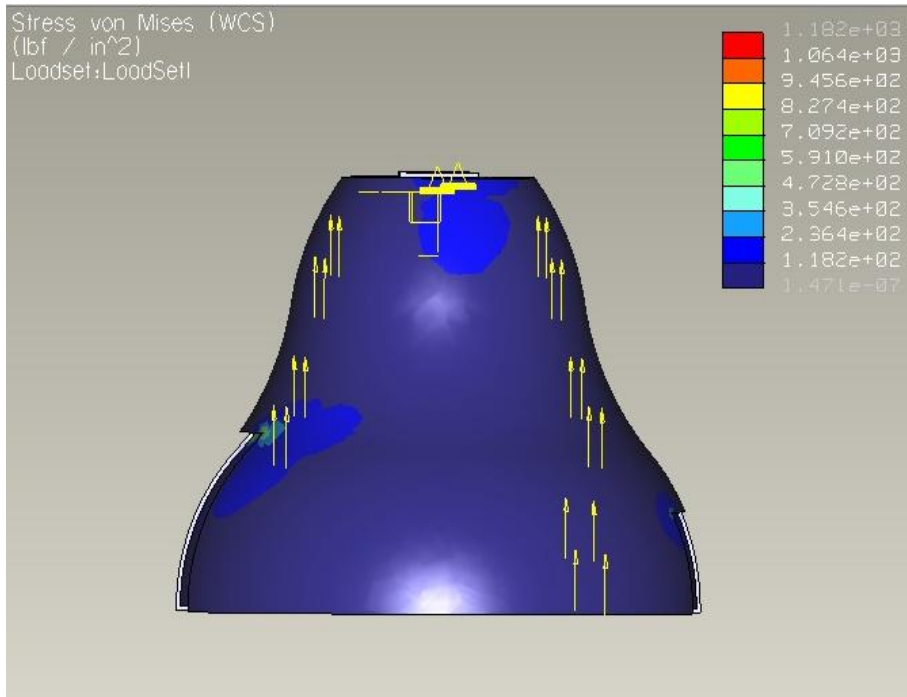
Τα αποτελέσματα φαίνονται στις τέσσερις επόμενες εικόνες.



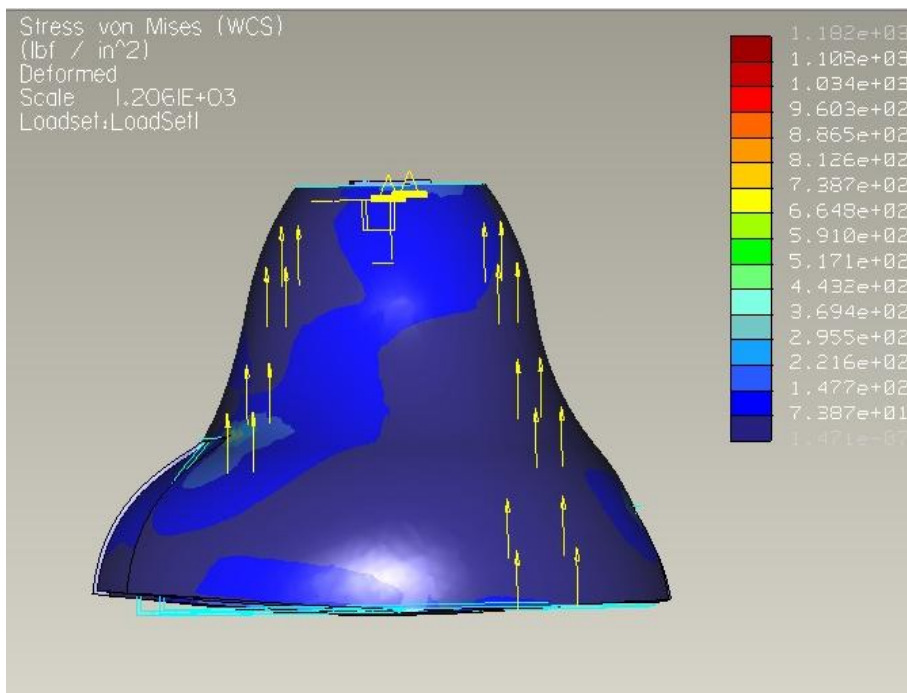
Εικόνα 6.19 . Απεικόνιση τάσεων στην πρόσοψη κατά την κατάβαση του ελικοπτέρου.



