



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Σχεδιασμός, μελέτη και κατασκευή αεροδυναμικού τιμονιού από
ανθρακονήματα για ποδήλατο δρόμου**



Καρουσάτου Γεωργία

Επιβλέπων Καθηγητής: Καθ. Δ. Μανωλάκος

ΑΘΗΝΑ 2014

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δ. Μανωλάκο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της μεταπτυχιακής εργασίας. Θερμά ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα κύριο Αλέξανδρο Κιτσέλη για την καθοδήγησή του και τις καίριες υποδείξεις κατά την διάρκεια της εκπόνησης.

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη της σε όλη αυτή την μακρόχρονη πορεία των σπουδών μου. Χωρίς αυτή την βοήθεια δεν θα είχα φτάσει στο τέλος.

Νιώθω ότι αυτή η εργασία ήρθε σαν φυσική προέκταση του εαυτού μου με την διττή ιδιότητα ως μηχανικού και ως αθλήτριας.

*Παιδείας έχου
Αισχύλος*

Στην μητέρα μου,
Ερμοφίλη

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract	6
1.Εισαγωγή στο Αεροδυναμικό Τιμόνι - AeroBar	7
1.1 Αεροδυναμικές στάσεις σύμφωνες με τους κανονισμούς	8
1.2 Δυνατότητες Προσαρμογής Αερόμπαρας . Έννοιες, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	11
2.Απαιτήσεις-Σχεδιαστικές επιλογές.....	17
2.1 Υπολογιστική Ρευστομηχανική CFD, (Computational Fluid Dynamics)	18
3.Σχεδιασμός καλουπιού	44
4. Κατασκευή καλουπιού	49
4.1 Προβλήματα που προέκυψαν	55
5.Ευρωπαϊκός κανονισμός ασφάλειας αγωνιστικών ποδηλάτων	57
5.1 Επιλογή κριτηρίων από τον EN 14781.....	64
6.Ιδιότητες χρησιμοποιούμενων υλικών	66
7.Μελέτη διαστρωμάτωσης.....	67
8.Διαδικασίες παραγωγής και κατασκευής εξαρτημάτων από σύνθετο υλικό. Ιδιότητες προεμποτισμένων	76
8.1 Διαδικασίες παραγωγής και κατασκευής	76
8.2 Προεμποτισμένα Υλικά (Prepreg Materials).....	80
8.3 Ορολογία προεμποτισμένων.....	82
8.4 Χρησιμοποιούμενα Υλικά	83
8.5 Θερμικός Κύκλος Cure	84
9.Διαδικασία Κατασκευής Πρωτοτύπου	87
9.1 Σχεδιασμός πατρών-Fabric Flat Pattern.....	87
10.Αεροδυναμικές επεκτάσεις-μπαράκια (Aero Extensions).....	95
10.1 Περιφερειακά αερόμπαρας.....	98
11. Επίλογος	101
12.Βιβλιογραφία.....	102

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή αγωνιστικού αεροδυναμικού τιμονιού ποδηλάτου δρόμου από ανθρακονήματα. Οι κύριες απαιτήσεις από ένα τέτοιο προϊόν είναι: ελάχιστη αεροδυναμική αντίσταση, εργονομία και χαμηλό βάρος. Ο σχεδιασμός θα γίνει με την βοήθεια του 3D CAD προγράμματος SolidWorks της Dassault Systemes. Για τον σχεδιασμό της διατομής του βασικού στελέχους της αερόμπαρας θα γίνει επιλογή μεταξύ 17 διαδομένων αεροτομών. Σύμφωνα με τους κανονισμούς της UCI το προφίλ του τιμονιού πρέπει να έχει minimum αναλογία $\frac{\text{πάχος}}{\text{μήκος}} = \frac{1}{3}$. Για την μελέτη CFD (Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής) θα χρησιμοποιήσουμε την εφαρμογή Flow Simulation του SolidWorks, όπου και θα γίνει η επιλογή της αεροτομής που εμφανίζει την μικρότερη αεροδυναμική αντίσταση για τις επιλεγμένες συνθήκες που ανταποκρίνονται σε ρεαλιστικές συνθήκες αγώνα ατομικής χρονομέτρησης. Στην συνέχεια θα προσομοιώσουμε κάποια σενάρια καταπόνησης βασισμένα στο πρότυπο EN 14781 (European Standard, Racing bicycles-Safety requirements and test methods) για τιμόνια ποδηλάτων δρόμου. Στην αρχή οι προσομοιώσεις θα γίνουν με υλικό αλουμίνιο για να διαπιστώσουμε αν υπάρχει κάποια έντονη σχεδιαστική αδυναμία και εν συνεχεία θα γίνει μελέτη πεπερασμένων στοιχείων (FEA) για την επιλογή της ακριβούς διαστρωμάτωσης των προεμποτισμένων υφασμάτων από ανθρακονήματα. Έπειτα θα σχεδιαστεί το καλούπι από αλουμίνιο (χρήση Solidworks Mold Tools) και θα ελεγχθεί η παραμόρφωσή του κάτω από τις συνθήκες κατασκευής (πίεση 8 bar, θερμοκρασία 120°C). Το καλούπι θα κατασκευαστεί σε CNC κέντρο κατεργασιών Hitachi Seiki τριών αξόνων (x,y,z). Θα περιγραφούν τα βήματα της διαδικασίας κατασκευής. Θα προχωρήσουμε στον σχεδιασμό δύο εναλλακτικών τύπων αεροδυναμικών επεκτάσεων για το τιμόνι μας, ευθείες και S-bend και θα σχεδιαστεί ένα καλούπι με δυνατότητα κατασκευής και των δύο τύπων. Θα εξαχθούν τα σχήματα των πατρών των υφασμάτων του carbon για το βασικό στέλεχος, θα κοπούν και θα λάβει χώρα η διαδικασία της χειρωνακτικής διαστρωμάτωσης. Ακολουθεί ο σχεδιασμός του πνευματικού κυκλώματος, η κατάστρωση του θερμικού κύκλου cure και ο προγραμματισμός του PLC του κλιβάνου. Τέλος, θα γίνει σχολιασμός του τελικού προϊόντος και θα αναφερθούν προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την κατασκευή.

Λέξεις-Κλειδιά

Αεροδυναμικό τιμόνι ποδηλάτου δρόμου, Αεροδυναμικές επεκτάσεις, Ατομική χρονομέτρηση, Σύνθετα υλικά, Προεμποτισμένα ανθρακονήματα, Αεροδυναμική βελτιστοποίηση, Υπολογιστική ρευστομηχανική, Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, Σχεδίαση πρωτοτύπου, Διαστρωμάτωση, Σχεδιασμός καλουπιού, Θερμικός κύκλος

Abstract

The goal of this study is the design and construction of a racing bicycle aerobar made of carbon fiber. The main requirements of such a product are: minimized aerodynamic drag, ergonomics and lightweight design. The component design will take place using Solidworks, a Dassault Systemes 3D CAD program. For the basebar profile design there will be an initial selection among 17 most reckoned airfoils. According to UCI regulations the handlebar is subjected to the 3:1 rule, thus the ratio between the length and the maximum thickness will not exceed 3. For the Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis we will use Solidworks Flow Simulation Tool so as to choose the airfoil with the minimum drag under specified ambient conditions and velocity parameters that respond realistically to a time trial race. Subsequently we will run failure diagnostic tests according to EN 14781 (European Standard, Racing bicycles-Safety requirements and test methods) for road bike handlebars. At first the simulations will be held with aluminum in order to make a rough assessment of any design weaknesses and then a Finite Element Analysis will take place using the actual material (prepreg carbon fiber) to determine the exact stacking sequence. Then the mold will be designed using SolidWorks Mold Tools and we will check via simulation its deformation during the curing cycle conditions (8 bar pressure, 120°C temperature). The mold will be produced in a three axis Hitachi Seiki machining center (x,y,z). There will be a description of the manufacturing process steps. We will proceed to the design of two alternative aero extension designs for our aerobar, straight and S-bend and we will design a mold that will allow us to produce both types. The flat carbon fabric patterns for the basebar will be extracted, and they will be cut off the roll and laid up by hand. Following the components and connections for the pneumatic circuit will be determined, the curing cycle plotted and the oven's PLC programmed. Eventually there will be a report about the final product and the problems that emerged during the prototype production.

Keywords:

Bicycle Aerobar, Aero Extensions, Time trial, Composite materials, Prepreg carbon fiber, Optimized Aerodynamics, CFD, FEA, Prototype design, Stacking sequence, Mold design, Cure cycle

1.Εισαγωγή στο Αεροδυναμικό Τιμόνι - Aerobar

Χρησιμοποιείται από ποδηλάτες και τριαθλητές ήδη από το 1987, η πρώτη επίσημη εμφάνιση του ήταν στον Γύρο της Γαλλίας (Tour de France) το 1989 από τον αθλητή Greg Le Mond. Χρησιμοποίησε αερόμπαρα Scott, η οποία είχε τα μαξιλάρια (pads) σε πλάτος κοντινό με το άνοιγμα των ώμων, τους καρπούς υπερυψωμένους με κλίση 15 με 20 μοίρες και τα χέρια σε θέση γροθιάς. Πρωτοποριακός σχεδιασμός από τον αεροδυναμιστή Boone Lennon, αυτή ήταν και η γέννηση της μοντέρνας αεροδυναμικής θέσης.

Αρκετά χρόνια αργότερα η ποδηλατική κοινότητα υπήρξε μάρτυρας μιας ακόμη αεροδυναμικής επανάστασης. Η στάση του Obree –μια ακραία αεροδυναμική στάση- χέρια αναδιπλωμένα και εφαπτόμενα στο στήθος, σχεδόν εξαλείφει την μετωπική επιφάνεια του στήθους του αναβάτη. Αυτή η στάση όμως καθιστούσε πολύ δύσκολο τον έλεγχο του ποδηλάτου. Αυτή η πρώτη αμφιλεγόμενη στάση του Obree απαγορεύτηκε από την UCI, αλλά ο ίδιος επέστρεψε με μια καινούργια στάση, την λεγόμενη και ως στάση “Superman”. Τα χέρια σε πλήρη έκταση μπροστά από τον αθλητή και τις γροθιές στον αέρα. Για ακόμη μια φορά ο Obree ελαχιστοποιεί την μετωπική επιφάνεια με τα χέρια του να απομακρύνουν την ροή του αέρα από το πρόσωπο και τον άνω κορμό.



Εικόνα 1. Αρχική στάση από τον Graeme Obree (γνωστός και ως ο “Ιπτάμενος Σκωτσέζος”).

Ο Obree υπήρξε σθλητής ποδηλασίας, με δύο παγκόσμια ρεκόρ στο αγώνισμα ατομικής χρονομέτρησης μιας ώρας στο ποδηλατοδρόμιο (1993 & 1994). Πρωτοπόρος στις αεροδυναμικές στάσεις αλλά και στον καινοτομικό σχεδιασμό ποδηλάτων.



Εικόνα 2. Graeme Obree. Στάση “Superman”

Σε λιγότερο από χρόνο η στάση «Superman» κρίθηκε επίσης παράνομη από την Ένωση Ποδηλασίας . Ο Jan Ulrich ανέπτυξε κατόπιν μια παραλλαγή της στάσης αυτής , όπου οι δύο προεκτάσεις (μπαράκια) βρίσκονται παράλληλα με το έδαφος σε μεγαλύτερο πλάτος μεταξύ τους (περίπου ίσο με το άνοιγμα των ώμων). Αυτή η θέση έφερε τα χέρια του πιο χαμηλά για να φτάσουν τις προεκτάσεις , αυξάνοντας την μετωπική κοιλότητα . Με αυτές τις μετατροπές ο Ulrich τοποθέτησε τα χέρια του σε πιο αεροδυναμική θέση , καλύπτοντας το μπροστινό μέρος των προεκτάσεων και δημιουργώντας με τα χέρια του ένα σχήμα που έμοιαζε περισσότερο με αεροτομή. Επιπλέον όφελος ήταν το κυρίως σώμα μετακινήθηκε μπροστά από τα πετάλια , γεγονός που του επέτρεψε να παράγει μεγαλύτερη ισχύ.

Μετά από σχεδόν μια δεκαετία, ο Floyd Landis έφερε την νέα επανάσταση, την επονομαζόμενη στάση “Praying Mantis ή Landis” . Σε αυτή την στάση οι αγκώνες του αναβάτη εφάπτονται σφραγίζοντας εντελώς την μετωπική κοιλότητα με τα χέρια, τα οποία έχουν κλίση tilt πάνω από 15 μοίρες. Μετά από χρήση αυτής της στάσης στον Γύρο της Γαλλίας το 2006, κρίθηκε και αυτή παράνομη από την UCI.

1.1 Αεροδυναμικές στάσεις σύμφωνες με τους κανονισμούς

Οι 6 κύριες στάσεις από τους κυρίαρχους αθλητές ατομικής χρονομέτρησης της εποχής μας είναι:

- The strong man position (Lance)
- The crunched man position (Levi)
- “I wish I could do that” position (Zabriske)
- The power monster position (Cancellara)
- The tire toucher position (Cadel)
- The british position (Bradley Wiggins)



Εικόνα 3. Lance Armstrong. “Strong man position”

Η στάση του Lance τοποθετεί τον αναβάτη σε μια πιο όρθια θέση, με τα χέρια σε λίγο πιο μεγάλη απόσταση μεταξύ τους σε σχέση με τους άλλους. Τα χέρια σε θέση γροθιάς πάνω σε προέκταση σχήματος μπαστουνιού χόκει ή με μεγάλο bend σχήματος S.



Εικόνα 4. Levi Leipheimer “The crunched man position”

Μια προσέγγιση της Praying Mantis , η θέση του Levi Leipheimer είναι η πλέον ριζοσπαστική που μπορεί να υπάρξει σε συμμόρφωση με τους ισχύοντες κανονισμούς της UCI. Τοποθετεί τον αναβάτη με τους αγκώνες σε επαφή και τα χέρια ανασηκωμένα, σχεδόν όρθια. Δεδομένου ότι ο εν λόγω αθλητής είναι μικρού αναστήματος αυτή η ελαφρώς ανασηκωμένη θέση του επιτρέπει να σχηματίσει κλείσει εντελώς την μετωπική θωρακική κοιλότητα.



Εικόνα 5. David Zabriskie “I wish I could do that position”

Η θέση του David Zabriskie είναι παρόμοια με αυτή του Jan Ullrich (παραλλαγή “superman” που αναφέρθηκε ανωτέρω. Τα μπαράκια τοποθετούνται εντελώς επίπεδα. Ωστόσο τα χέρια του δεν εκτρέπουν τον αέρα προς τα πάνω όπως του Ullrich αλλά αντίθετα τρέχουν παράλληλα με το έδαφος και τα χέρια αποκτούν μια κλίση προς τα κάτω προς τα μπαράκια. Οι αγκώνες είναι επίσης πολύ κοντά μεταξύ τους, σχεδόν ακουμπάνε, και η πλάτη του αθλητή είναι εντελώς επίπεδη.



Εικόνα 6. Fabien Cancellara “The power monster position”

Η στάση του Fabien Cancellara έχει τους αγκώνες σε μικρή απόσταση αλλά όχι τόσο όσο των Zabriske ή Levi. Αντι αυτού ο Fabien έχει μπαράκια με μεγαλύτερο πλάτος και τα χέρια του έχουν ελαφρώς προς τα κάτω εκτρέποντας τον αέρα προς τα πάνω. Αυτή η στάση τον βοηθά να παράγει μεγαλύτερη ισχύ. Βέβαια πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι ίσως είναι ο αναβάτης που υπερτερεί στην δύναμη.



Εικόνα 7. Cadel Evans “The tire toucher position”

Ο Cadel Evans τοποθετεί τα χέρια του στο χαμηλότερο σημείο από όλους. Το μαξιλαράκι στα μπαράκια του είναι τοποθετημένο αρκετά μπροστά και τα χέρια του έχουν κλίση προς τα κάτω. Μια τέτοια στάση μπορεί να βοηθήσει στην παραγωγή ισχύος από τον αναβάτη μετακινώντας τον προς τα μπροστά και πιο μπροστά από τον άξονα της πεταλιέρας, όπως και στην περίπτωση του Ullrich. Αυτή βέβαια δεν είναι η ιδανική περίπτωση όσον αφορά στην αεροδυναμική καθώς ο αέρας εκτρέπεται προς το στήθος του αναβάτη. Επίσης λόγω της θέσης αλλά και του σωματότυπού του δεν μπορεί να έχει επίπεδη πλάτη. Παρόλα αυτά αυτή η στάση λειτουργεί για τον συγκεκριμένο αθλητή.

1.2 Δυνατότητες Προσαρμογής Αερόμπαρας . Έννοιες. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Τοποθέτηση pads (μαξιλαράκια) και extensions (μπαράκια/προεκτάσεις)

Η τοποθέτηση των pads είναι από τα σημαντικά ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η μεταξύ τους απόσταση σήμερα κυμαίνεται από 8 σε 15cm (μετρούμενη κέντρο με κέντρο). Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν αναβάτες που τα τοποθετούν σε απόσταση μεταξύ τους σχεδόν ίση με το άνοιγμα των ώμων. Σε μεγάλες διοργανώσεις πολλοί αναβάτες προτιμούν να έχουν τα μαξιλαράκια κοντά στους αγκώνες τους, τραβώντας και τους αγκώνες τους λίγο πιο μέσα. Αυτό τους βοηθά στο να μικραίνει η κοιλότητα που δημιουργείται στο στήθος και ως εκ τούτου στο να επιτύχουν μια πιο αεροδυναμική στάση. Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στην τοποθέτηση των pads αρκετά πίσω. Όταν η τοποθέτηση γίνεται αρκετά πίσω υπάρχει κίνδυνος να χτυπήσουν τα πόδια του αναβάτη πάνω τους ειδικά αν χρειαστεί να κάνει ορθοπεταλιά. Αυτό το πρόβλημα κόστισε στον David Zabriske

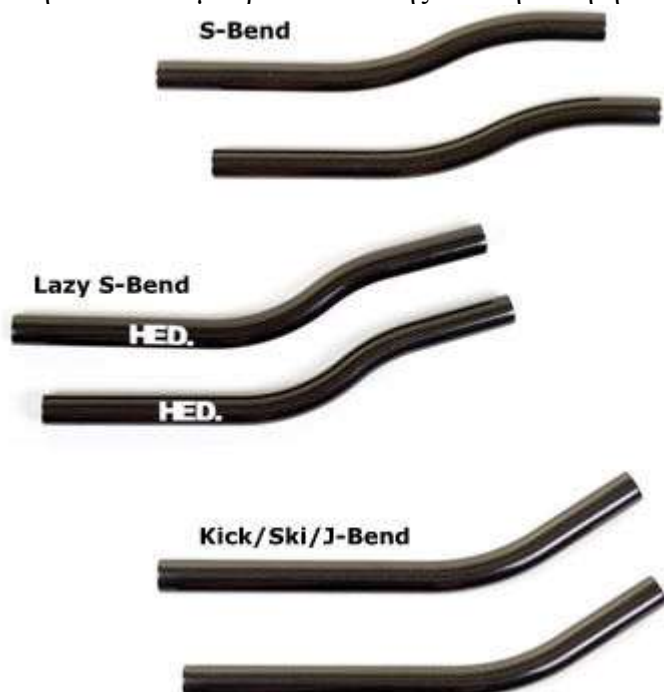
την κίτρινη φανέλα του πρωτοπόρου και μια εμπλοκή σε σύγκρουση. Το βάρος του αναβάτη μεταφέρεται πολύ πιο εύκολα στο pad όσο πιο κοντά είναι αυτό στους αγκώνες. Το σχήμα που έχει το pad έχει μεγαλύτερη σχέση με την θέση που θα πάρει ο αναβάτης κατά το κύριο μέρος της εκκίνησης. Ουσιαστικά υπαγορεύει την κίνηση των χεριών του αναβάτη όταν είναι στην φάση παραγωγής ισχύος. Επιπρόσθετα η δυνατότητα χειρισμού του ποδηλάτου είναι ουσιαστικά διαφορετική όταν το μαξιλαράκι είναι κοντά στον αγκώνα. Ενώ η προς τα πίσω τοποθέτηση είναι πιο άνετη, καθιστά το ποδήλατο πιο «νευρικό». Όσο πιο μεγάλη υποστήριξη έχει το pad στην εξωτερική μεριά, τόσο πιο «κλειδωμένη» είναι η κίνησή του. Ωστόσο όσο πιο μεγάλος είναι αυτός ο περιορισμός της κίνησης, τόσο δυσκολότερο γίνεται να λάβει ο αναβάτης την θέση αλλά και να βγει από αυτήν όταν χρειαστεί. Σε μερικές διαδρομές χρειάζεται αρκετές φορές ο αναβάτης να βγει από την αεροδυναμική θέση για κάποιο sprint ή κάποια ανάβαση.

Προεκτάσεις/μπαράκια

Υπάρχουν τέσσερα βασικά είδη. Τα ίσια-που χρησιμοποιούνται στις στάσεις των Ullrich και Zabriske. Εν συνεχεία υπάρχουν τα “S-bend” που είναι ουσιαστικά μια παραλλαγή των ευθέων με μια αλλαγή κλίσης S και ευθύ τελείωμα. Το τρίτο είδος είναι τα “lazy S”, τα οποία είναι μια παραλλαγή των “S-bend” όπου δεν καταλήγουμε σε παραλληλία με το έδαφος, αλλά υπάρχει μια κάμψη προς τα πάνω περίπου 20 με 30 μοίρες. Τέλος, έχουμε το παραδοσιακό J-bend (προσομοιάζει μπαστούνι του hockey).

Εικόνα 8. Είδη αεροδυναμικών προεκτάσεων

Τα ίσια μπαράκια παρέχουν την πιο αεροδυναμική θέση σε σχέση με την επιφάνεια του χεριού που «βλέπει» ο άνεμος. Εντούτοις συνήθως προκαλούν μεγαλύτερη κύρτωση στην πλάτη του αναβάτη επειδή πρέπει να τεντωθεί προς τα κάτω για να κρατηθεί από τα μπαράκια. Επίσης επειδή αυτή η στάση μετακινεί τον αναβάτη λίγο



πιο μπροστά χρησιμοποιείται ευρέως σε αγώνες pursuit στην πίστα επειδή μπορεί να παραχθεί μεγαλύτερη ισχύς.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του τύπου “S-bend”. Συνήθως ξεκινούν παράλληλα με το έδαφος, ακολουθεί ένα απότομο S και μετά συνεχίζουν να τρέχουν παράλληλα

με το έδαφος. Αυτός ο τύπος βοηθά στο να έχουμε περισσότερο επίπεδη θέση της πλάτης, μειώνοντας την παρόρμηση του σώματος να σκύψει για να φθάσει χαμηλότερα. Συνήθως υπάρχει ένα μικρό καμπούριασμα κοντά στους ώμους οι οποίοι παραμένουν ελαφρώς ανασηκωμένοι. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι ενώ ο αναβάτης κρατιέται από το πάνω μέρος, το κάτω μέρος είναι εκτεθειμένο στον αέρα. Αρκετοί χρησιμοποιούν το “S-bend” επειδή πιστεύουν ότι κρατώντας τα χέρια ψηλότερα, σφραγίζουν την κοιλότητα του στήθους και μειώνουν την οπισθέλκουσα.

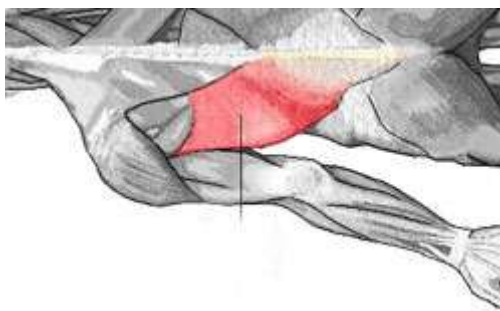
Οι επεκτάσεις τύπου “Lazy S” ήρθαν για να βελτιώνουν την εγγενή κάμψη του άνω μέρους της πλάτης και το ανασήκωμα των ώμων που δημιουργούνται από το “S bend”. Πολλοί επαγγελματίες αναβάτες χρησιμοποιούν αυτό το σχήμα. Επειδή ο αναβάτης μπορεί να φθάσει άνετα το τελείωμα της αερόμπαρας, με ελαφρώς ανασηκωμένο τον πήχη, μπορούμε να έχουμε ίσια πλάτη. Το μειονέκτημα είναι ότι υπάρχει μεγαλύτερη μετωπική επιφάνεια εκτεθειμένη στον άνεμο. Οι δύο κεκλιμένες επιφάνειες που εκτίθενται στον άνεμο συνεισφέρουν στην οπισθέλκουσα.

Τέλος το παραδοσιακό “J bend” σε στυλ “μπαστούνι του hockey”. Επιτρέπουν στον αναβάτη να κρατηθεί χωρίς συστροφή του καρπού και να λάβει μια θέση που χαρακτηρίζεται από την πλειοψηφία των αναβατών ως αρκετά άνετη. Ενώ τα χέρια βρίσκονται συνήθως σε απόσταση μεταξύ τους ίση με το άνοιγμα των ώμων -και όχι σε τόσο μικρή απόσταση όσο στο “S bend”- αυτά τα bars είναι δημοφιλή σε δυνατούς αναβάτες που τρέχουν π.χ. σε αγωνίσματα πίστας. Δεν είναι ασύνηθες να χρησιμοποιούν τα μπαράκια ως μοχλικό ούτως ώστε να τραβάνε το σώμα τους για να «κλειδώσει» σε θέση παραγωγής μέγιστης ισχύος. Επίσης καθώς αυτή η θέση έχει μεγαλύτερο πλάτος εννοείται σε ομαδικούς αγώνες pursuit, όπου το φαινόμενο drafting (κολλητήρι, δηλ να κόβει ο μπροστινός αναβάτης τον αέρα για αυτόν που ακολουθεί) είναι κρίσιμο για την ανάκαμψη του δεύτερου. Αυτή η θέση μεγαλύτερου πλάτους, δημιουργεί μεγαλύτερο «κενό» στο ροϊκό πεδίο για τον αναβάτη που ακολουθεί, ούτως ώστε να μπορέσει να ξεκουραστεί και να ανακάμψει (φαινόμενο ομόρρου). Ειδικά στα αγωνίσματα πίστας, επειδή είναι πολύ μικρής διάρκειας, η τοποθέτηση με σκοπό την παραγωγή μέγιστης ισχύος είναι κρίσιμη. Η συγκεκριμένη θέση επίσης μπορεί να ευνοεί τριαθλητές, όταν η απόσταση που θα τρέξουν απαιτεί έμφαση στην παραγωγή ισχύος με την μέγιστη άνεση. Γενικότερα, σε όσο μεγαλύτερη απόσταση τοποθετούνται τα χέρια του αναβάτη, υπάρχει περιορισμός την γενικότερη κίνησή του σώματος.

Η επιλογή για το σχήμα των προεκτάσεων αφορά καθαρά την εργονομία και την αίσθηση «καλού ελέγχου» στο ποδήλατο. Υπάρχουν όμως κάποιες γενικές εμπειρικές παραδοχές.

- Σε αγώνες ατομικής χρονομέτρησης (Time Trial) μικρής σχετικά απόστασης και ειδικά όταν αναφερόμαστε σε επαγγελματίες αθλητές ασκούνται τεράστιες δυνάμεις στο ποδήλατο στην πρώτη φάση της επιτάχυνσης αλλά και για να διατηρηθεί η ταχύτητα κόντρα στον άνεμο (η μέση παραγωγή ισχύος συχνά πλησιάζει τα 400W). Αυτοί οι αθλητές συνήθως χρησιμοποιούν τα μπαράκια σαν βάση στήριξης για το πεταλάρισμα, ούτως ώστε να διατηρούν άκαμπτο τον κορμό τους ενώ ασκούν μεγάλες δυνάμεις στον δισκοβραχίονα. Έτσι πιέζοντας τους πήχεις πάνω στα pads και τραβώντας τα μπαράκια προετοιμάζουν τον κορμό τους για τις δυνάμεις που θα δεχτεί από τα πόδια. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν βασική παράμετρος είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ισχύος για μικρή διάρκεια και έχουμε ουσιαστική συμμετοχή

του μυϊκού ιστού του άνω κορμού, συμπεριλαμβανομένων μεγάλων μυϊκών ομάδων όπως ο πλατύς ραχιαίος (latissimus dorsi)



Εικόνα 9. Στην ατομική χρονομέτρηση ο αθλητής βασίζεται στον πλατύ ραχιαίο για να σταθεροποιήσει τον κορμό του ενώ παράγει μέγιστη ισχύ

Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν ίσως βολεύει καλύτερη η επιλογή προέκτασης S-Bend

- Σε αγώνες τριάθλου και δη μεγάλων αποστάσεων, υπάρχει διαφορετική φιλοσοφία. Έχουμε σημαντική παραγωγή ισχύος αλλά ο αθλητής βασίζεται χρησιμοποιεί περισσότερο τα μπαράκια για την σκελετική υποστήριξη του άνω κορμού. Ειδικά σε αγώνες Ironman με την απόσταση των 180 km ποδηλασίας επιθυμούμε ο αθλητής μας να νιώθει όσο το δυνατό άνετα πάνω στο ποδήλατο. Με άλλα λόγια τα μπαράκια επιτελούν περισσότερο το έργο της βάσης στήριξης.

Σε αυτή την περίπτωση ίσως να ήταν καλύτερη η επιλογή προέκτασης J-bend

Από ανατομική πλευρά τα S-bend θεωρούνται λιγότερο άνετα. Υπάρχει καταπόνηση στο εσωτερικό μέρος του καρπού. Από ακτινογραφίες χεριών συγκρατούμενα σε μπαράκια έχει προκύψει ότι τα S-bend αναγκάζουν τον αναβάτη να κάμπτει τον καρπό σε άβολη γωνία για να κρατιέται από τα μπαράκια. Έτσι ο πήχης κουράζεται πιο γρήγορα. Επίσης αν περάσουμε στην εργονομία των αλλαγών ταχυτήτων. Για να εμπλακεί το γρανάζι 11 ή 12 (βαρύτερο πάτημα) το διακοπτάκι αλλαγής (shifter) πρέπει να μετακινηθεί στις 90 μοίρες προς τα κάτω. Αυτό καθιστά δύσκολη την αλλαγή σε και από αυτήν την ταχύτητα.



Εικόνα 10. Ακτινογραφία χεριού πάνω σε μπαράκια. Αριστερά J-bend, δεξιά S-bend



Εικόνα 11.Χρήση προεκτάσεων S-bend. Τα διακοπτάκια ταχυτήτων λαμβάνουν άβολες θέσεις.

Το ύψος του τιμονιού

Ο γενικός κανόνας που ισχύει για το ύψος του τιμονιού είναι να διευκολύνει την διατήρηση επίπεδης πλάτης, παράλληλης προς το έδαφος. Όταν ο αναβάτης πηγαίνει προς τα κάτω συνήθως αποκλείει την θωρακική κοιλότητα, «κλειδώνει» την γωνία του ισχίου και εμποδίζει την ικανότητα για παραγωγή ισχύος. Στο αντίθετο άκρο υπάρχουν κάποιοι αναβάτες που επιλέγουν κλίση τιμονιού προς τα άνω, όπως π.χ ο Lance Armstrong και ο Levi Leipheimer. Αυτές οι περιπτώσεις εντούτοις είναι σπάνιες.

Ο David Zabriskie είναι ο αναβάτης που χρησιμοποιεί την θεωρητικά ορθή αεροδυναμική θέση, τα χέρια του είναι σε ευθεία θέση, παράλληλα μεταξύ τους, με ίσια την πλάτη και το αεροδυναμικό κράνος εφαπτόμενο με την πλάτη του. Τοποθετεί τους ώμους και το ισχίο του προς τα μπροστά, λαμβάνοντας μια εξαιρετικά επίπεδη θέση πάνω στο ποδήλατο. Το τιμόνι στο ιδανικό ύψος τοποθετεί τον αναβάτη αρκετά χαμηλά, σε σημείο άνεσης για τα χέρια του, και η γωνία του ισχίου έχει ακόμα αρκετό εύρος για την παραγωγή ισχύος, αλλά πρωτίστως τοποθετεί τον αναβάτη σε θέση που μπορεί με ασφάλεια να παρακολουθεί τον δρόμο. Όταν ο αναβάτης τοποθετείται πιο ψηλά είναι πιο εύκολο για αυτόν να παράγει ισχύ αλλά ένα μέρος της θυσιάζεται σε αεροδυναμικές απώλειες.

- Οπότε ο μελετητής καλείται να βρει την χρυσή τομή μεταξύ ύψους τοποθέτησης, ισχύος και αεροδυναμικής.



Εικόνα 12. David Zabriskie. Υποδειγματική αεροδυναμική θέση

Γωνία του χεριού

Τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει γίνει μεγάλη συζήτηση γύρω από αυτή την παράμετρο και την επίδραση της στην αεροδυναμική. Η UCI έχει πολύ συγκεκριμένους κανονισμούς σχετικά με αυτό το θέμα. Οι πήχεις πρέπει να είναι παράλληλοι με το έδαφος και μόνο οι λαβές hand grips, δηλ τα σημεία επαφής της παλάμης του αναβάτη με τα μπαρακια μπορούν να έχουν κάποια κλίση.

Συνοπτικά

Η πιο αποδοτική αεροδυναμική θέση περιλαμβάνει τα μαξιλαράκια σε όσο το δυνατόν μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, χωρίς όμως να δυσχεραίνουν τον αναβάτη. Επίσης καλό είναι να είναι όσο το δυνατόν πιο πίσω χωρίς να υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης με τα γόνατα όταν ο αναβάτης χρειαστεί να ανασηκωθεί ή όταν κατεβαίνει από το ποδήλατο. Επίσης ο εκάστοτε αναβάτης πρέπει να επιλέξει τις κατάλληλες προεκτάσεις ανάλογα με την σωματότυπο του για να έχει όσο το δυνατόν πιο επίπεδη πλάτη.

Για να γίνει αυτό στον καλύτερο δυνατό βαθμό ιδεατά προηγείται διαδικασία σωματομέτρησης (bike fitting) από κάποιον ειδικό.

2. Απαιτήσεις-Σχεδιαστικές επιλογές

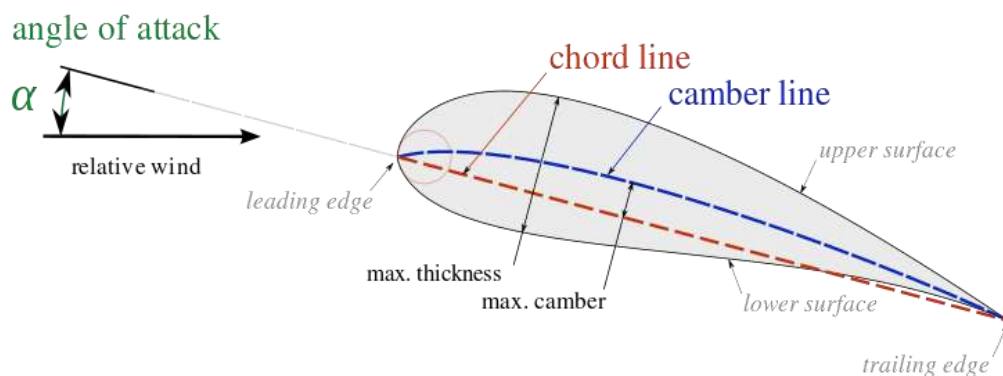
Πρωτεύοντα ρόλο λοιπόν στην επιλογή του βασικού προφίλ της αερόμπαρας κατέχει η αεροδυναμική συμπεριφορά. Είναι φυσικό λοιπόν να αναζητήσουμε λύση σε κάποια μορφή αεροτομής.

