



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Τεχνολογίας των Κατεργασιών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιομελέτη και κατασκευή τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου
δρόμου από σύνθετο ενισχυμένο με ανθρακονήματα (CFRP)

Design and manufacturing of a road riser handlebar for racing
bicycle from composite reinforced with carbon fiber (CFRP)

Μενέλαος -Ανάργυρος Αντωνίου

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημ. Μανωλάκος

Αθήνα Φεβρουάριος 2020

ΜΕΝΕΛΑΟΣ-ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΥ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Κατεργασιών

Copyright © Μενέλαος – Ανάργυρος Αντωνίου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος -All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται η παρούσα σημείωση. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα . Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη διατριβή εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Αφιερώνεται,
στους παππούδες μου Γιάννη και Μενέλαο
στους γονείς μου Αλέξανδρο και Μαρία,
και στον θείο μου Σταμάτη*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Καθηγητή και Διευθυντή του Τομέα Τεχνολογίας και Κατεργασιών κ. Δημήτριο Μανωλάκο για την εμπιστοσύνη του στην ανάθεση της διπλωματικής και την άκρως βοηθητική στάση του στα όποια προβλήματα κλήθηκα να αντιμετωπίσω καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας αλλά και πριν από αυτή.

Επίσης, στον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Αλέξανδρο Κιτσέλη για την στρατηγική καθοδήγηση, τις υποδείξεις καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε ώστε να βρίσκομαι στις εγκαταστάσεις της εταιρίας του.

Θερμές ευχαριστίες στην ομάδα του Gram Carbon, κυρίως Θεόδωρο Θεοδωρίδη και τον Αναστάσιο Μηλιώτη για τις κατασκευαστικές πληροφορίες που μου παρείχαν και για την τεχνική κατάρτιση που απέκτησα δίπλα τους, καθώς επίσης και την Χρυσανγή Νικολακέα για την υποστήριξη και τις συμβουλές της πάνω σε θέματα CAD, CAE .

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ σε κάποιους αθλητές και πελάτες του χώρου που δέχθηκαν να δοκιμάσουν κάποια πρωτότυπα και να πουν τη γνώμη τους έτσι ώστε το τιμόνι να γίνει όσο το δυνατόν πιο εργονομικό με πιο άνετο κράτημα.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και κυρίως την μητέρα μου, τον πατέρα μου και τον θείο μου, που καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου ήταν οι μεγαλύτεροι υποστηρικτές και συμπαραστάτες μου σε όλες τις εύκολες και τις δύσκολες στιγμές της φοιτητικής μου ζωής.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι ο σχεδιασμός, η μελέτη και η κατασκευή ενός ανθρακονημάτινου (cfpr =carbon fiber reinforced polymer) τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου σε έξι μεγέθη, (360 mm (XS), 380 mm (S), 400 mm (M), 420 mm (L), 440mm (XL), 460mm (XXL)), σε συνεργασία με την ελληνική εταιρία Gramcarbon. Τα ανθρακονημάτινα προϊόντα επικρατούν πλέον στην ποδηλατική αγορά λόγω της μεγάλης αντοχής τους, έναντι χαμηλού βάρους που προσφέρουν με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της ένδειξης του χρονομέτρου.

Πρωταρχικός στόχος ήταν η έρευνα της αγοράς και αν τυχόν υπάρχουν κάποια κενά, έτσι ώστε να σχεδιαστεί ένα νέο τιμόνι που να συνδυάζει χαρακτηριστικά από διάφορες κατηγορίες, σε συμφωνία όμως με τους κανονισμούς της παγκόσμιας ομοσπονδίας αγωνιστικής ποδηλασίας. Έτσι λοιπόν έπειτα από αρκετές δοκιμές και αλλαγές σε κάποια κριτήρια - στόχους της εταιρίας, στην οποία ολοκληρώθηκε η διπλωματική εργασία, καταλήξαμε σε ένα τελικό σχέδιο έτσι ώστε να καλύπτει όλες τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις. Ο σχεδιασμός έγινε με χρήση του SOLIDWORKS 17 σε πρώτο στάδιο, κατόπιν με το SIEMENS NX 18 και οι πρώτες εφαρμογές με πεπερασμένα στοιχεία για τη μελέτη, σε SOLIDWORKS 17 και κατόπιν με το SIEMENS NX 18. Ο γεωμετρικός σχεδιασμός ξεκίνησε λαμβάνοντας υπόψη κάποια ήδη υπάρχοντα μοντέλα τα οποία κυριαρχούσαν στην αγορά, με κάποιες ελλείψεις σύμφωνα με τα κριτήρια που είχαν τεθεί και συνεπώς ο σχεδιασμός έγινε εξ' αρχής.

Στη συνέχεια, το τιμόνι μοντελοποιήθηκε ως αλουμινένιο 7075 T6 και μέσω προσομοιώσεων βασισμένων στα αντίστοιχα τεστ που τίθενται πλέον από το **ISO 4210-5:2014**, παλιότερα από το **EN 14781 (EUROPEAN STANDARD NOVEMBER 2005)** διαπιστώθηκαν οι περιοχές με μέγιστες τάσεις καθώς και η κατανομή αυτών πάνω στο τιμόνι. Συνεπώς χρειάστηκαν να γίνουν κάποιες μικρο-αλλαγές ώστε να μην εμφανίζονται συγκεντρώσεις τάσεων έτσι ώστε στη συνέχεια να συνεχιστεί η μοντελοποίηση με τα cfpr υλικά (T300 πλεκτό, T700 μονοδιευθυντικό και M40J πλεκτό και HR40 μονοδιευθυντικό προεμποτισμένα).

Λαμβάνοντας τα ανωτέρω υπόψη, το τιμόνι μοντελοποιήθηκε ως ανθρακονημάτινο καθορίζοντας τη θέση και το μέγεθος κάθε στρώσης πάνω στο σχέδιο. Τα μοντέλα των τιμονιών έγιναν στο SIEMENS NX . Στη συνέχεια τα διάφορα μοντέλα εισήχθησαν στις προσομοιώσεις που προέκυψαν με βάση τα τεστ που προβλέπει το ISO και αξιολογήθηκε η καταλληλότητα κάθε πιθανής διαστρωμάτωσης.

Στην τελική φάση σχεδιάστηκαν τα καλούπια για ένα μέγεθος αρχικά (αυτό που η εταιρία θεωρούσε ως πιο εμπορικό) μιας και τα σχέδια ήταν παραμετρικά. Το ίδιο συνέβη και για τον υπολογισμό των τάσεων, των παραμορφώσεων κλπ. καθώς πρωταρχικός στόχος ήταν η ενασχόληση με όσο το δυνατόν περισσότερα θέματα. Τα καλούπια αυτά ελέγχθηκαν ως προς την πίεση που θα υφίστανται εσωτερικά και υπολογίστηκαν οι εσωτερικές διαστάσεις που θα πρέπει να έχουν λόγω θερμικής διαστολής μιας και η διαδικασία γίνεται μέσα σε φούρνο με 120° C και πίεση από 5-8 bar.

Στη συνέχεια επιλέχθηκε κατάλληλος αριθμός κοχλιών, κεντραριστικών πείρων, εξολκέων κλπ. έτσι ώστε να εφαρμόζουν σωστά τα διάφορα κομμάτια του καλουπιού και να προσφέρουν μέγιστη στεγανοποίηση.

Λέξεις κλειδιά: road riser handlebar, cfrp, σχεδιασμός, μελέτη, κατασκευή, μοντελοποιήσεις, iso standards, εργονομία, καλούπια, προτυποποίηση SIEMENS NX, SOLIDWORKS.

Abstract

The purpose of this thesis is to design, study and manufacture a carbon fiber (cfrp = carbon fiber reinforced polymer) racing bike steering wheel in six sizes (360 mm (XS), 380 mm (S), 400 mm (M), 420 mm (L), 440mm (XL), 460mm (XXL)), in collaboration with the Greek company Gramcarbon. Carbon fiber products are now prevalent in the bicycle market due to their high resistance to light weight and as a result minimize timer display.

The primary objective was market research and if there were any gaps, to design a new steering wheel that combines features from different categories in accordance with the rules of the World Racing Cycling Federation. So, after several tests and changes to some of the target criteria of the company where the thesis was completed, we came up with a final plan to meet all specifications and durability requirements. The design was made using the SOLIDWORKS 17 in first stage and then with SIEMENS NX 18. The first finite element applications for the study were computed in SOLIDWORKS 17 and then with SIEMENS NX 18. The geometric design started based on some existing models that dominated the market with some shortcomings according to the criteria set and so the design was made from scratch.