Εικόνα 6.20 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στην πρόσοψη κατά την κατάβαση του ελικοπτέρου.



Εικόνα 6.21 . Απεικόνιση τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την κατάβαση του ελικοπτέρου.



Εικόνα 6.22 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την κατάβαση του ελικοπτέρου.

6.3.3 Περίπτωση οριζόντιας πτήσης

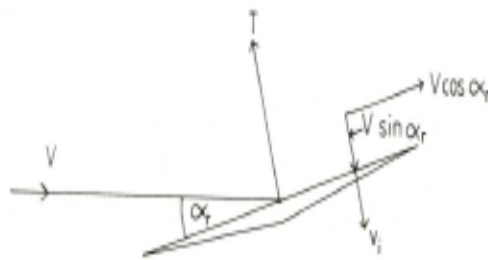
Στην περίπτωση της οριζόντιας πτήσης το ελικόπτερο στον οριζόντιο άξονα κινείται με μέγιστη ταχύτητα 5m/s. Ο τύπος για την τιμή της συνολικής ώθησης είναι ο εξής:

$$T = 2 * \rho * A * V' * v_i , \text{ όπου } V' = \sqrt{(V^2 + v_i^2)}$$

$V = 5\text{m/s}$ είναι η οριζόντια ταχύτητα,

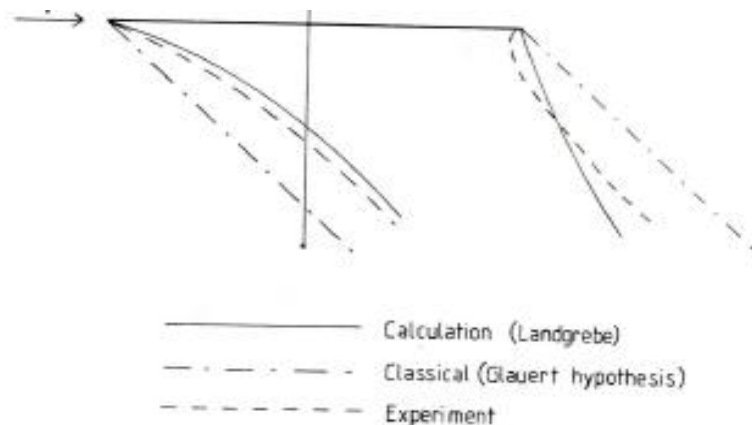
$v_i = 22.15 \text{ m/s}$ είναι η προς τα κάτω παραγόμενη ταχύτητα του αέρα που προξενείται από τα στροφεία, σε hover. Μετά από υπολογισμούς, έχουμε: **$V' = 22,7 \text{ m/s}$** , και για τη συνολική ώθηση **$T = 24.734\text{lb}_f$ ή 110.022N**

Προκειμένου το ελικόπτερο να καταφέρει να κινηθεί σε μια οριζόντια ευθεία, χρειάζεται να έχει μια κλίση α_r ως προς την ταχύτητα οριζόντιας πτήσης (η κίνηση είναι προς τα αριστερά). Με το κεκλιμένο σύστημα συντεταγμένων αναλύουμε την V σε δύο συνιστώσες την $V \cos \alpha_r$ και την $V \sin \alpha_r$, η οποία είναι συγγραμμική με την v_i και αποτελούν τη συνολική εισερχόμενη ροή. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ανάλυση των δυνάμεων [12].



Εικόνα 6.23 . Ανάλυση δυνάμεων κατά την οριζόντια πτήση.

Η ώθηση είναι πάντα κάθετη στα στροφεία, αλλά το ισοδύναμο ρεύμα αέρα που παράγεται αυτή τη φορά δεν είναι κάθετο ως προς το επίπεδο των στροφείων αλλά λόγω της ταχύτητας που αναπτύσσεται τείνει να πάρει μια παραβολική μορφή. Παρακάτω φαίνονται τρεις διαφορετικές μετρήσεις των ορίων του ρεύματος για κάθε στροφείο [12].