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

Εικόνα13. Διάφορα σχήματα και ο συντελεστής αεροδυναμικής τους αντίστασης

Βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα μιας αεροτομής είναι το σχετικά πεπλατυσμένο μέτωπο (μέτωπο προσβολής, leading edge) που συναντά αρχικά η ροή, η οξεία ακμή τους (ακμή εκφυγής, trailing edge), η μέση γραμμή καμπυλότητας που περνά από το μέσον του πάχους τους (camber line) και η χορδή (chord line), ευθεία που συνδέει το μέτωπο προσβολής τους με την ακμή φυγής.



Εικόνα14. Χαρακτηριστικά μεγέθη αεροτομής

Όταν έχουμε σχετική κίνηση αεροτομής μέσα σε πεδίο αέρα, δέχεται αεροδυναμική δύναμη, η οποία αναλύεται σε δύο συνιστώσες

Την οπισθέλκουσα (drag) που είναι παράλληλη στην διεύθυνση της σχετικής κίνησης

Την άνοση (lift) που είναι κάθετη

Οι απαιτήσεις που υπάρχουν για ένα προϊόν, όπως το αεροδυναμικό τιμόνι είναι

- Ελαχιστοποίηση της αεροδυναμικής αντίστασης (οπισθέλκουσας, drag). Όσο μεγαλύτερη αντίσταση προβάλλουν τα διάφορα εξαρτήματα του ποδηλάτου, αλλά και το ίδιο το σώμα του αναβάτη, τόσο περισσότερη ισχύ θα πρέπει να αποδώσει ο ίδιος για να διατηρήσει μια δεδομένη ταχύτητα.
- Εργονομία
- Ελαχιστοποίηση βάρους

Οπισθέλκουσα, Drag (D)

$$D = c_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_\infty^2 \cdot l \cdot b$$

Όπου ρ : η πυκνότητα του ρευστού

U_∞ : η επ' άπειρον ταχύτητα

l : το μήκος της χορδής

b : το βάθος του πεδίου ροής

C_D : ο συντελεστής αντίστασης

$$D = c_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_\infty^2 \cdot l \cdot b$$

Υφιστάμενοι περιορισμοί

Η αναλογία της γεωμετρίας του προφίλ της επιλεγμένης αεροτομής πρέπει να συμμορφώνεται προς τον λόγο 1:3 που επιβάλλεται από την UCI. Αυτό σημαίνει ότι

η αερόμπαρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επίσημους αγώνες αρκεί ο λόγος $\frac{\text{πάχος}}{\text{μήκος}}$

να μην υπερβαίνει το 3.

Επίσης απαγορεύονται για λόγους ασφαλείας αιχμηρές ακμές «knife profile» shapes

2.1 Υπολογιστική Ρευστομηχανική CFD, (Computational Fluid Dynamics)

Η επιλογή της τελικής αεροτομής έγινε με επιλογή μεταξύ 17 διαδεδομένων σχημάτων.

Τα συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε σχήματος τα βρήκαμε μέσω του εφαρμογής JavaFoil – Analysis of Airfoils

Χρησιμοποιήσαμε το add in του solidworks Flow Simulation για τις προσομοιώσεις.

Οι παραδοχές που κάναμε είναι οι εξής:

- Δεν υπάρχει θερμική αγωγή στο στερεό τοίχωμα (Heat conduction in solids)
- Δεν συνυπολογίζεται η επίδραση της βαρύτητας (g)
- Δεν έχουμε φαινόμενα σχετιζόμενα με υψηλούς αριθμούς Mach
- Δεν συνυπολογίζεται η υγρασία του περιβάλλοντος
- Δεν συνυπολογίζεται η τραχύτητα επιφανείας

➤ Το κελί υπολογισμού θεωρείται αδιαβατικά μονωμένο

Συνθήκες περιβάλλοντος:

Θερμοκρασία: 293,2 K (20°C)

Πίεση: 101325 Pa

Ταχύτητα ροής: $15 \frac{m}{sec} = 54 \frac{km}{h}$ η οποία είναι μια ενδεικτική ταχύτητα για ατομική χρονομέτρηση

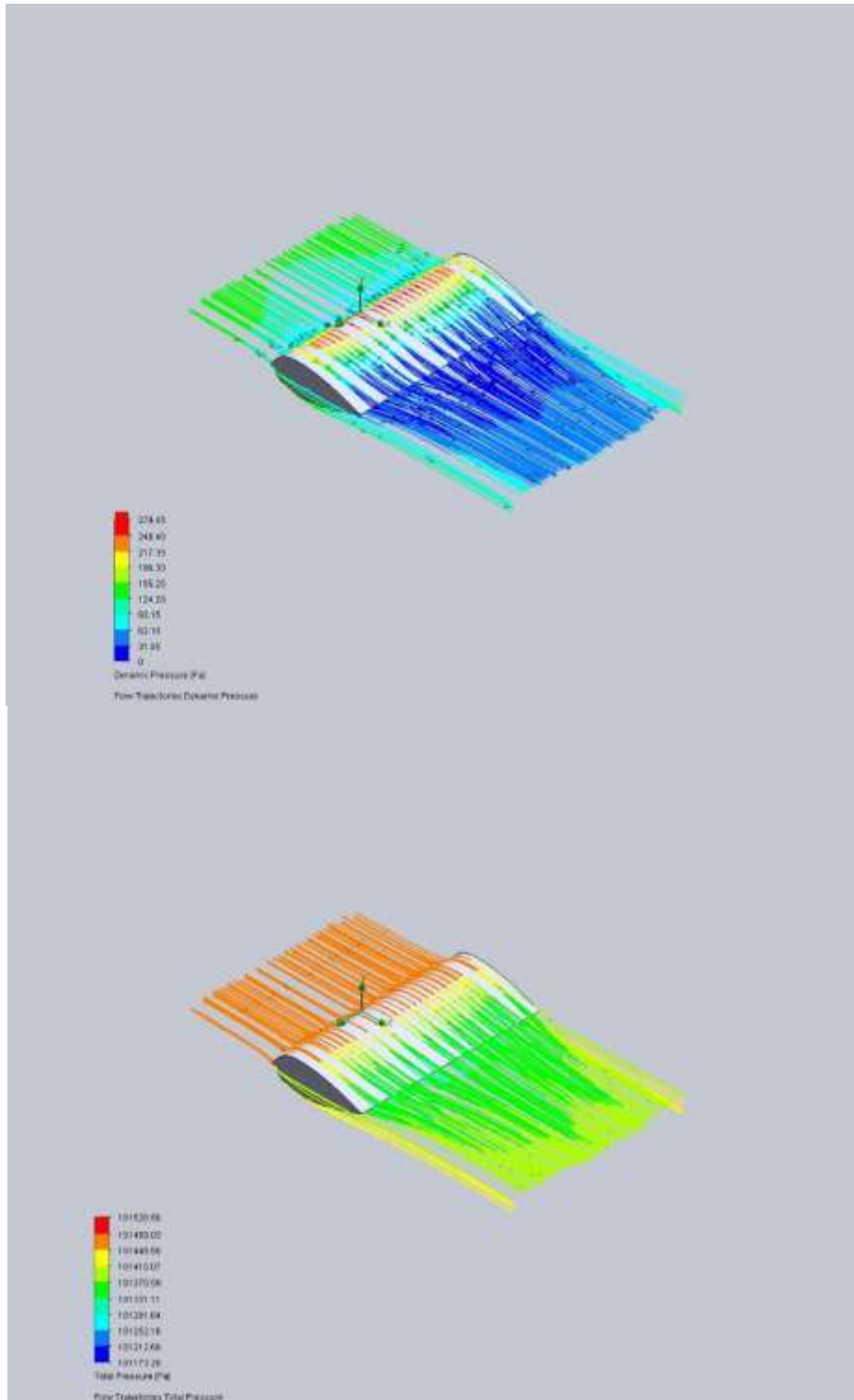
Ο πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα

	Αεροτομή	Dx (N)
1	Naca 4 digit modified	0,146
2	Naca 7 series	0,198
3	Bincovex	0,197
4	NPL EC and ECH series	0,205
5	Naca 16 series	0,207
6	NPL EQ and EQH series	0,205
7	Parsec 11 parameters	0,21
8	Naca 4 Digit	0,209
9	Naca 5 Digit	0,21
10	Van de Vooren	0,213
11	Naca 6 Digit	0,218
12	Horten Brothers	0,224
13	TsAGI B series	0,229
14	Rosner 4 parameters	0,244
15	Joukovsky	0,251
16	Newman Circular Nose	0,277
17	Cambered Plate	0,290
18	Wedge	0,346

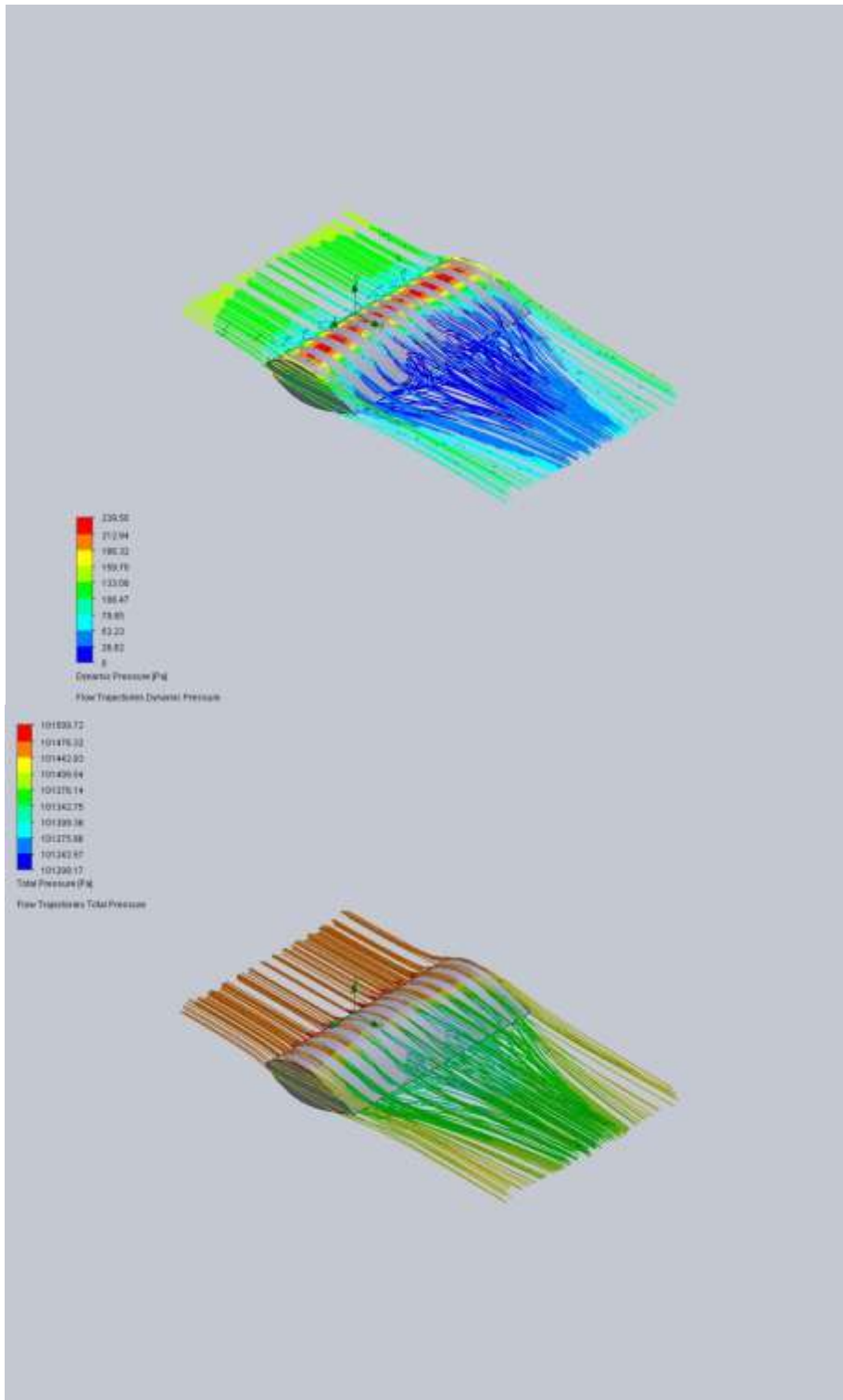
Παρατηρούμε ότι την μικρότερη αεροδυναμική αντίσταση την εμφανίζει η Naca 4 digit modified που θα αποτελέσει και την επιλογή μας για το κύριο σώμα του τιμονιού.

Πρέπει να επιλέξουμε αν η αερόμπαρά θα έχει ενσωματωμένο λαιμό (stem) ή θα προσαρμόζεται σε λαιμούς εμπορίου. Επιλέξαμε το δεύτερο για να προσφέρουμε μεγαλύτερη ευελιξία στο προϊόν μας. Αυτό βέβαια μας ανάγκασε σε κυκλική διατομή στο κεντρικό μέρος της μπάρας, ούτως ώστε να έχει δυνατότητα προσαρμογής στον εκάστοτε λαιμό. Η τυποποιημένη διάμετρος του λαιμού είναι 31,8mm

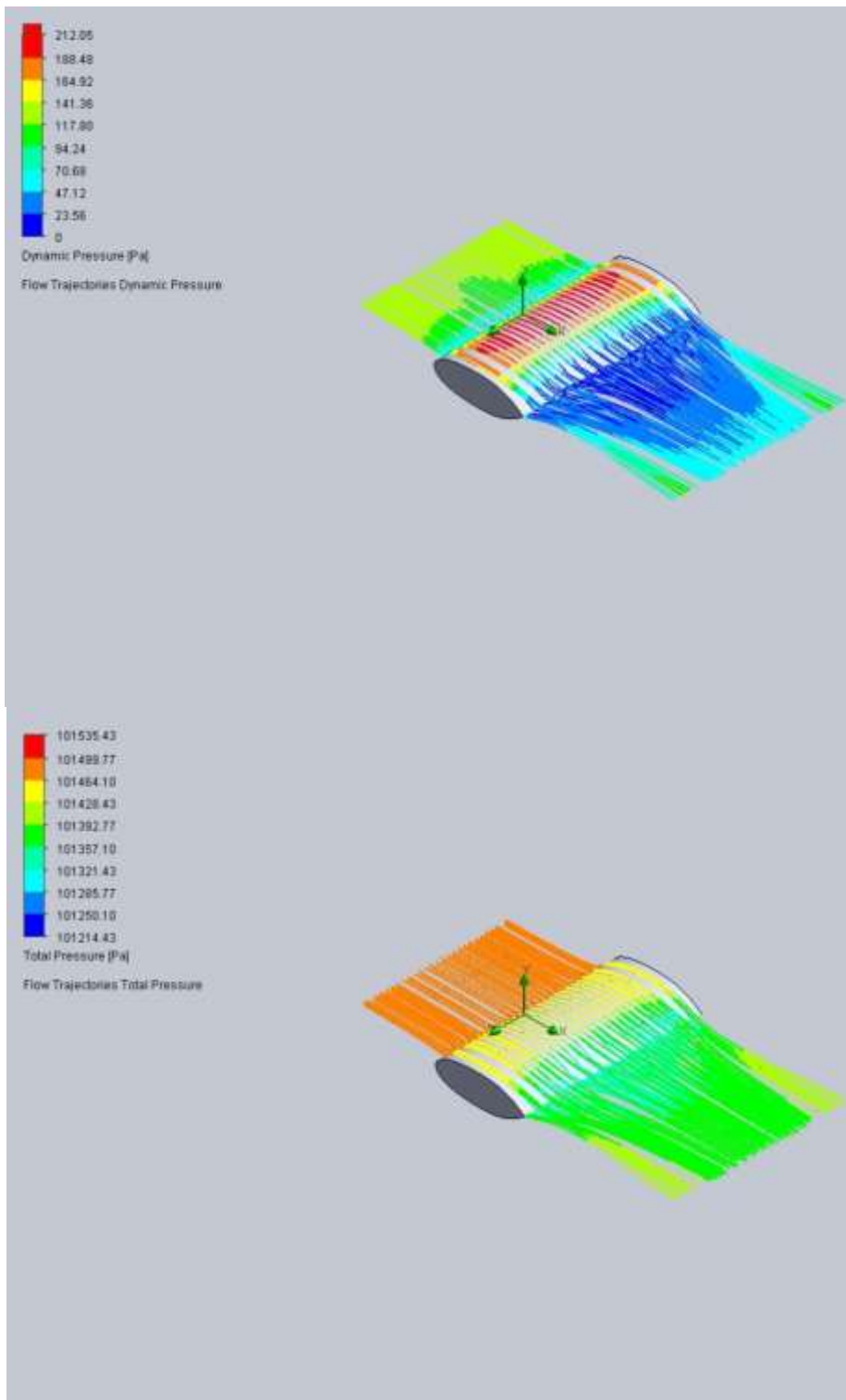
Στην συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με τις γραμμές ροής (flow trajectories) και την κατανομή της πίεσης σε Pa που εμφανίζεται κατά μήκος αυτών. Η πίεση είναι ο ένας από τους δύο παράγοντες που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη οπισθέκουσας σε συνδυασμό με την συνιστώσα που προκύπτει από τις τριβές.



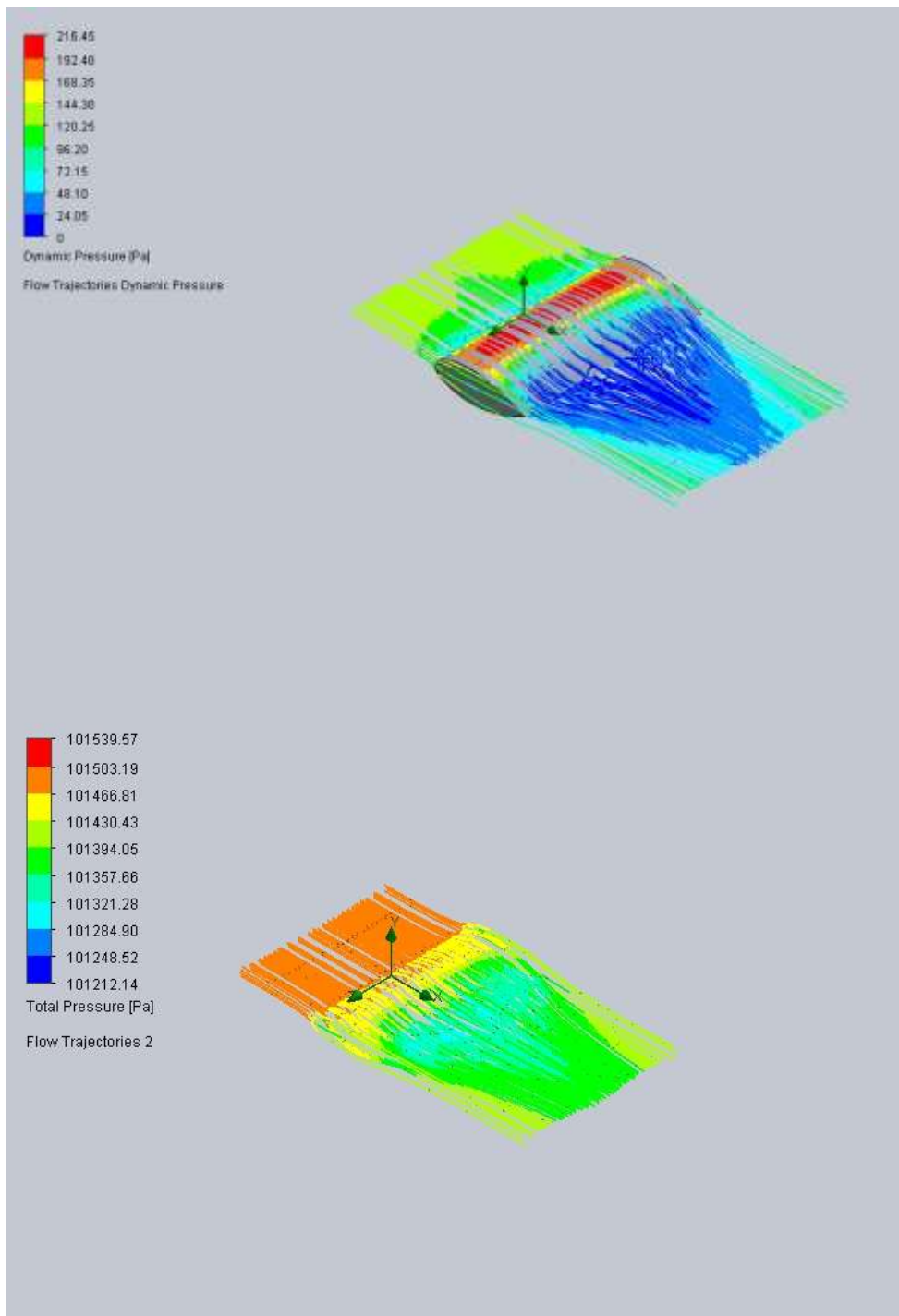
Εικόνα 15. Naca 4 digit modified γραμμές ροής



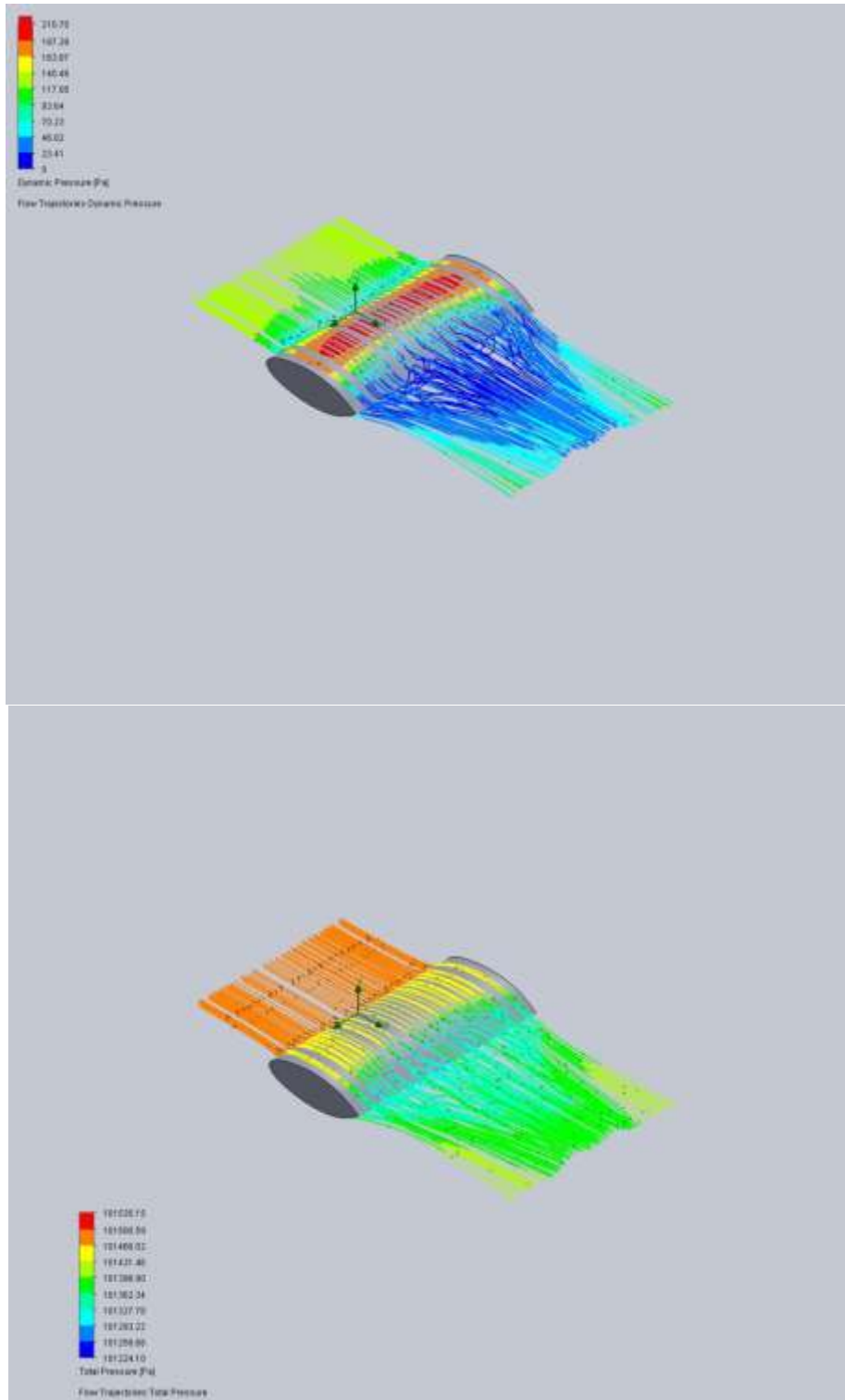
Εικόνα 16. Βίνκοβex γραμμές ροής



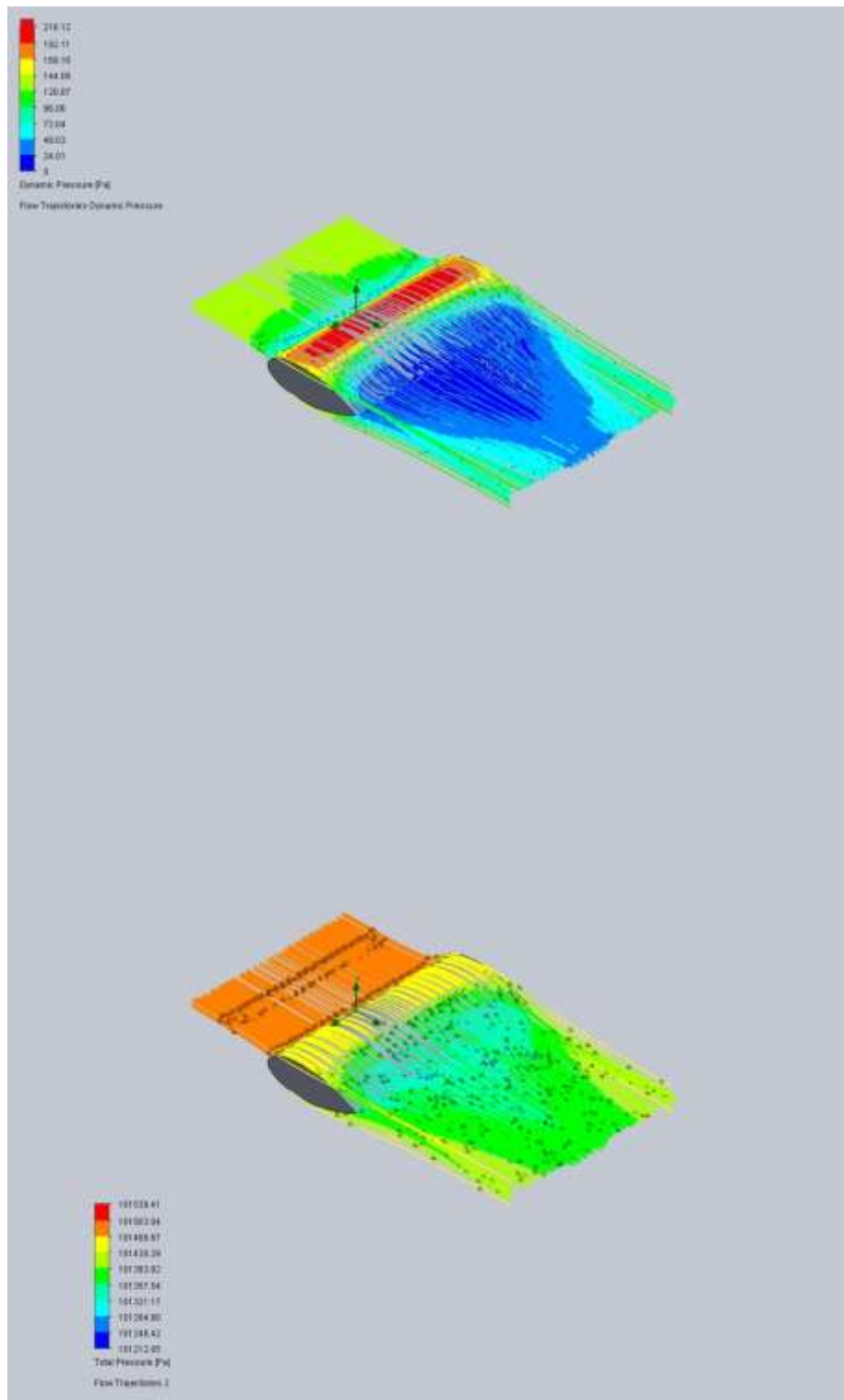
Εικόνα 17. Naca 7 series γραμμές ροής



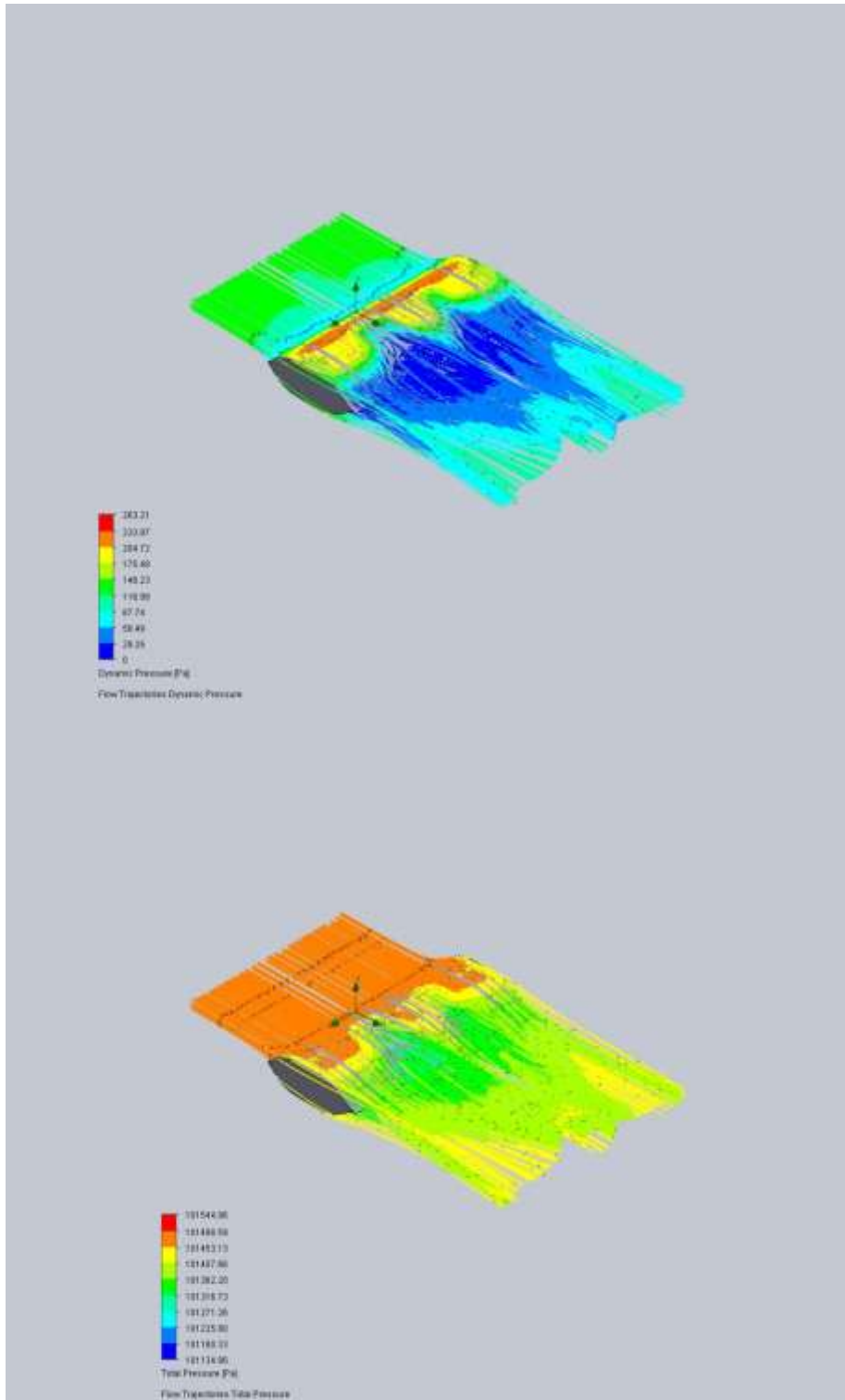
Εικόνα 18. NPL EC and ECH series γραμμές ροής



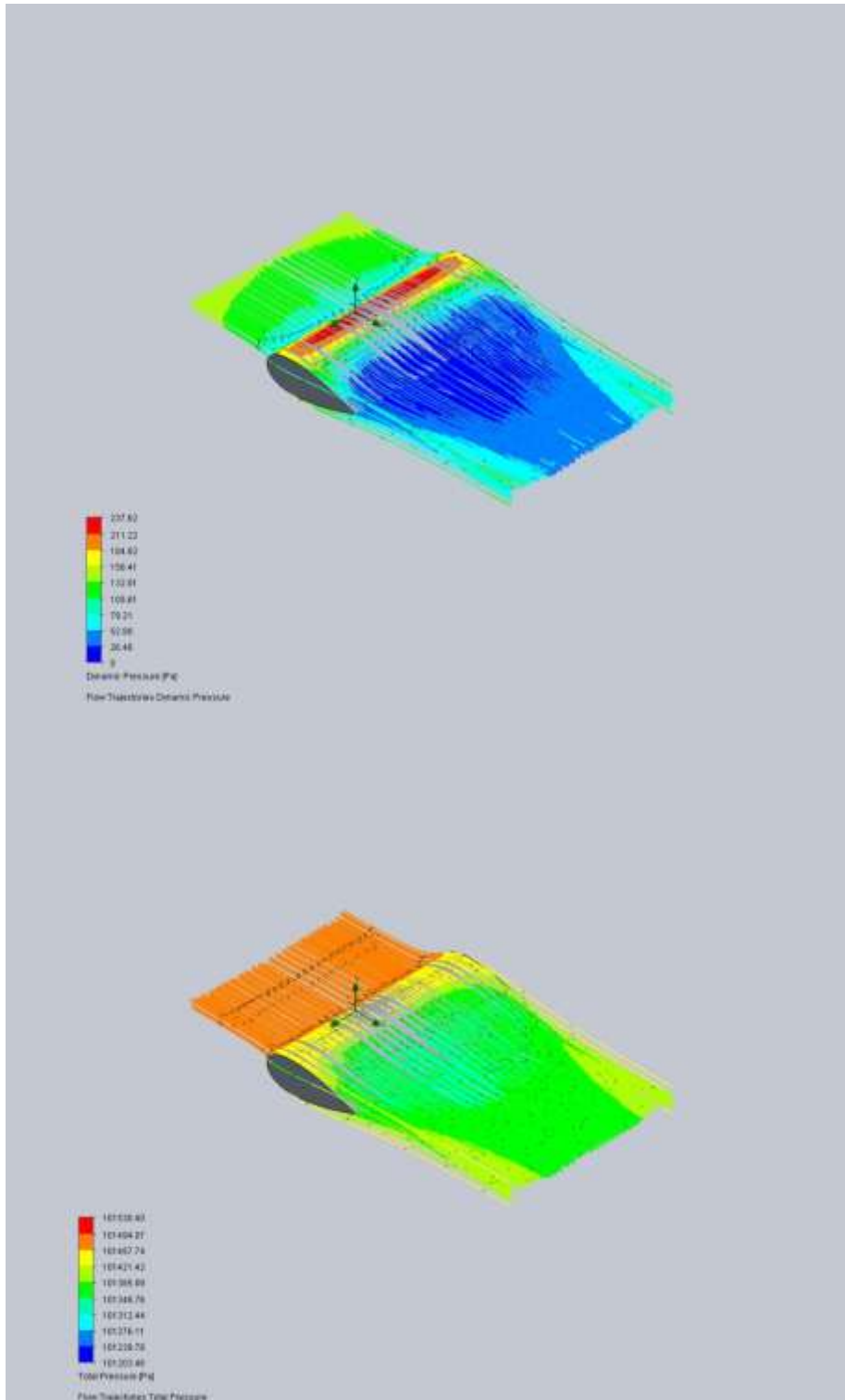
Εικόνα 19. Naca 16 Series γραμμές ροής



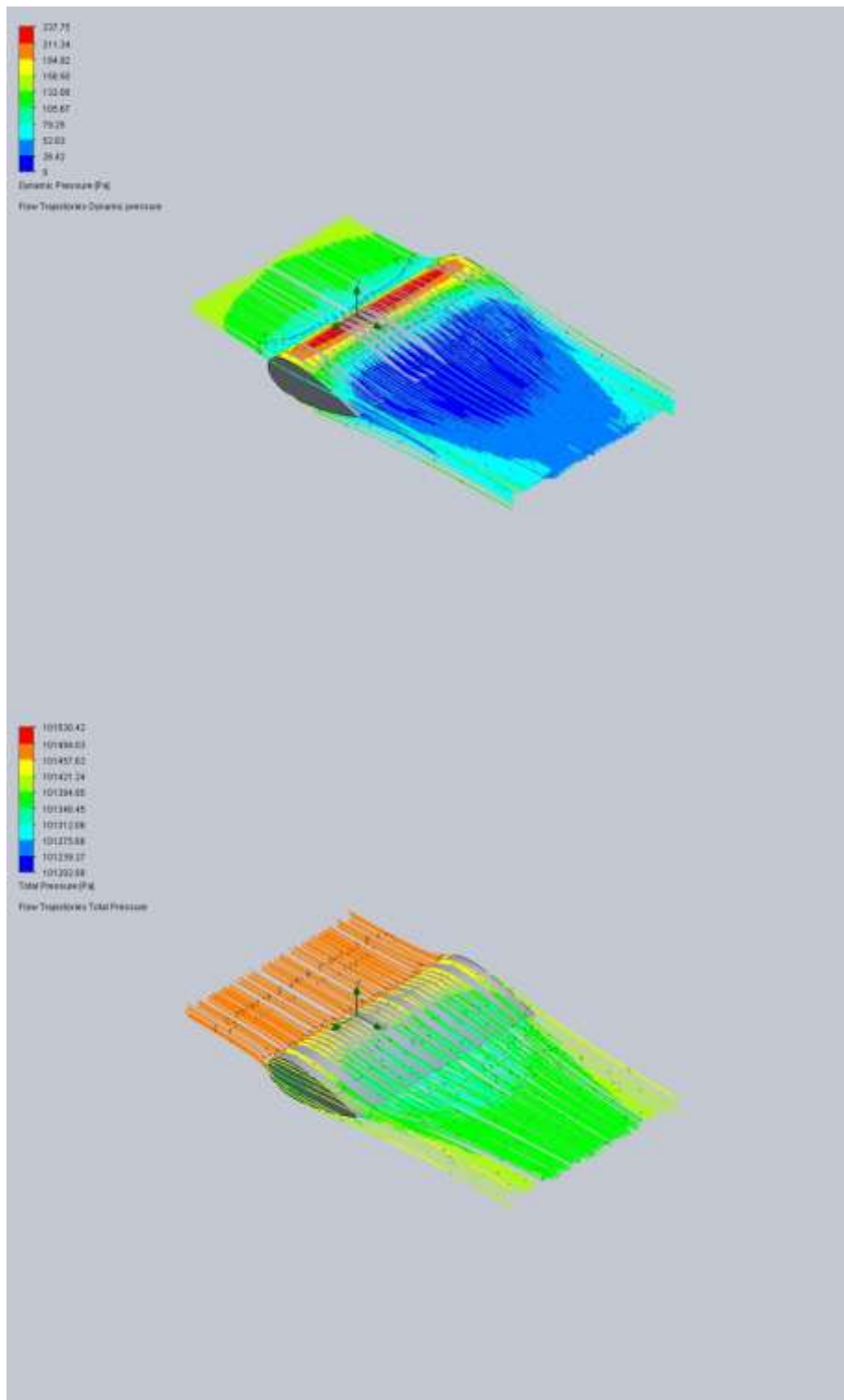
Εικόνα 20. NPL EQ and EQH series_γραμμές ροής