The steering wheel was then modeled as aluminum 7075 T6 and simulations based on the corresponding tests set by **ISO 4210-5:2014** as well as **EN 14781** (EUROPEAN STANDARD NOVEMBER 2005), identified the areas of maximum stress and their distribution on the steering wheel. Consequently, some minor changes were needed to avoid stress concentrations so that modeling with cfrp materials (T300 and M40J knitted and T700 and HR40 unidirectional pre-impregnated) would continue.

Taking into account the above, the steering wheel was modeled as carbon fiber specifying the position and size of each layer on the drawing. The handlebar's models were made in SIEMENS NX. Subsequently the various models were introduced in the simulations based on the tests provided by ISO and the suitability of each stratification was evaluated.

In the final phase, the molds were originally designed for one size (what the company considered to be the most commercial) since the designs were semi-parametric. These molds were tested for the internal pressure and the internal dimensions should be due to thermal expansion since the process is carried out in an oven at 120°C and a pressure of 5-8 bar. Then a suitable number of screws, centrifugal bolts, extractors, etc. were selected so that the various parts of the mold could be applied correctly and provided maximum sealing. Finally, the pressure circuit was also studied.

Keywords: road riser handlebar, cfrp, design, construction, modeling, iso standards, ergonomics, molds, SIEMENS NX, SOLIDWORKS.

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή-Θεωρητικό μέρος	1
1.1 Ορισμοί.....	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή	1
1.3 Υλικά στην κατασκευή ποδηλάτου	10
1.4 Σύνθετα Υλικά.....	12
1.4.1 Εισαγωγή.....	12
1.4.2 Ιστορική αναδρομή.....	13
1.4.3 Ταξινόμηση των συνθέτων υλικών	15
1.4.4 Πλεονεκτήματα συνθέτων υλικών.....	15
1.4.5 Είδη ινωδών σύνθετων	16
1.4.6 Ίνες άνθρακα	20
1.5 Αλουμίνιο	30
1.5.1 Σειρά κραμάτων 7000.....	30
1.5.2 Αλουμίνιο 7075 T651.....	31
1.6 CAD – CAM – CAE – CNC.....	32
1.6.1 CAD (Computer Aided Design).....	32
1.6.2 CAM (Computer Aided Manufacturing).....	32
1.6.3 CNC (Computer Numerical Control)	33
1.6.4 CAE (Computer Aided Engineering)	34
2. Σχεδιασμός.....	35
2.1. Σχεδιασμός βάση γεωμετρικών προδιαγραφών.....	36
2.2 Έρευνα αγοράς.....	38
2.3 Σχεδιασμός 2 ^{ου} τιμονιού και αλλαγή στρατηγικής	43
2.4 Σχεδιασμός τιμονιού στο NX.....	44
2.5 Προτυποποίηση προκρινόμενων λύσεων, 3d printing και δοκιμές	54
2.6 Δοκιμή τιμονιού με πεπερασμένα στοιχεία Τεστ Αντοχής.....	66
3. Προδιαγραφές κανονισμών ISO και EN.....	75
4. Διαστρωματώσεις βάση προδιαγραφών.....	87
4.1 Ονομασία, ιδιότητες υλικών, κριτήρια και συνθήκες ελέγχου.....	87
4.2 Δοκιμή διαστρωματώσεων για την έκδοση STD (Standard).....	91
4.3 Δοκιμή διαστρωματώσεων για την έκδοση SL (Superlight).....	101
4.4 Συγκριτικά βάρους και κόστους κατασκευής πρώτων δοκιμών.....	106
4.5 Έκδοση STD με νέους περιορισμούς, εύρεση διαστρωμάτωσης	108

4.6	Έκδοση SL με νέους περιορισμούς, εύρεση διαστρωμάτωσης	119
4.7	Συγκριτικά βάρους και κόστους κατασκευής δεύτερων εκδόσεων	127
4.8	Βελτίωση της κατασκευής αποδοτικότερη γεωμετρία.....	128
4.9	Κόπωση ανθρακονημάτων.....	134
4.10	Συγκεντρωτικός πίνακας για όλες τις τελικές δοκιμές.....	140
5.	Σχεδιασμός και μελέτη καλουπιού.....	141
5.1	Αρχικές προσεγγίσεις για τον σχεδιασμό και γεωμετρικές τεχνικές.....	141
5.2	Δεύτερη σχεδιαστική προσέγγιση του καλουπιού	147
5.3	Υπολογισμός φορτίων και αριθμού κοχλιών	149
5.4	3 ^η σχεδιαστική λύση κεντρικού καλουπιού, υπολογισμός δυνάμεων, ροπών . σύσφιξης και λοιπών χαρακτηριστικών	151
5.5	Ανάλυση κεντρικού καλουπιού με πεπερασμένα στοιχεία.....	155
5.6	Σχεδίαση καλουπιών drop	158
5.7	Ανάλυση καλουπιών drop με πεπερασμένα στοιχεία.....	162
	Επίλογος	168
	Παράρτημα Α.....	169
	Παράρτημα Β.....	185
	Βιβλιογραφία.....	198
	Ιστοσελίδες.....	199

1. Εισαγωγή-Θεωρητικό μέρος

1.1 Ορισμοί

Ορισμός: Ποδήλατο (δίκυκλο) ονομάζεται οποιοδήποτε μεταφορικό μέσο με δύο τροχούς που προωθείται αποκλειστικά ή κυρίως από την μυϊκή δύναμη του αναβάτη του, μέσω πεταλιών.

Αγωνιστικό ποδήλατο: ποδήλατο που έχει τιμόνι με πολλές λαβές, (ώστε να επιτρέπεται και μια αεροδυναμική θέση στον αναβάτη), σύστημα μετάδοσης πολλών ταχυτήτων, λάστιχο με πάχος μικρότερο των 28mm και βάρος μικρότερο από 10 kg για πλήρως συναρμολογημένο ποδήλατο.

Πλήρως συναρμολογημένο ποδήλατο: αυτό που έχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την χρήση που επιδιώκεται.

Οι ορισμοί αυτοί δόθηκαν από τον **EN 14781**. Αυτός ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός έχει σχέση με την ασφάλεια και τις 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 περισσότερο. Πλέον ισχύει ο **ISO 4210:2014** σε παγκόσμιο επίπεδο.

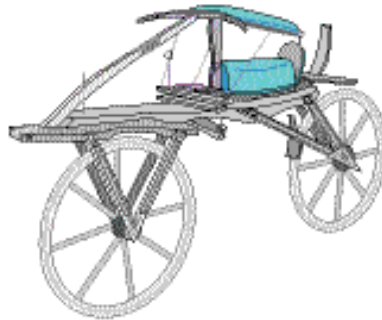
1.2 Ιστορική Αναδρομή

Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον σχετικά με το όνομα αυτού που βρίσκεται πίσω από την ανακάλυψη του ποδηλάτου. Πολλοί είναι εκείνοι που έχουν προσπαθήσει να πάρουν τα εύσημα της ανακάλυψης, πράγμα που έχει κάνει πολύπλοκη την εύρεση του πρώτου εφευρέτη του ποδηλάτου. Παρόλα αυτά ένα είναι βέβαιο, πολλοί άνθρωποι συνεισέφεραν στο να φτάσει το ποδήλατο στην μορφή που το γνωρίζουμε σήμερα. Ακολουθεί σύντομη ιστορική αναδρομή με τα πιο σημαντικά γεγονότα που οδήγησαν προς αυτή την κατεύθυνση.

1418- Ο Giovanni Fontana κατασκεύασε το πρώτο όχημα κινούμενο με την ανθρώπινη μυϊκή δύναμη, είχε τέσσερις ρόδες και η μετάδοση κίνησης γινόταν μέσω σχοινιού που συνέδεε τις ρόδες με γρανάζια.

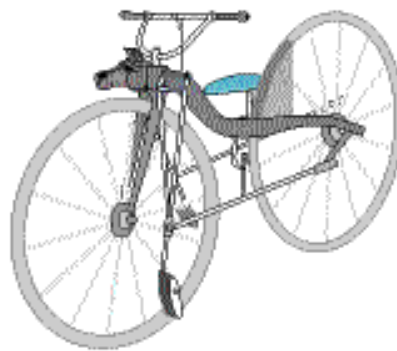
1493- Τα πρώτα σχέδια που έχουν βρεθεί και απεικονίζουν μια πρώιμη μορφή του ποδηλάτου ανήκουν στον εφευρέτη Leonardo da Vinci. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο ότι αμφισβητήθηκε έντονα η αυθεντικότητά τους. Αυτά είναι τα πρώτα ιστορικά στοιχεία που έχουν διατηρηθεί από την εποχή εκείνη, καθώς μέσα στην μεσαιωνική εποχή πολλά ιστορικά έγγραφα καταστράφηκαν σε ολόκληρο τον κόσμο με αποτέλεσμα την έλλειψη στοιχείων για διάφορες τεχνολογικές ανακαλύψεις.