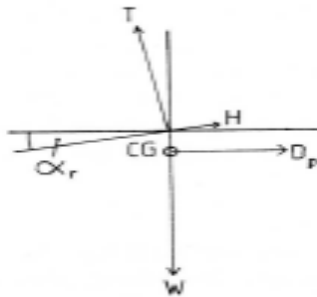


Εικόνα 6.24 . Τα όρια του ρεύματος για τρεις διαφορετικές μετρήσεις.

Οι γωνίες κυμαίνονται από 0° για την αιώρηση μέχρι 8° για μέγιστη ταχύτητα. Με βάση το παραπάνω σχήμα μπορούμε να υπολογίσουμε το advance ratio [12]. Ο κάτω ρότορας στρέφεται με 245 rad/sec και ο πάνω με 232rad/sec.

- $\mu_1 = V \cos \alpha_r / \Omega_1 * R$, $\mu_1 = 0.1186$, για τον κάτω
- $\mu_2 = V \cos \alpha_r / \Omega_2 * R$, $\mu_2 = 0.1252$, για το πάνω

Το advance ratio παίρνει τιμές από 0 έως 0.5 και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο μεγαλύτερη κλίση έχουν τα όρια του ρεύματος. Επειδή είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ακριβώς η διεύθυνση της δύναμης πάνω το κέλυφος θα αναλύσουμε τη συνολική ώθηση σε δύο συνιστώσες. Στο επόμενο σχήμα φαίνονται ακριβώς οι δυνάμεις που ασκούνται στο ελικόπτερο [13].



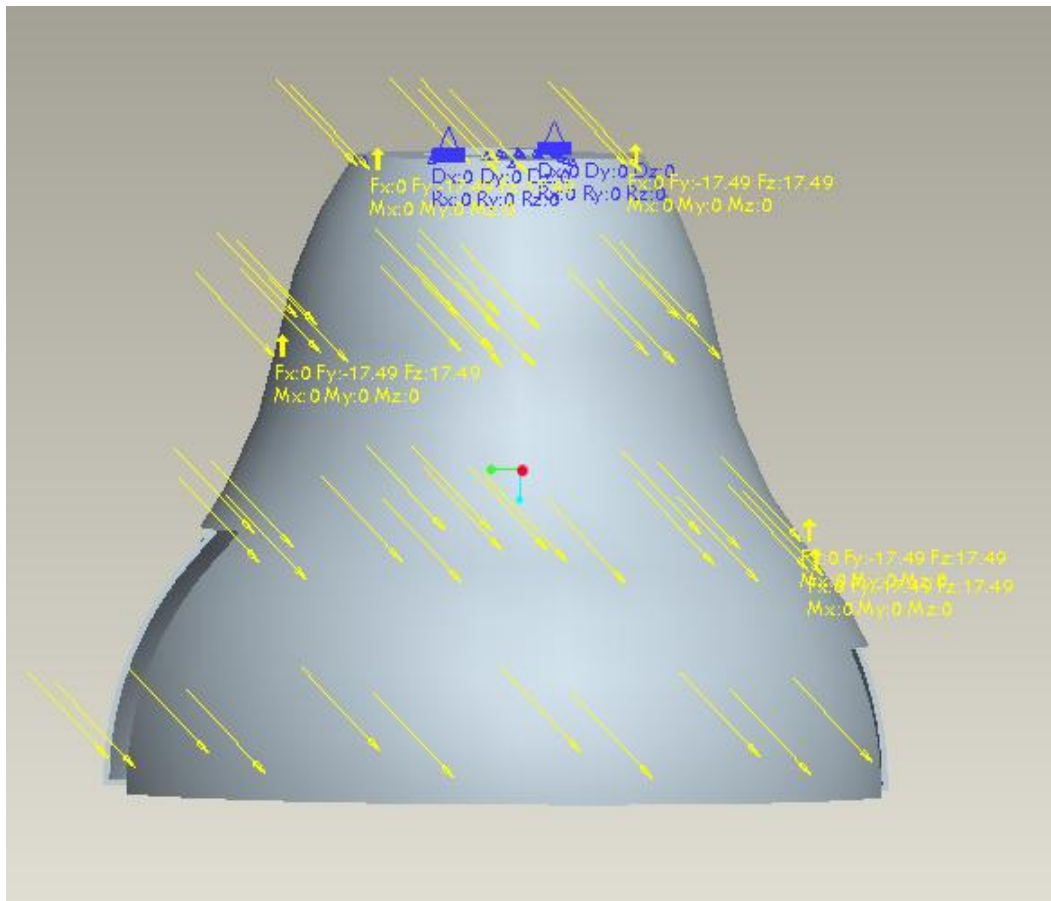
Εικόνα 6.25 . Οι δυνάμεις που ασκούνται στο ελικόπτερο κατά την οριζόντια πτήση.