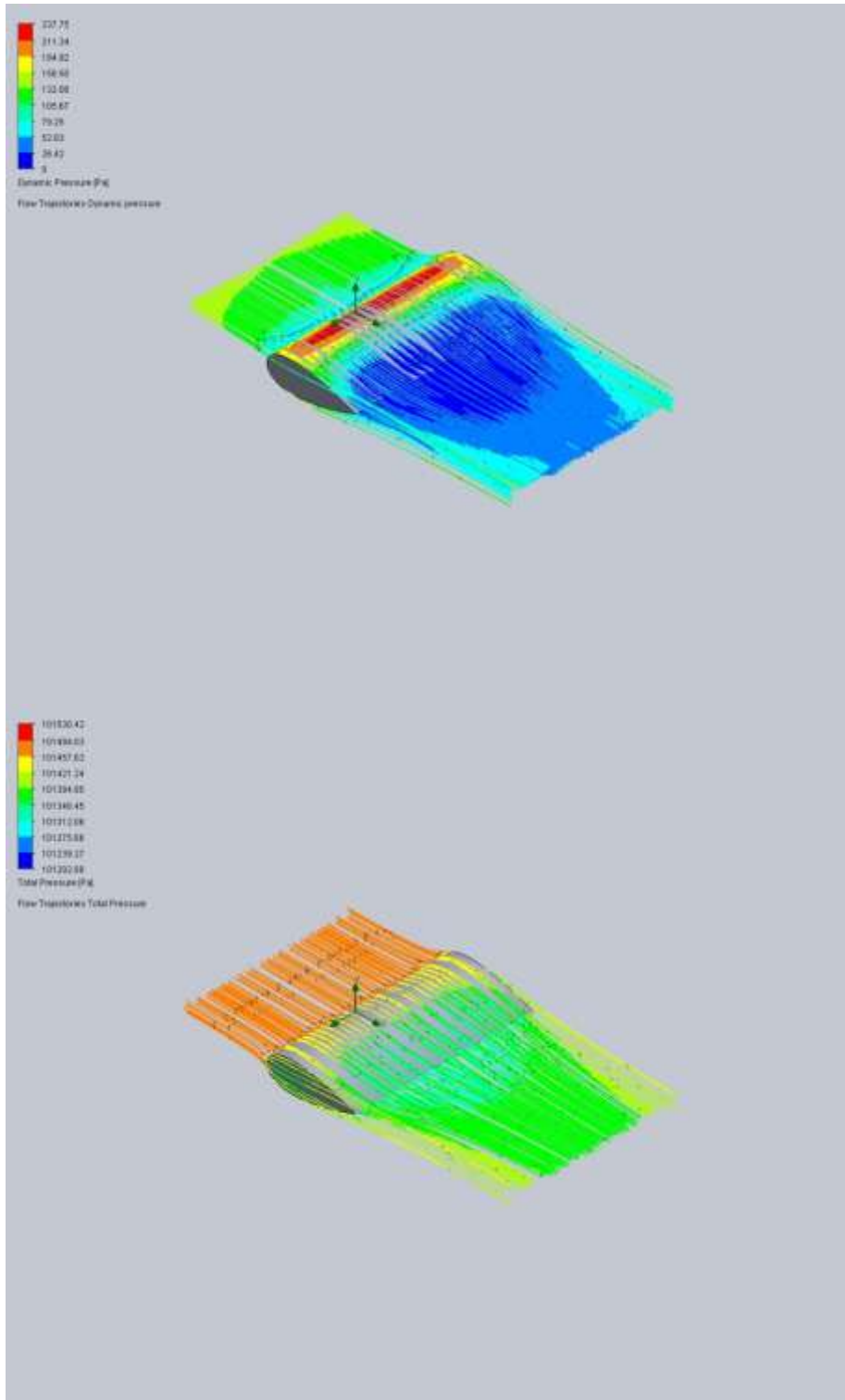
Εικόνα 21.Parsec 11 parameters γραμμές ροής



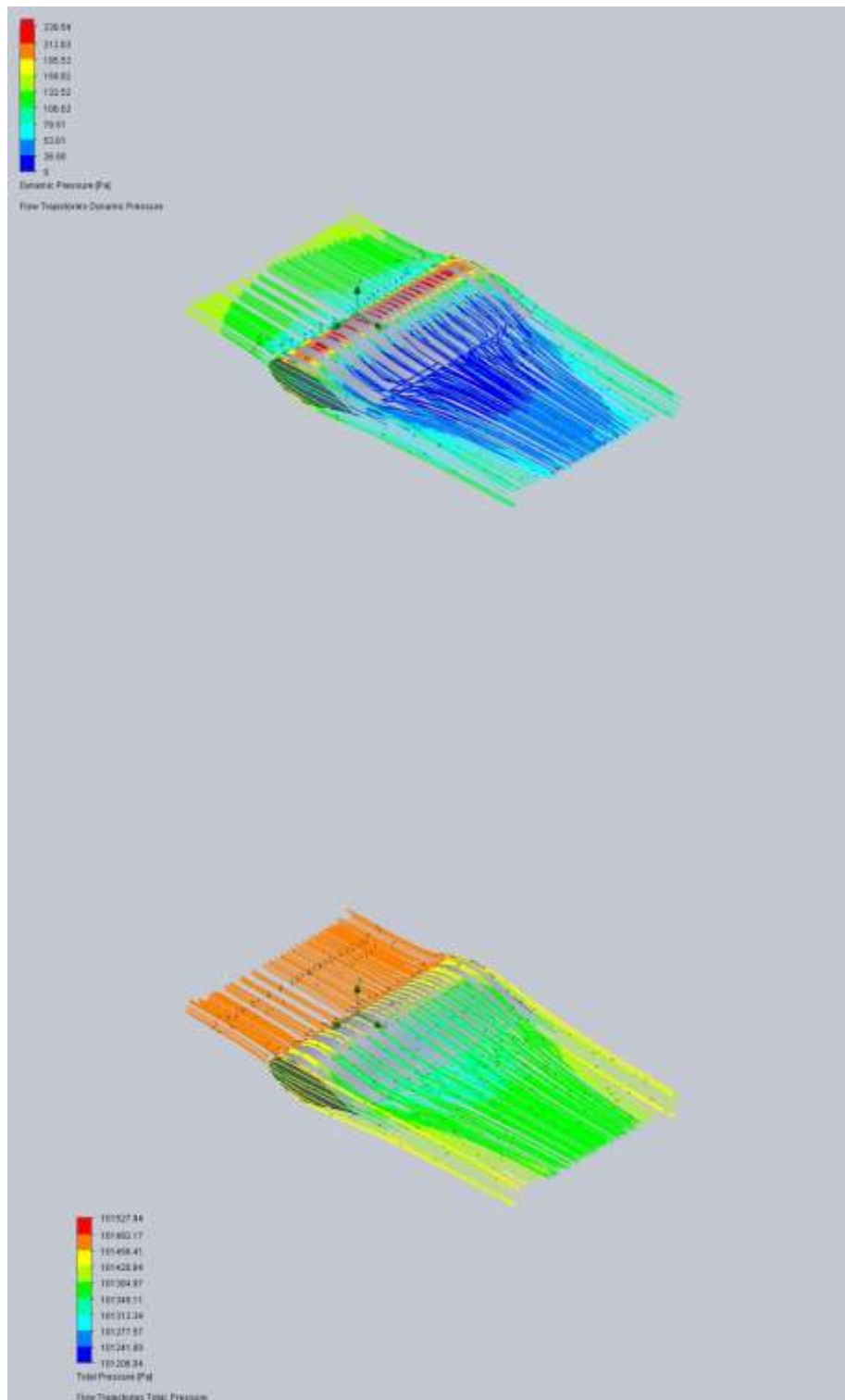
Εικόνα 22.Naca 4 digit γραμμές ροής



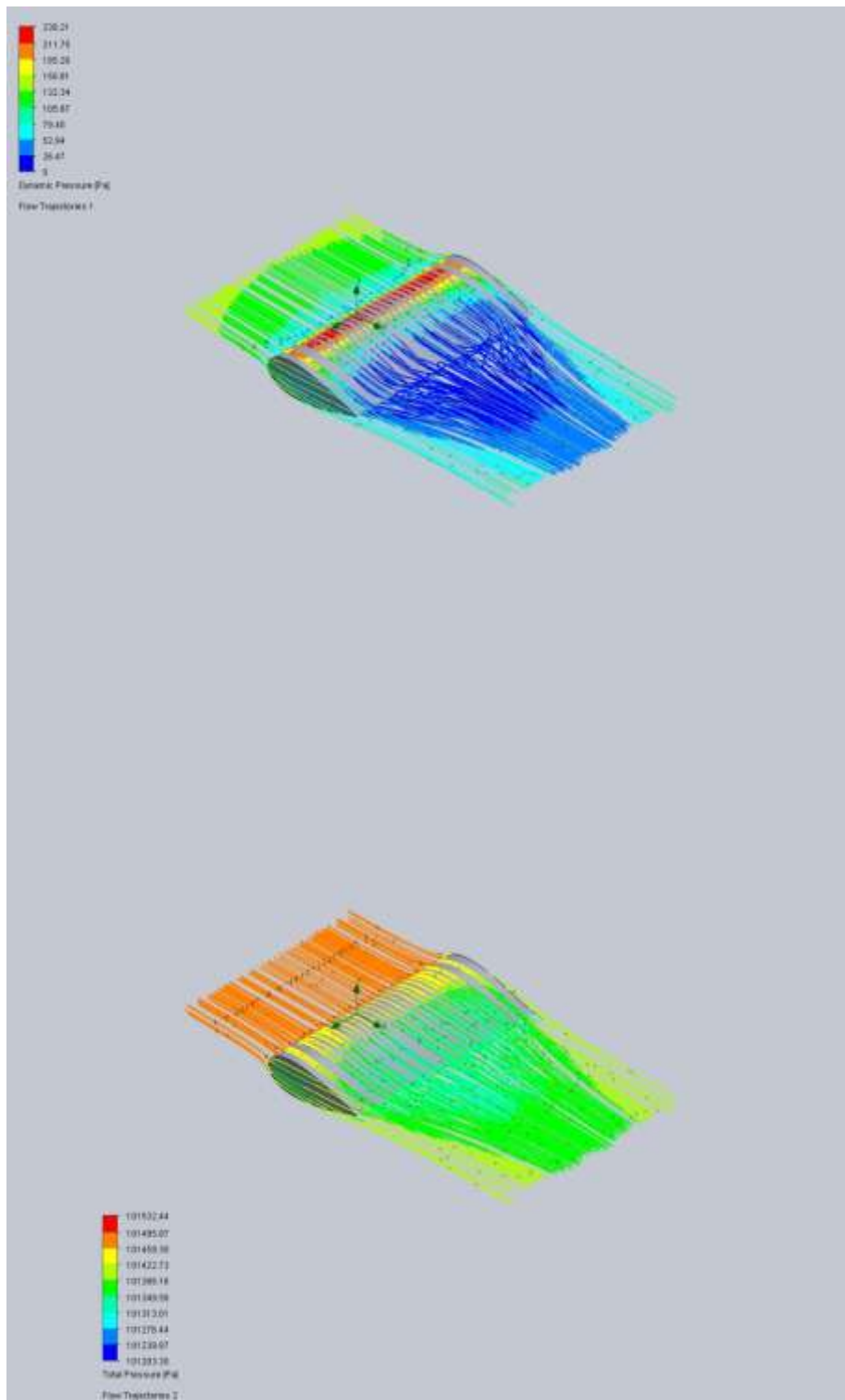
Εικόνα 23. Naca 5 digit γραμμές ροής



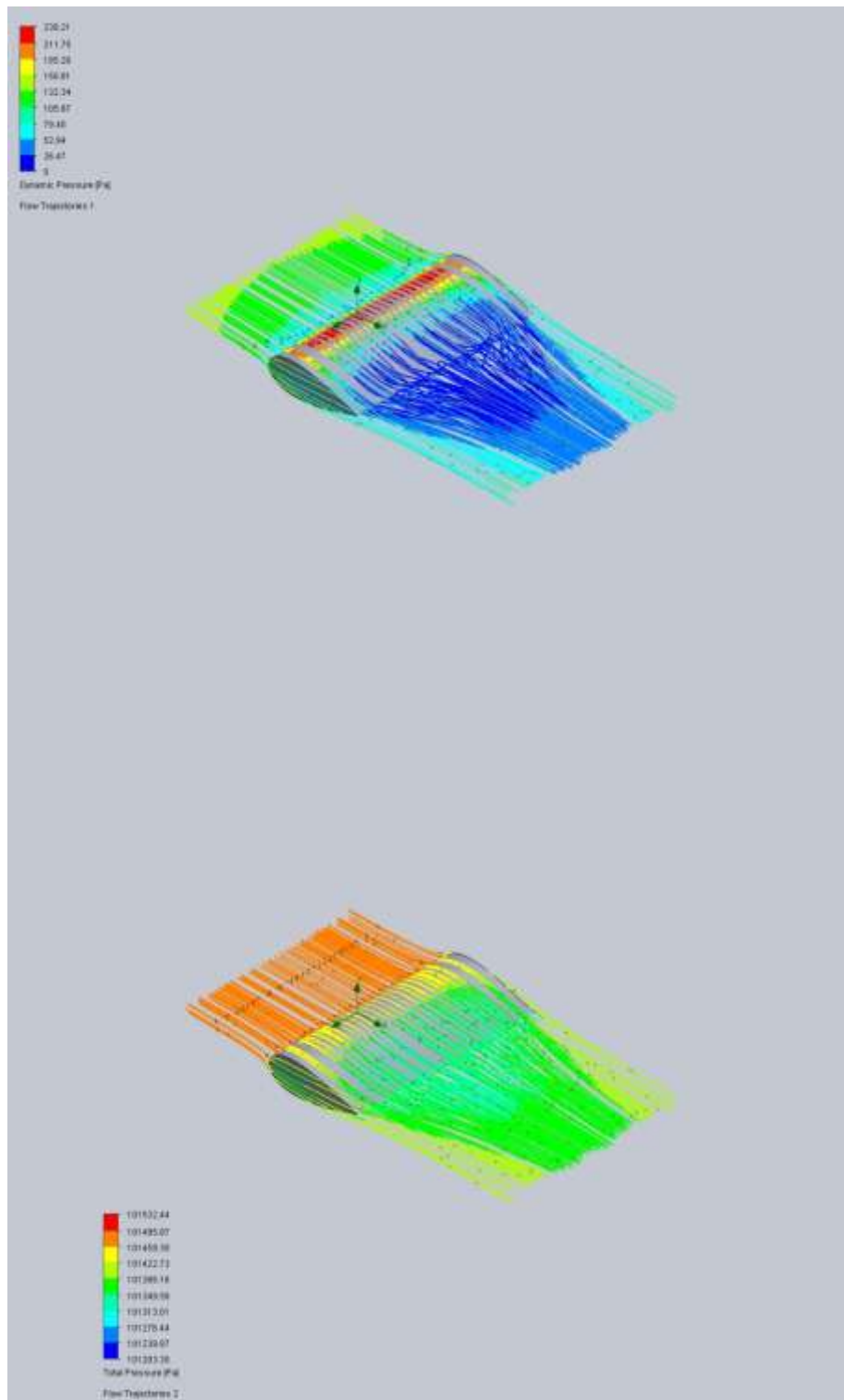
Εικόνα 24. Van de Vooren γραμμές ροής



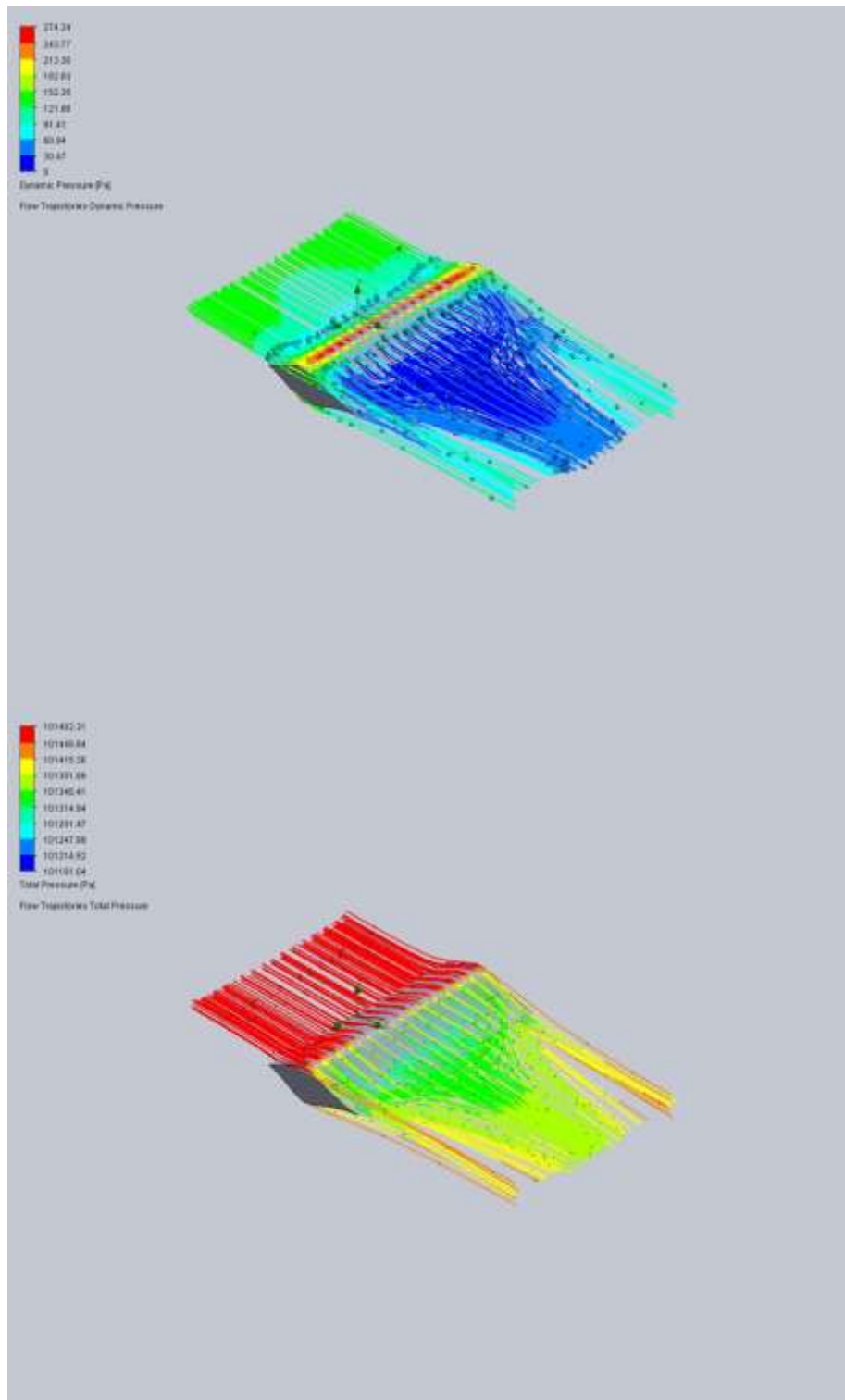
Εικόνα 25. Naca 6 digit γραμμές ροής



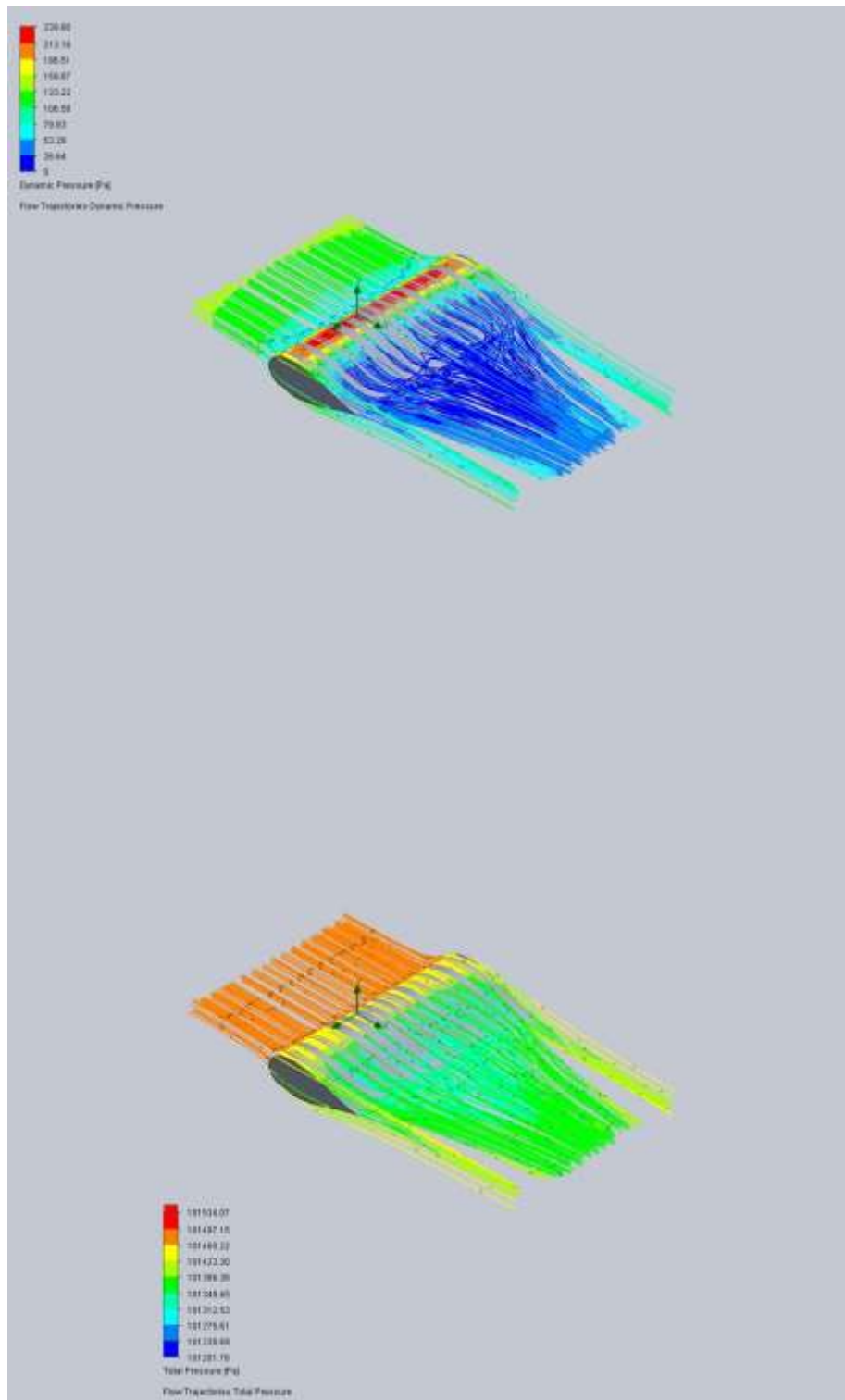
Εικόνα 26. Horten brothers γραμμές ροής



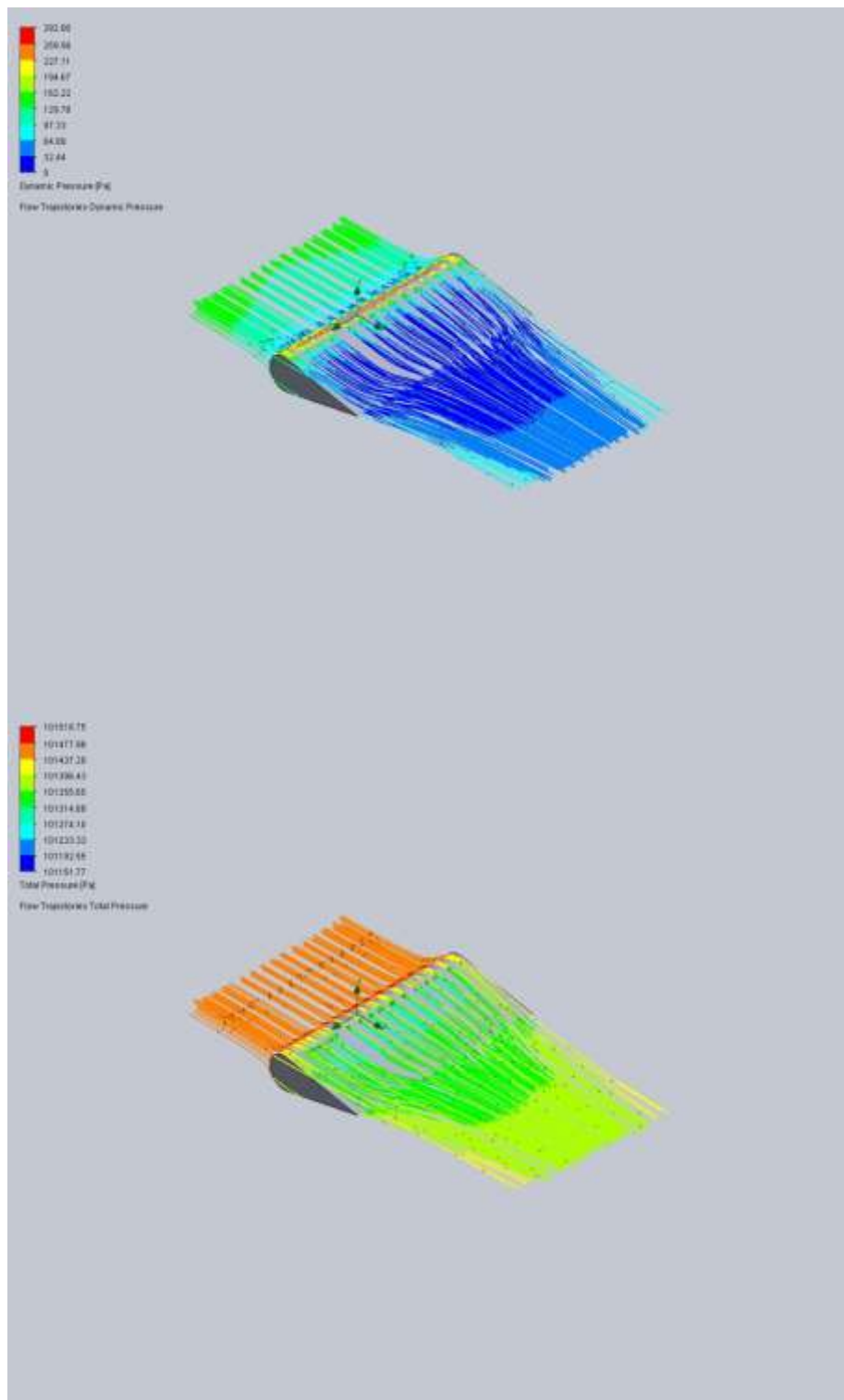
Εικόνα 27. TsAGI B Series γραμμές ροής



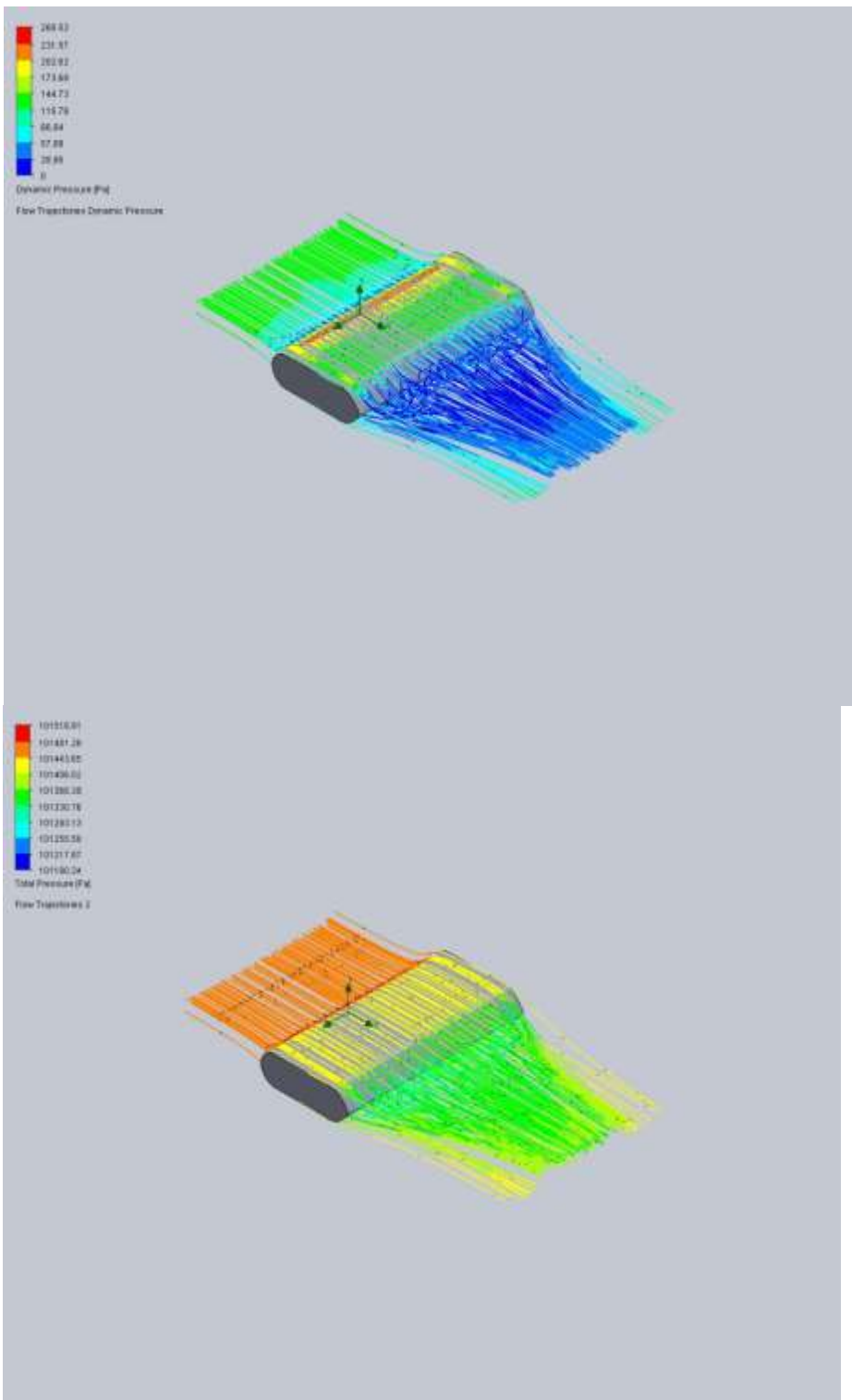
Εικόνα 28. Rosner 4 parameters γραμμές ροής