1817- Εφευρέθηκε η οδηγούμενη Draisienne. Ο Γερμανός Βαρόνος Von Drais εφηύρε την Draisienne, ένα οδηγούμενο ποδήλατο, το οποίο σχεδόν ολόκληρο, ήταν φτιαγμένο από ξύλο, χωρίς πετάλια, ο αναβάτης του έδινε ώθηση σπρώχνοντας τα πόδια του στο έδαφος. Εκείνο τον καιρό το ρεκόρ ταχύτητας για αυτό το ποδήλατο ήταν 15 km/h. Χρησιμοποιήθηκε λίγο μέχρι τη δεκαετία του 1830. Το 1842, εξοπλίστηκε με συμπαγή λάστιχα από γόμα.



Εικόνα 1 Ποδήλατο Draisienne, [B7]

1839- MacMillan velocipede. Ήταν το πρώτο το οποίο δεν απαιτούσε τα πόδια στο έδαφος. Αυτό το δίτροχο όχημα σχεδιάστηκε από τον Kirkpatrick MacMillan, έναν Σκωτσέζο ξυλουργό. Ήταν το πρώτο ποδήλατο που επέτρεπε στον αναβάτη να το καβαλήσει χωρίς να αγγίζουν τα πόδια του στο έδαφος. Στην γενέτειρα του MacMillan, το Coathill στη Σκωτία, τα εκατοστά γενέθλια από την δημιουργία του MacMillan velocipede, γιορτάστηκαν το Σεπτέμβριο του 1946 με καθυστέρηση οχτώ χρόνων λόγω του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου, αλλά πρόσφατα η πραγματική ύπαρξη αυτού του ποδηλάτου τέθηκε υπό αμφιβολία.



Εικόνα 2 Ποδήλατο MacMillan velocipede, [B7]

1860- Michaux Velocipede. Η πρώτη μηχανή προς ανάβαση σε μαζική παραγωγή σχεδιάστηκε από τον Γάλλο Pierre Michaux ο οποίος ασχολείτο με τις επισκευές αλογάμαξων και την κατασκευή καρτσιών για μωρά. Έφτιαξε αυτό το σχέδιο όταν κάποιος του έφερε μία Draisienne για επισκευή. Όταν ο γιος του το καβάλησε και είχε δυσκολία με τα πόδια του στις κατηφόρες, ο Michaux είχε την ιδέα να ενώσει βραχίονες και πετάλια απευθείας πάνω στον τροχό σαν μέσο προώθησης.



Εικόνα 3 Ποδήλατο Michaux Velocipede, [B7]

1869- Το Phantom, με την κανονική οδήγησή του, εμφανίζεται. Ο Βρετανός Reynolds παρουσίασε το κανονικά-οδηγούμενο Phantom. Ήταν μία κατασκευή σταθμός με το ελαφρύ του μεταλλικό πλαίσιο, τους πρώτους τροχούς με διπλές ακτίνες, συμπαγή γομολάστιχα καρφωμένη σε ξύλινους τροχούς, και άλλες καινοτομίες.



Εικόνα 4 Ποδήλατο Phantom, [B7]

1870- Εμφανίζεται το ordinary ένα ποδήλατο με πολύ μεγάλη μπροστινή ρόδα που είχε σαν αποτέλεσμα να είναι πολύ πιο άνετο από τον προκάτοχο του. Τα πετάλια ήταν και πάλι συνδεδεμένα κατευθείαν στην μπροστινή ρόδα (fixed) όμως όσο μεγαλύτερη ήταν η ρόδα τόσο μεγαλύτερη ήταν η απόσταση που ο ποδηλάτης μπορούσε να καλύψει με μια περιστροφή της ρόδας. Ωστόσο λόγω της μεγάλης ρόδας υπήρχε το πρόβλημα ότι όταν χρειαζόταν για κάποιο λόγο ο αναβάτης να φρενάρει απότομα, τότε λόγω του υψηλού κέντρου βάρους το ποδήλατο περιστρεφόταν γύρω από τον άξονα της ρόδας με αποτέλεσμα ο αναβάτης να χτυπάει κατ' ευθείαν στο κεφάλι. Ακόμη υπήρχε πρόβλημα και με την ισορροπία του αναβάτη.



Εικόνα 5 Ποδήλατο Ordinary, [B7]

Επίσης το 1870 υπήρξε το πρώτο μοντέλο που καθόρισε τα χαρακτηριστικά του συνηθισμένου ποδηλάτου. Σε ένα εργοστάσιο ποδηλάτων στο Coventry της Αγγλίας, ο James Starley με τον William Hillman σχεδίασαν το Ariel, ένα κανονικό πρωτότυπο ποδήλατο το οποίο είχε τροχούς με στεφάνια και ακτίνες με ρυθμιζόμενη τάση. Το Ariel λέγεται να πήρε το όνομά του από ένα πειραχτήρι ξωτικό σε ένα έργο του Shakespeare.

Το ποδήλατο αυτό, το πρώτο με ολοκληρωτικά μεταλλική κατασκευή, ήταν ακόμα ελαφρύτερο από τους προγόνους του και ήταν το πρώτο μοντέλο που εφάρμοσε ένα κέντρο οδήγησης στο τιμόνι το οποίο χρησιμοποιείται και στα σημερινά ποδήλατα. Χάρη στον ρυθμιζόμενο άξονά του και ένα πλήθος νέων μηχανισμών - σταθμών, το Ariel έπιασε ταχύτητες ρεκόρ μεταξύ 23 και 24 km/h.

1876- Salvo η εμφάνιση ενός ποδηλάτου εύκολου προς ανάβαση. Το πρώτο τρίκυκλο σε μαζική παραγωγή παρήχθη από τον Coventry Lever, ήταν εφοδιασμένο με μοχλό ταχυτήτων φτιαγμένο από τον James Starley. Το τρίτροχο Salvo φτιαγμένο από τον Starley, εισήγαγε καινοτομίες όπως ελαφρύτερο πλαίσιο, τροχοί ακτινών και ένα τεχνολογικά προχωρημένο σύστημα αλυσίδας. Επίσης έδινε έμφαση στην απόδοση. Ειδικότερα, η χρήση ενός γραναζιού ισορροπίας, ή διπλού γραναζιού οδήγησης, επέτρεπε ομαλότερη κίνηση στις στροφές, αφού ο εξωτερικός τροχός ήταν σε θέση να περιστρέφεται πιο γρήγορα από τον εσωτερικό. Ήταν επίσης εφοδιασμένο με φως για νυχτερινές μετακινήσεις, και έγινε διάσημο γιατί ήταν πιο άνετο και πιο προσιτό από μία αλογάμαξα.

1877- Φτιάχτηκε μικρότερο για να ταιριάζει στο γιαπωνέζικο σώμα. Το δοκιμαστικά σχεδιασμένο boneshaker εμφανίστηκε περίπου το 1877. Το μεταλλικό πλαίσιο, το οποίο μάλλον κατασκευάστηκε από ξυλουργούς, βασίστηκε σε μικρότερη κλίμακα ώστε να ταιριάζει στο γιαπωνέζικο σώμα. Η διάμετρος του τροχού ήταν επίσης μικρότερη και φάνταζε πολύ μικρό μπροστά στο συνηθισμένο Michaux velocipede με τις πελώριες ρόδες του.



Εικόνα 6 Ειδική κατασκευή boneshker, [B7]

1878- Kangaroo. Κανονικό ποδήλατο που εφαρμόζει το πρώτο σύστημα ταχυτήτων και μικρή πίσω ρόδα. Το Kangaroo, με το πρώτο στον κόσμο σύστημα ταχυτήτων, πρόσθεσε φρένα στο κανονικό ποδήλατο το οποίο είχε αρχίσει να γίνεται επικίνδυνο λόγω της αυξανόμενης διαμέτρου της μπροστινής ρόδας, ώστε να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες ταχύτητες. Πατενταρισμένο από τους Otto και Wallace, αυτό το μοντέλο είχε ανεξάρτητη δεξιά και αριστερή αλυσίδα και ρουλεμάν, επιτρέποντας μεγάλες ταχύτητες ακόμα και με μικρότερη μπροστινή ρόδα.