Όπου H είναι η δύναμη επιβράδυνσης που προέρχεται από τα πτερύγια και D_p η οπισθέλκουσα δύναμη για ολόκληρο το ελικόπτερο. Έχει τύπο $D_p = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * f$, όπου f το ισοδύναμο εμβαδόν δίσκου. Στον κάθετο άξονα έχουμε ισορροπία των δυνάμεων του βάρους και της συνιστώσας της ώθησης, δηλαδή της άντωσης που προκαλούν τα πτερύγια. Επίσης, κάνοντας την παραδοχή ότι η H έχει συνιστώσα μόνο στον οριζόντιο άξονα, αφού η τιμή της κάθετης συνιστώσας είναι πολύ μικρή, έχουμε τις παρακάτω σχέσεις [14]:

$$T \cos 8^\circ = W \quad \text{Και} \quad T \sin 8^\circ \geq H + D_p \quad , \text{ για τον οριζόντιο άξονα.}$$

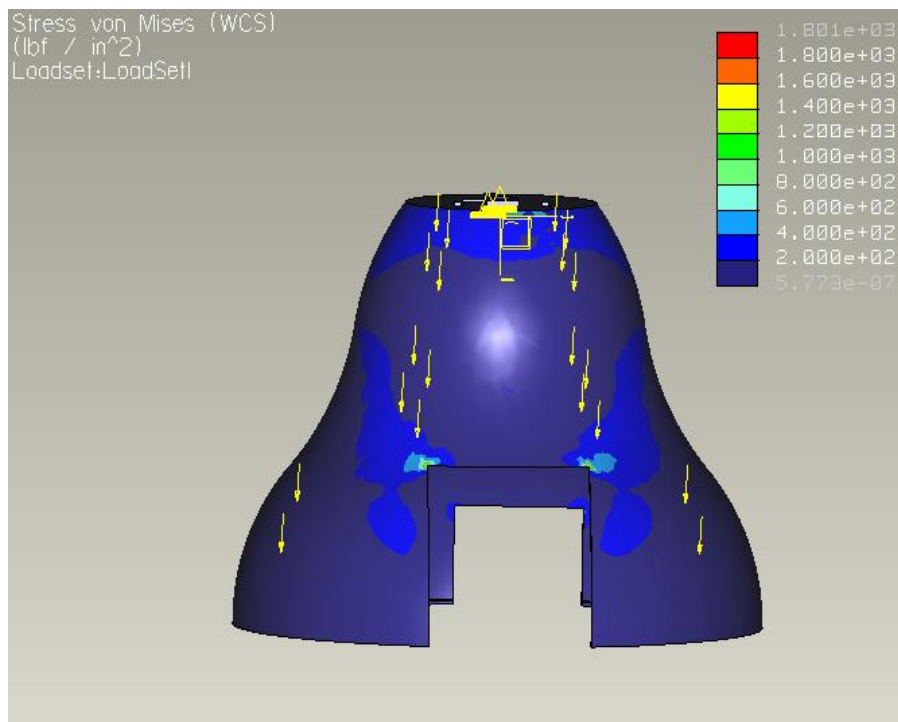
Η δυναμική πίεση είναι: $q = \frac{1}{2} * \rho * V^2$, με $q = 15 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ και το εμβαδόν δίσκου είναι 0.0911735 m^2 . Από το γινόμενο παίρνουμε: $D_p = 15 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2 * 0.0911735 \text{ m}^2$, $F = 1.3676 \text{ N}$ ή 0.3109 lb_f .