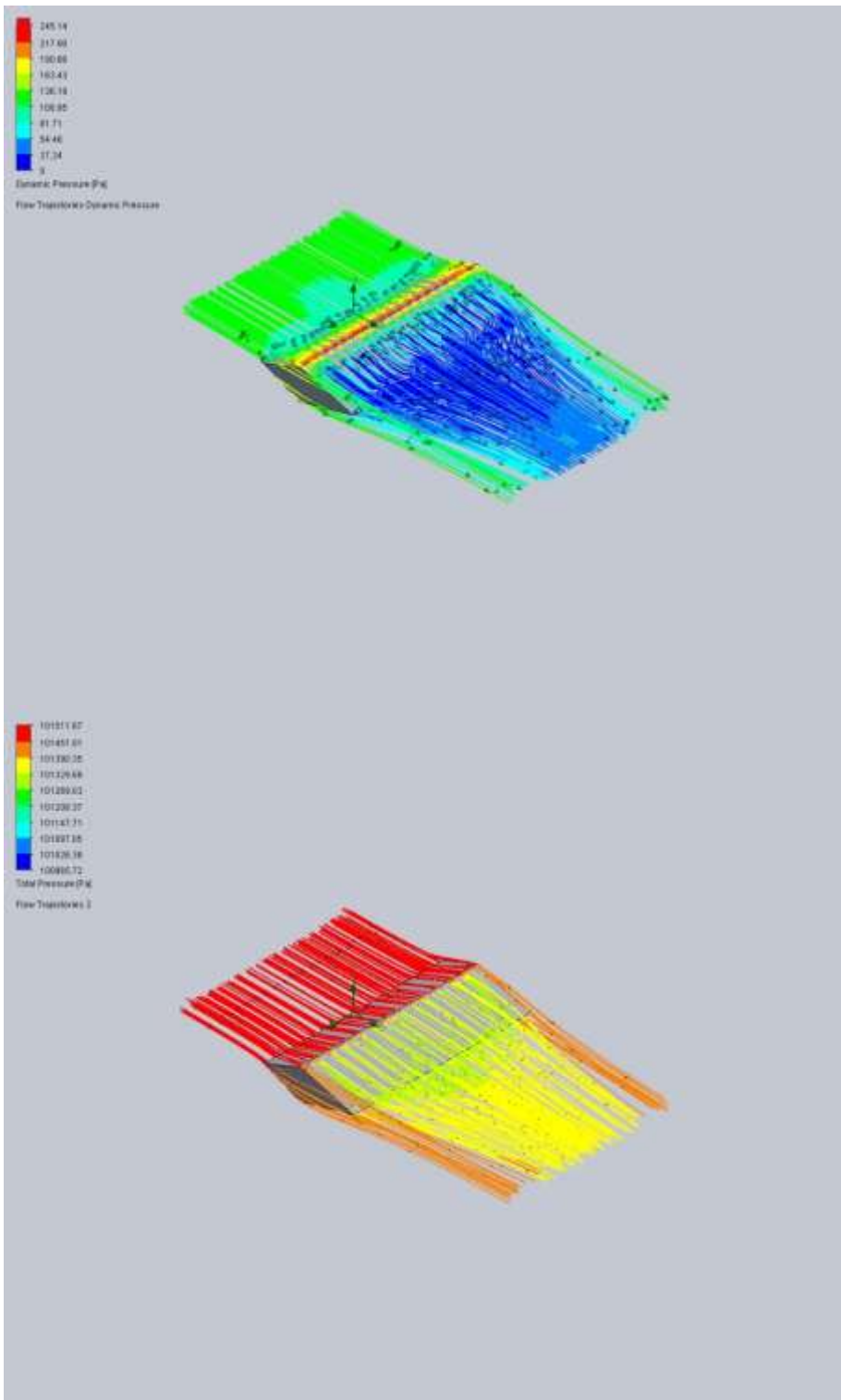
Εικόνα 29. Joukonsky γραμμές ροής



Εικόνα 30. Newman circular nose γραμμές ροής

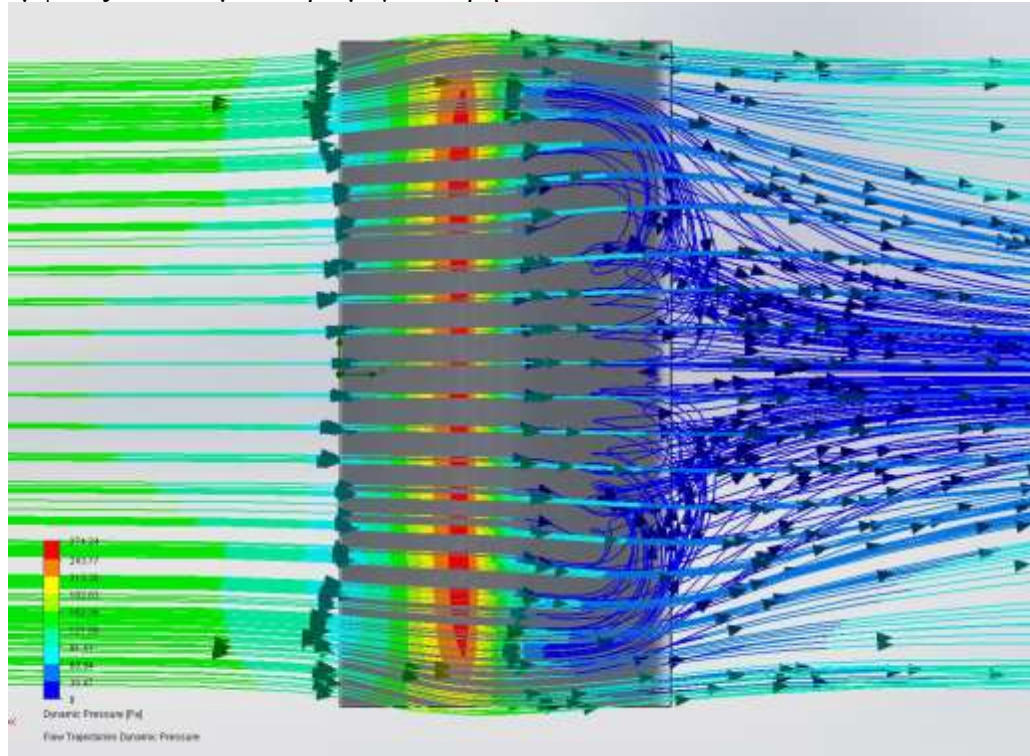


Εικόνα 31.Cambered plate γραμμές ροής

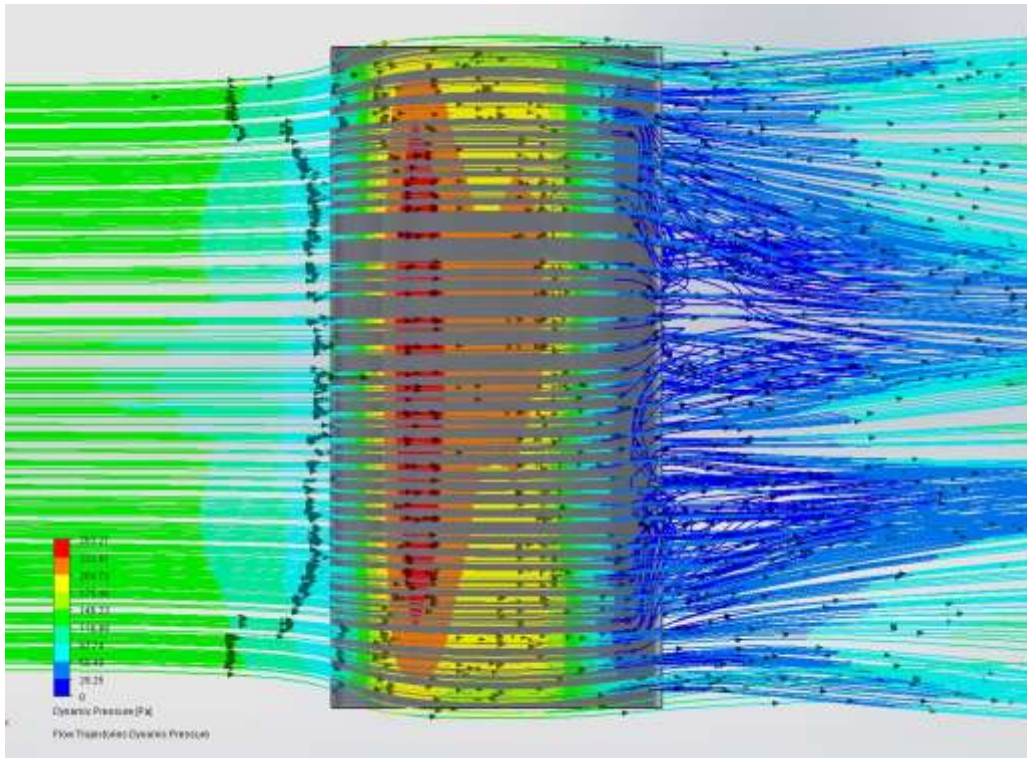


Εικόνα 32. Wedge γραμμές ροής

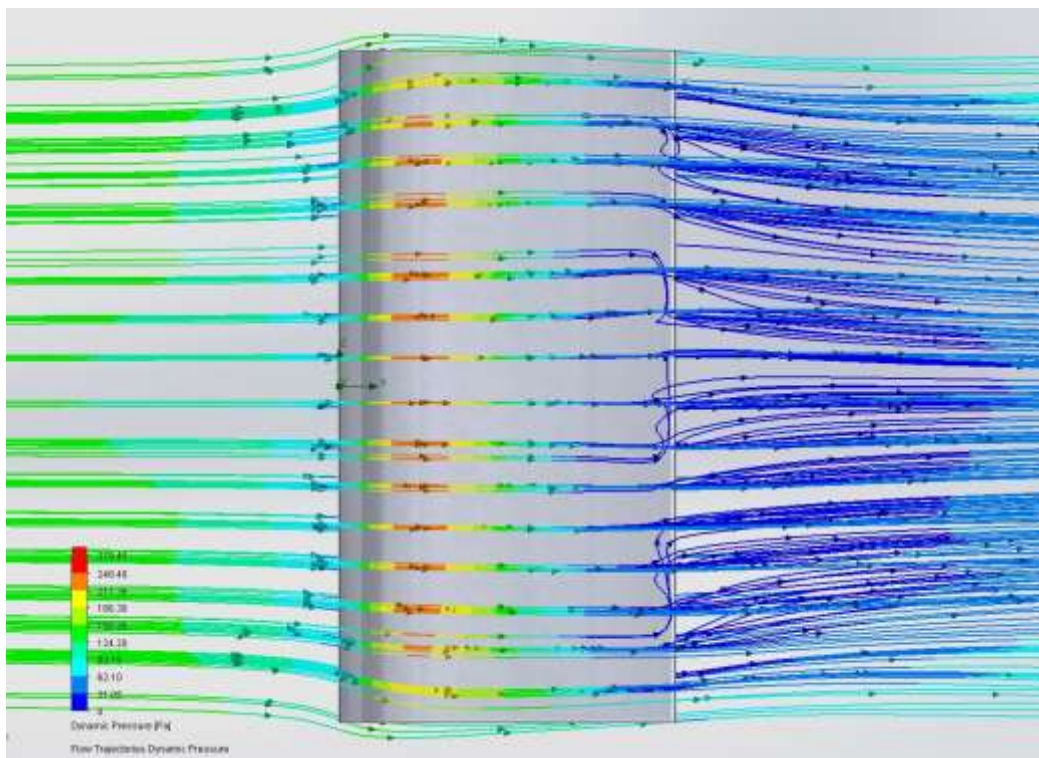
Παρατηρήσαμε από το ροϊκό πεδίο κάθε αεροτομής ότι κάποιες εμφάνιζαν έντονους στροβιλισμούς στην ακμή εκφυγής (wingtip vortices). Αυτό το φαινόμενο επάγει οπισθέλκουσα και είναι αναπόφευκτο φαινόμενο τρισδιάστατης άωσης. Η περιστροφική κίνηση του αέρα μέσα στους στροβίλους (που περιγράφεται και σαν «διαρροή» αέρα) μειώνει την αποτελεσματική γωνία προσβολής. Οι αεροτομές αυτές εμφάνιζαν κατά μέσο όρο μεγαλύτερη οπισθέλκουσα.



Εικόνα 33. Rosner 4 Parameters άνοψη. Έντονοι στροβιλισμοί στην ακμή εκφυγής



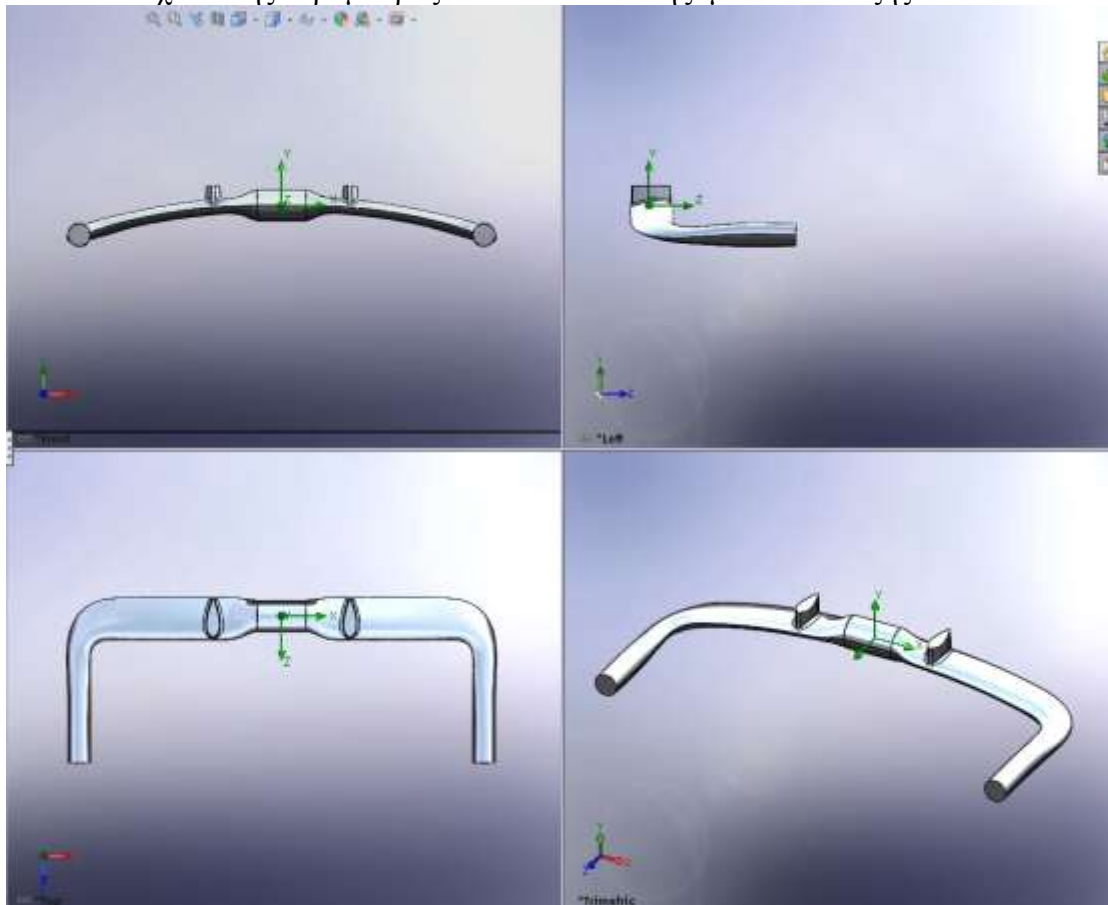
Εικόνα 34.Parsec 11 Parameters άνοψη. Έντονοι στροβιλισμοί στην ακμή εκφυγής



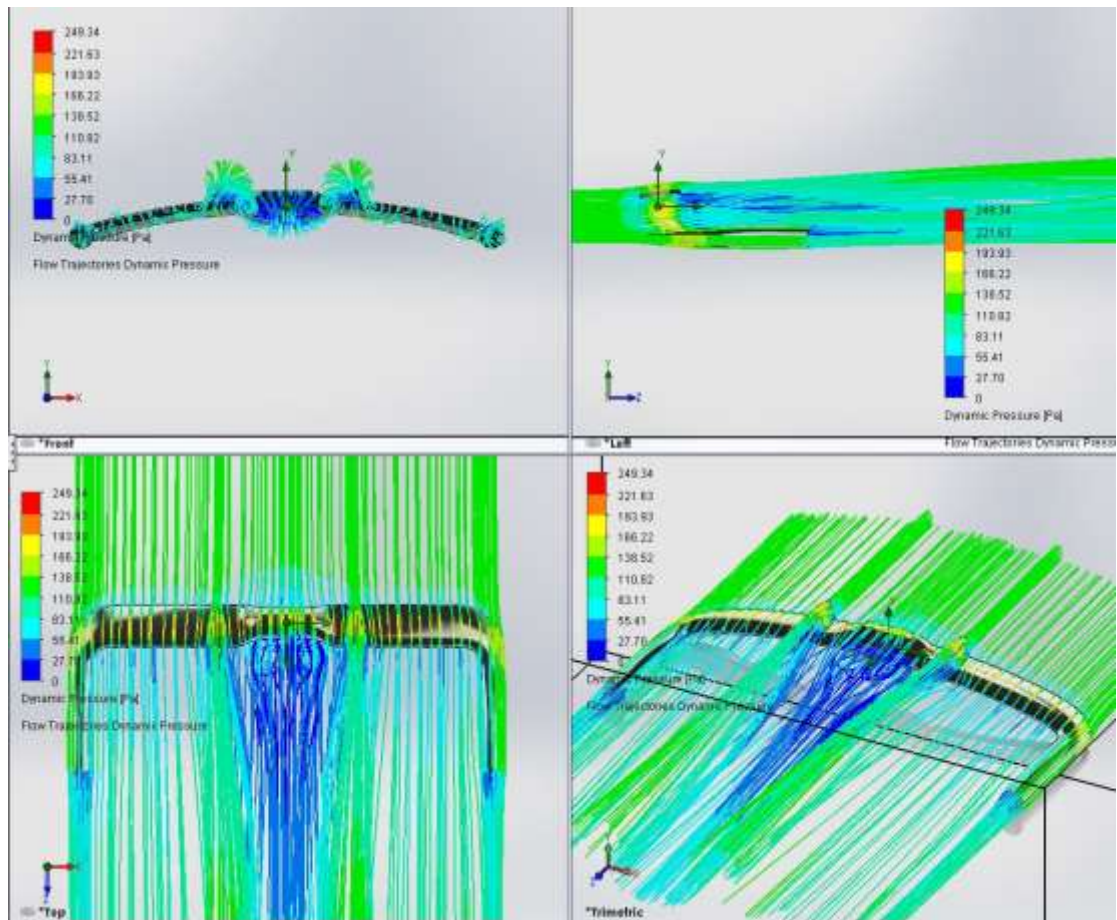
Εικόνα 35.Naca 4 Digit Modified άνοψη. Ήπιοι στροβιλισμοί στην ακμή εκφυγής

Συνοψίζοντας το κύριο μέρος της αερόμπαρας θα έχει την μορφή Naca 4 digit modified με αναλογία 1:3, με στρογγυλεμένες τις ακμές πρόσπτωσης και εκφυγής όμως. Το κεντρικό τμήμα σύνδεσης με τον λαιμό θα είναι κυκλικό για να μπορεί να

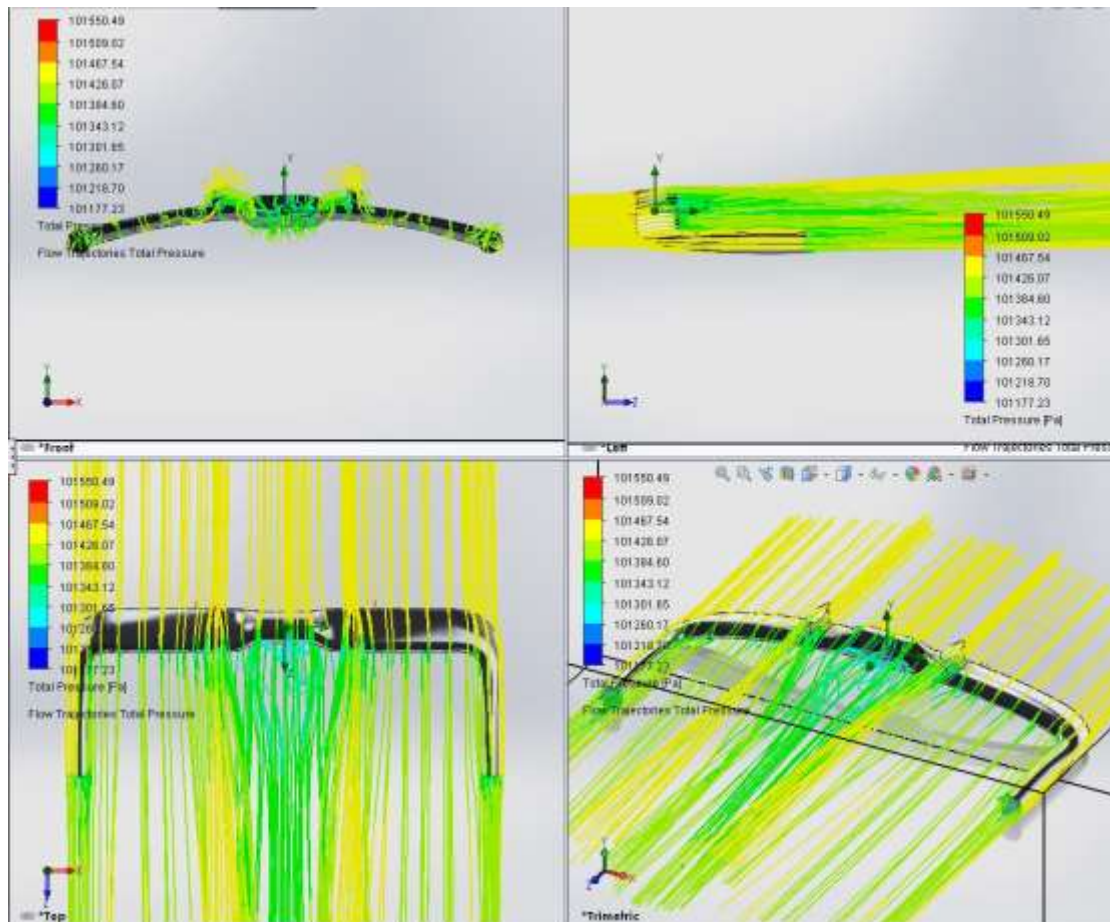
συνδεθεί με τους περισσότερους λαιμούς του εμπορίου και για λόγους εργονομίας και αεροδυναμικής θα δώσουμε ένα μικρό drop (κλίση προς τα κάτω)
Το τελικό σχέδιο της αερόμπαρας στο οποίο καταλήξαμε είναι το εξής:



Εικόνα 36. Σχέδιο προϊόντος σύμφωνα με σχεδιαστικές επιλογές
Στην συνέχεια τρέξαμε μελέτη CFD για το σώμα της αερόμπαρας



Εικόνα 37. Μελέτη CFD για σώμα αερόπαρας. Γραμμές ροής και κατανομή δυναμικής πίεσης



Εικόνα 38. Μελέτη CFD για σώμα αερόπαρας. Γραμμές ροής και κατανομή ολικής πίεσης

Η υπολογιζόμενη δύναμη σε αυτή την περίπτωση είναι 0,477N λόγω πίεσης και λόγω τριβής είναι 0,041N. Η δεύτερη τιμή βέβαια δεν είναι ενδεικτική καθώς δεν έχουμε συνυπολογίσει την τραχύτητα επιφανείας

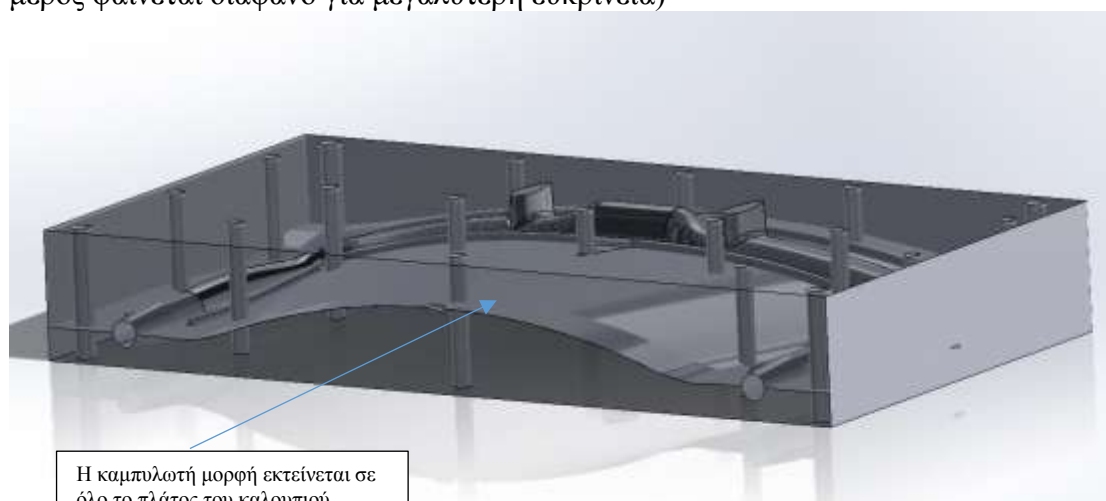
Παρατηρούμε ότι πίσω από το κεντρικό κυλινδρικό τμήμα δημιουργούνται στροβιλισμοί της ροής. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σαν εξέλιξη αυτού του προϊόντος ,τουλάχιστον αεροδυναμικά, θα προχωρούσαμε σε ενσωματωμένους λαιμούς, ούτως ώστε να είχαμε καθ' όλο το μήκος προσβολής την διατομή αεροτομής.

3. Σχεδιασμός καλουπιού

Το καλούπι σχεδιάστηκε σε δύο κομμάτια με την βοήθεια του εργαλείου Mold Tools του Solidworks. Επιθυμούμε το καλούπι μας να κλείνει με ακρίβεια και για αυτό τον λόγο θα χρησιμοποιήσουμε πείρους οδηγούς. Θα υπάρχουν τέσσερις θέσεις για πείρους οδηγούς, δύο ενεργές και δύο σε αναμονή για μελλοντική χρήση σε περίπτωση που υπάρξει κάποια φθορά στις δύο ενεργές.

Πρέπει να δημιουργηθούν αυλακώσεις για την ρητίνη που θα διαρρεύσει κατά τον θερμικό κύκλο και κάποιες εγκοπές που θα χρησιμοποιηθούν σαν μοχλός για να ανοίξει πιο εύκολα το καλούπι. Τέλος, θα χρειαστούν κώνοι που θα σφραγίζουν την σακούλα πίεσης

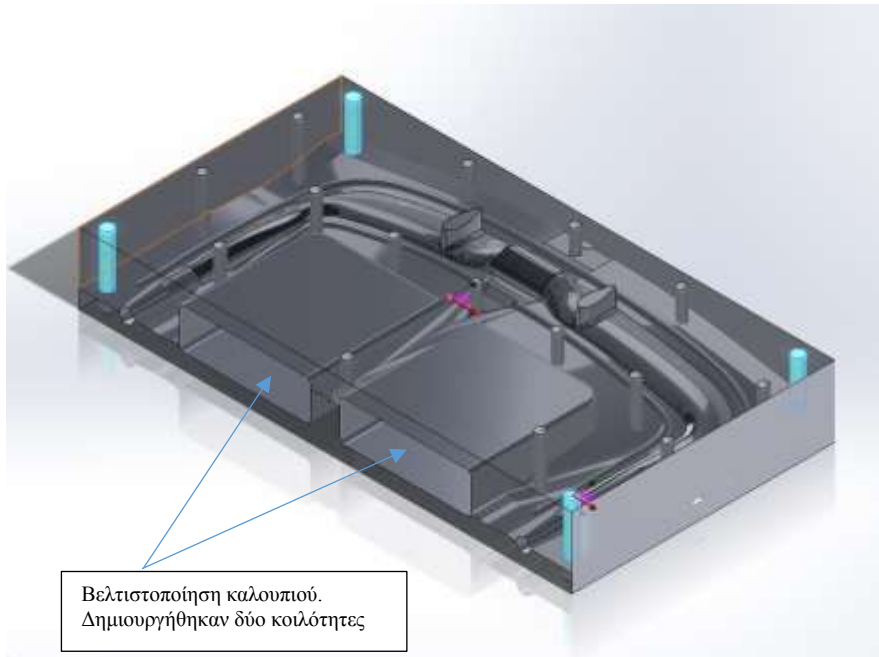
Το αρχικό καλούπι που σχεδιάστηκε είχε την μορφή που φαίνεται παρακάτω (το άνω μέρος φαίνεται διάφανο για μεγαλύτερη ευκρίνεια)



Εικόνα 3.1 Σχεδιασμός καλουπιού(με το προϊόν τοποθετημένο μέσα)

Εντούτοις η καμπυλωτή μορφή της διαχωριστικής επιφάνειας (parting surface) που προέκυψε από την μορφή του τιμονιού και εκτεινόταν κατά πλάτος του καλουπιού χωρίς να έχει κάποιο λειτουργικό ρόλο εκτόξευε το κόστος επεξεργασίας στο CNC, όπως μας υπέδειξαν τα μηχανουργεία που αποταθήκαμε

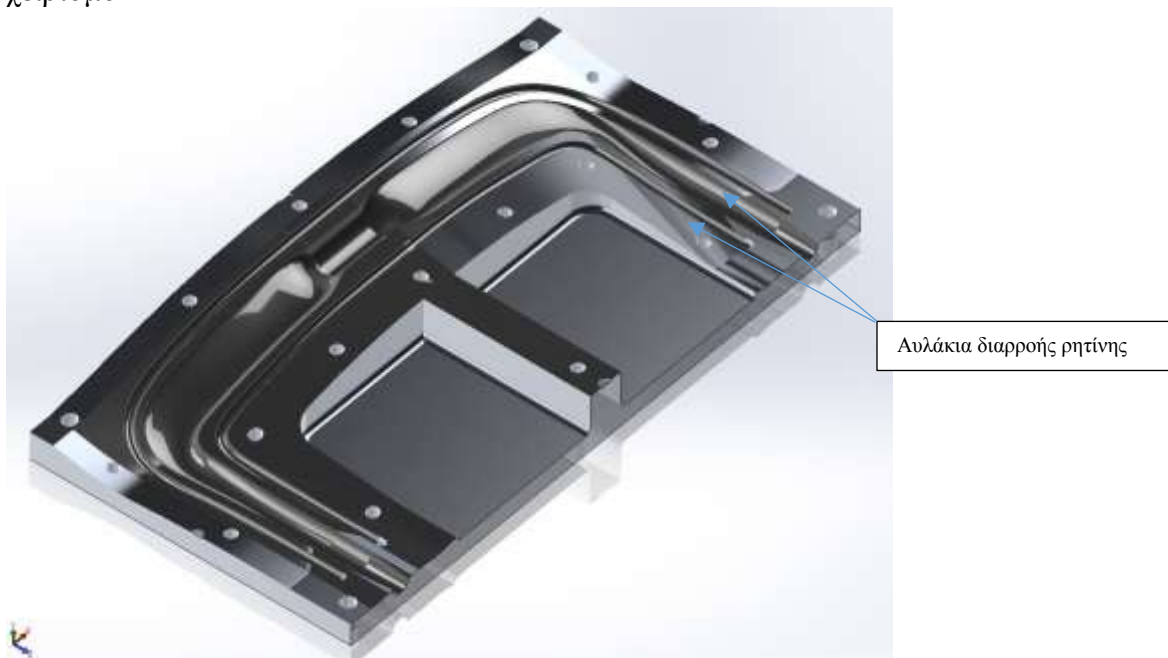
Οπότε δημιουργήθηκαν δύο κοιλότητες στο καλούπι, το οποίο εξελίχθηκε στην κάτω μορφή. Οι κοιλότητες αυτές οδήγησαν σε σημαντική ελάφρυνση του καλουπιού.



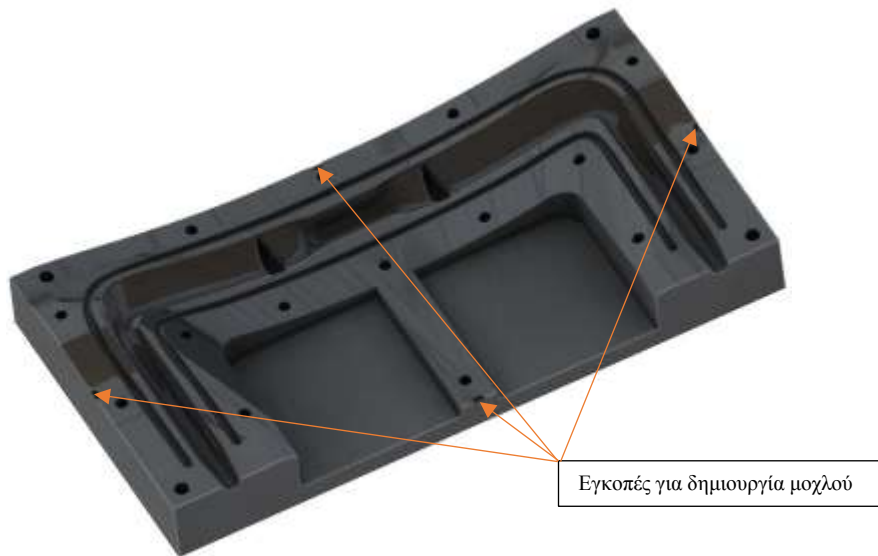
Εικόνα 40. Τελικό σχέδιο καλουπιού

Με γαλάζιο χρώμα φαίνονται οι οδηγοί πείροι οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν σαν ζευγάρια σταυρωτά. Το ένα ζευγάρι είναι σε αναμονή αν χρειαστεί σε μελλοντική χρήση

Οι γενικές διαστάσεις του καλουπιού είναι: 514x274x74mm και το εκτιμώμενο βάρος είναι για το κάτω μέρος του καλουπιού 10,191kg και για το άνω 12,972kg, δηλ συνολικά αναμένουμε βάρος 23,163kg το οποίο δεν είναι απαγορευτικό στον χειρισμό



Εικόνα 41. Κάτω μέρος καλουπιού 10,191kg

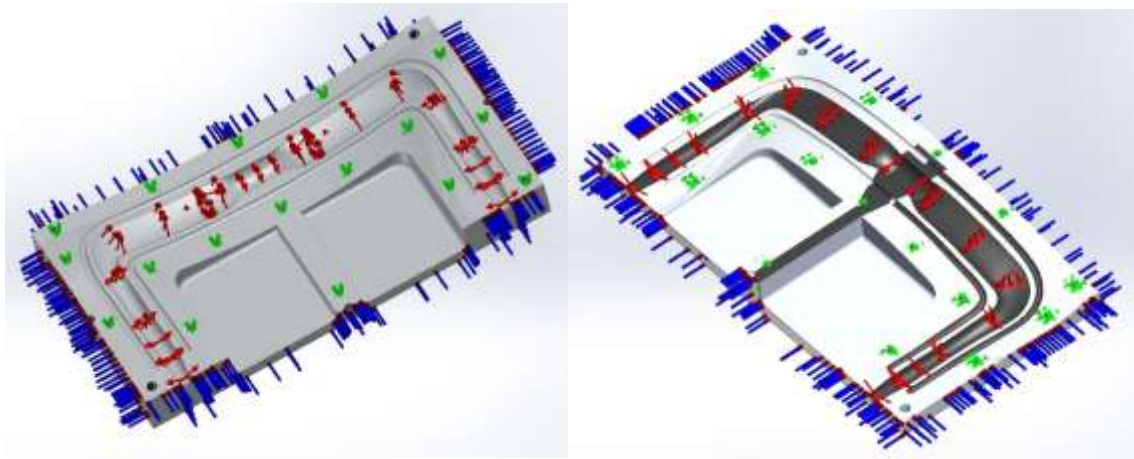


Εικόνα 42. Άνω μέρος καλουπιού 12,972kg

Έγινε προσομοίωση στις συνθήκες που θα επικρατήσουν κατά την διάρκεια του θερμικού κύκλου (8bar, 120°C) . Σκοπός μας ήταν η παρατήρηση των παραμορφώσεων λόγω πίεσης και θερμοκρασίας.