Εικόνα 7 Ποδήλατο Kangaroo, [B7]

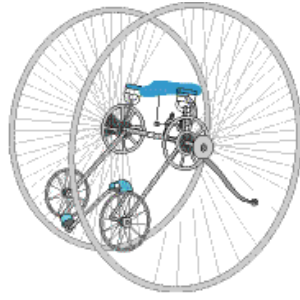
1879- Το Bayliss Thomas ήταν το πρότυπο ομορφιάς κανονικού ποδηλάτου και ήταν το πιο ολοκληρωμένο ποδήλατο του καιρού. Το Bayliss Thomas εισήγαγε ενεργά διάφορες νέες τεχνολογίες ώστε να είναι πιο άνετο και πιο γρήγορο. Με αυτό το μοντέλο, το κάποτε ενιαίο σιδερένιο πλαίσιο αντικαταστάθηκε από βασικό σωλήνα και πιρούνι. Αυτό το ποδήλατο εφάρμοσε τα λάστιχα στα στεφάνια και πέτυχε να ζυγίζει μόνο 22 kg με τη χρήση μισοδιάμετρων ακτινών, λαστιχένια πετάλια και άλλες ελαφριές καινοτομίες.

1879- Το πρώτο ποδήλατο προωθούμενο από τα πόδια με αλυσίδα στον πίσω τροχό. Το 1879, ο Άγγλος Harry John Lawson παρήγαγε το πρώτο ποδήλατο προωθούμενο από αλυσίδα στον πίσω τροχό. Τοποθέτησε τα πετάλια μεταξύ των δύο τροχών, και η κίνηση μεταδιδόταν μέσω αλυσίδας στον πίσω τροχό με μία αλυσίδα. Δεν πέρασαν πέντε χρόνια, οπότε και εμφανίστηκε το 1884 ένα μοντέλο, ονομαζόμενο Lawson Bicycleette, το οποίο είχε ξεπεράσει της δυσκολίες της πραγματικής χρήσης.



Εικόνα 8 Ποδήλατο Lawson Bicycleette, [B7]

1880- Dicycle. Κέρδισε δημοσιότητα αντικαθιστώντας τα σχέδια των δίκυκλων με των τρικύκλων. Το πιο πετυχημένο dicycle εφευρέθηκε από τον Άγγλο Otto κατά τη διάρκεια της ακμής του κανονικού ποδηλάτου το 1880. Οι δύο μεγάλοι τροχοί που ήταν τοποθετημένοι δίπλα δίπλα προωθούνταν με ένα δεξί και ένα αριστερό πεντάλ. Το όχημα επέτρεπε ομαλή στροφή χαλαρώνοντας το πετάλι από τη μεριά της στροφής ώστε ο εξωτερικός τροχός να γυρίζει γρηγορότερα. Συγκρινόμενο με το κανονικό ποδήλατο όπου ο αναβάτης ήταν ψηλότερα στον αέρα, το dicycle προσέφερε πιο σταθερή αίσθηση, τοποθετώντας τον αναβάτη μεταξύ των τροχών. Αυτή η υψηλή αίσθηση ασφάλειας το έκανε διάσημο σαν το ποδήλατο των καιρών. Μέχρι την εμφάνιση του dicycle, η Birmingham Small Arms Company (BSA) στην Αγγλία σχεδόν ακαριαία παρήγαγε 1,000 τέτοια ποδήλατα.



Εικόνα 9 Dicycle, [B7]

1885- Το Rover με τις ισομεγέθεις ρόδες, το πρωτότυπο για το σύγχρονο ποδήλατο. Ο John Kemp Starley, ένας ανιψιός του James Starley, του ανθρώπου που έφτιαξε το Ariel το 1870 και στη συνέχεια σχεδίασε μία σειρά ασφαλών ποδηλάτων, έφτιαξε το Rover με τις ισομεγέθεις ρόδες. Αυτό το ποδήλατο βελτίωνε την επίδοση των αγωνιστικών κανονικών ποδηλάτων, τα οποία είχαν φτάσει το όριο τους για ταχύτητα το 1884. Η σέλα, το τιμόνι και ο λαιμός ήταν καλά ισορροπημένοι, λογικά τοποθετημένοι και αυτό καθιέρωσε το σχήμα του ποδηλάτου όπως το ξέρουμε σήμερα. Δύο ή τρία χρόνια αργότερα, διάφορα ακόμα κομμάτια του ποδηλάτου όπως το υλικό του πλαισίου, λάστιχα, μεταβαλλόμενες ταχύτητες, σέλα και αλυσίδα έγιναν λειτουργικά με ραγδαίο ρυθμό.



Εικόνα 10 Ποδήλατο Rover, [B7]

1892-Δοκιμαστικό Ποδήλατο ασφαλείας. Το πρώτο ποδήλατο ασφαλείας που παράγεται στην Ιαπωνία. Αυτό είναι το ποδήλατο ασφαλείας που παρήχθη στο εργοστάσιο Miyata Gun Factory το 1892 από τον Eisuke Miyata, έναν ειδικό στα όπλα, υπάλληλο του Hitachi Kuni Kasama Clan. Ο Eisuke, ο οποίος είχε αμφιβολίες για το μέλλον της βιομηχανίας όπλων στην Ιαπωνία, παράγει δοκιμαστικά το πρώτο ποδήλατο ασφαλείας στην Ιαπωνία το 1892. Μπήκε στη διαδικασία σχεδιασμού ενός πειραματικού μοντέλου, όταν κάποιος του έφερε για επισκευή ένα ποδήλατο ασφαλείας. Ο σωλήνας για το πλαίσιο κατασκευάστηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που κατασκευάζονταν οι κάννες από τα όπλα. Εκτός από τα λάστιχα, όλο το υπόλοιπο ποδήλατο κατασκευάστηκε αποκλειστικά στο εργοστάσιο Miyata Gun Factory.



Εικόνα 11 Ποδηλατο ασφαλείας, [B7]

1928- Το καθημερινό ποδήλατο Fuji Hao που ήταν αντίγραφο του εγγλέζικου μοντέλου. Αυτό ήταν ένα ποδήλατο πολυτελείας που κατασκευάστηκε γύρω στο 1928 από τον Nichibeï Shoten. Στο 1905, Ο Hisajirou Okazaki, ο ιδρυτής του Nichibeï Shoten, είχε ήδη αναλάβει έναν μεγάλο αριθμό του Αγγλικής κατασκευής Radge, χάρη στις καλές φιλικές σχέσεις των δύο κρατών. Μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, το λογότυπο της Radge επέστρεψε στην Αγγλία και στη συνέχεια οι Ιάπωνες κατασκευαστές άρχισαν να κατασκευάζουν παρόμοια μοντέλα με το αγγλικό με το όνομα Fuji Hao. Η αλλαγή στην προτίμηση από αμερικάνικα σε αγγλικά ποδήλατα, δεν οφειλόταν μόνο στην συμμαχία της Ιαπωνίας με την Αγγλία, αλλά και στον μικρότερο σκελετό που ταίριαζε στους Ιάπωνες, ενώ ο αμερικάνικος ήταν μεγάλος για αυτούς.



Εικόνα 12 Ποδήλατο Fuji Hao, [B7]

1947- Το πλαίσιο κατασκευάζεται από αλουμίνιο που χρησιμοποιείται στα αεροπλάνα. Μόλις δύο χρόνια μετά το τέλος του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, ένας σχεδιαστής αεροπλάνων, παρήγαγε το Jujigo, ένα ποδήλατο με πλαίσιο αλουμινίου. Χρησιμοποιώντας αλουμίνιο πάχους 2 χιλιοστών το οποίο δεν χρησίμευε πλέον για αεροπλάνα, εμφανίστηκε με ένα πρωτοποριακό σχέδιο ποδηλάτου που χρησιμοποιούσε δύο πλαίσια-‘κουτιά’ δεμένα, τα οποία χρησιμοποιούνταν από κατασκευαστές πλοίων εκείνη την εποχή. Το πρώτο μοντέλο βασίστηκε σε ένα καθημερινό τύπο ποδηλάτου από την μεγάλη Βρετανία, αλλά από το δεύτερο μοντέλο, άρχισαν να βασίζονται το Jujigo σε αθλητικά ποδήλατα, και συνεχίστηκε να παράγεται μέχρι και τέταρτο μοντέλο. Το Jujigo χρησιμοποιήθηκε στους ποδηλατικούς αγώνες της εποχής και προξένησε μεγάλο ενδιαφέρον.



Εικόνα 13 Ποδήλατο Jujigo, [B7]

1948- Το Everest Racer. Συνδύασε μέρη από αθλητικά και άλλα ποδήλατα. Η TSUCHIYA MFG. CO., η οποία κατασκεύαζε αγωνιστικά ποδήλατα πριν τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ξεκίνησε πλήρη παραγωγή τέτοιων ποδηλάτων τον Νοέμβριο του 1948, όταν ο πρώτος ποδηλατικός αγώνας έγινε στο στάδιο Kokura στην Ιαπωνία.