Οπότε μοντελοποιούμε το πρόβλημα αναλύοντας τη δύναμη της ώθησης σε δύο συνιστώσες. Επειδή δεν γνωρίζουμε την διεύθυνση του ρεύματος (διότι το πρόγραμμα δεν έχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης ρευστών) ,η οποία έχει σίγουρα μια κλίση μεγαλύτερη των 45° για την μέγιστη ταχύτητα οριζόντιας πτήσης , και ίσως η κλίση είναι τόσο μεγάλη ώστε να καλύπτει μόνο ένα μικρό μέρος του κελύφους, για την δεδομένη τιμή της ώθησης δίνουμε τη μικρότερη κλίση 45°. Η συνολική δύναμη έχει την παρακάτω μορφή για γωνία 45°.

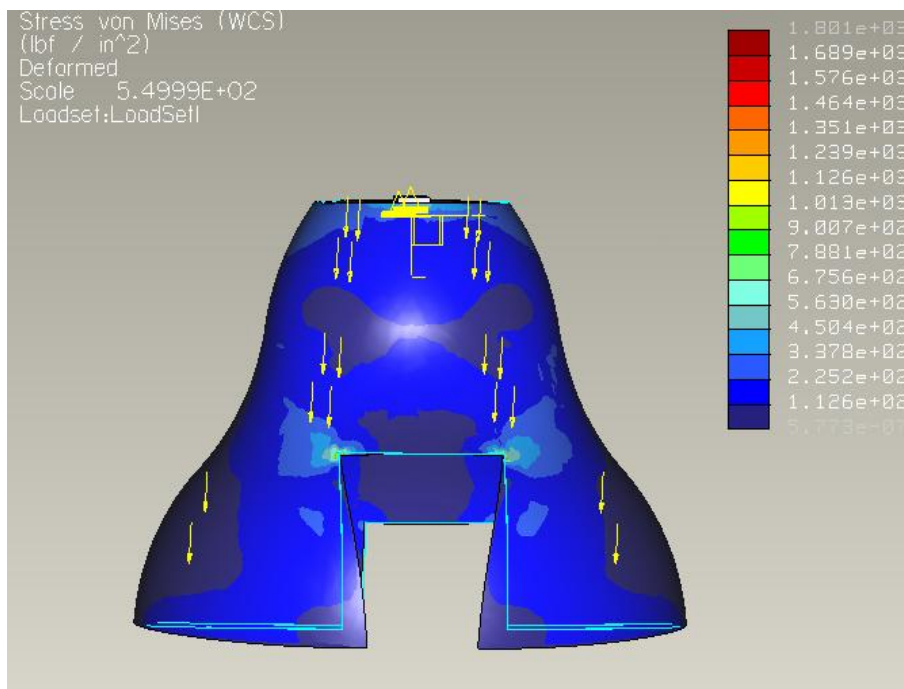


Εικόνα 6.26 . Μοντελοποίηση προβλήματος.