Οι μεγάλες παραμορφώσεις

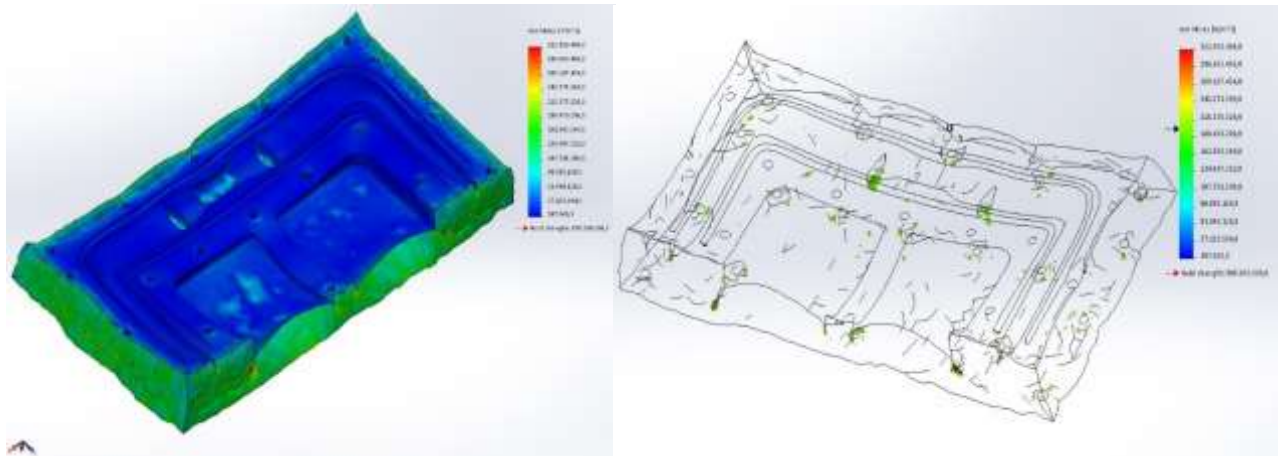
- Υποδεικνύουν ότι οι βίδες που έχουμε προβλέψει για το κλείσιμο του καλουπιού δεν επαρκούν
- Ειδικά κοντά στο σημείο σύνδεσης με τον λαιμό, όπου έχουμε κυκλική διατομή, τυχόν παραμόρφωση μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στην συναρμολόγηση.
- Επίσης οπουδήποτε υπάρχει παραμόρφωση , ειδικά σε σημεία που το καλούπι μας έρχεται σε επαφή με το προϊόν



μπορεί να έχουμε σπάσιμο

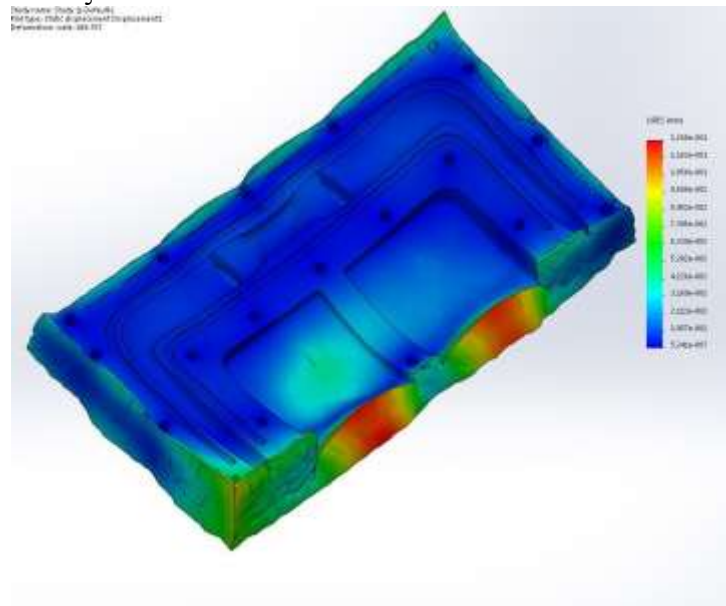
Εικόνα 43. Μελέτη παραμόρφωσης καλουπιού κατά την διάρκεια του θερμικού κύκλου. Εφαρμογή περιορισμών και συνθηκών

Με πράσινο απεικονίζονται οι βίδες, με κόκκινα βέλη τις επιφάνειες που εφαρμόζεται η πίεση και με μπλε την εξωτερική επιφάνεια του καλουπιού στην οποία εφαρμόζεται η θερμοκρασία

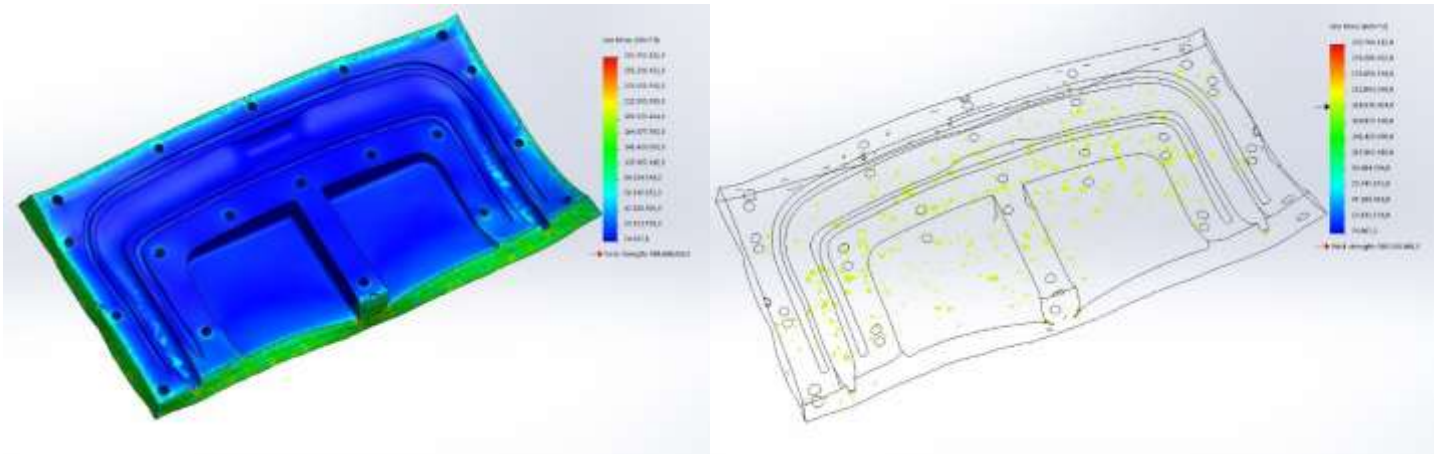


Εικόνα 44. Παραμορφωμένο άνω μέρος καλουπιού .Εμφανιζόμενες τάσεις κατά von Mises

Χρησιμοποιώντας την επιλογή Iso Clipping εμφανίζουμε τις περιοχές που έχουν τάση άνω των $200 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$. Το καλούπι μας εμφανίζει σε πολύ λίγα σημεία υψηλές τάσεις

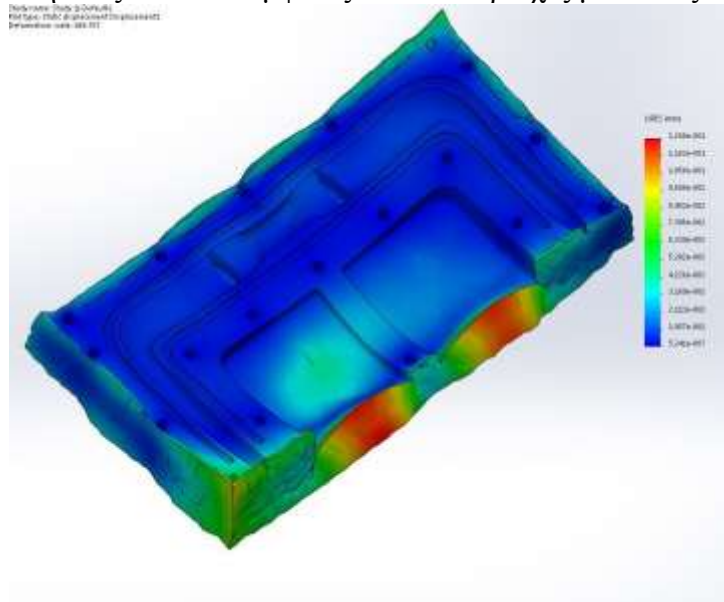


Εικόνα 45.Μετατόπιση URES για άνω μέρος καλουπιού
Η μέγιστη μετατόπιση είναι 0,1268mm



Εικόνα 46. Παραμορφωμένο κάτω μέρος καλουπιού. Τάσεις κατά von Mises

Στην δεξιά εικόνα εμφανίζονται οι περιοχές με τάσεις άνω των $190 \times 10^6 \text{ N/m}^2$



Εικόνα 47. Μετατόπιση URES για κάτω μέρος καλουπιού

Η μέγιστη μετατόπιση είναι 0,2494mm

4. Κατασκευή καλουπιού

Αποφασίσαμε το καλούπι μας να κατασκευαστεί από κράμα αλουμινίου T7075 T651 (με θερμική κατεργασία). Το T7075 , έχει τον ψευδάργυρο ως πρωτεύον στοιχείο κραμάτωσης. Έχει μεγάλη αντοχή , συγκρίσιμη με αντίστοιχη χαλύβων, καλή αντοχή σε κόπωση και καλή κατεργασιμότητα, με χαμηλότερη όμως αντοχή στην διάβρωση από πολλά άλλα κράματα αλουμινίου. Έχει σχετικά υψηλό κόστος , το οποίο περιορίζει την χρήση του σε εφαρμογές όπου για διάφορους λόγους άλλα κράματα θεωρούνται ακατάλληλα. Η σύνθεση του αποτελείται από 5,6-6,1% ψευδάργυρο, 2,1-2,5% μαγνήσιο, 1,2-1,6% χαλκό και λιγότερο από 0,5% πυρίτιο. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές ανάλογα με την θερμική κατεργασία που θα υποστεί όπως τα 7075-0,7075-T6,7075-T651,T7075-T7.

Επιλέξαμε το T651 το οποίο έχει αντοχή σε εφελκυσμό (tensile strength) τουλάχιστον 67000-78000psi (462-538 MPa) και όριο διαρροής της τάξης των 54000-67000psi (372-462 MPa). Εμφανίζει επιμήκυνση αστοχίας (failure elongation) 3-9%.Η κατάληξη 51 δεν έχει κάποια σημασία για την θερμική κατεργασία αλλά υποδεικνύει ότι το υλικό έχει απαλλαγεί από παραμένουσες τάσεις με ελεγχόμενο τρόπο (stretching). Η επιλογή αυτή έγινε ούτως ώστε να αποφύγουμε “πετσικάρισμα” του καλουπιού μετά το πέρας της κατεργασίας στο CNC.

Επικοινωνήσαμε με διάφορα μηχανουργεία και καταλήξαμε σε συνεργασία με την Kreon Technology. Το καλούπι κατασκευάστηκε σε τριαξονικό κέντρο κατεργασιών Hitachi Seiki. Επειδή το καλούπι είχε σχετικά μεγάλο μήκος χρησιμοποιήθηκαν δύο μέγγκενες συγκράτησης. Το τεμάχιο συγκρατήθηκε στις μέγγκενες και όχι κατευθείαν πάνω στο τραπέζι επειδή θα διανοιχθούν διαμπερείς οπές. Το κόστος της πρώτης ύλης ανήλθε στα 500euro.



Εικόνα 48.Κέντρο κατεργασιών Hitachi Seiki



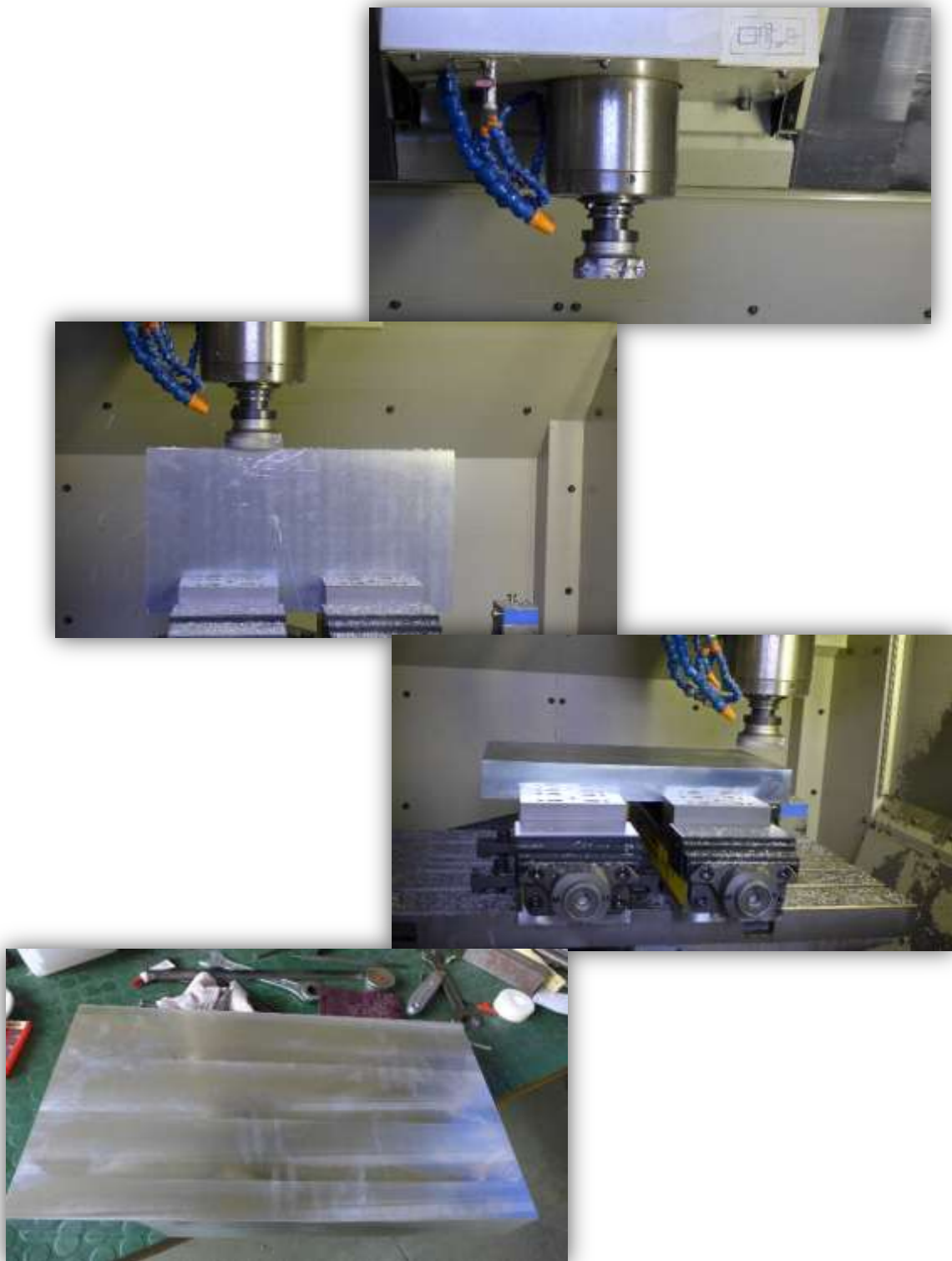
Εικόνα 49. Πλάκες πρώτης ύλης

Στην αρχή έγινε αντιστάθμιση των κοπτικών εργαλείων με tool setter probe



Εικόνα 50. Αντιστάθμιση κοπτικών εργαλείων

Με φρεζοκεφαλή θα γίνει το ξεχόνδρισμα της κάθε πλάκας και θα φέρουμε παράλληλα όλες τις επιφάνειες.



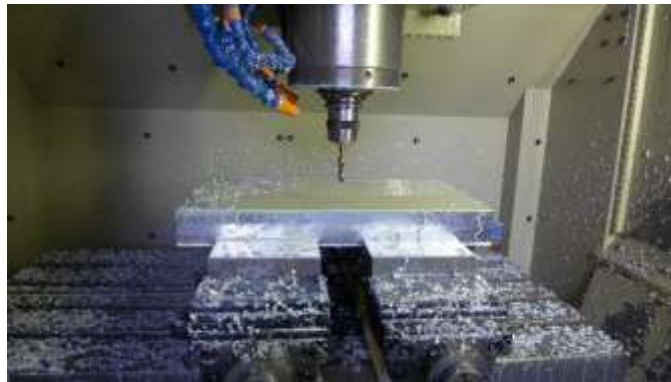
Εικόνα 51. Ξεχόνδρισμα. Διαδικασία και επιφάνεια μετά

Πριν αρχίσουμε να δίνουμε μορφή στο καλούπι χρησιμοποιούμε το part setter probe για να οριοθετήσουμε την περιοχή της πλάκας και να ελέγξουμε τις παραλληλότητες



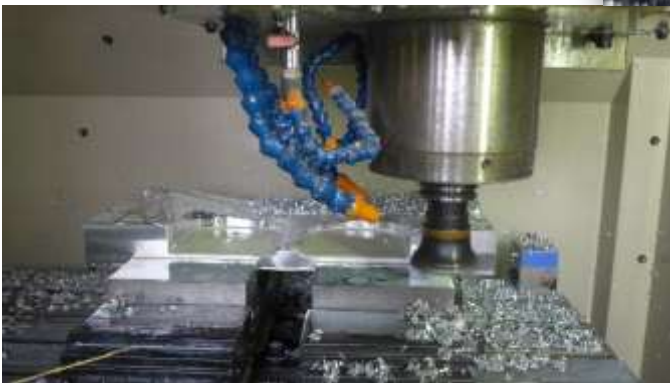
*Εικόνα 52.*Part setter probe

Προχωράμε στην διάνοιξη των οπών



*Εικόνα 53.*Διάνοιξη οπών

Και προχωράμε στην κατεργασία της μορφής, παρατίθενται φωτογραφίες από διάφορες φάσεις της κατασκευής





Εικόνα 54. Διάφορες φάσεις κατασκευής άνω μέρους καλουπιού



Εικόνα 55. Άνω και κάτω μέρος καλουπιού. Τελική μορφή

Η επιφανειακή τραχύτητα που προέκυψε ήταν καλή για δεδομένα CNC αλλά μη αποδεκτή για την πραγματική παραγωγή του τιμονιού. Γι' αυτό τον λόγο η κοιλότητα του τιμονιού γυαλίστηκε και χειρωνακτικά με λεπτόκοκκο γυαλόχαρτο P1500 και περάστηκε με πάστα Aluminium polish για να γυαλιστεί στο επιθυμητό επίπεδο.

4.1 Προβλήματα που προέκυψαν

Όταν παραλήφθηκε το καλούπι έγινε ένα δοκιμαστικό «κλείσιμο» με τις βίδες και τους πείρους. Εκεί έγινε αντιληπτό ότι υπήρξε θέμα με το κεντράρισμα ενός πείρου, το οποίο δημιουργούσε πρόβλημα στο κλείσιμο. Αυτό διασαφηνίστηκε με ποιοτικό έλεγχο σε CMM (Coordinate Measuring Machine) στο μηχανουργείο κατασκευής. Αποδείχτηκε ότι όντως η οπή του πείρου είχε κεντραριστεί λάθος

Ένα τυπικό CMM έχει τρεις άξονες X, Y και Z. Αυτοί είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους σε ένα τυπικό τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Κάθε άξονας έχει ένα σύστημα υπό κλίμακα που υποδεικνύει την θέση του. Το μηχάνημα διαβάζει τα δεδομένα από τον βελονοειδή αισθητήρα (probe) υπό τις εντολές του χειριστή ή του προγραμματιστή. Η επαφή με το τεμάχιο ενεργοποιεί μικροδιακόπτη. Το τραπέζι είναι από γρανίτη και οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνουν χώρα σε ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Το μηχάνημα χρησιμοποιεί τις συντεταγμένες (X,Y,Z) των σημείων για να προσδιοριστεί μέγεθος και θέση γεωμετρικών χαρακτηριστικών με ακρίβεια μm.

Όταν χρησιμοποιούμε το CMM για ποιοτικό έλεγχο αντιπαραβάλλουμε τις μετρήσεις με το κατασκευαστικό σχέδιο. Καταγράφοντας με ακρίβεια τις συντεταγμένες των σημείων στόχων, αυτά μπορούν να αναλυθούν με κατάλληλους αλγορίθμους και να κατασκευαστούν ολόκληρα χαρακτηριστικά (features). Τα σημεία συλλέγονται χειροκίνητα με probe που τοποθετείται από χειριστή ή αυτόματα μέσω Direct Computer Control.



Εικόνα 56. Ποιοτικός έλεγχος σε CMM

Η προσωρινή λύση που δόθηκε για την κατασκευή του πρωτοτύπου ήταν ότι μια οπή για βίδα μετατράπηκε σε αντίστοιχη για πείρο, έως ότου ελευθερωθεί το κέντρο κατεργασιών για να γίνει η απαραίτητη διόρθωση

5. Ευρωπαϊκός κανονισμός ασφάλειας αγωνιστικών ποδηλάτων

Σύμφωνα με τον EN 14781 (αυτός ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός αφορά στην ασφάλεια και στις απαιτήσεις απόδοσης των αγωνιστικών ποδηλάτων και των υποσυνόλων τους, κατά τον σχεδιασμό αυτών και κατά την συναρμολόγησή τους. Ο κανονισμός αυτός αναφέρεται σε αγωνιστικά ποδήλατα ερασιτεχνικής χρήσης για υψηλές ταχύτητες σε δημόσιους δρόμους, στα οποία μπορεί να προσαρμοστεί η σέλα σε ύψος 635mm ή μεγαλύτερο) το τιμόνι του αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου και η σύνδεσή του με τον λαιμό πρέπει να αντέχει κάποιες καταπονήσεις. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι έλεγχοι που απαιτεί ο κανονισμός όπως αναφέρονται στο πρωτότυπο (σελίδες 33-42 του EN14781, κεφάλαιο 4.7).

Οι δοκιμές αυτές ισχύουν για τιμόνια ποδηλάτων δρόμου που έχουν την μορφή «κριαριού» και όχι για αερόμπαρες. Δεν έχουν οριστεί κάποιες συγκεκριμένες δοκιμές για το κεντρικό στέλεχος αερόμπαρας και δεν υπάρχει σχετικό πρωτόκολλο δοκιμών.

Εντούτοις κάνουμε την λογική παραδοχή ότι τα φορτία θα έχουν συνάφεια για να μπορέσουμε να βγάλουμε ένα λογικό συμπέρασμα σχετικά με τις απαιτήσεις αντοχής του προϊόντος.

Οδήγηση

1. Διαστάσεις τιμονιού

Το τιμόνι μπορεί να έχει ολικό πλάτος από 350mm έως και 1000mm εκτός καιν εθνικοί κανονισμοί υποδεικνύουν αλλιώς. Η πάνω (top) επιφάνεια του τιμονιού δεν πρέπει να απέχει από την σέλα πάνω από 400mm, όταν το τιμόνι είναι τοποθετημένο στην χαμηλότερη επιτρεπτή (από τον κατασκευαστή) θέση.

2. Περιοχές λαβής του τιμονιού, λαβές και επεκτάσεις

2.1 Απαίτηση

Οι κύριες περιοχές λαβών του τιμονιού πρέπει να καλύπτονται με κατάλληλο υλικό για να υπάρχει επαρκής τριβή στην λαβή κατά την διάρκεια της ποδηλασίας.

Όταν το τιμόνι έχει συναρμολογηθεί με την αφρώδη ταινία και τις τάπες που την συγκρατούν, θα πρέπει οι τελευταίες να αντέχουν δύναμη απομάκρυνσης 70N.

2.2 Μέθοδος ελέγχου

Τοποθετείστε το τιμόνι σε νερό με θερμοκρασία δωματίου για μία ώρα και μετά σε ψυχρό περιβάλλον μέχρι το τιμόνι να έχει θερμοκρασία δωματίου χαμηλότερη των -5°C . Απομακρύνετε το τιμόνι από το ψυχρό περιβάλλον και αφήστε το να φτάσει τους -5°C , τότε ασκείστε δύναμη 70N στην λαβή ή στην τάπα κατά την διεύθυνση απομάκρυνσής του. διατηρείστε την δύναμη μέχρι η θερμοκρασία του τιμονιού να φτάσει τους $+5^{\circ}\text{C}$.

3. Τιμόνι-λαιμός - βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι

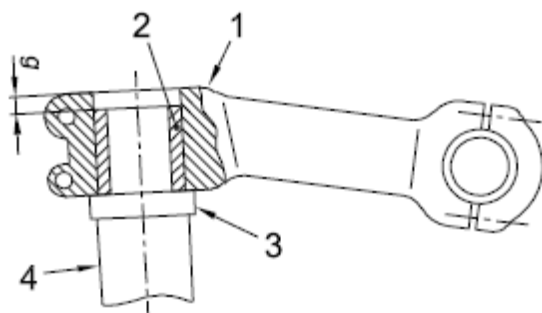
Το τιμόνι-λαιμός θα πρέπει να παρέχει έναν από τους δύο εναλλακτικούς τρόπους που ακολουθούν, ώστε να εξασφαλίζεται ένα ασφαλές βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι.

A) Να έχει ένα μόνιμο σημάδι, μήκους όχι λιγότερο από την εξωτερική διάμετρο του λαιμού, που να υποδεικνύει ξεκάθαρα το ελάχιστο βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι. Το βάθος αυτό θα πρέπει να μην είναι μικρότερο από 2.5 φορές της εξωτερικής διαμέτρου του λαιμού.

B) Θα πρέπει να έχει διαμόρφωση που θα σταματά την διείσδυση του πιρουονιού στον λαιμό στο βάθος που καθορίστηκε στο A).

4. Τιμόνι-λαιμός – σφικτήρας λαιμού με το πιρούνι

Η απόσταση g , που βλέπετε στην εικόνα που ακολουθεί, ανάμεσα στο πάνω μέρος του σφικτήρα λαιμού και το πάνω μέρος του τιμονιού δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 5mm. Το πιρούνι στο μέρος που ενώνεται με τον λαιμό δεν πρέπει να έχει σπείρωμα. Η διάσταση g θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζει σωστή διείσδυση του λαιμού στο τιμόνι και σωστή θέση οδήγησης. Για πιρούνια και λαιμούς από αλουμίνιο και ανθρακόνημα πρέπει να αποφευχθεί η χρήση οποιασδήποτε εσωτερικής συσκευής που μπορεί να βλάψει την εσωτερική τους επιφάνεια.



- g απόσταση μεταξύ της πάνω επιφάνειας του λαιμού και τις πάνω επιφάνειας του πιρουνιού
- 1 σφικτήρας λαιμού
 - 2 επέκταση πιρουνιού
 - 3 αποστατικός δακτύλιος
 - 4 σωλήνας κεφαλής ποδηλάτου

5. Σταθερότητα οδήγησης

Το τιμόνι θα πρέπει να είναι ελεύθερο να στρίψει 60° και προς τις δύο μεριές

(συμμετρικά της μπροστινής θέσης) και δεν θα υπάρχουν σημεία που τα ρουλεμάν θα χαλαρώνουν ή θα αντιστέκονται στην κίνηση.

Κατ' ελάχιστο 25% της συνολικής μάζας ποδηλάτου και ποδηλάτη πρέπει να καταμερίζεται στην μπροστινή ρόδα όταν ο ποδηλάτης κρατά το τιμόνι, κάθετα στην σέλα και βρίσκεται στην όσο το δυνατό πίσω θέση οδήγησης.

6. Τιμόνι – στατική αντοχή και έλεγχοι ασφαλείας

6.1 Τιμόνι-λαιμός – έλεγχος πλευρικής κάμψης

6.1.1 Γενικά

Αυτός ο έλεγχος αφορά στην σύνδεση τιμονιού-λαιμού.

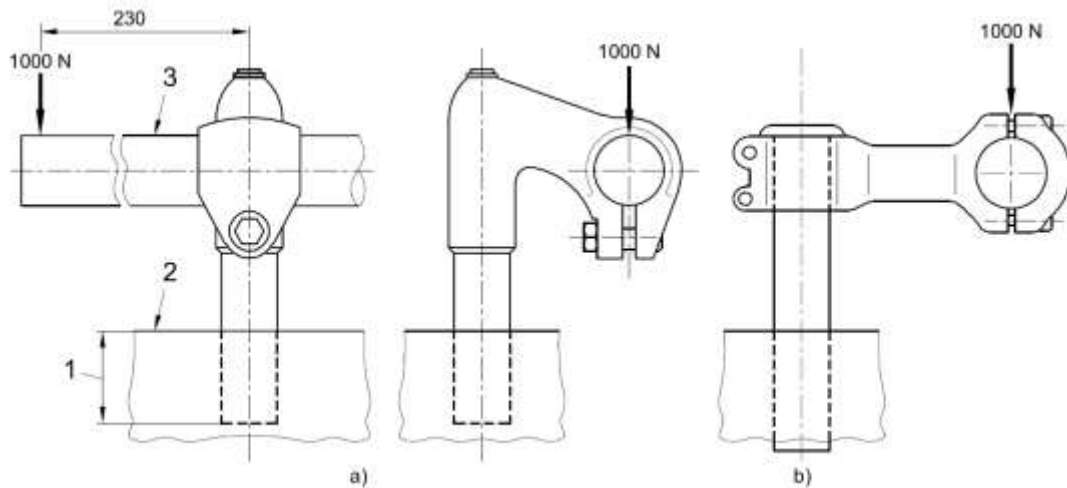
6.1.2 Απαίτηση

Όταν γίνει ο έλεγχος που θα περιγραφεί στο 6.1.3 θα πρέπει να μην υπάρχουν ρωγμές ή θραύση στον λαιμό και η μετατόπιση του τιμονιού στο σημείο που ασκείται η δύναμη να μην ξεπερνά τα 10mm.

Οι λαιμοί μπορούν να επηρεάσουν τους έλεγχους αποτυχίας των τιμονιών αλλά συνήθως δεν γίνεται το ανάποδο. Γι' αυτό το τιμόνι πάντα ελέγχεται μαζί με τον λαιμό ενώ ο λαιμός μπορεί να ελεγχθεί με μία συμπαγή ράβδο στη θέση του τιμονιού.

6.1.3 Μέθοδος ελέγχου

Για λαιμό που ενώνεται με το πιρούνι εισχωρώντας μέσα σε αυτό, στερεώστε τον σε μια βάση στην οποία θα έχει εισχωρήσει στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος, ή για λαιμό που εισχωρεί το πιρούνι σε αυτόν, συνδέστε τον σε μία κατασκευή στο ύψος που πρέπει, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Συναρμολογήστε τον λαιμό με μία συμπαγή ράβδο και ασκείστε δύναμη 1000N σε απόσταση 230mm από τον άξονα του λαιμού, όπως φαίνεται παρακάτω.



- a) λαιμός που εισχωρεί στο πιρούνι
 b) λαιμός που το πιρούνι εισχωρεί σε αυτόν
 1 ελάχιστο βάθος διείδυσης
 2 βάση συγκράτησης
 3 συμπαγής ράβδος

6.2. Τιμόνι και λαιμός - έλεγχος σε πλάγια κάμψη

6.2.1 Γενικά

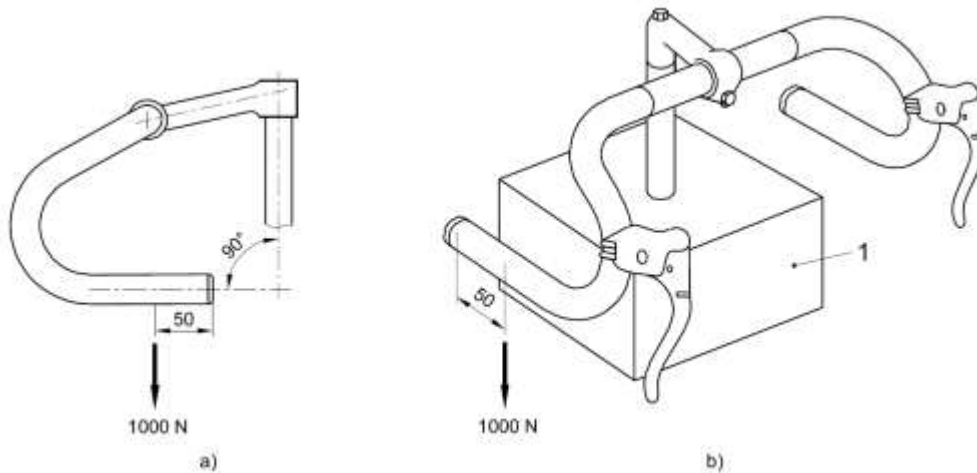
Αυτός ο έλεγχος χρησιμοποιείται για τιμόνια και το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό.

6.2.2 Απαιτήση

Όταν γίνει ο έλεγχος με την μέθοδο που περιγράφεται στο 6.2.3, θα πρέπει να μην υπάρχουν ρωγμές ή θραύση του τιμονιού, του λαιμού ή των κοχλιών σύνδεσής τους, και η μετατόπιση του τιμονιού στο σημείο που ασκείται η δύναμη, κατά την κατεύθυνση της δύναμης δεν θα υπερβεί τα 15mm.

6.2.3 Μέθοδος ελέγχου

Συναρμολογήστε το τιμόνι με τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (εκτός και αν το τιμόνι με τον λαιμό είναι μόνιμα συνδεδεμένα) και παραλληλίστε τις λαβές του τιμονιού σε ένα επίπεδο, κάθετο στον άξονα οδήγησης. Για λαιμό που εισχωρεί στο πιρούνι, συνδέστε τον σε μια βάση στην οποία θα έχει εισχωρήσει στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος, ή για λαιμό που εισχωρεί το πιρούνι σε αυτόν, συνδέστε τον λαιμό σε μία κατασκευή στο ύψος που πρέπει, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Εφαρμόστε κάθετη δύναμη 1000N σε απόσταση 50mm από το ελεύθερο άκρο του τιμονιού όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



- a) Προσανατολισμός τιμονιού (αν δεν είναι μόνιμα συνδεδεμένο με τον λαιμό)
 b) Θέση της ασκούμενης δύναμης
 1 Βάση στήριξης

6.3 Τιμόνι-λαιμός - έλεγχος σε μπροστά κάμψη

6.3.1 Γενικά

Διεξάγετε τον έλεγχο σε δύο στάδια στην ίδια κατασκευή όπως περιγράφεται:

6.3.2 Απαίτηση για το πρώτο στάδιο

Όταν θα γίνει ο έλεγχος με την μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 6.3.3, δεν θα υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύση και η μετατόπιση στο σημείο εφαρμογής της δύναμης κατά την κατεύθυνσή της δεν θα ξεπεράσει τα 10mm.

6.3.3 Μέθοδος ελέγχου για το πρώτο στάδιο

Για λαιμό που εισχωρεί στο πιρούνι, συνδέστε τον σε μια βάση στην οποία θα έχει εισχωρήσει στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος, ή για λαιμό που εισχωρεί το πιρούνι σε αυτόν, συνδέστε τον λαιμό σε μία κατασκευή στο ύψος που πρέπει, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Ασκήστε δύναμη 1600N στο σημείο σύνδεσης του λαιμού με το τιμόνι σε γωνία 45° προς τα κάτω, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί και διατηρείστε την δύναμη για ένα λεπτό. Σταματήστε την διαδικασία και μετρήστε την μετατόπιση (6.3.2).

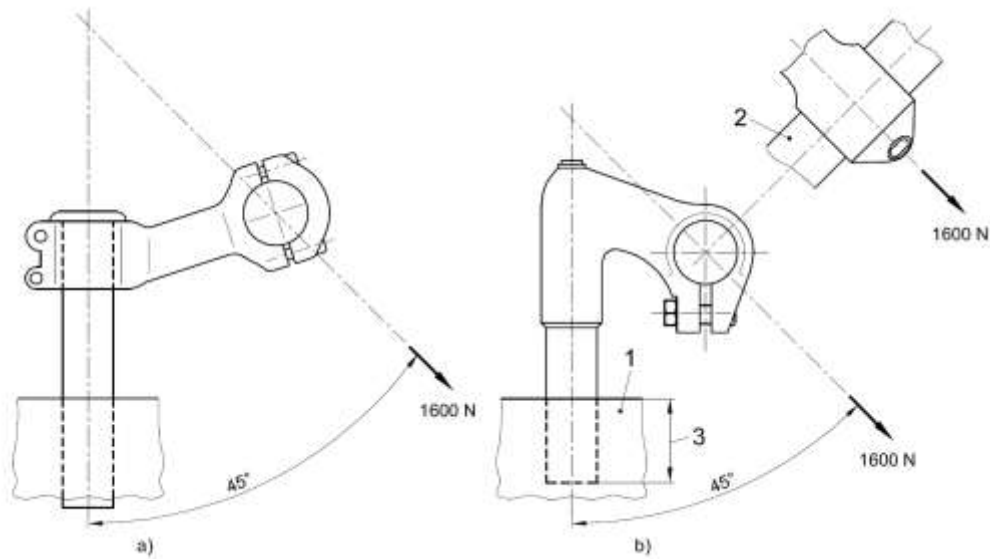
Εάν το τιμόνι-λαιμός καλύπτει την απαίτηση της 6.3.2 συνεχίστε στο δεύτερο στάδιο του ελέγχου.

6.3.4 Απαίτηση για το δεύτερο στάδιο

Όταν θα γίνει ο έλεγχος με την μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 6.3.5, δεν θα υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύση.