Λέγεται ότι επειδή ήταν δύσκολο να βρεθούν εξαρτήματα από ποδήλατα αγωνιστικά πίστας, ήταν σύνηθες να χρησιμοποιούνται εξαρτήματα από αθλητικά και άλλου είδους ποδήλατα.



Εικόνα 14 Ποδήλατο Everest Racer, [B7]

1950- Ο Tullio Campagnolo εισάγει την αλλαγή σχέσεων στην μετάδοση κίνησης μέσω του derailleur που λειτουργούσε με ντίζα.

1956- Smart Lady. Πωλείτο στους καταναλωτές βάση σχεδίου μηνιαίας εξόφλησης. Αυτό ήταν το πρώτο ποδήλατο που πουλήθηκε με σχέδιο μηνιαίας χρηματοδότησης. Το 1956, τα ποδήλατα εθεωρούντο ακόμα είδος πολυτελείας και με μία τιμή στα 10,000 γιεν τότε, ήταν κάτι που δεν μπορούσε να έχει ο μέσος πολίτης. Παρόλα αυτά, επιτρέποντας αυτά τα ποδήλατα να χρηματοδοτηθούν σε μηνιαία βάση, οι πωλήσεις του Smart Lady ήταν πολύ επιτυχημένες, ιδίως ανάμεσα στις γυναίκες. Το Smart Lady αργότερα εξελίχθηκε στο καθιερωμένο ποδήλατο αναψυχής και το mini ποδήλατο.



Εικόνα 15 Ποδήλατο Smart Lady, [B7]

1965- Mini Ποδήλατο Μονοκόμματο πλαίσιο για άνδρες και γυναίκες. Αυτό είναι το γιαπωνέζικο mini ποδήλατο το οποίο λέγεται ότι εμφανίστηκε γύρω στο 1965 εξαιτίας της επιρροής του αγγλικού Moulton. Είχε μονοκόμματο πλαίσιο για άνδρες και γυναίκες φτιαγμένο για εύκολη ανάβαση και ήταν φτηνό. Αυτοί οι παράγοντες βοήθησαν την μεγάλη ζήτηση από γυναίκες και σχεδόν αμέσως, οι δρόμοι γέμισαν με τέτοια ποδήλατα. Εκείνο τον καιρό, τα ποδήλατα είχαν τροχούς 16" και 18", αλλά αργότερα οι τροχοί μεγάλωσαν σε 20", 22", και τελικά 24" λόγω των συνθηκών που επικρατούσαν στους γιαπωνέζικους δρόμους.



Εικόνα 16 Mini Ποδήλατο, [B7]

1984- Η εισαγωγή επιπλέον γραναζιών στον πίσω άξονα αυξάνοντας τις διαθέσιμες σχέσεις έως και 24.

1990- Ξεκινάει η χρήση των μανετών από την Shimano.

1994- Εισάγονται τα δισκόφρενα αντί των κλασσικών δαγκανών.

2017- Σημειώνεται νέο παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας με ποδήλατο (227,72 km/h) από τον Eric Barone σε κατάβαση πλαγιάς με χιόνι.



Εικόνα 17 Eric Barone παγκοσμιο ρεκόρ ταχύτητας σε κατάβαση πλαγιάς με χιόνι, [B6]

2018- Νέο παγκόσμιο ρεκόρ από γυναίκα οδηγό Denise Mueller Korene (296,006 km/h) με ειδικό ποδήλατο το οποίο ήταν ρυμουλκούμενο από αγωνιστικό αυτοκίνητο και η αναβάτης του ποδηλάτου ξεκίνησε το πετάλι μετά τα 160 km/h μέσα σε ένα ειδικά διαμορφωμένο κλωβό ώστε να μην δέχεται αεροδυναμικές αντιστάσεις.



Εικόνα 18, 19 Denise Mueller, [B6]

1.3 Υλικά στην κατασκευή ποδηλάτου

Κατά το παρελθόν είχαν δοκιμαστεί διάφορα υλικά για την κατασκευή ενός ποδηλάτου. Στην αρχή όπως αναφέρθηκε και στην ιστορική αναδρομή το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ξύλο. Ο λόγος είναι πως το ξύλο μπορούσε πολύ πιο εύκολα να κατεργαστεί και να μορφοποιηθεί και επίσης έδινε την δυνατότητα σε πολλούς ανθρώπους να ασχοληθούν, να πειραματιστούν και να προκύψουν πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα με την πάροδο του χρόνου, πράγμα που βοήθησε στην εξέλιξη και στην διαμόρφωση της τελικής μορφής του ποδηλάτου που γνωρίζουμε μέχρι και σήμερα. Για πολλά χρόνια στην ποδηλατική βιομηχανία κυριαρχούσε το σίδηρο. Ο λόγος είναι ότι ήταν φτηνό υπήρχε σε μεγάλη αφθονία και ήταν εύκολο στην συναρμολόγηση και στις συγκολλήσεις. Στη συνέχεια όμως ξεκίνησε να αντικαθίσταται σε μεγάλο βαθμό από το αλουμίνιο εξαιτίας του μικρότερου βάρους του. Το πρόβλημα όμως του αλουμινίου έναντι του σιδήρου είναι η μεγάλη και εύκολη σχετικά παραμόρφωση που υφίσταται. Αυτό είχε ως συνέπεια την έντονη αλλαγή του σχήματος και συγκεκριμένα των διατομών των επιμέρους κομματιών του σκελετού με σκοπό την αύξηση της ακαμψίας τους. Έτσι λοιπόν βάση της μηχανικής έπρεπε οι διατομές να γίνουν πιο μεγάλες ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ροπή αδράνειας I .



Εικόνα 20 Μεταλλικό ποδήλατο. [B5]



Εικόνα 21 Αλουμινένιου ποδηλάτου εκτός δρόμου downhill, [B13]

Στη σύγχρονη εποχή πλέον, η τελευταία λέξη της τεχνολογίας επιβάλλει την χρήση σύνθετων υλικών και πιο συγκεκριμένα ανθρακονήματα (cfrp). Αυτό το γεγονός έχει σαν αποτέλεσμα να φτιάχνονται πολύ πιο ελαφριά και πιο ανθεκτικά ποδήλατα σε σχέση με το παρελθόν. Για να υπάρχει όμως η μέγιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του ανθρακονήματος θα πρέπει το κάθε εξάρτημα να είναι monocoque δηλαδή να αποτελεί ένα ενιαίο τμήμα και όχι την συναρμολόγηση επιμέρους ενιαίων κομματιών. Αυτό βέβαια είναι και χρονοβόρο και κοστοβόρο για αυτό και σε μεγάλες μερίδες παραγωγής δεν προτιμάται. Όμως όταν η μέγιστη αξιοπιστία, δυσκαμψία και η ελαχιστοποίηση της ένδειξης του χρονομέτρου είναι επιτακτικές, τότε αυτή η τεχνική αποτελεί μονόδρομο.



Εικόνα 22 Ανθρακονημάτινο ποδήλατο της εταιρίας Gram (Gramcarbon), [B11]

1.4 Σύνθετα Υλικά

1.4.1 Εισαγωγή

Ορισμός (Agarwal-1990): Σύνθετα ονομάζονται τα υλικά, τα οποία μακροσκοπικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά ευδιάκριτα μέρη, που έχουν συγκεκριμένη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ τους.

Από γενική άποψη, ένα υλικό αποτελούμενο από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά ή φάσεις, μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύνθετο υλικό (composite material). Πιο ειδικά, σήμερα, ως σύνθετα αναγνωρίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία συντίθενται από επιμέρους υλικά με σημαντικά διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ τους, ενώ και το ίδιο το σύνθετο υλικό έχει επίσης σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των συστατικών του. Για να καταταχθεί ένα υλικό στην κατηγορία των σύνθετων, θα ακολουθείται ο εξής κανόνας: Το υλικό πρέπει να προκύπτει ως συνδυασμός συστατικών μερών, στα οποία οι ιδιότητες του ενός από τα μέρη αυτά να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από του άλλου (τουλάχιστον 5πλάσιες) και η κατ' όγκο περιεκτικότητα των ανθεκτικότερων υλικών να μην είναι πολύ μικρή (> 10 %).