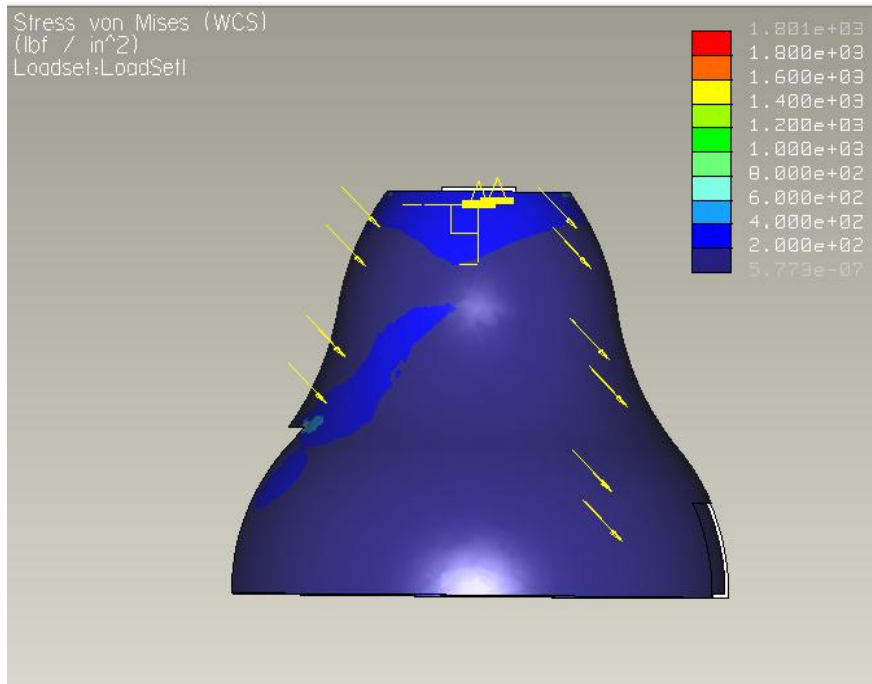
Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:



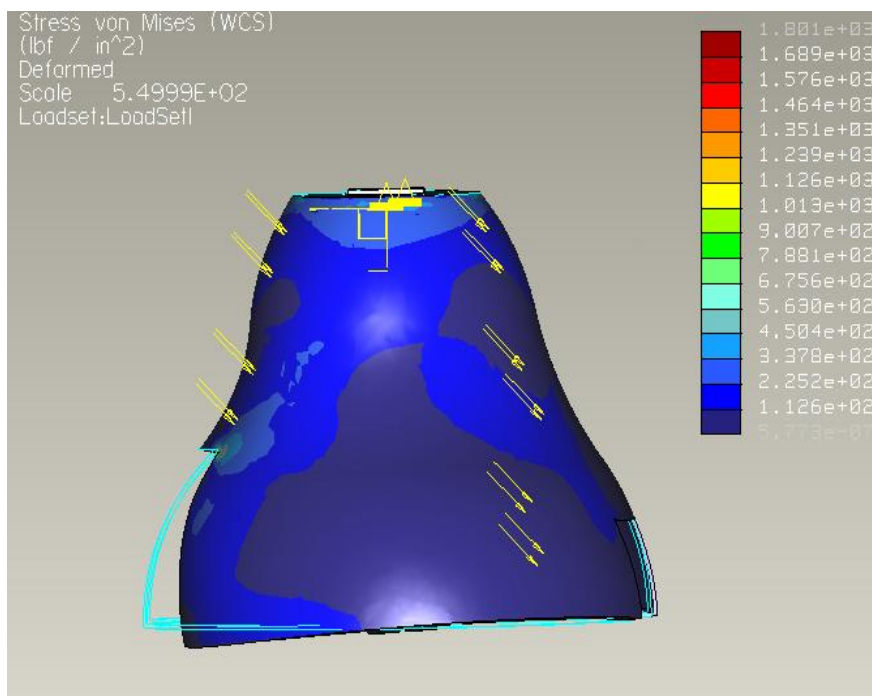
Εικόνα 6.27 . Απεικόνιση τάσεων στην πρόσοψη κατά την οριζόντια πτήση του ελικοπτέρου.



Εικόνα 6.28 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στην πρόσοψη κατά την οριζόντια πτήση του ελικοπτέρου.