6.3.5 Μέθοδος ελέγχου για το δεύτερο στάδιο

Με το τιμόνι-λαιμό στερεωμένο στη βάση του όπως στο πρώτο στάδιο, εφαρμόστε αυξανόμενη δύναμη στην ίδια θέση και κατεύθυνση της παραγράφου 6.3.3 μέχρι είτε η δύναμη να φτάσει τα 2300N είτε η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη κατά την διεύθυνση της δύναμης φτάσει τα 50mm. Εάν ο λαιμός δεν υποχωρήσει διατηρείστε την δύναμη για ένα λεπτό.



a) λαιμός που το πιρούνι εισχωρεί σε αυτόν

b) λαιμός που εισχωρεί στο πιρούνι

1 βάση στήριξης

2 συμπαγής ράβδος

3 ελάχιστο βάθος διείσδυσης

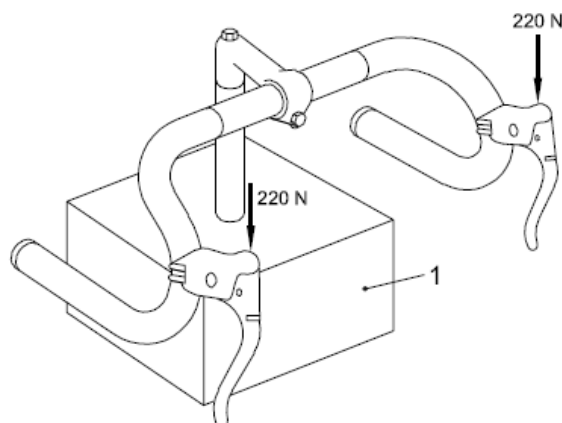
6.4 Τιμόνι - λαιμός, στρεπτικός έλεγχος ασφαλείας

6.4.1 Απαίτηση

Όταν γίνει ο έλεγχος με την μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 6.4.2, θα πρέπει να μην υπάρχει σχετική μετακίνηση του τιμονιού με τον λαιμό στο σημείο σύσφιξής τους.

6.4.2 Μέθοδος ελέγχου

Συναρμολογήστε το τιμόνι με τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, συνδέστε τον λαιμό με την βάση στήριξης στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος διείσδυσης και παραλληλίστε τις λαβές του τιμονιού σε ένα επίπεδο, κάθετο στον άξονα οδήγησης. Εφαρμόστε δύναμη, φοράς προς τα κάτω και κάθετης διεύθυνσης, 220N και στις δύο μανέτες των φρένων του τιμονιού, σε θέση που δίνει την μέγιστη ροπή στο σημείο σύσφιξης του τιμονιού με τον λαιμό.



1 Βάση στήριξης

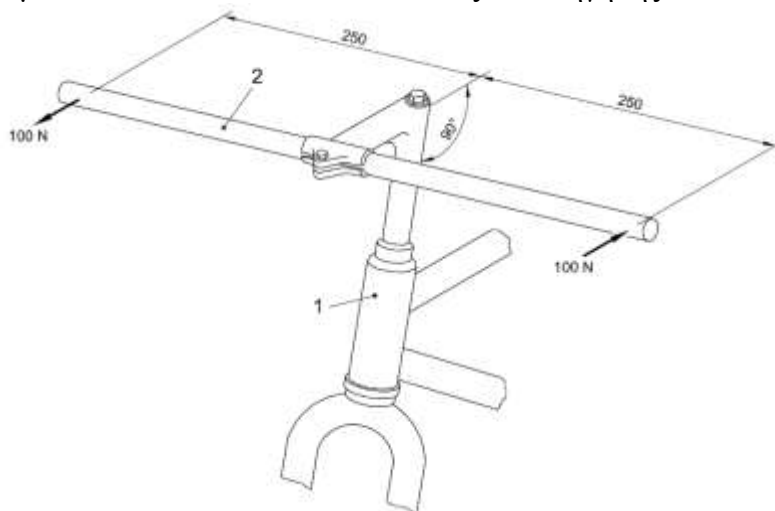
6.5 Τιμόνι-λαιμός-πιρούνι - έλεγχος σε στρέψη

6.5.1 Απαίτηση

Όταν γίνει ο έλεγχος με την μέθοδο που περιγράφεται στη παράγραφο 6.5.2, θα πρέπει να μην υπάρχει σχετική μετακίνηση του λαιμού με το πιρούνι.

6.5.2 Μέθοδος ελέγχου

Συναρμολογείστε το πιρούνι με το πλαίσιο του ποδηλάτου και τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Εφαρμόστε ροπή 40Nm και προς τις δύο δυνατές κατευθύνσεις περιστροφής (όχι ταυτόχρονα), εφαρμόζοντας δυνάμεις στο δοκιμαστικό τιμόνι σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα οδήγησης.



1 Συναρμολογημένο πλαίσιο ποδηλάτου με πιρούνι
2 δοκιμαστικό τιμόνι (συμπαγής ατσάλινη ράβδος)

6.6 Αεροδυναμικές επεκτάσεις τιμονιού - έλεγχος ασφαλείας

6.6.1 Γενικά

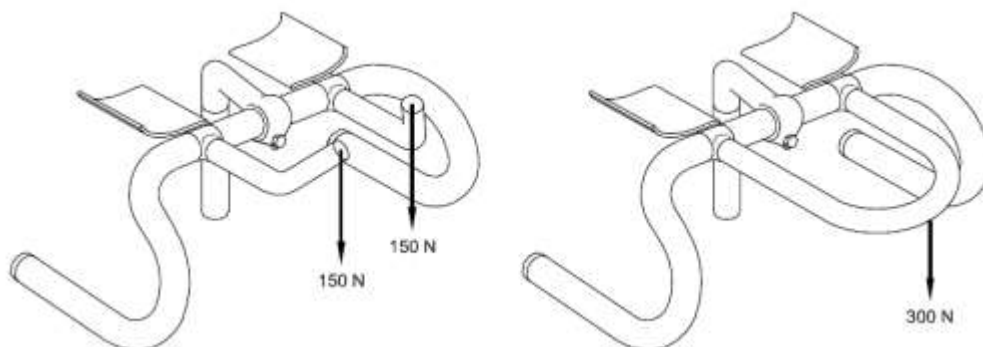
Όταν το τιμόνι είναι δυνατό να δεχθεί αεροδυναμικές επεκτάσεις (επεκτάσεις που επιτρέπουν στον αναβάτη μια αεροδυναμικότερη θέση οδήγησης) το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό και τις επεκτάσεις θα πρέπει να αντέχουν τους παρακάτω ελέγχους ασφαλείας.

6.6.2 Απαίτηση

Όταν ελεγχθεί με την μέθοδο που περιγράφεται στο 6.6.3 δεν θα πρέπει να υπάρχει σχετική μετακίνηση του τιμονιού με τον λαιμό ή/και των επεκτάσεων με το τιμόνι.

6.6.3 Μέθοδος ελέγχου

Συναρμολογείστε το τιμόνι με τον λαιμό και τις αεροδυναμικές επεκτάσεις σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών τους. Ο άξονας οδήγησης πρέπει να είναι κάθετος. Εφαρμόστε κάθετη δύναμη 300N στην επέκταση στην θέση που δίνει την μέγιστη ροπή στα σημεία σύσφιξης του τιμονιού με τις επεκτάσεις και τον λαιμό, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



7.7 Συναρμολογημένο τιμόνι με λαιμό - έλεγχος κόπωσης

7.7.1 Γενικά

Ο λαιμός μπορεί να επηρεάσει τον έλεγχο αστοχίας του τιμονιού για αυτόν τον λόγο το τιμόνι πρέπει να ελέγχεται μαζί με τον λαιμό. Ο έλεγχος θα πρέπει να διεξαχθεί σε δύο στάδια όπως περιγράφεται στην συνέχεια στο ίδιο συναρμολογημένο τιμόνι με λαιμό.

7.7.2 Απαίτηση για το πρώτο στάδιο

Όταν ελεγχθεί με την μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 7.7.3, θα πρέπει να μην υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύση στο τιμόνι, τον λαιμό ή/και τις βίδες.

7.7.3 Μέθοδος ελέγχου για το πρώτο στάδιο

Εκτός από την περίπτωση που το τιμόνι με τον λαιμό είναι μόνιμα ενωμένα, παραλληλίστε τις κάτω λαβές του τιμονιού με ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα οδήγησης και συναρμολογήστε το τιμόνι με τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Συνδέστε τον λαιμό σε μία βάση στήριξης στο ελάχιστο βάθος διεισδυσης ή στην περίπτωση που ο λαιμός διεισδύει στο πιρούνι, ακολουθείστε τις οδηγίες του κατασκευαστή για να συναρμολογήσετε τον λαιμό σε ανάλογη βάση.

Προσαρτείστε στο τιμόνι δύο συνδέσμους που προσομοιώνουν τους συνδέσμους των λεβιέδων των φρένων (με το τιμόνι), οι οποίοι δεν θα πρέπει να μειώνουν ή να αυξάνουν τοπικά την αντοχή του τιμονιού, ο κάθε σύνδεσμος θα έχει σφαιρική άρθρωση με τον άξονά της στα 15mm από την εξωτερική επιφάνεια του τιμονιού (ή μεγαλύτερη απόσταση που προσομοιάζει καλύτερα την απόσταση των λεβιέδων των φρένων).

Μέσω των σφαιρικών αρθρώσεων ασκείστε αντίρροπες δυνάμεις των 280N στους συνδέσμους, αντιστρέφοντας τις δυνάμεις 100000 φορές. Οι δυνάμεις πρέπει να είναι παράλληλες με τον άξονα οδήγησης και η συχνότητα αντιστροφής των δυνάμεων να μην ξεπεράσει τα 25 Hz.

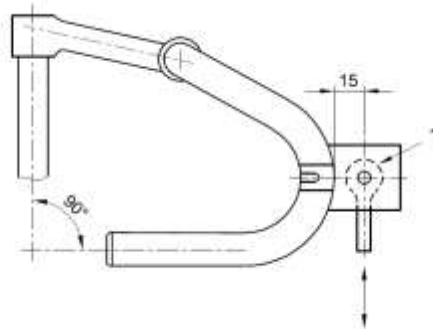
Αν το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό και τους συνδέσμους καλύπτει τις απαιτήσεις της παραγράφου 7.7.2, συνεχίστε με το δεύτερο στάδιο ελέγχου στην ίδια κατασκευή.

7.7.4 Απαίτηση για το δεύτερο στάδιο

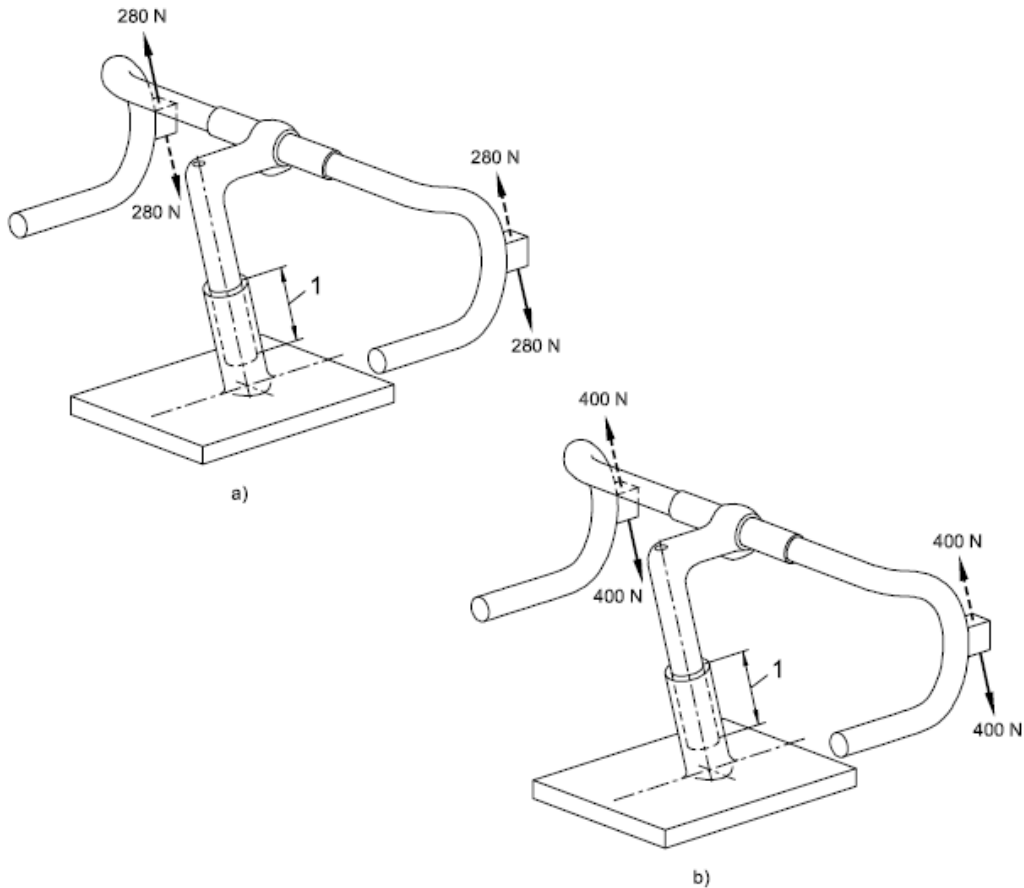
Όταν ελεγχθεί με την μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 7.7.5, θα πρέπει να μην υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύση στο τιμόνι, τον λαιμό ή/και τις βίδες.

7.7.5 Μέθοδος ελέγχου για το δεύτερο στάδιο

Μέσω των σφαιρικών αρθρώσεων ασκείστε ομόρροπες δυνάμεις των 400N στους συνδέσμους, αντιστρέφοντας τις δυνάμεις 100000 φορές. Οι δυνάμεις πρέπει να είναι παράλληλες με τον άξονα οδήγησης και η συχνότητα αντιστροφής των δυνάμεων να μην ξεπεράσει τα 25 Hz.



1 σφαιρική άρθρωση



- a) πρώτο στάδιο - αντίρροπες δυνάμεις
 b) δεύτερο στάδιο - ομόρροπες δυνάμεις
 1 ελάχιστο βάθος διείσδυσης

5.1 Επιλογή κριτηρίων από τον EN 14781

Δεν επιλέχθηκαν όλα τα παραπάνω ως κριτήρια ελέγχου γιατί κάποια δεν αφορούν το τιμόνι αλλά τον λαιμό του τιμονιού ή αφορούν επιφανειακές τριβές μεταξύ του τιμονιού και κάποιου άλλου τεμαχίου που απαιτούν μοντελοποίηση της επαφής τους. Αναλυτικά εξηγείται εδώ, σε κάθε παράγραφο ξεχωριστά, αν επιλέχθηκε το εκάστοτε κριτήριο ή αν όχι και γιατί.

1. Διαστάσεις τιμονιού

Οι διαστάσεις όλων των τιμονιών είναι 440mm άρα όλα πληρούν το κριτήριο αυτό.

2. Περιοχές λαβής του τιμονιού, λαβές και τάπες αφρώδους ταινίας

Ο έλεγχος αυτός αφορά την ταινία που περιβάλλει τα σημεία λαβών του τιμονιού και τις τάπες που την ασφαλίζουν. Στα πλαίσια του σχεδιασμού του τιμονιού αυτό δεν μας αφορά.

3. Τιμόνι-λαιμός - βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι - 4. Τιμόνι-λαιμός - σφικτήρας λαιμού με το πιρούνι

Οι έλεγχοι αυτοί αφορούν στον σχεδιασμό και την ασφάλεια του λαιμού του ποδηλάτου οπότε δεν θα ληφθούν υπόψη.

5. Σταθερότητα οδήγησης

Η παράγραφος αυτή αφορά το συναρμολογημένο ποδήλατο και την στάση του ποδηλάτη πάνω σε αυτό. Δεν λαμβάνεται υπόψη.

6. Τιμόνι – στατική αντοχή και έλεγχοι ασφαλείας

6.1 Τιμόνι-λαιμός – έλεγχος πλευρικής κάμψης

Αφορά τον έλεγχο αντοχής του λαιμού, δεν λαμβάνεται υπόψη.

6.2. Τιμόνι και λαιμός - έλεγχος σε πλάγια κάμψη

Λαμβάνεται υπόψη παρόλο που δεν αφορά αερόμπαρες. Γίνεται ενδεικτικός στατικός έλεγχος του τιμονιού.

6.3 Τιμόνι-λαιμός - έλεγχος σε μπροστά κάμψη

Δεν λαμβάνεται υπόψη, αφορά τον έλεγχο αντοχής του λαιμού.

6.4 Τιμόνι - λαιμός, στρεπτικός έλεγχος ασφαλείας

Δεν λαμβάνεται υπόψη, αφορά την τριβή μεταξύ των λεβιέδων των φρένων και του τιμονιού. Θα μπορούσε να γίνει αφορμή το κριτήριο αυτό και να γίνει στατικός έλεγχος με τις δυνάμεις και ροπές που περιγράφονται στην παράγραφο αυτήν αλλά παρακάτω έλεγχοι υπερκαλύπτουν την περίπτωση αυτή.

6.5 Τιμόνι-λαιμός-πιρούνι - έλεγχος σε στρέψη

Δεν λαμβάνεται υπόψη διότι αφορά τον έλεγχο του λαιμού και του πιρουνιού του ποδηλάτου.

6.6 Αεροδυναμικές προεκτάσεις τιμονιού - έλεγχος ασφαλείας

Οι αεροδυναμικές επεκτάσεις στην περίπτωση μας στηρίζονται σε κολάρο , το οποίο όμως δεν συνδέεται άμεσα με το κύριο μέρος της αερόμπαρας. Οπότε δεν εμπίπτουμε σε αυτό το τεστ.

7. Συναρμολογημένο τιμόνι με λαιμό - έλεγχος κόπωσης

Δεν λαμβάνεται υπόψη.

6. Ιδιότητες χρησιμοποιούμενων υλικών

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την διαστρωμάτωση είναι προεμποτισμένα υφάσματα carbon fiber της Toray πλεκτό (woven) M40J πάχους 0,25mm και μονοδιευθυντικό (unidirectional) M40J πάχους 0,15mm με 36% περιεχόμενη ρητίνη. Οι ιδιότητες των ινών αλλά και πλεκτού υφάσματος με 60% περιεχόμενη ρητίνη δίνονται από το Data Sheet της Torayca

TECHNICAL
DATA SHEET
No. CFA-014

TORAYCA® M40J DATA SHEET

MJ type high modulus fiber with enhanced tensile and compressive strength over M series fibers. Mainly used for premium sporting goods, aerospace, and industrial applications.

FIBER PROPERTIES

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		640 ksi	4,410 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		54.7 Msi	377 GPa	TY-030B-01
Strain		1.2 %	1.2 %	TY-030B-01
Density		0.064 lbs/in ³	1.77 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.0E-04 in.	5 μm	
Yield	3K	13,181 ft/lbs	113 g/1000m	TY-030B-03
	6K	6,620 ft/lbs	225 g/1000m	TY-030B-03
	12K	3,310 ft/lbs	450 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type & Amount	50A, 50B		1.0 %	TY-030B-05
	Twist	Twisted, Untwisted		

FUNCTIONAL PROPERTIES

CTE	-0.83 $\alpha \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Specific Heat	0.17 Cal/g \cdot °C
Thermal Conductivity	0.164 Cal/cm \cdot s \cdot °C
Electric Resistivity	1.0 $\times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$
Chemical Composition: Carbon	>99 %
Na + K	<50 ppm

COMPOSITE PROPERTIES*

Tensile Strength	360 ksi	2,450 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	33.5 Msi	230 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.1 %	1.1 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	185 ksi	1,270 MPa	ASTM D-695
Flexural Strength	220 ksi	1,520 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus	28.5 Msi	195 GPa	ASTM D-790
ILSS	13.0 ksi	9 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	7.5 ksi	53 MPa	ASTM D-3039

* Toray 250°F Epoxy Resin. Normalized to 60% fiber volume.

TORAY CARBON FIBERS AMERICA, INC.

Από το παραπάνω datasheet λείπουν αρκετές ιδιότητες οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία για σύνθετα.

Οι επακριβείς ιδιότητες των υφασμάτων μας, υπολογίζονται κανονικά με πειραματικές μεθόδους.

Σε συνδυασμό με τα στοιχεία από την Torayca με τον κάτωθι πίνακα , που αποτελεί γενικό οδηγό μηχανικών ιδιοτήτων , εξήγαμε κάποιες λογικές μηχανικές ιδιότητες για τα χρησιμοποιούμενα υλικά



Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials, Fibre / Epoxy resin (120°C Cure)

Fibres @ 0° (UD), 0/90° (fabric) to loading axis, Dry, Room Temperature, Vf = 60% (UD), 50% (fabric)

	Symbol	Units	Std CF Fabric	HMCF Fabric	E glass Fabric	Kevlar Fabric	Std CF UD	HMCF UD	M55** UD	E glass UD	Kevlar UD	Boron UD	Steel 597	Al. L65	Tit. dtd 5173
Young's Modulus 0°	E1	GPa	70	85	25	30	135	175	300	40	75	200	207	72	110
Young's Modulus 90°	E2	GPa	70	85	25	30	10	8	12	8	6	15	207	72	110
In-plane Shear Modulus	G12	GPa	5	5	4	5	5	5	5	4	2	5	80	25	
Major Poisson's Ratio	ν12		0.10	0.10	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.25	0.34	0.23			
Ult. Tensile Strength 0°	Xt	MPa	600	350	440	480	1500	1000	1600	1000	1300	1400	990	460	
Ult. Comp. Strength 0°	Xc	MPa	570	150	425	190	1200	850	1300	600	280	2800			
Ult. Tensile Strength 90°	Yt	MPa	600	350	440	480	50	40	50	30	30	90			
Ult. Comp. Strength 90°	Yc	MPa	570	150	425	190	250	200	250	110	140	280			
Ult. In-plane Shear Stren.	S	MPa	90	35	40	50	70	60	75	40	60	140			
Ult. Tensile Strain 0°	ext	%	0.85	0.40	1.75	1.60	1.05	0.55		2.50	1.70	0.70			
Ult. Comp. Strain 0°	exc	%	0.80	0.15	1.70	0.60	0.85	0.45		1.50	0.35	1.40			
Ult. Tensile Strain 90°	eyt	%	0.85	0.40	1.75	1.60	0.50	0.50		0.35	0.50	0.60			
Ult. Comp. Strain 90°	eyc	%	0.80	0.15	1.70	0.60	2.50	2.50		1.35	2.30	1.85			
Ult. In-plane shear strain	es	%	1.80	0.70	1.00	1.00	1.40	1.20		1.00	3.00	2.80			
Thermal Exp. Co-ef. 0°	Alpha1	Strain/K	2.10	1.10	11.60	7.40	-0.30	-0.30	-0.30	6.00	4.00	18.00			
Thermal Exp. Co-ef. 90°	Alpha2	Strain/K	2.10	1.10	11.60	7.40	28.00	25.00	28.00	35.00	40.00	40.00			
Moisture Exp. Co-ef 0°	Beta1	Strain/K	0.03	0.03	0.07	0.07	0.01	0.01		0.01	0.04	0.01			
Moisture Exp. Co-ef 90°	Beta2	Strain/K	0.03	0.03	0.07	0.07	0.30	0.30		0.30	0.30	0.30			
Density		g/cc	1.60	1.60	1.90	1.40	1.60	1.60	1.65	1.90	1.40	2.00			

** Calculated figures

Στην Τρίτη στήλη διαβάζουμε για πλεκτό ύφασμα και στην έβδομη για μονοδιευθυντικό. Πρέπει να γίνουν όμως κάποιες αναγωγές καθώς και σε αυτή την περίπτωση έχουμε διαφορετική ποσότητα ρητίνης από αυτήν του πίνακα.

Ιδιότητα	Μονάδες	Μονοδιευθυντικό M40J	Πλεκτό M40J
Mass Density	g/cm ³	1.572	1.550
Young's Modulus X	GPa	215	145
Young's Modulus Y	GPa	8	145
Young's Modulus Z	GPa	8	8
Poisson's Ratio XY		0.3	0.1
Poisson's Ratio YZ		0.1	0.1
Poisson's Ratio XZ		0.1	0.1
Shear Modulus XY	GPa	5	5
Tensile Strength X	MPa	2250	1500
Tensile Strength Y	MPa	50	1500
Tensile Strength Z	MPa	50	33
Compressive Strength X	MPa	1080	720
Shear Strength XY	MPa	35	60
Tensile Strain X (%)		1	0.6

7.Μελέτη διαστρωμάτωσης

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο αρχικά τρέξαμε τις δοκιμές που υποδεικνύονται από το πρότυπο EN 14781:2005 σε συμπαγή αερόμπαρα με υλικό αλουμίνιο για να έχουμε μια πρώτη εκτίμηση των περιοχών με αυξημένα φορτία με

στόχο να έχουμε μια πρώτη βάση για την διαστρωμάτωση και τις περιοχές όπου ενδεχομένως θα χρειαστεί να είναι πιο ενισχυμένη.

Εν συνεχεία μετατρέπουμε την αερόμπαρα σε κέλυφος (shell) και ξεκινάμε με το πρώτο test-εγκάρσιος κάμψης (lateral bending) το οποίο είναι το μόνο που έχει και ποσοτική απαίτηση για την μετατόπιση.

Σύμφωνα λοιπόν με την μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 4.7.6.2.3 του EN εφαρμόζεται μια κάθετη δύναμη 1000N στην μια άκρη του τιμονιού, το οποίο πακτώνεται στο σημείο σύνδεσης με τον λαιμό (stem). Εκτός λοιπόν από την απαίτηση να μην υπάρχουν ρωγμές ή θραύση , υπεισέρχεται και ένα ποσοτικό όριο 15mm για την μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της δύναμης.

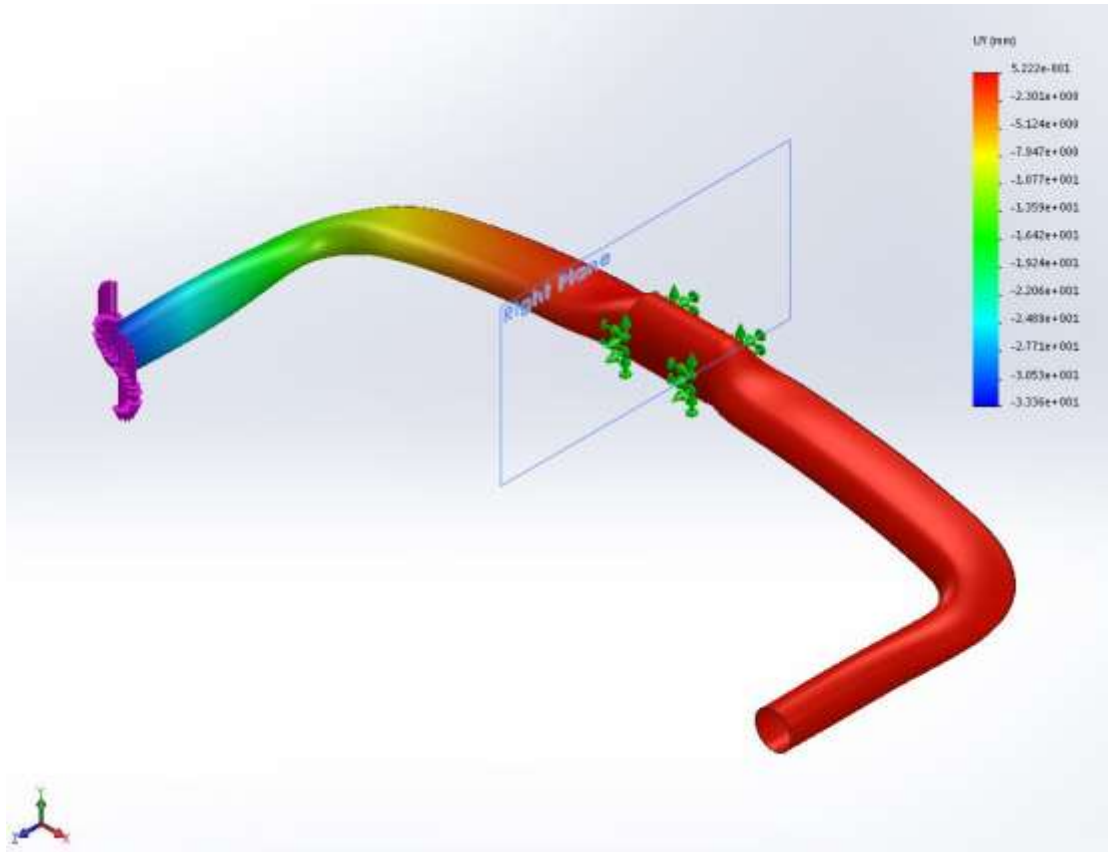
Η διαστρωμάτωση που χρησιμοποιήθηκε αρχικά, είναι η εξής:

Stacking Sequence 1

a/a	Upper Face	Upper Face Steerer Tube	Down Face	Down Face Steerer Tube
1	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
2	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°
3	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
4	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°
5	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45o	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
6	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°
7	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
8	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°	M40J Unidirectional 0°
9		M40J Woven +/-45°		M40J Woven +/-45°
10		M40J Unidirectional 0°		M40J Unidirectional 0°
11		M40J Woven +/-90°		M40J Woven +/-90°
12		M40J Unidirectional 90°		M40J Unidirectional 90°
13		M40J Unidirectional 90°		M40J Unidirectional 90°

Η μετατόπιση κατά τον άξονα ψ είναι 33,36mm και υπερβαίνει κατά πολύ το όριο των 15mm. Συνεχίζουμε τις δοκιμές και στην συνέχεια παρατίθενται τα διάφορα σενάρια που χρησιμοποιήσαμε, με την ανάλογη αναπαράσταση μετατόπισης και ένας συγκεντρωτικός πίνακας.

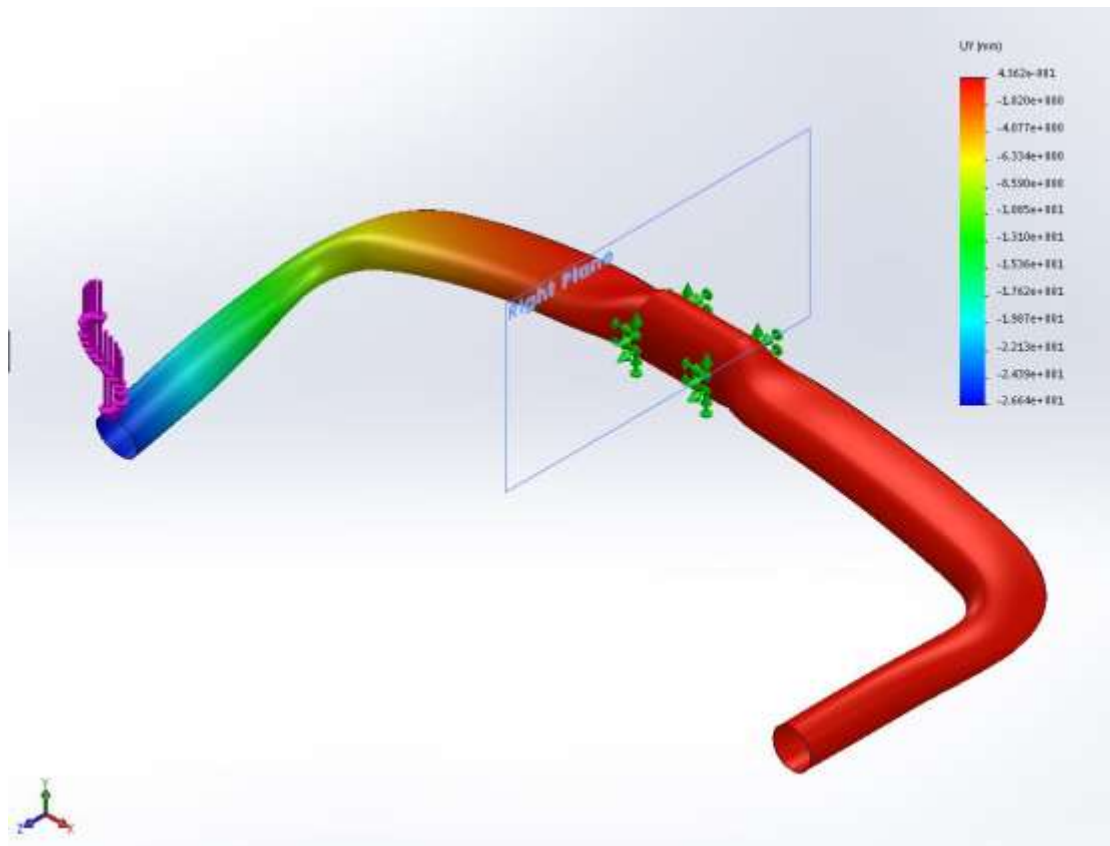
- Στόχος μας είναι η αερόμπαρα να πληροί τις προϋποθέσεις έχοντας όσο το δυνατό μικρότερο βάρος.