Το ένα από τα συστατικά μέρη χαρακτηρίζεται ως συστατικό ενίσχυσης και προσδίδει στο σύνθετο υλικό βελτιωμένες κυρίως μηχανικές ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό καλείται μήτρα και είναι συνήθως χαμηλής πυκνότητας και εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης. Αν θεωρήσουμε οι τρεις κλασικές κατηγορίες υλικών καταλαμβάνουν τις κορυφές του τριγώνου εξέλιξης των υλικών, ο συνδυασμός ανά δύο των ομάδων αυτών οδηγεί σε οικογένειες νέων υλικών



Εικόνα 23 Οικογένειες σύνθετων υλικών, [A4]

1.4.2 Ιστορική αναδρομή

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα. Υλικά που συναντώνται εύκολα στη φύση (ξύλο, μαλλιά, καλάμια, πέτρα, πηλός, κόκκαλα) χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα από τον άνθρωπο, ο οποίος σύντομα έμαθε να βελτιώνει τις ιδιότητες τους ενισχύοντας τα υλικά αυτά με πρόσθετα συστατικά.

5000 π.χ. – Παρατηρείται για πρώτη φορά από τους Αιγύπτιους η ενίσχυση των τούβλων πηλού με πλέγμα αχύρων με σκοπό την μείωση των τάσεων συστολής που αναπτύσσονταν κατά την ξήρανση του πηλού. Επιπλέον οι Αιγύπτιοι παρατήρησαν ότι οι πλάκες από πολύστρωτες βέργες ξύλου σε διαφορετικές γωνίες παρουσίαζαν μεγαλύτερη αντοχή από το φυσικό ξύλο έναντι στρέβλωσης που οφειλόταν στην απορρόφηση υγρασίας.

2181-2055 π.χ. – Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούν στρώσεις λινού ή πάπυρο βουτηγμένο σε πηλό για να φτιάξουν μάσκες.

1000 π.χ. – Εφαρμόστηκε για πρώτη φορά η τεχνική του βερνικώματος από τους Μεσοποτάμιους. Το βερνίκωμα σκοπό είχε ως στόχο την βελτίωση της τραχύτητας μιας επιφάνειας πράγμα που οδηγούσε στον περιορισμό της επιφανειακής φθοράς.

Ρωμαίικα χρόνια – Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική κατά την οποία το οδόστρωμα ενισχύθηκε με μικρά θραύσματα (τρίμματα) κεραμικών υλικών όπως κεραμίδια, σπασμένα αγγεία τέχνης κ.α. .

1200 – Οι Μογγόλοι εφηύραν τα πρώτα σύνθετα τόξα φτιαγμένα από συνδυασμό ξύλου μπαμπού και κόκκαλα. Τα τόξα αυτά ήταν μικρά, αλλά ισχυρά και εξαιρετικά εύστοχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρέμειναν το πιο ισχυρό όπλο μέχρι και την χρήση των όπλων όπως τα γνωρίζουμε σήμερα.

1818 - Ο Βρετανός μηχανικός Ralph Dodd απέκτησε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την προσθήκη ράβδων σφυρήλατου σιδήρου στο σκυρόδεμα. Εισάγεται έτσι αρχικά η έννοια του οπλισμού στο σκυρόδεμα που διευρύνεται σύντομα με την χρήση σιδηροδοκών με σκυρόδεμα για κατασκευή δαπέδων (Francois Corignet, 1855) και σύρματος για την ενίσχυση γλαστρών από σκυρόδεμα (Joseph Monier 1850-1861), που αποτελεί και την πλέον εξελιγμένη μέχρι τότε μορφή οπλισμένου σκυροδέματος. Το 1902 ο August Rerrert κατασκεύασε στο Παρίσι πολυκατοικία με χρήση «συστήματος οπλισμένου σκυροδέματος» όπως το ονόμασε. Αυτή ήταν και η πρώτη εμφάνιση κτιρίου με φέροντα οργανισμό από υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες χωρίς φέρουσες τοιχοποιίες.

1920 – Κάνει την εμφάνιση του το πρώτο σύνθετο υλικό βασισμένο σε μήτρα πλαστικού και επρόκειτο για μίγμα ινιδίων ξύλου με φαινολική φορμαλδεΰδη, γνωστό ως βακελίτης.

1960 – Παρατηρείται η ανάπτυξη τις υψηλής αντοχής των ινών γυαλιού και των ινών βορίου. Η ανάπτυξη αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη σύνθετων υλικών με χρήση ινών.

1964 – Διατίθενται για πρώτη φορά στην αγορά οι ίνες άνθρακα, σε μικρές ποσότητες όμως, καθώς ήταν σε πειραματική μορφή ακόμα μέσα σε εργαστήρια.

1971 – Διατίθενται για πρώτη φορά στην αγορά ίνες αραμιδίου. Οι ίνες αυτές πλέον χρησιμοποιούνται κυρίως στα ελαστικά.

Τα τελευταία 35 χρόνια οι ενισχυτικές ίνες παρουσιάζουν διαρκή βελτίωση. Σε κάποιες περιπτώσεις η ειδική αντοχή και η ειδική δυσκαμψία έχουν φθάσει να είναι 10-14 φορές μεγαλύτερες από αυτές των τιμών του αλουμινίου. ^[A3]

Τα σύνθετα υλικά και κυρίως τα ενισχυμένα με ίνες χρησιμοποιούνται πλέον σε όλες τις κατασκευές με τεχνολογία αιχμής. Η μεγάλη ποικιλία ινών και ρητινών δίνουν την δυνατότητα στον κατασκευαστή να επιλέξει από μια μεγάλη ποικιλία υλικών την πιο κατάλληλη λύση για την εκάστοτε εφαρμογή ανάλογα με τις απαιτήσεις κόστους, βάρους, αντοχής και λοιπών κριτηρίων που θέτει κατά την σχεδίαση και μελέτη του.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθιστούν τα σύνθετα ως το ιδανικό κατασκευαστικό υλικό για μεγάλο πλήθος εφαρμογών είναι:

- Το μικρό βάρος
- Η υψηλή αντοχή
- Η εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση
- Η πολύ καλή συμπεριφορά σε κόπωση
- Υψηλή αντοχή σε κρούση
- Μεγάλη αντίσταση στην διάδοση ρωγμών

Μεταξύ των μειονεκτημάτων συγκαταλέγονται τα εξής:

- Απαίτηση πολλών δευτερευόντων μηχανημάτων και εργαλείων (φούρνοι, κυκλώματα πίεσης, μετρητικά όργανα πίεσης, θερμοκρασίας, καλούπια)
- Υψηλά επίπεδα ερπυσμού
- Μικρή αντίσταση σε μηχανική φθορά
- Ευαίσθητη συμπεριφορά σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος
- Υψηλό αρχικό κόστος
- Μικρότερες μερίδες παραγωγής

Τα παραπάνω μειονεκτήματα όμως αντιμετωπίζονται σταδιακά μέσω της συνεχούς τεχνολογικής ανάπτυξης στην παραγωγή νέων και καλύτερων ινών, ρητινών και της εξέλιξης των μεθόδων παραγωγής τους.

1.4.3 Ταξινόμηση των συνθέτων υλικών

Ανάλογα με την μορφή τους τα σύνθετα υλικά ταξινομούνται ως εξής:

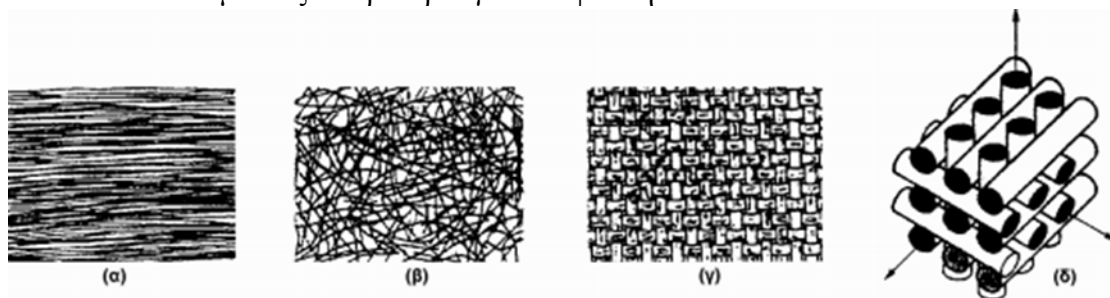
- Ινώδη σύνθετα (fibrous composites): Με ενίσχυση ινών εμποτισμένων σε υλικό μήτρας
- Στρωματικά σύνθετα (laminated composites): με επάλληλες στρώσεις υλικών
- Κοκκώδη σύνθετα (particulate composites): με ενίσχυση σωματιδίων διασκορπισμένων στο υλικό της μήτρας.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περαιτέρω με βάση τον προσανατολισμό και τη διάταξη των ινών μέσα στη μήτρα. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται σε:

- Μονοδιευθυντικά σύνθετα: οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση
- Πολυδιευθυντικά σύνθετα: οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις

Τα Πολυδιευθυντικά σύνθετα ταξινομούνται περαιτέρω βάση του προσανατολισμού των ινών ως εξής:

- Σύνθετα με ίνες τυχαίας διεύθυνσης
- Σύνθετα με ίνες πλεκτής ύφανσης
- Σύνθετα με ίνες σε τρισορθογώνια ύφανση



Εικόνα 24 Διάφορα σύνθετα υλικά, [A9]

Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν κυρίως τα ινώδη σύνθετα με ίνες άνθρακα και σε αυτές θα επεκταθούμε παρακάτω.