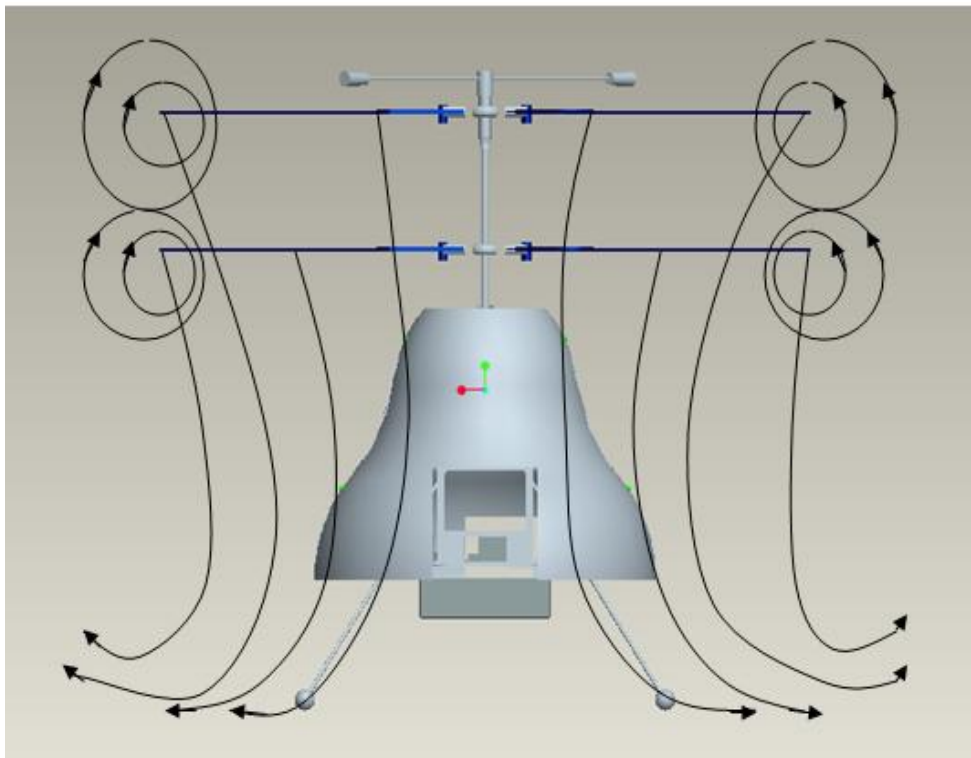
Εικόνα 6.29 . Απεικόνιση τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την οριζόντια πτήση του ελικοπτέρου.



Εικόνα 6.30 . Απεικόνιση παραμόρφωσης λόγω τάσεων στη δεξιά πλάγια όψη κατά την οριζόντια πτήση του ελικοπτέρου.

6.3.4 Ground effect

Όταν το ελικόπτερο βρίσκεται σε απόσταση ίση ή μικρότερη με τη διάμετρο του ενός στροφείου (το άνοιγμα φτερών του), τότε η προς τα κάτω παραγόμενη ταχύτητα του αέρα επηρεάζεται άμεσα από τη παρουσία του εδάφους. Ο αέρας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους με ταχύτητα $2v_i$, μεταδίδεται προς τα πάνω ως τους δίσκους των στροφείων και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η v_i να είναι αρκετά μικρότερη για δεδομένη ώθηση. Επίσης η δύναμη της ώθησης που χρειάζεται για ανύψωση ή αιώρηση είναι μικρότερη εξαιτίας αυτής της " υποστήριξης " που δέχεται από το έδαφος. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την ροή του αέρα όταν το ελικόπτερο βρίσκεται σε ground effect [8].



Εικόνα 6.31 . Ροή αέρα σε ground effect.

6.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα στην περίπτωση της αιώρησης είναι 1,086 KPa και το κέλυφος έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση τάσεων στις γωνίες του, καθώς από εκείνο το σημείο και έπειτα αλλάζει η ροή του αέρα και δημιουργούνται διαφόρων ειδών δίνες. Το κέλυφος τείνει να παραμορφωθεί προς τα κάτω, σχηματίζοντας μεγαλύτερη κλίση. Το όριο διαρροής του ανθρακονήματος ανάλογα με την ποιότητά του, παίρνει τιμές από 6.6 έως 520 GPa. Η τιμή που έχει εφαρμοσθεί στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι 133 GPa, και απέχει αρκετά από τα αποτελέσματα μας. Στην περίπτωση της ανύψωσης και του κατεβάσματος για ίδιες μέγιστες ταχύτητες, έχουμε τάσεις των 1.82 KPa, που απέχουν και αυτές πολύ από το όριο διαρροής του υλικού. Οι παραμορφώσεις που τείνουν να γίνουν στις δυο περιπτώσεις, παρότι είναι εντελώς διαφορετικές, έχουν ένα κοινό σημείο, το ότι είναι και οι δύο πιο έντονες στο κάτω μέρος του κελύφους. Αυτό οφείλεται στα δύο ανοίγματα που