Γράφημα 1. Μετατόπιση κατά ψ για διαστρωμάτωση 1 (Y Displacement for stacking sequence 1)

Stacking Sequence 2

a/a	Upper Face	Upper Face Steerer Tube	Down Face	Down Face Steerer Tube
1	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
2	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
3	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
4	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
5	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
6	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
7	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
8	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
9	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
10		M40J Woven +/-45°		M40J Woven +/-45°
11		M40J Woven +/-90°		M40J Woven +/-90°
12		Unidirectional 0°		Unidirectional 0°
13		M40J Woven +/-45°		M40J Woven +/-45°
14		M40J Woven +/-90°		M40J Woven +/-90°
15		Unidirectional 0°		Unidirectional 0°

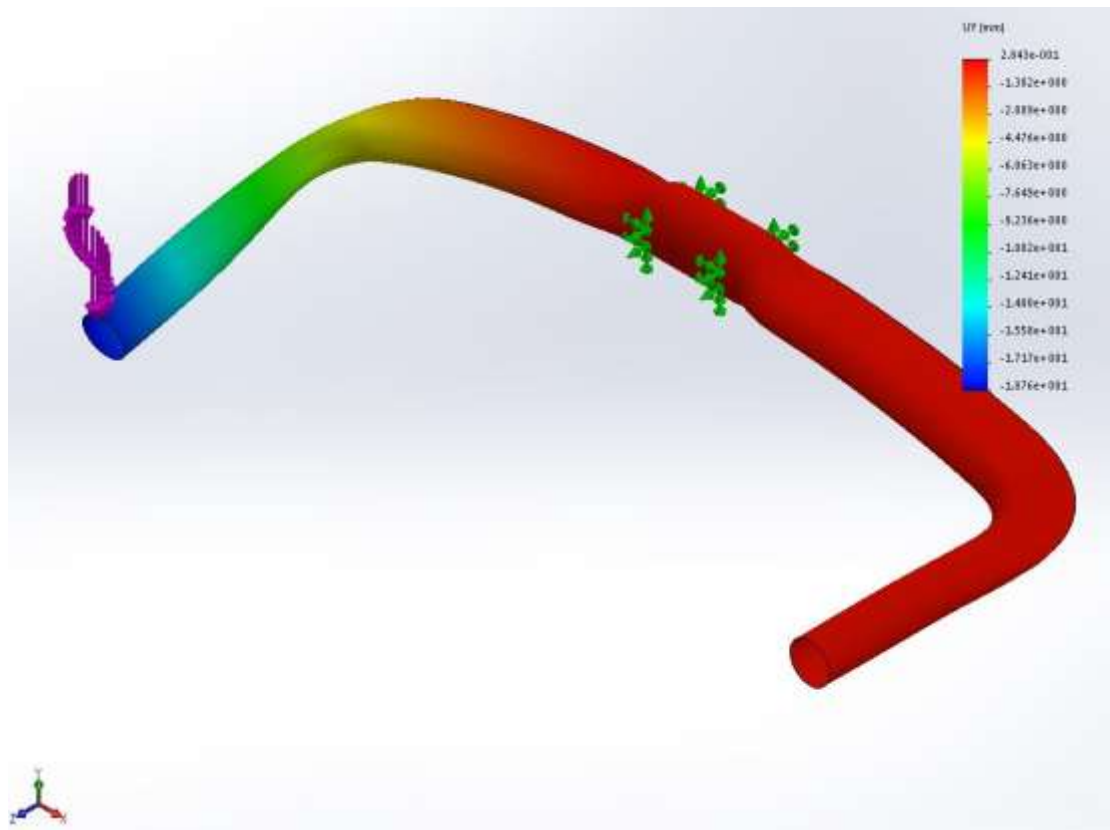


Γράφημα 2. Μετατόπιση κατά ψ για διαστρωμάτωση 2 (Y Displacement for stacking sequence 1)

Η μετατόπιση μειώνεται αρκετά 26,64mm αλλά απέχουμε ακόμη πολύ από το τιθέμενο όριο

Stacking Sequence 3

	Upper Face	Upper Face Steerer Tube	Down Face	Down Face Steerer Tube
1	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
2	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
3	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
4	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
5	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
6	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
7	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
8	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
9	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
10	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
11	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
12	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
13		M40J Woven +/-45°		M40J Woven +/-45°
14		M40J Woven +/-90°		M40J Woven +/-90°
15		Unidirectional 0°		Unidirectional 0°

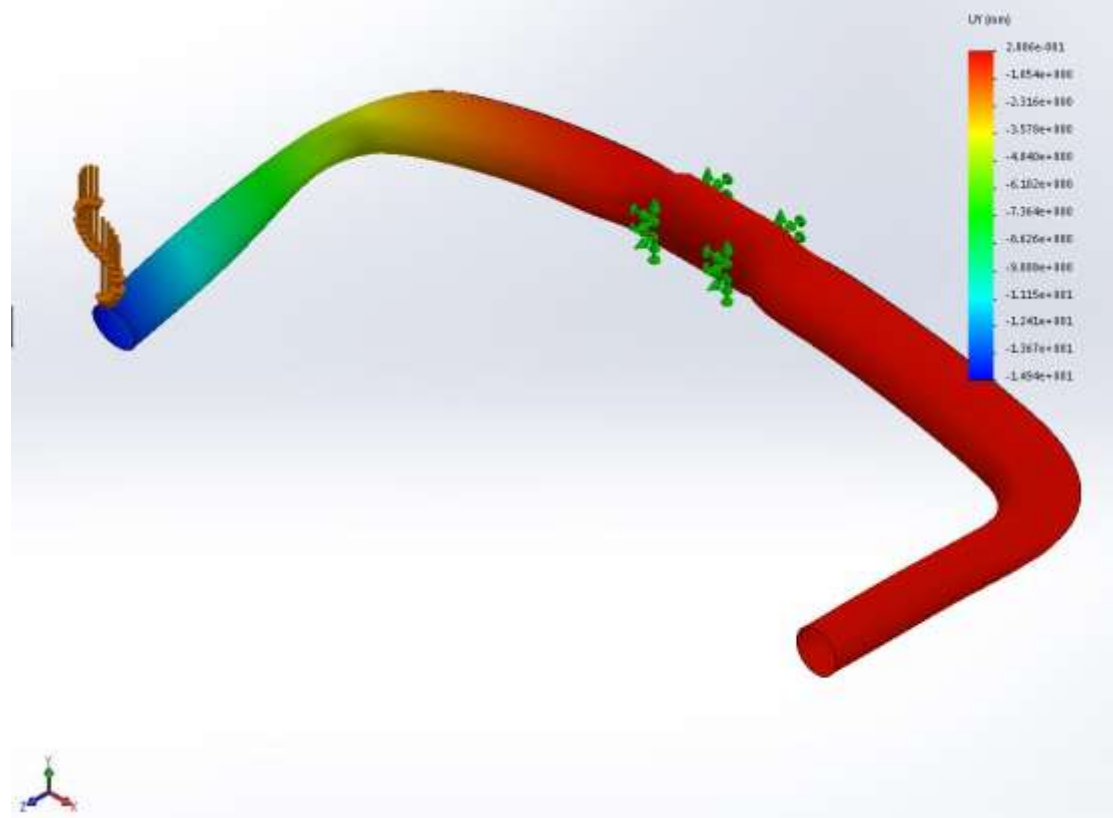


Γράφημα 3. Μετατόπιση κατά ψ για διαστρωμάτωση 3 (Y Displacement for stacking sequence 3)

Η μετατόπιση σημειώνει μεγάλη πτώση και λαμβάνει την τιμή 18,76mm
 Προχωράμε στο τέταρτο σενάριο διαστρωμάτωσης

Stacking Sequence 4

	Upper Face	Upper Face Steerer Tube	Down Face	Down Face Steerer Tube
1	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
2	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
3	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
4	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
5	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
6	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
7	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
8	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
9	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
10	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
11	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
12	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°	Unidirectional 0°
13	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°	M40J Woven +/-45°
14	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°	M40J Woven +/-90°
15		Unidirectional 0°		Unidirectional 0°



Γράφημα 4. Μετατόπιση κατά ψ για διαστρωμάτωση 4
(Y Displacement for stacking sequence 4)

Η μετατόπιση βρίσκεται κάτω από το επιτρεπτό όριο 14,94mm

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Stacking Scenario (#)	Μετατόπιση κατά ψ (mm)
1	33,36
2	26,64
3	18,76
4	14,94

Στην συνέχεια διερευνήσαμε το ερώτημα κατά πόσον επηρεάζει την μετατόπιση η προσθήκη μια στρώσης πλεκτού 45°, 90° ή μονοδιευθυντικού 0° σε μια διαστρωμάτωση βάση (πχ την 3)

Προσθήκη μιας στρώσης	Τελική μετατόπιση (mm)
M40J Woven +/-45°	17,37
M40J Woven +/-90°	16,14
Unidirectional 0°	18,05

- Παρατηρούμε ότι το πλεκτό +/- 45° θωρακίζει καλύτερα την κατασκευή μας έναντι εγκάρσιας κάμψης

8. Διαδικασίες παραγωγής και κατασκευής εξαρτημάτων από σύνθετο υλικό. Ιδιότητες προεμποτισμένων

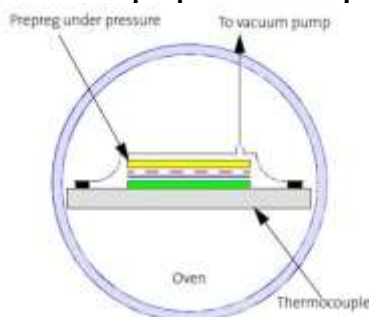
8.1 Διαδικασίες παραγωγής και κατασκευής

Οι διαδικασίες παραγωγής για την κατασκευή εξαρτημάτων από σύνθετα υλικά γενικά απαιτούν την συνδρομή δύο παραγόντων:

- Θερμότητα για να ενεργοποιηθούν οι μηχανισμοί του curing στο σύστημα της ρητίνης και για να μειωθεί το ιξώδες της ρητίνης
- Πίεση για την συμπίεση και ενοποίηση της διαστρωμάτωσης που βρίσκεται στο καλούπι

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την παραγωγή θερμότητας και πίεσης με ελεγχόμενο τρόπο. Για τις κυριότερες από αυτές γίνεται αναφορά στην συνέχεια. Σε κάθε περίπτωση, πριν αρχίσει το καλούπωμα, το υλικό πρέπει να έχει διαστρωματωθεί με την επιθυμητή κατεύθυνση των ινών πάνω ή μέσα στο χρησιμοποιούμενο εργαλείο (καλούπι).

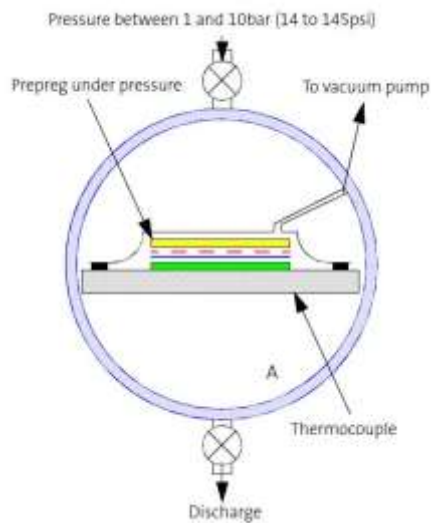
Καλούπωμα με σακούλα με υποπίεση (Vacuum Bag Moulding)



Εικόνα 57

Οι τεχνικές με υποπίεση έχουν αναπτυχθεί για την κατασκευή ποικιλίας εξαρτημάτων, αλλά κυρίως για πολύπλοκες μορφές, διπλά περιγράμματα και σχετικά μεγάλα εξαρτήματα. Η τεχνική εφαρμόζεται για την ενοποίηση υγρού ή και prepreg lay-up κατά την διάρκεια του θερμικού κύκλου cure. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για το καλούπωμα εξαρτημάτων χαμηλού κόστους που είναι αρκετά μεγάλα ή σύνθετα για να συμπιεστούν με άλλα μέσα. Η τεχνική χρησιμοποιεί εύκαμπτη σακούλα που σφραγίζεται από την οποία αναρροφάμε τον αέρα και δημιουργούμε συνθήκες κενού, εφαρμόζοντας με αυτό τον τρόπο ομοιόμορφη πίεση μέχρι 1 bar στην διαστρωμάτωση μας μέσα στο καλούπι. Το όλο σύστημα θερμαίνεται εν συνεχεία σε κλίβανο για να προαχθεί η ροή της ρητίνης και η διεργασία του cure. Η συγκεκριμένη μέθοδος, που απαιτεί εξοπλισμό και εργαλεία μικρού κόστους, μπορεί να μας δώσει εξαρτήματα εύλογης ποιότητας, που είναι αποδεκτά για πολλές εφαρμογές.

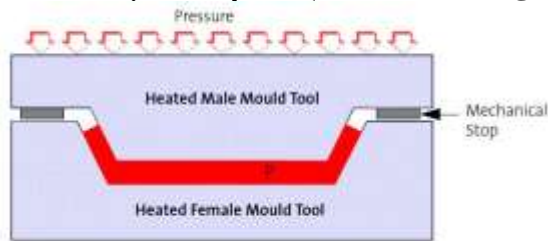
Καλούπωμα σε Autoclave



Εικόνα 58

Autoclave ονομάζεται ένα μεγάλο, θερμαινόμενο δοχείο υπό πίεση. Το καλούπωμα σε autoclave είναι παρόμοιο με το καλούπωμα υποπίεσης με την διαφορά ότι η διαστρωμάτωση υποβάλλεται σε μεγαλύτερη πίεση, συνήθως έως 8 bar, ενώ εφαρμόζεται θερμότητα για το cure της ρητίνης. Στα αρχικά στάδια του cure συνήθως εφαρμόζεται υποπίεση για να απομακρυνθούν τα πτητικά στοιχεία και ο παγιδευμένος αέρας χωρίς να έχουμε υπερβολική ροή ρητίνης. Η πίεση που ασκείται στην διαστρωμάτωση κυμαίνεται συνήθως στο εύρος μεταξύ 3,5 έως 7 bar. Η διαδικασία καλοντώματος σε autoclave παράγει διαστρωματώσεις υψηλής ποιότητας, με ελάχιστους πόρους και ο έλεγχος στο τελικό πάχος της διαστρωμάτωσης είναι πολύ καλύτερος από αυτόν που μπορούμε να έχουμε από το καλούπωμα υπό κενό. Το κεφάλαιο που απαιτείται για τον εξοπλισμό είναι μεγάλο, και η παραγωγή σχετικά μικρή, παράγοντες που περιορίζουν την χρήση αυτής της διαδικασίας σε αγορές υψηλότερου κόστους, όπου η υψηλή ποιότητα είναι ουσιώδης. Πολλά κύρια δομικά εξαρτήματα για αεροσκάφη, όπως πτερύγια και άτρακτοι κατασκευάζονται με αυτή την μέθοδο, καθώς διασφαλίζει επαναληψιμότητα.

Καλούπιμα σε πρέσα (Press Moulding)



Εικόνα 58

Όπως και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις το ύφασμα διαστρωματώνεται στο καλούπι, ή προ μορφοποιείται σε ξεχωριστό εργαλείο για να διευκολυνθεί η γρήγορη τοποθέτηση του στο ζεστό εργαλείο.

Τα καλούπια/εργαλεία συνήθως κατασκευάζονται από μηχανικά κατεργασμένο ή χυτό μέταλλο, και παράγονται σε ζευγάρια αρσενικό-θηλυκό, ο χώρος μεταξύ τους καθορίζει την μορφή και το πάχος του υπό κατασκευή εξαρτήματος.

Η πίεση παράγεται συνήθως υδραυλικά και ο θερμικός κύκλος ελέγχεται από διάφορα μέσα θέρμανσης. Το εργαλείο μπορεί να θερμαίνεται άμεσα με ηλεκτρισμό, έλαιο ή ατμό, με διάυλους μέσα στο ίδιο το εργαλείο στην περίπτωση απευθείας θέρμανσης με έλαιο ή ατμό. Στην περίπτωση χρήσης ηλεκτρισμού μπορεί να εγκατασταθούν θερμαντικά στοιχεία μέσα στο καλούπι. Σε μικρά εξαρτήματα, η θερμότητα μπορεί να εφαρμόζεται απευθείας μέσω θερμαινόμενων πλακών στην ίδια την πρέσα.

Με αυτή την μέθοδο επιτυγχάνονται πολύ ακριβείς ανοχές και μπορούμε να έχουμε μεγάλο βαθμό αυτοματισμού. Οι θερμικοί κύκλοι cure μπορούν να οριστούν και να ελεγχθούν με μεγάλη ακρίβεια, ούτως ώστε η διαδικασία να παράγει συνεχώς εξαρτήματα υψηλής ποιότητας.

Εξαιτίας του υψηλού κόστους αρχικού εξοπλισμού αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για μεγάλο όγκο παραγωγής.

Καλούπωμα με σακούλα και θετική πίεση (Pressure Bag Moulding)

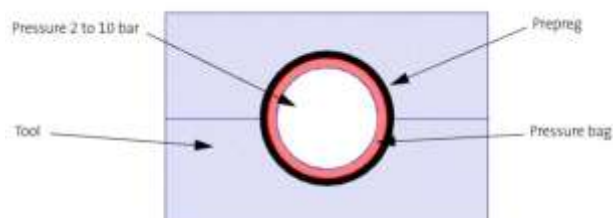
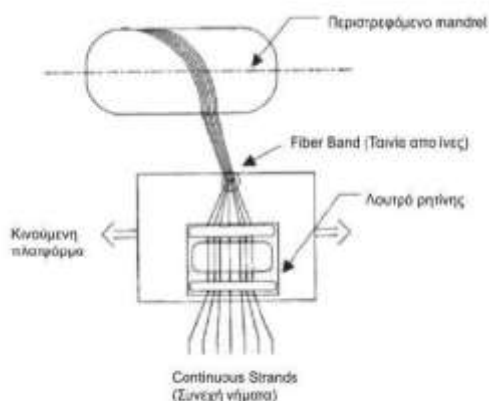


Figure 6: Pressure Bag Process

Εικόνα 59

Αυτή η μέθοδος είναι μια επέκταση του καλουπώματος με υποπίεση και σε autoclave και χρησιμοποιεί πλαστική σακούλα, συνήθως από σιλκόνη, στο πάνω μέρος της διαστρωμάτωσης. Ένα θερμό, συμπιεσμένο αέριο ή υγρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή θερμότητας στην διαδικασία του cure και πίεσης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να υποβοηθηθεί και με κενό. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για απλά σχήματα όπως είναι οι σωλήνες.

Filament Winding (Περιέλιξη Υλικού)



Εικόνα 60

Σε αυτή την διαδικασία συνεχείς ίνες ή ταινίες (tape) από ίνες πλέκονται σε ένα περιστρεφόμενο εργαλείο μορφής (mandrel). Οι ίνες τροφοδοτούνται μέσω κεφαλής με ελεγχόμενη γωνία στον άξονα του περιστρεφόμενου mandrel. Η ρητίνη μπορεί να διοχετεύεται μέσω λουτρού ή να εγχέεται υπό μορφή σταγονιδίων σε περίπτωση που δεν έχουμε prepreg υλικό. Η πίεση επιτυγχάνεται τανύοντας τις ίνες καθώς πλέκονται στο mandrel. Τα προϊόντα που προκύπτουν είναι σώματα εκ περιστροφής. Το curing διεξάγεται συνήθως σε κλίβανο.

Παραδείγματα προϊόντων που κατασκευάζονται με αυτή την μέθοδο είναι σωλήνες μεταφοράς ισχύος (άξονες ροπής), ράβδους ελέγχου. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν δοχεία πίεσης, κελύφη κινητήρων σε πυραύλους, κελύφη σε σωλήνες άντλησης πετρελαίου.

Thermal Expansion Moulding

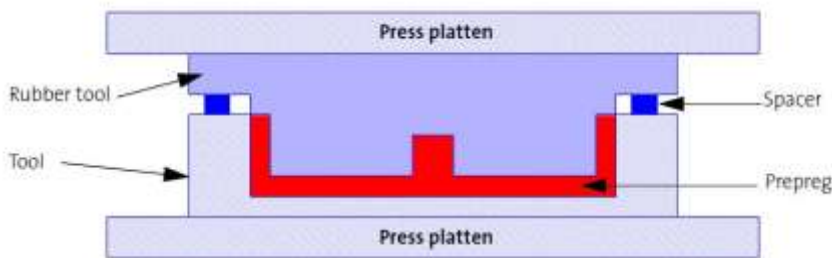


Figure 7: Thermal Expansion Moulding

Εικόνα 61

Γενικά χρησιμοποιείται για ενισχυμένες δομές με σύνθετη μορφή. Οι στρώσεις του prepreg τυλίγονται γύρω από μπλοκ πλαστικού ή αφρού και η διάταξη περιορίζεται με μεταλλική κοιλότητα. Εν συνεχεία θερμαίνεται. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία μια υψηλή διαφορική θερμική διαστολή λαμβάνει χώρα μεταξύ πλαστικού και μετάλλου, το πλαστικό διαστέλλεται πολύ περισσότερο απ' ό τι το μέταλλο. Εφόσον το μέταλλο περιορίζει την όλη διάταξη, ασκούνται πολύ υψηλές πιέσεις που συμπιέζουν το lay up.

Αυτή η μέθοδος απαιτεί πολύ μικρό κεφάλαιο και τα εργαλεία είναι απλά και χαμηλού κόστους. Εξαρτήματα με πολύπλοκη γεωμετρία μπορούν να καλουπωθούν σε έναν θερμικό κύκλο, μειώνοντας τον αριθμό συνδέσμων και επιμέρους εξαρτημάτων, έτσι έχουμε μεγάλη εξοικονόμηση βάρους και εξόδων παραγωγής. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Pressure Bag Moulding

8.2 Προεμποτισμένα Υλικά (Prepreg Materials)

Τα prepreg αποτελούνται από ένα υλικό ενίσχυσης (reinforcement)-ανθρακονήματα, ίνες γυαλιού κλπ- σε μονοδιευθυντική (unidirectional) ή πλεκτή (woven) μορφή προεμποτισμένα σε προκαθορισμένο και ελεγχόμενο επίπεδο μέσα σε μήτρα ρητίνης. Με τα prepreg απλά κόβουμε την επιφάνεια που χρειαζόμαστε από το ρολό υφάσματος και προχωρούμε απευθείας στην διαστρωμάτωση. Χωρίς να παρεμβάλλεται ανάμειξη ή χειρισμός άλλων δυνητικά επικίνδυνων χημικών. Όλα τα Prepregs έχουν σαφώς προκαθορισμένο χρόνο ζωής (**out life**) σε θερμοκρασία δωματίου.

Αποθηκεύονται σε καταψύκτη για να μεγιστοποιηθεί ο χρόνος ζωής τους. Η αντιδραστικότητα ενός συγκεκριμένου συστήματος prepreg είναι προκαθορισμένη και αυτό ως αποτέλεσμα υποδεικνύει την ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία μια συγκεκριμένη ρητίνη θα υποστεί θερμικό κύκλο **cure**.

Οι παράμετροι out-life και η ελάχιστη θερμοκρασία cure είναι σημεία κλειδιά για την βελτιστοποίηση της επιλογής υλικών, ισορροπώντας τον χρόνο που απαιτείται για το **lay up** (ειδικά σε μεγάλες κατασκευές) και στην επιλογή του υλικού του καλουπιού. Όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία του curing, τόσο χαμηλότερο το κόστος εξοπλισμού. Τα prepregs προμηθεύονται με ελεγχόμενο **level of tack** (κολλώδης ιδιότητα). Οι στρώσεις μπορούν να τοποθετηθούν εύκολα και με ακρίβεια στο καλούπι για να

δώσουν υψηλό επίπεδο στον έλεγχο του προσανατολισμού των ιών χωρίς τον κίνδυνο μετακίνησης, wash out των ιών, ή την ανάπτυξη περιοχών πλούσιων σε ρητίνη κατά την μετέπειτα επεξεργασία. Όλα αυτά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απώλεια της απόδοσης.

Πλεονεκτήματα prepregs

- Απλουστευμένη αποθήκευση και μειωμένα θέματα υγείας και ασφάλειας
- Επιλογές εργαλείων χαμηλού κόστους
- Μειωμένη εργασία
- Γρήγορο και απόλυτα ελεγχόμενο lay-up , βελτιστοποίηση και μεγιστοποίηση ιδιοτήτων τελικού προϊόντος
- Εξοικονόμηση βάρους
- Μειωμένος κίνδυνος επεξεργασίας σε σύγκριση με της διαδικασίες έγχυσης

	Υγρό Lay-Up	Infusion/Injection Έγχυση	Prepregnation Προεμποτισμός
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Υλικά χαμηλού κόστους • Ελάχιστο κόστος εξοπλισμού 	<ul style="list-style-type: none"> • Ποιότητα & επαναληψιμότητα • Υλικά χαμηλού κόστους • Χαμηλό περιεχόμενο αέρα • Σχετικά καθαρή διαδικασία, αλλά με κάποια θέματα στον χειρισμό της ρητίνης 	<ul style="list-style-type: none"> • Ποιότητα & επαναληψιμότητα • Χαμηλό κόστος εργασίας • Χαμηλό περιεχόμενο αέρα • Έλεγχος περιεχόμενης ρητίνης και ιδιοτήτων • «Καθαρή» διαδικασία
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος εργασίας • Ελλιπής έλεγχος στο περιεχόμενο ρητίνης • Υψηλό περιεχόμενο σε αέρα • Ελλιπής έλεγχος στο τελικό πάχος • «Βρώμικη» διαδικασία • Θέματα υγείας και ασφάλειας κατά τον χειρισμό της ρητίνης • Περιβαλλοντικά θέματα 	<ul style="list-style-type: none"> • Σπατάλη υλικού • Δυσκολία στήριξης ξηρής ενίσχυσης σε πολύπλοκα ή κάθετα εργαλεία • Συμβιβασμοί στην επιλογή υλικών • Μεταβλητό περιεχόμενο & ιδιότητες ρητίνης • Υψηλό ρίσκο για παραγωγή ενός κομματιού • Παρόμοιο κόστος εξοπλισμού με τα prepregs 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλότερο κόστος πρώτης ύλης • Επιπλέον κόστος εξοπλισμού • Αποθήκευση υλικού σε καταψύκτη
Σύνοψη	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλό συνολικό κόστος • Χαμηλή απόδοση • Χαμηλός έλεγχος στην διαδικασία 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεσαίο κόστος • Βελτιωμένη απόδοση • Καλύτερος αλλά όχι συνολικός έλεγχος 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλότερο κόστος • Υψηλότερη απόδοση • Συνολικός έλεγχος

8.3 Ορολογία προεμποτισμένων

Debulking: Εφαρμογή υποπίεσης περιοδικά σε όλη την διαστρωμάτωση για να διασφαλιστεί ότι όλες οι στρώσεις έχουν βρίσκονται σε επαφή, βελτιώνοντας την απόδοση της διαστρωμάτωσης.

Fiber Areal Weight (FAW): Το βάρος του υφάσματος που χρησιμοποιείται στο prepreg (g/m²)

Fiber Volume Fraction (% Vf): Η αναλογία ινών μέσα στο προεμποτισμένο (κατ' όγκο). Αυτός ο παράγοντας είναι κλειδί για την απόδοση της διαστρωμάτωσης

Glass Transition Temperature (Tg): Έχει δοθεί ο ορισμός παραπάνω.

Out-life ή working life είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η μήτρα διατηρεί τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για την προτιθέμενη χρήση σε θερμοκρασία δωματίου αφού βγει από τον καταψύκτη, οπότε έχει αποθηκευτεί στους -18°C.

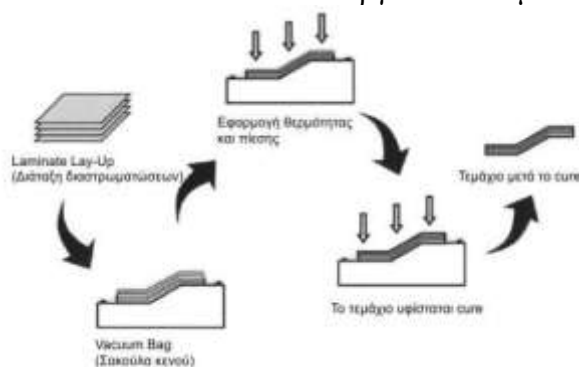
Resin Weight (%RW): % βάρος ρητίνης. Η αναλογία της ρητίνης κατά βάρος εκφρασμένη ως ποσοστό του συνολικού βάρους του prepreg

Shelf Time: Διάρκεια ζωής στην αποθήκευση. Αυτό είναι το βάθος χρόνου για το οποίο το υλικό της μήτρας μπορεί να αποθηκευτεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ικανοποιώντας όλες τις απαιτήσεις για τον μετέπειτα χειρισμό και απόδοσή του. Τα προεμποτισμένα θερμορρυθμιζόμενα αποθηκεύονται συνήθως σε καταψύκτη και έχουν χρόνο ζωής 6-12 μήνες πριν χρειαστεί να επαναπιστοποιηθούν.

Level of tack: Tack, κολλώδης ιδιότητα. Ιδιότητα της ρητίνης να προσκολλάται στον εαυτό της και στα εργαλεία επεξεργασίας κατά την διάρκεια της διαστρωμάτωσης.

Tack Life: Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το Prepreg μπορεί να αποθηκευτεί σε θερμοκρασία δωματίου (20°C) και εξακολουθεί να έχει επαρκές tack

Lay Up: Διαστρωμάτωση υλικού. Διαδικασία κατά την οποία ξεχωριστές στρώσεις τοποθετούνται πάνω σ' ένα εργαλείο και μετά υπόκειται cure



Εικόνα 62. Διαδικασία lay-up για προεμποτισμένα υλικά με υποπίεση

8.4 Χρησιμοποιούμενα Υλικά

Χρησιμοποιήσαμε prepreg μονοδιευθυντικά και πλεκτά υφάσματα M40J της Toray. Το υλικό ενίσχυσης είναι ίνες άνθρακα και η μήτρα είναι εποξική ρητίνη από την σειρά VTM 260 και συγκεκριμένα η VTM 264 (οι πληροφορίες για τις ιδιότητες της προήλθαν από την Advanced Composites, εταιρεία που εμπορεύεται τα προεμποτισμένα).

Οι ιδιότητες της ρητίνης ουσιαστικά καθορίζουν τον θερμικό κύκλο cure που θα ακολουθηθεί. Αυτή η ρητίνη μπορεί να υποστεί cure από 60 έως 125 °C , και έχει out life 30 ημέρες. Το πρόθεμα VTM προκύπτει από το Variable Temperature Moulding , το οποίο μας προδίδει ευελιξία στην θερμική επεξεργασία. Επίσης έχει μεγάλο χρόνο out life. Έχει μέτριο ιξώδες και tack , είναι κατάλληλη για πλήρη εμποτισμό μεσαίου και μεγάλου βάρους υφασμάτων, μονοδιευθυντικών και πλεκτών.

Συνοπτικά οι ιδιότητες της ρητίνης είναι οι ακόλουθες:

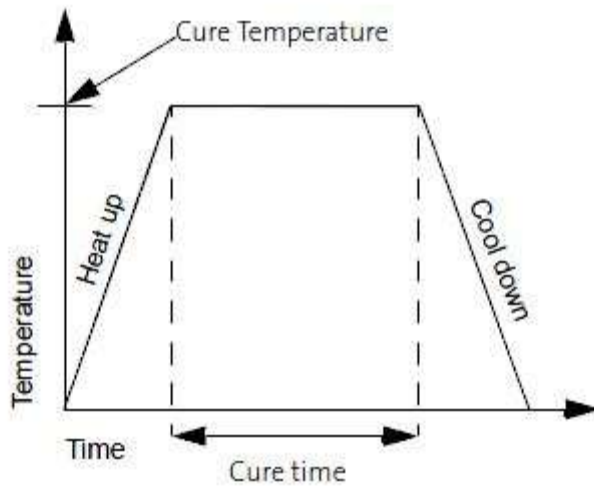
Ρητίνη	Tack @15°C	Tack@21°C	Carbon UD	Carbon
--------	------------	-----------	-----------	--------

				Woven
VTM 264	Χαμηλή	Μέτρια	<600 g/m ²	<900 g/m ²

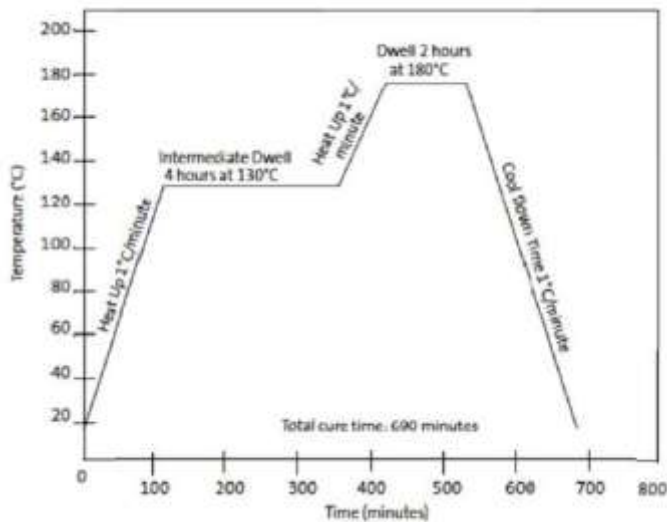
8.5 Θερμικός Κύκλος Cure

Cure: θερμική επεξεργασία. Για τις θερμορυθμιζόμενες ρητίνες κατά την διάρκεια του cure λαμβάνουν χώρα οι κόμβοι του πλέγματος (cross-linking, σχηματισμός πλευρικών δεσμών μεταξύ διαφορετικών αλυσίδων στο μόριο του πολυμερούς. Οι κόμβοι του πλέγματος αυξάνουν την ακαμψία του μορίου.

Ο κύκλος του cure είναι μια διεργασία κατά την οποία η ρητίνη μέσα στο προεμποτισμένο υλικό μεταπίπτει από υγρή σε στερεή μορφή με την εφαρμογή θερμότητας.



Εικόνα 63. Απλός θερμικός κύκλος Cure



Εικόνα 64. Θερμικός κύκλος με Dwell

Υπάρχει ένα άνω όριο για τον θερμικό κύκλο, το οποίο προκύπτει από την χαρακτηριστική **Θερμοκρασία Υαλώδους Μετάπτωσης T_g** της ρητίνης (Glass Transition Temperature). T_g είναι η θερμοκρασία πάνω από την οποία η ρητίνη αρχίζει να αλλάζει φάση (να μαλακώνει), χάνοντας ακαμψία και αντοχή. Σαν γενικός κανόνας η μέγιστη θερμοκρασία για μια ρητίνη θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 20°C

κάτω από την Tg. Αν έχουμε πολυμερές σε αυτή την θερμοκρασία η δομή του είναι ακόμη ανέπαφη αλλά οι σύνδεσμοι δεν είναι ακόμη δεσμευμένοι στις θέσεις τους.

Για κάθε σύστημα προεμποτισμένου με ρητίνη υπάρχουν επιλογές για την θερμοκρασία/διάρκεια του cure και μια ελάχιστη θερμοκρασία για την θερμική διεργασία. Για κάθε δεδομένη θερμοκρασία cure υπάρχει και αντίστοιχος χρόνος. Ο κλίβανος / autoclave , το εξάρτημα και το εργαλείο πρέπει όλα να φθάσουν και να μείνουν πάνω από την δεδομένη θερμοκρασία cure κατά την διάρκεια του υποδεικνυόμενου θερμικού κύκλου. Για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του εξαρτήματος και των εργαλείων χρησιμοποιούνται θερμοζεύγη. Υπάρχουν διάφορα στάδια στον θερμικό κύκλο:

Ρυθμός θέρμανσης-Heat Up Rate

Ο ρυθμός θέρμανσης υποδεικνύει πόσο γρήγορα πρέπει να φθάσουν εξάρτημα και εργαλείο στην θερμοκρασία του cure. Αυτό καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, το ιξώδες της μήτρας (ρητίνης) και ρυθμός αντίδρασης, πάχος διαστρωμάτωσης , μάζα εργαλείου και αγωγιμότητα. Για μήτρες με υψηλή αντιδραστικότητα και διαστρωματώσεις μεγάλου πάχους , ο ρυθμός θέρμανσης θα είναι χαμηλός ούτως ώστε να αποφύγουμε εξώθερμες αντιδράσεις.

Dwell

Προαιρετικά μπορούμε να έχουμε πριν το cure , το λεγόμενο dwell , δηλ ουσιαστικά μια προθέρμανση σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του τελικού cure. Αυτό βοηθάει αφενός στην περίπτωση που έχουμε μεγάλες θερμικές μάζες , οπότε επιτρέπει στην διαστρωμάτωση να φθάσει σε ομοιόμορφη θερμοκρασία πριν την εφαρμογή πίεσης. Για ρητίνες χαμηλούς ιξώδους , έχει αποδειχτεί ότι ο χρόνος του dwell βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος πριν εφαρμοστεί η τελική πίεση.

Ρυθμός ψύξης-Cooling Rate

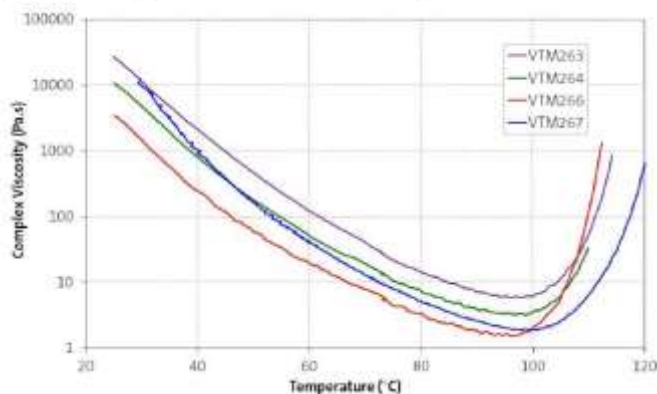
Ο ρυθμός ψύξης ελέγχεται ούτως ώστε να αποφύγουμε ξαφνική πτώση της θερμοκρασίας που μπορεί να επιφέρει θερμικό στρες στο εξάρτημα.

Υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες για την υλοποίηση του θερμικού κύκλου, από τον κατασκευαστή της ρητίνης . Ο ρυθμός θέρμανσης (**ramp rate**) δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 2°C ανά λεπτό (για μεγάλες δομές ο ελάχιστος ρυθμός είναι αντίστοιχα 0,5°C ανά λεπτό. Στην περίπτωσή μας θα γίνει cure στους 120°C.