1.4.4 Πλεονεκτήματα συνθέτων υλικών

Τα σύνθετα υλικά προσθέτουν την δυνατότητα για βελτιστοποίηση κατασκευών. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι:

- Η χαμηλή πυκνότητα, η υψηλή αντοχή και το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας έχουν ως αποτέλεσμα να μπορούν να κατασκευάσουν γερές κατασκευές με χαμηλό βάρος.
- Οι ίνες σύνθετου μπορούν να έχουν την κατεύθυνση της βασικής καταπόνησης κάνοντας την κατασκευή αποδοτικότερη.
- Πολύ ανθεκτική σε διάβρωση και γενικά σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Βελτιωμένες ιδιότητες συντονισμού και απόσβεσης.
- Δυνατότητα χρήσης σε κατασκευές ασφαλείας απορρόφησης ενέργειας.
- Φθαρμένες κατασκευές μπορούν να επισκευαστούν ευκολότερα.

1.4.5 Είδη ινωδών σύνθετων

Ο πρωταρχικός ρόλος των ινών είναι να παρέχουν δύναμη και ακαμψία. Εν τούτοις, σαν σύνολο, οι ίνες υψηλής αντοχής είναι ψαθυρές, έχουν γραμμική σχέση τάσης – παραμόρφωσης με λίγη ή καθόλου διαρροή, επιδεικνύουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην αντοχή από τα μέταλλα.

Υαλονήματα

Οι ίνες υάλου (glass fibers) είναι οι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες εξαιτίας της καλής σχέσης μηχανικών ιδιοτήτων – χαμηλού κόστους. Το e-glass (“electrical” glass, «ηλεκτρικό» γυαλί) είναι η πιο κοινή ίνα υάλου και χρησιμοποιείται εκτενώς σε σύνθετα εμπορικά προϊόντα. Το e-glass είναι μια ίνα χαμηλού κόστους, υψηλής πυκνότητας, χαμηλού μέτρου ελαστικότητας, η οποία έχει καλή αντίσταση κατά της διάβρωσης και ευκολία στην μεταχείριση. Το s-2 glass (“structural” glass, «δομικό» γυαλί) αναπτύχθηκε ως ανταπόκριση στην ανάγκη για μια ίνα μεγαλύτερης αντοχής για δοχεία πίεσης και για συμπαγή κελύφη κινητήρων ρουκετών. Η τιμή της πυκνότητάς του, το επίπεδο απόδοσης και το κόστος κυμαίνονται μεταξύ των αντίστοιχών του e-glass και του άνθρακα. Οι ίνες από χαλαζία (quartz fiber) χρησιμοποιούνται σε πολλές ηλεκτρικές εφαρμογές εξαιτίας της χαμηλής διηλεκτρικής σταθεράς τους, εν τούτοις είναι πολύ ακριβές.



Εικόνα 25 Ίνες S-glass fibers, [A11]

Αραμίδιο

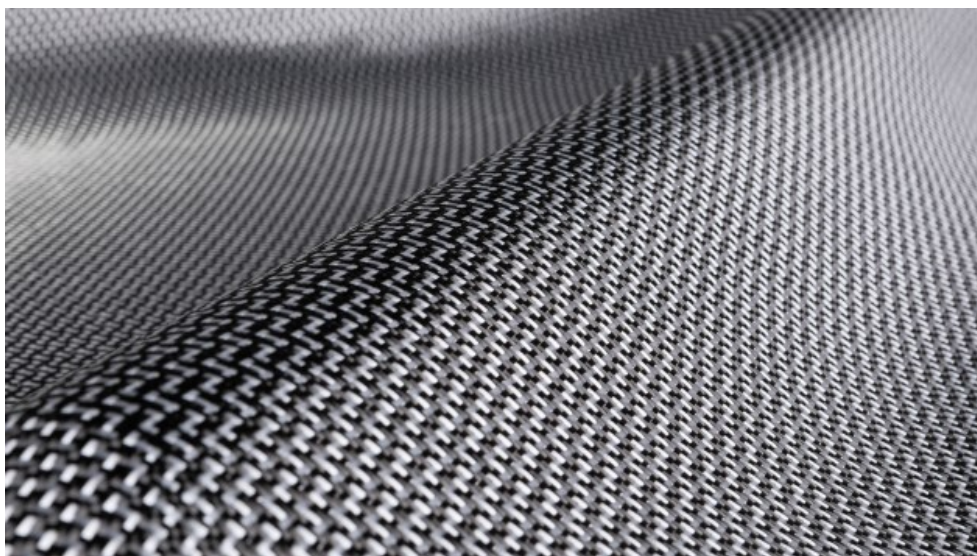
Οι ίνες αραμιδίου (aramid fiber), για παράδειγμα το Kevlar, είναι εξαιρετικά ανθεκτικές οργανικές ίνες με χαμηλή πυκνότητα και επιδεικνύουν εξαιρετική αντοχή στην καταπόνηση (damage tolerance). Παρόλο που έχουν υψηλή τάση εφελκυσμού, δεν έχουν καλή απόδοση στη θλίψη. Είναι επίσης ευαίσθητες στην υπεριώδη ακτινοβολία και η χρήση τους πρέπει να περιορίζεται σε μακροπρόθεσμη λειτουργία σε θερμοκρασίες κάτω από τους $350\text{ F}=449,82\text{ K}$.



Εικόνα 26 Ίνες αραμιδίου, [A11]

Dyneema

Είναι πολύ υψηλού μοριακού βάρους πολυαιθυλένιο. Χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή και χαμηλή πυκνότητα. Παρόλα αυτά έχει μικρή αντοχή στην θερμοκρασία και όπως το αραμίδιο χαμηλή αντοχή στην θλίψη.



Εικόνα 27 Ύφασμα από ίνες Dyneema, [A11]

Zylon

Οι ίνες Zylon έχουν ανώτερη αντοχή από τις ίνες αραμιδίου. Έχουν επίσης εξαιρετική αντοχή σε κρούση και υψηλή αντοχή σε θερμοκρασία. Οι αδυναμίες τους περιλαμβάνουν την φτωχή αντοχή σε θλίψη και στην υπέρυθη ακτινοβολία.

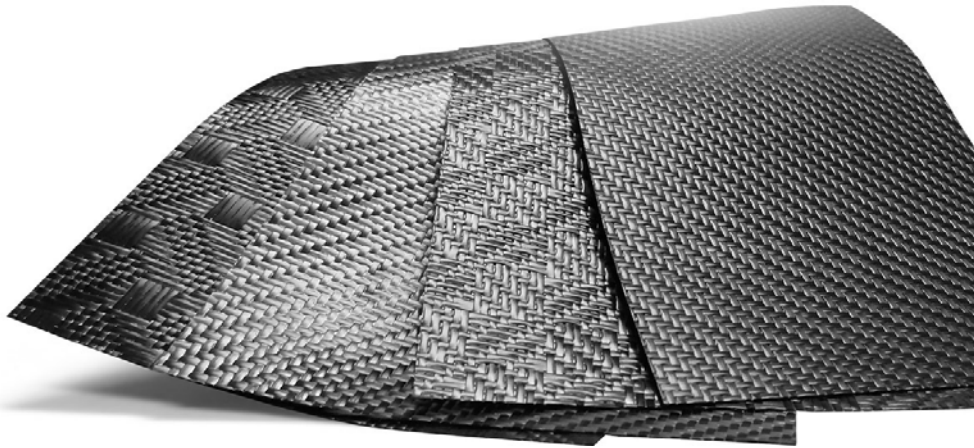


Εικόνα 28 Ίνες Zylon, [A11]