υπάρχουν, τα οποία ευνοούν αυτές τις αλλαγές στη γεωμετρία του. Τέλος, τη μεγαλύτερη τιμή τάσεων την έχει η περίπτωση της οριζόντιας πτήσης και αυτό διότι οι ταχύτητες είναι μεγαλύτερες. Η τιμή της είναι 1.801 KPa, και είναι και αυτή πολύ μικρότερη από το όριο διαρροής του ανθρακονήματος. Τέλος, οι τάσεις που ασκούνται λόγω του αέρα που προξενούν τα στροφεία είναι αμελητέες σε σχέση με το όριο διαρροής, παρά τη μη ομοιόμορφη κατανομή τους.

6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο σχεδιασμός και η μελέτη ενός κελύφους-καλύμματος για το ομοαξονικό ελικόπτερο Coax eye, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται σε πραγματικές συνθήκες. Ο έλεγχος της κατασκευής αποτελεί την πιστοποίηση της ορθότητας και καταλληλότητας της σχεδίασης που έχει προηγηθεί. Η αεροδυναμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό των πεπερασμένων στοιχείων στις τέσσερις σημαντικότερες λειτουργίες του ελικοπτέρου, την αιώρηση, την ανύψωση, το κατέβασμα και την οριζόντια πτήση. Μέσω αυτών των δοκιμών προέκυψε η ανάλυση των αποτελεσμάτων και επιβεβαιώθηκε η καταλληλότητα τόσο του σχεδίου, όσο και της επιλογής του υλικού. Βρέθηκε ότι η τελική σχεδίαση του προστατευτικού καλύμματος αντέχει, στα προτεινόμενα από τη βιβλιογραφία σενάρια φόρτισης και εμφανίζει τιμές τάσης αρκετά πιο χαμηλές από το όριο διαρροής του υλικού. Αυτό δηλώνει ότι το υλικό παραμένει στην ελαστική περιοχή, δεν παρουσιάζει δηλαδή πλαστικές παραμορφώσεις, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια του εσωτερικού μηχανισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

- [1]. Hardware. [Online]. Available: <http://www.skybotix.com>
- [2]. Coaxial models. [Online]. Available: <http://aibotix.com>
- [3]. Coaxial models. [Online]. Available: <http://www.cs.cornell.edu>
- [4]. Coaxial models. [Online]. Available: <http://www.roadnarrows.com>
- [5]. ASM INTERNATIONAL Handbook committee, *Engineered Material Handbook, Composites*
- [6]. Material data property. [Online]. Available: <http://www.matweb.com>
- [7]. Raymond W.Prouty, *Helicopter Performance, Stability, and Control*
- [8]. J. Gordon Leishman. Cambridge Aerospace Series. *Principles of Helicopter Aerodynamics*
- [9]. Tirupathi R.Chandrupatla, Ashok D. Belegundu, *Εισαγωγή στα πεπερασμένα στοιχεία για μηχανικούς*
- [10]. Σπανουδάκης Πολυχρόνης, Οκτώβριος 2003, *Σχεδίαση νέου μη επανδρωμένου οχήματος κάθετης απογείωσης-προσγείωσης*
- [11]. Aerodynamic Principles. [Online]. <http://www.humanpoweredhelicopters.org/articles/nasa>
- [12]. Aerodynamic Principles. [Online]. Available: <http://www.baldwintechology.com>
- [13]. J.Seddon, *Basic Helicopter aerodynamics*
- [14]. Καραγιοβανίδη Μάριου, Πάτρα Μάρτιος 2011, *Μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης και συστήματα αυτομάτου ελέγχου ελικοπτέρου*
- [15] Spanoudakis P., L. Doitsidis, N. C. Tsourveloudis, K. P. Valavanis, "A Market Overview of the Vertical Take-Off and Landing UAVs", *Unmanned Systems*, vol. 21, no. 5, pp. 14-18, 2003.