Η ενδεικνύμενη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας είναι 1 ώρα

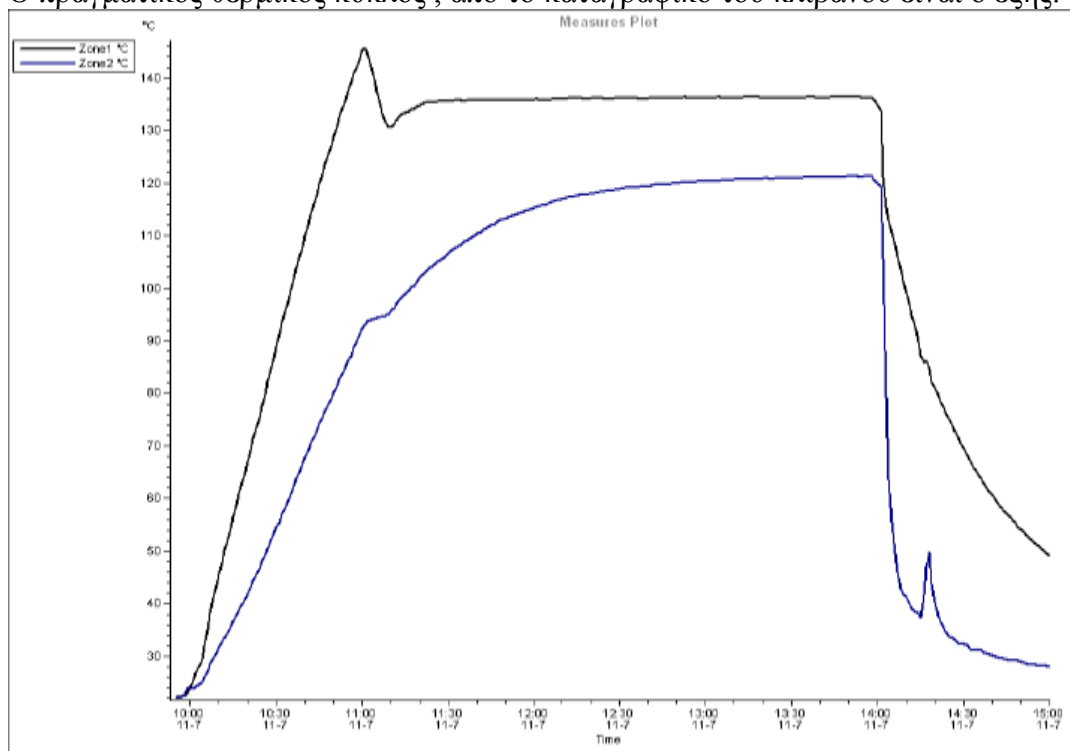
Η απόψυξη πρέπει να γίνει με ρυθμό 3°C/min

Dynamic Viscosity of VTM260 Series Resins at 2°C/minute



Εικόνα 65. Δυναμικό ιξώδες για τις ρητίνες της σειράς VTM260 με ρυθμό 2°C/min

Ο πραγματικός θερμικός κύκλος, από το καταγραφικό του κλιβάνου είναι ο εξής:



Εικόνα 66. Πραγματικός θερμικός κύκλος από αρχείο καταγραφικού κλιβάνου

Με την μαύρη γραμμή απεικονίζεται η θερμοκρασία του αέρα. Με την μπλε γραμμή η θερμοκρασία στην επιφάνεια του καλούπιού όπως έχει καταγραφεί από τα θερμοστοιχεία που είχαν τοποθετηθεί. Όπως αναμενόταν το καλούπι φθάνει την επιθυμητή θερμοκρασία, με μια χρονική υστέρηση όμως σε σχέση με τον αέρα λόγω θερμικής αδράνειας. Αυτό λήφθηκε υπόψη κατά τον σχεδιασμό του θερμικού κύκλου, ο οποίος έχει μεγαλύτερη διάρκεια από την καθορισμένη στο data sheet της ρητίνης. Παραμένει στους 120°C περίπου για 1 ½ h και η συνολική θερμική διεργασία είχε διάρκεια περίπου 5h.

9. Διαδικασία Κατασκευής Πρωτοτύπου

Το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε είναι προεμποτισμένο ύφασμα carbon fiber M40J. Το υλικό τοποθετείται διαδοχικά ανά στρώση στα τρία επιμέρους τμήματα του καλουπιού (κεντρικό σημείο σύνδεσης με λαιμό, δεξί, αριστερό), στο άνω και το κάτω μισό του καλουπιού, σύμφωνα με την μελέτη που έγινε στο κεφάλαιο 7. Στο σημείο της ένωσης του άνω με το κάτω μέρος του καλουπιού πρέπει να ενωθούν τα υφάσματα για να συνθέσουν το τιμόνι. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να δημιουργηθεί το λεγόμενο overlap (υπερκάλυψη) των στρώσεων του ενός μισού του καλουπιού έναντι των αντίστοιχων στο απέναντί μισό.

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία του lay up θα πρέπει να γίνει προετοιμασία του καλουπιού. Η επιφάνεια του καλουπιού αρχικά καθαρίστηκε αρκετές φορές με ασετόν, εν συνεχεία περάστηκε δύο φορές με Mould Sealer (Marbocote) για να πληρωθούν τυχόν επιφανειακοί πόροι και επιφανειακές ατέλειες και τρεις φορές με αποκολλητικό 227 CEE, (Marbocote) ούτως ώστε μπορεί να εξαχθεί το τιμόνι από το καλούπι μετά από τον θερμικό κύκλο.

9.1 Σχεδιασμός πατρόν-Fabric Flat Pattern

Το προεμποτισμένο ύφασμα πρέπει να κοπεί με τον προσανατολισμό ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) που υποδεικνύεται από την επιλεγμένη διαστρωμάτωση στις κατάλληλες μορφές-πατρόν. Τα πατρόν είναι ουσιαστικά τα αναπτύγματα στο επίπεδο των επιμέρους τρισδιάστατων καμπυλών που συνθέτουν το τιμόνι. Μπορεί να προκύψουν απευθείας από το σχέδιο με την βοήθεια εξειδικευμένων προγραμμάτων, όπως πχ του Siemens NX στο σχετικό menu για τα σύνθετα, επιλογή fabric flat pattern. Επειδή όμως δεν υπήρχε πρόσβαση σε αυτά τα menu η διαδικασία έγινε χειρωνακτικά με την δημιουργία των πρώτων πατρόν από αλουμινόχαρτο, υλικό εύκαμπτο αρκετά ώστε να μπορέσει να ακολουθεί τις καμπυλότητες του εσωτερικού του καλουπιού, κάθε ένα από τα 3-D κομμάτια που προέκυπτε στην συνέχεια ανοιγόταν και είχαμε το ανάπτυγμα στο επίπεδο.

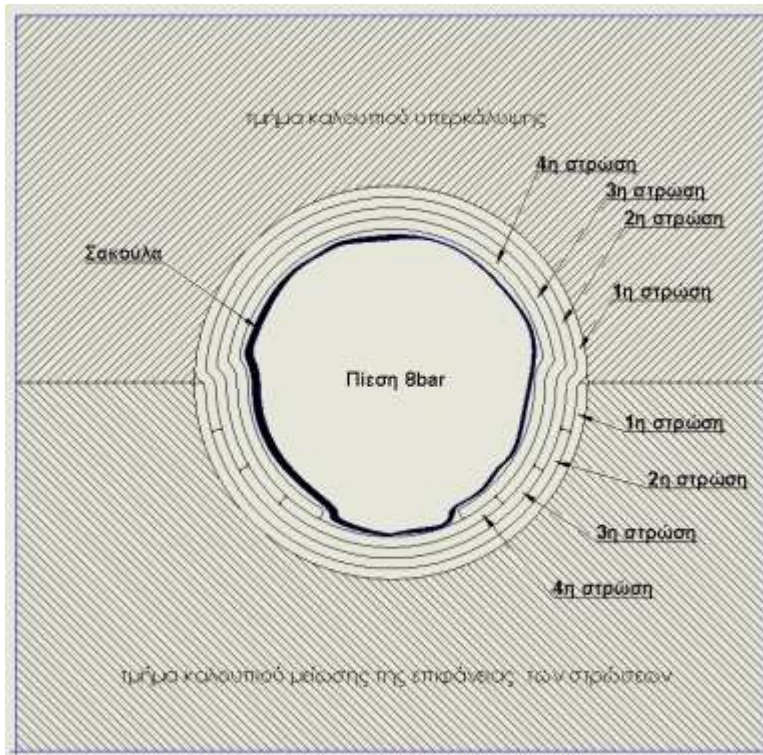
Από το άνω μισό του καλουπιού λοιπόν που επιλέξουμε να έχουμε το overlap, δηλ το υλικό θα εξέχει από το «πρόσωπο» του καλουπιού και το μήκος που προεξέχει θα μειώνεται από στρώση σε στρώση. Τα σημεία ένωσης των διαδοχικών στρώσεων (άνω και κάτω μέρος καλουπιού) δεν πρέπει να συμπίπτουν, καθώς σε περίπτωση που συνέβαινε αυτό θα συσσωρευόταν πολύ υλικό σε μια εσωτερική «ραφή», η οποία θα λειτουργούσε σαν συσσωρευτής τάσεων “stress raiser”.

Στο κάτω μισό του καλουπιού ξεκινάμε ακριβώς από το «πρόσωπο» και μειώνουμε με διαδοχικό βήμα 10 έως 20 φορές το πάχος του υφάσματος μας (0,22mm), επομένως 2,2 έως 4,4mm.

Υπάρχει ένας εμπειρικός κανόνας για το μέγιστο μήκος στην πλευρά του overlap, ο οποίος υποδεικνύει ότι το μεγαλύτερο overlap θα πρέπει να είναι ίσο με μήκος του αντίστοιχου πατρόν στο απέναντι καλούπι συν 20 φορές το πάχος του υφάσματος.

Όπως θα κλείσουν τα δύο μισά του καλουπιού οι στρώσεις στην μεριά του overlap θα κλειστούν μέσα από τις απέναντι για τους εξής λόγους:

- Να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος να πιαστεί υλικό μεταξύ των δύο μισών του καλουπιού
- Να έχουμε ένα καλαίσθητο αποτέλεσμα με μια «ραφή» που φαίνεται στο μέσο του κάθε σωλήνα



Εικόνα 67. Ιδανική Διαστρωμάτωση

Εν συνεχεία παρατίθενται εικόνες από την διαδικασία κατασκευής



Εικόνα 68. Άνω μέρος καλουπιού (overlap) πριν ξεκινήσει η διαδικασία του layup. Στο πάνω μέρος της φωτογραφίας φαίνονται τα πατρόν όπως έχουν κοπεί, τοποθετημένα σύμφωνα με το stacking sequence



Εικόνα 69. Τοποθέτηση πρώτης στρώσης overlap, woven $\pm 45^\circ$



Εικόνα 70. Τοποθέτηση τρίτης στρώσης unidirectional 0°



Εικόνα 71. Λεπτομέρεια overlap . Φαίνεται το διαδοχικά μειούμενο βήμα



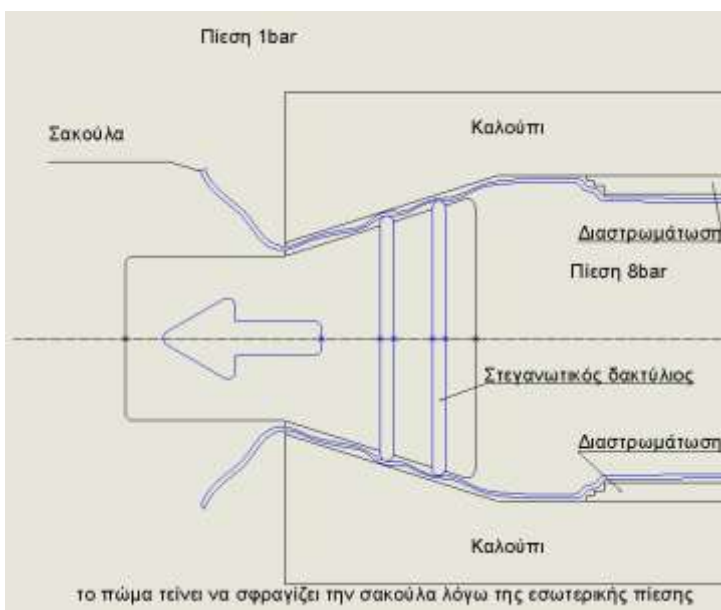
Εικόνα 72. Άνω μέρος καλουπιού με όλο το υλικό τοποθετημένο. Full stacking sequence

Αφού τελειώσει η διαδικασία του lay up αρχίζουμε να περνάμε τις εσωτερικές σακούλες πίεσης



Εικόνα 73. Τοποθέτηση εσωτερικών σακούλων πίεσης

Υπάρχουν δύο μεταλλικοί κώνοι όπως φαίνεται και στην ανωτέρω φωτογραφία. Ο ένας χρησιμοποιείται απλά ως πώμα ενώ ο δεύτερος είναι διάτρητος με σπείρωμα και σε αυτόν βιδώνεται ο σύνδεσμος του κυκλώματος πίεσης. Η στεγανοποίηση γίνεται με δακτυλίους συλικόνης. Και εν συνεχεία κλείνουμε το καλούπι με την τοποθέτηση πείρων και βιδών



Εικόνα 74.Μεταλλικοί κώνοι στεγανοποίησης;



Εικόνα 75. Τοποθέτηση & σύσφιξη πείρων και βιδών
Το πνευματικό κύκλωμα που δημιουργήθηκε φαίνεται παρακάτω



Εικόνα 76. Πνευματικό κύκλωμα

Αποτελείται από συμπιεστή με ρύθμιση μανομέτρου, επιτοίχια βαλβίδα on-off, υδατοπαγίδα, καλωδιώσεις από τεφλον , 2^η υδατοπαγίδα με ρύθμιση πίεσης, διακόπτες on/off πίεσης

Μετά το πέρας του θερμικού κύκλου έγινε το ξεκαλούπωμα εν θερμώ . Το καλούπι βγήκε από τον φούρνο στους 120°C και πρέπει το ξεκαλούπωμα να λάβει χώρα πολύ γρήγορα , η μέγιστη θερμοκρασιακή πτώση που μπορεί να σημειωθεί είναι 30°C, ούτως ώστε να μην έχουμε σπάσιμο του τεμαχίου λόγω θερμική συστολής του καλουπιού.



Εικόνα 77. Τελικό προϊόν

10. Αεροδυναμικές επεκτάσεις-μπαράκια (Aero Extensions)

Βασική παράμετρος για να αναδειχτεί ο αεροδυναμικός χαρακτήρας της αερόμπαρας όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή (ενότητα για τις δυνατότητες προσαρμογής της) είναι τα μπαράκια ούτως ώστε ο αναβάτης να λαμβάνει στάση που να ελαχιστοποιεί την μετωπική του επιφάνεια.

Επιλέξαμε να σχεδιάσουμε δύο είδη :

- τα πιο απλά, τα ευθεία
- τα πιο εργονομικά, τα J-Bend

Η ιδέα ήταν για λόγους οικονομίας αλλά και παραγωγικότητας να σχεδιαστεί ένα καλούπι που να έχει την δυνατότητα να παράγει και τα δύο είδη.

Η διάμετρος (τουλάχιστον στο ακραίο μπροστινό τμήμα) περιορίζεται από τα χειριστήρια ταχυτήτων (brake levers) που προσαρμόζονται πάνω τους ούτως ώστε ο αναβάτης να μπορεί να κάνει αλλαγές ταχυτήτων και από την αεροδυναμική θέση. Από σχετικά εγχειρίδια της εταιρείας Shimano (πχ Shimano Aero Brake Levers BL-TT79) βρήκαμε ότι η εξωτερική διάμετρος θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 22,2 και 24,0mm.

Επιλέξαμε την τιμή 22,2mm

Όσον αφορά στα μήκη των επεκτάσεων δεν υπάρχει κάποιος κανόνας και χρειάστηκε να γίνει μια μικρή έρευνα αγοράς στα ανταγωνιστικά προϊόντα

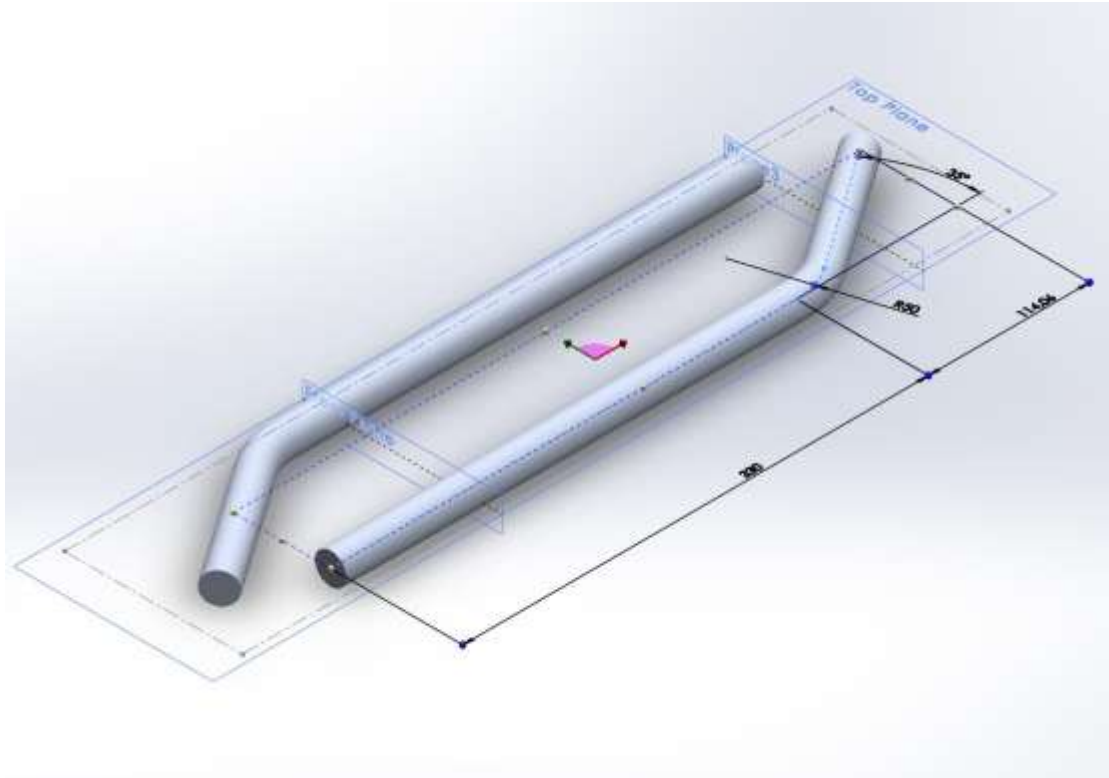
Παρατίθεται πίνακας

Εταιρεία	Μήκος aero extension (mm)
3T	Max 305
Profile design	225 (για 50-54cm bike frame) , 245 (54-58cm), 265 (>59cm)
Vuka	Max 335 Min 265

Επιλέξαμε το μήκος 330mm για να έχουμε την δυνατότητα να καλύψουμε μεγάλο εύρος απαιτήσεων.

Η απόσταση μεταξύ του άκρο των επεκτάσεων από το κέντρο της μεσαίας τριβής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 75cm (και σε ειδικές περιπτώσεις τα 80cm) (Clarification Guide of the UCI Technical Regulation)

Παρακάτω βλέπουμε το ζεύγος προεκτάσεων με δυνατότητα κατασκευής είτε ως ίσια εκμεταλλευόμενοι το ευθύ τμήμα της κοιλότητας, είτε ως S-Bend εκμεταλλευόμενοι μέρος του ευθύ τμήματος και συνεχίζοντας στο τμήμα με την κάμψη (bend).

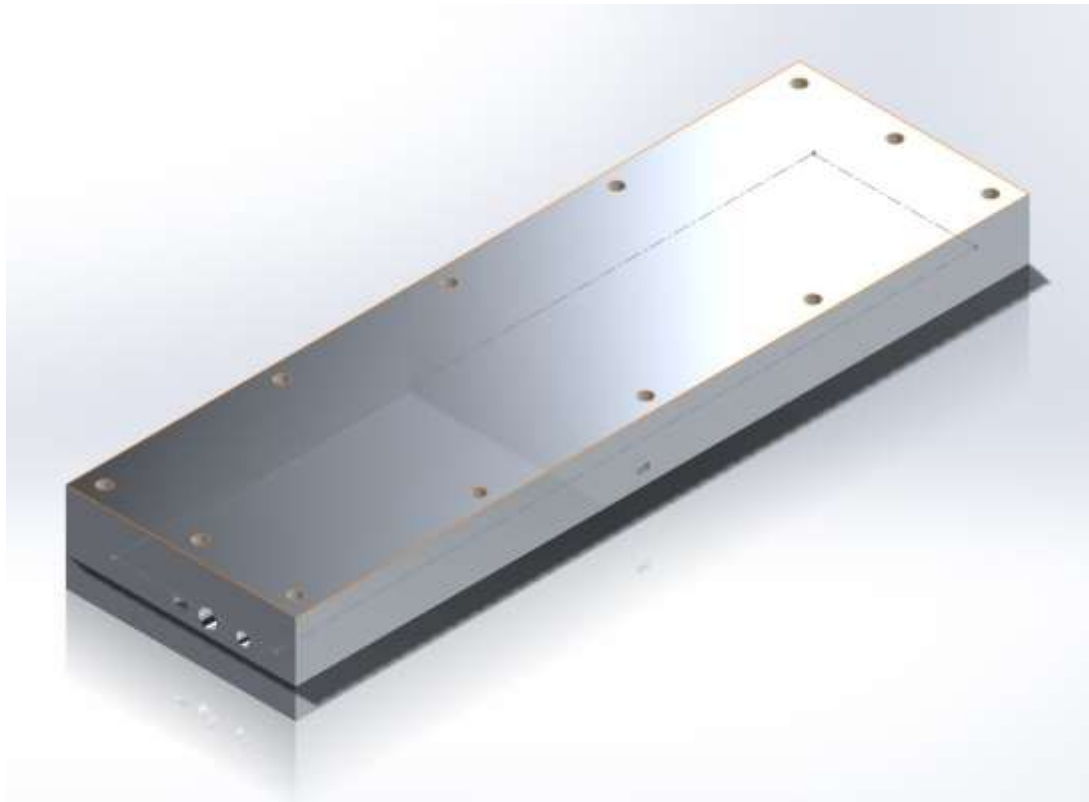


Εικόνα 78. Σχέδιο αεροδυναμικών επεκτάσεων

Με τα εργαλεία του Mold Tools του Solidworks σχεδιάσαμε το καλούπι



Εικόνα 79.Κάτω μισό καλουπιού

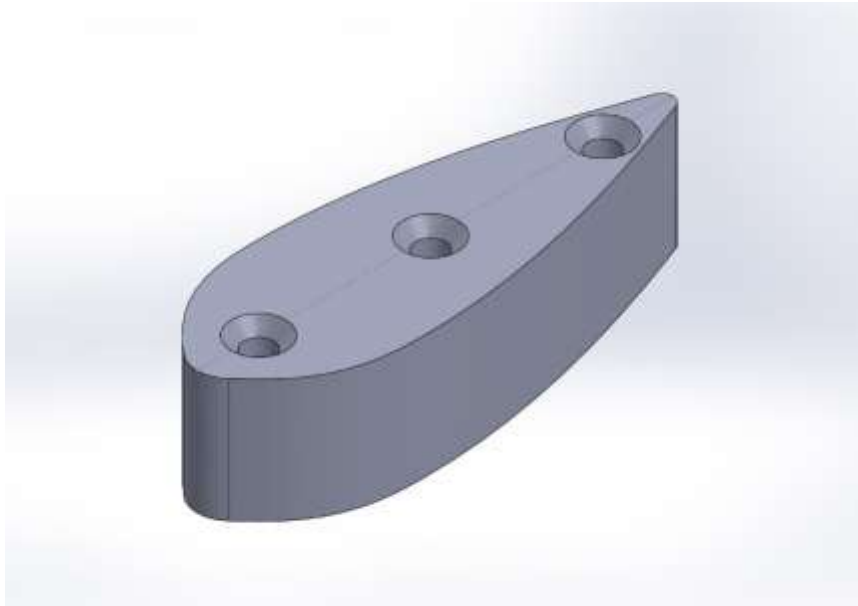


Εικόνα 80.Εξωτερική άποψη καλουπιού

10.1 Περιφερειακά αερόμπαρας

Η αερόμπαρα πρέπει να συναρμολογηθεί με τις αεροδυναμικές επεκτάσεις. Για να γίνει αυτό χρειαζόμαστε κάποια εξαρτήματα.

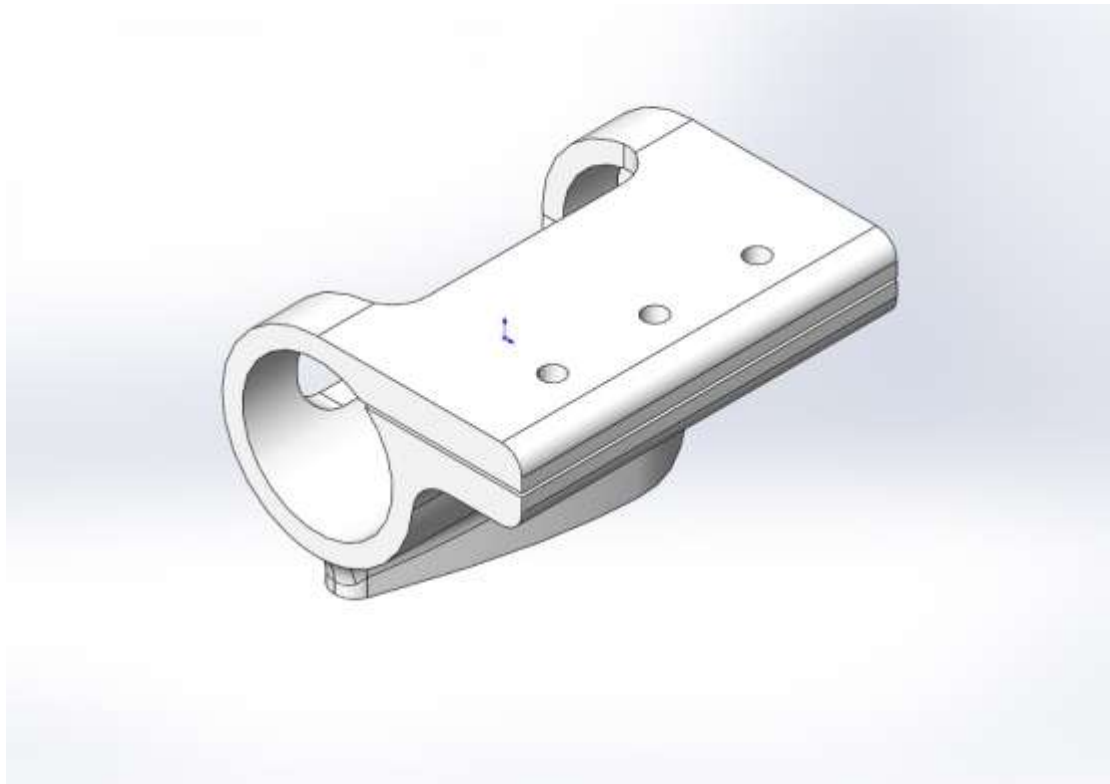
Αρχικά για να υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του ύψους των αεροδυναμικών επεκτάσεων χρησιμοποιούνται αποστάτες (riser parts) , οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλον στις κάθετες υποδοχές που ήδη υπάρχουν στο βασικό σώμα της αερόμπαρας σε συνδυασμούς υψών 5,10 και 20mm .



Εικόνα 81. Αποστάτης ρύθμισης ύψους

Οι αποστάτες καθώς και οι υποδοχές τους στο τιμόνι μας έχουν επίσης διατομή Naca 4 digit modified

Εφόσον επιτύχουμε το επιθυμητό ύψος προσαρμόζεται το κολάρο που θα συγκρατεί τις επεκτάσεις αλλά και το στήριγμα του χεριού (arm pad), στο οποίο εν συνεχεία προσαρμόζεται μαξιλαράκι



Εικόνα 82. Κολάρο στήριξης αεροδυναμικών επεκτάσεων και στηρίγματος χεριού

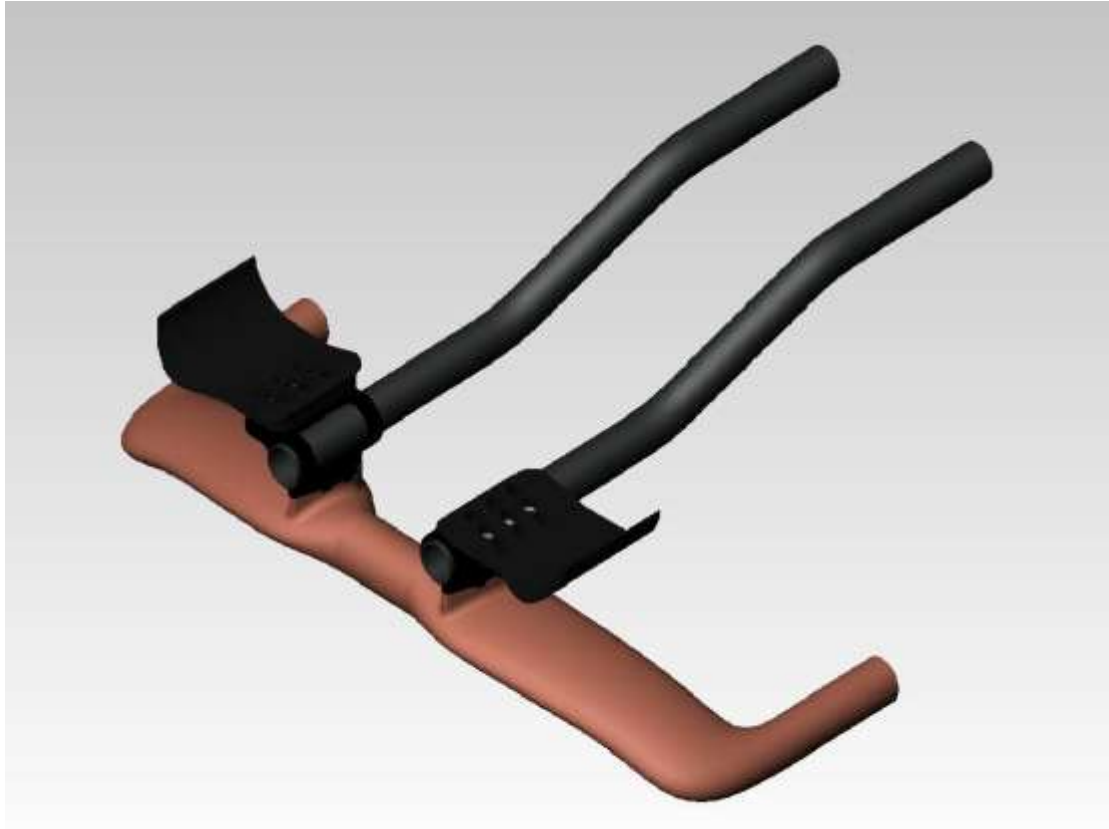


Εικόνα 83. Στήριγμα χεριού

Υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης του στηρίγματος μπρος πίσω με τρεις επιλογές θέσεων

Το κολάρο είναι μεταλλικό κομμάτι και το στήριγμα συνήθως είναι από πλαστικό. Σε μια πρώτη εξέλιξη θα μπορούσαμε να σχεδιάσουμε και να κατασκευάσουμε από carbon τουλάχιστον το στήριγμα χεριού.

Η αερόμπαρα συναρμολογημένη με όλα τα περιφερειακά της λοιπόν θα έχει περίπου αυτή την μορφή



Εικόνα 84. Αερόμπαρα συναρμολογημένη. Βασικό στέλεχος, αποστάτες ρύθμισης ύψους, κολάρο στήριξης, αεροδυναμικές επεκτάσεις, στήριγμα χεριού

11. Επίλογος

Από την μελέτη υπολογιστικής ρευστομηχανικής καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το κεντρικό κυκλικό τμήμα της αερόμπαρας, στο σημείο ένωσης με τον λαιμό δημιουργεί προβλήματα στην ροή. Σαν βήμα εξέλιξης λοιπόν σε ένα πιο εξεζητημένο προϊόν θα προτείναμε τον επανασχεδιασμό του προϊόντος μας με ενσωματωμένο λαιμό.

Η επιφάνεια του πρωτοτύπου είναι πολύ καλή εκτός από τα σημεία που θα προσαρμοστούν οι αποστάτες. Οι κάθετες αναμονές για τους αποστάτες ρύθμισης ύψους δεν έχουν τέλεια επιφάνεια στο άνω μέρος. Έχει εμφανιστεί το λεγόμενο bridge. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι χρειάζεται μεγαλύτερη άσκηση πίεσης κατά την διάρκεια του χειρωνακτικού lay up στις γωνίες και αφετέρου στο ότι η σακούλα δεν άνοιξε τέλεια στις δύο αυτές περιοχές, γεγονός όμως που αναμενόταν λόγω της δύσκολης γεωμετρίας. Η ατέλεια αυτή δεν δημιουργεί κάποιο δομικό πρόβλημα καθώς ούτως ή άλλως το άνω μέρος των αναμονών θα αφαιρεθεί και θα αντικατασταθεί με αλουμίνιο για να στηριχθούν οι αποστάτες και το κολάρο.

Το ξεκαλούπωμα αποδείχτηκε αρκετά δύσκολο οπότε στο μέλλον ενδεχομένως θα προστεθούν εξολκείς.

Οι προσομοιώσεις CFD ιδεατά θα έπρεπε να γίνουν σε εύρος 360° ανα 1° . Αυτό ήταν ανέφικτο στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεδομένου ότι η κάθε προσομοίωση διαρκούσε τουλάχιστον μία ώρα.

Επόμενα βήματα στην εξέλιξη του ήδη υπάρχοντος προϊόντος είναι η δημιουργία στηρίγματος χειριού και κολάρου από carbon που θα πωλούνται σαν αξεσουάρ.

Σαν συμπέρασμα από την εργασία αυτή και από την ενδελεχή μελέτη του ανταγωνισμού που προηγήθηκε είναι ότι έγινε εφικτή η δημιουργία ενός αεροδυναμικού τιμονιού που θα διατίθεται στην αγορά σε πολύ ανταγωνιστική τιμή,

12.Βιβλιογραφία

<http://www.torayca.com>

<http://www.advanced-composites.co.uk>

Advanced Composites Group. An Introduction to Advanced Composites and Prepreg Technology

Advanced Composites Group, General Product Selector Guide

<http://www.bikesportmichigan.com>

<http://predatorcycling.com/bike-fitting/the-legacy-of-the-aerobar/>

<http://en.wikipedia.org/>

<http://www.mh-aerotools.de/airfoils/javafoil.htm>

http://www.performancecomposites.com/carbonfibre/mechanicalproperties_2.asp

Εισαγωγή στις Εργαλειομηχανές CNC , Σημειώσεις μαθήματος CAM και Εφαρμογές ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού

“Optimization of the wet lay-up/vacuum bag process for the fabrication of carbon fibre epoxy composites with high fibre fraction and low void content”. LG Stringer

“Development of an individually customizable integral carbon aerobar based on sEMG measurements of the upper limbs”. Wolfgang Wurnitsch, Marc Siebert, Stefan Litzberger, Anton Sabo

“CFD simulations of the aerodynamic drag of two drafting cyclists” Bert Blocken, Thijs Defraeye, Erwin Koninckx, Jan Carmeliet, Peter Hespel.

EUROPEAN STANDARD EN 14781 November 2005, Racing Bicycles-Safety requirements and test methods. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

“Σχεδιασμός και κατασκευή ανθρακονημάτινου τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου”. Μάρκος Κατσίπης. Διπλωματική εργασία

“Bicycle Frame Shape and the effect on performance”. Thesis, University of Arkansas by Connor Mc Williams

Composites Manufacturing. Materials, Product and Process Engineering, Sanjay K. Mazumdar

Fiber Reinforced Composites. Materials, Manufacturing and Design. P.K. Mallick

Manufacturing Processes for Advanced Composites.F.C. Cambell
Mechanics and Analysis of Composite Materials. Valery V. Vasiliev & Evgeny V. Morozov