Ανθρακονήματα

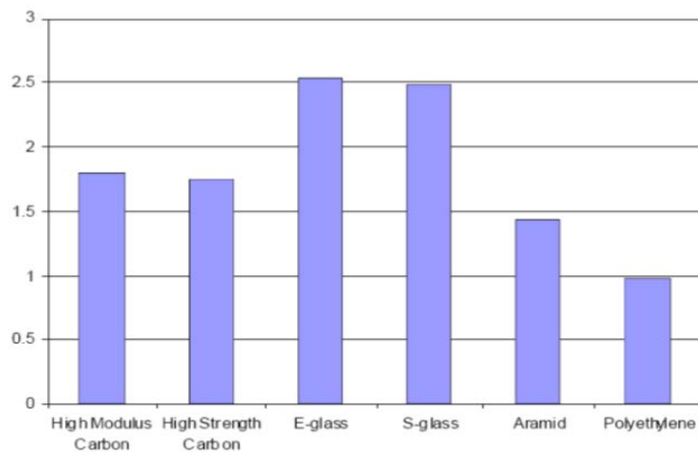
Οι ίνες άνθρακα (carbon fiber) περιέχουν τον καλύτερο συνδυασμό ιδιοτήτων αλλά είναι επίσης πιο ακριβές από το γυαλί και από το αραμίδιο. Έχουν χαμηλή πυκνότητα, χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής (CTE, coefficient of thermal expansion) και είναι αγωγιμες. Τα υλικά από ανθρακονήματα είναι κατασκευαστικά πολύ αποδοτικά και επιδεικνύουν εξαιρετική αντοχή στην κόπωση. Είναι επίσης ψαθυρά (κόπωση έως αστοχία (strain-to-failure) λιγότερο από 2%) και επιδεικνύουν χαμηλή αντίσταση σε κρούση. Όντας αγωγίμα, προκαλούν γαλβανική διάβρωση αν έρθουν σε άμεση επαφή με αλουμίνιο. Ανθρακονήματα είναι διαθέσιμα σε ευρύ πεδίο αντοχής (300-1000 ksi) και στιβαρότητας (μέτρο ελαστικότητας (30-145 msi). Τα ανθρακονήματα ταξινομούνται συχνά στις εξής κατηγορίες:

- Υψηλής αντοχής
- Ενδιαμέσου μέτρου ελαστικότητας
- Υψηλού μέτρου ελαστικότητας

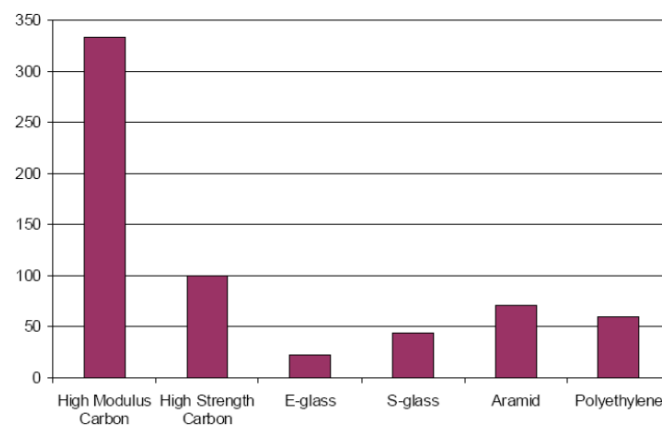


Εικόνα 29 Υφάσματα από ανθρακονήματα σε διαφορετικές πλέξεις, [A11]

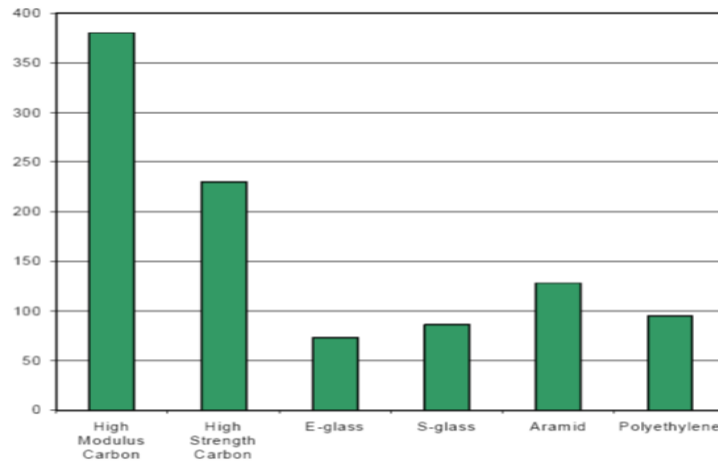
Οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή ίνας είναι: πυκνότητα, κόστος, αντοχή και ελαστικότητα. Στα επόμενα διαγράμματα (Διάγραμμα 1- Διάγραμμα 4,) συγκρίνονται οι διάφορες ίνες ανά παράγοντα.



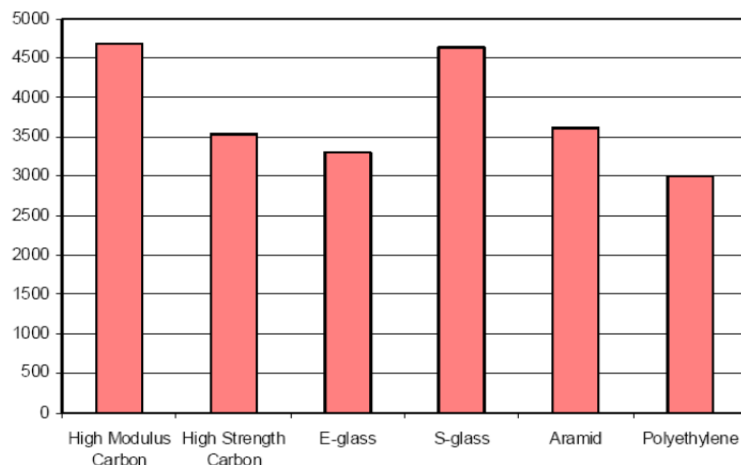
Διάγραμμα 1 Σχέση πυκνότητας ινών, [A12]



Διάγραμμα 2 Σχέση κόστους ινών, [A12]



Διάγραμμα 3 Σχέση μέτρου ελαστικότητας ινών, [A12]



Διάγραμμα 4 Σχέση ορίου αντοχής σε εφελκυσμό των ινών, [A12]

Στην παρούσα διπλωματική θα επικεντρωθούμε περισσότερο στις ίνες άνθρακα prepreg μιας και αυτές θα χρησιμοποιηθούν.

1.4.6 Ίνες άνθρακα

Πρώτη φορά έχει καταγραφεί η παραγωγή ινών άνθρακα από το 1960. Έκτοτε έχουν μελετηθεί εκτενώς μιας και οι μηχανικές τους ιδιότητες είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακές. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι παρουσιάζουν υψηλή αντοχή 3-7 GPa, υψηλό μέτρο ελαστικότητας 200-500 GPa, μέτρο διάτμησης 10-15 GPa και εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα 1.75-2 g/cm³.

Η προέλευση των ινών αυτών είναι από την πίσσα και μπορεί να παρουσιάζουν συντελεστές αγωγιμότητας αλλά και θερμικές και ηλεκτρικές αγωγιμότητες 900 GPa, 1000 W/mK και 106 S/m αντίστοιχα.

Οι ιδιότητες των ινών άνθρακα τις έχουν καταστήσει τις πιο πολυχρησιμοποιημένες στα σύνθετα υλικά. Όλο και περισσότερες βιομηχανίες στρέφονται στην χρήση τους και η τιμή τους διαρκώς μειώνεται.

1.4.6.1 Παραγωγή ινών άνθρακα

Περίπου το 90% των ινών άνθρακα που παράγονται προέρχονται από πολυακρυλονιτρίλιο (PAN). Το υπόλοιπο 10% προέρχεται κυρίως από ίνες τεχνητής μετάξας (rayon) και πίσσα, η οποία παράγεται από πετρέλαιο. Όλα αυτά τα υλικά είναι οργανικά πολυμερή που χαρακτηρίζονται από μακριές λωρίδες μορίων συνδεδεμένων με δεσμούς άνθρακα. Η ακριβής σύνθεση των ινών ποικίλει από εταιρία σε εταιρία και θεωρείται εμπορικό μυστικό.

Κατά την διάρκεια της παραγωγής μια ποικιλία από αέρια και υγρά χρησιμοποιούνται. Κάποια από αυτά χρησιμοποιούνται για να πετύχουν συγκεκριμένες αντιδράσεις με τις ίνες και να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Από την άλλη συμμετέχουν και επιπλέον συστατικά που αποτρέπουν μη επιθυμητές αντιδράσεις.

Η διαδικασία παραγωγής των ινών είναι εν μέρει χημική και εν μέρει μηχανική. Ο precursor τραβιέται και μετατρέπεται σε μακριούς κλώνους (ή ίνες) και στην συνέχεια θερμαίνεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία και απουσία οξυγόνου. Είναι σαφές ότι αυτό γίνεται προκειμένου να μην αναφλεγούν οι ίνες. Αντ' αυτού, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας εξαναγκάζονται σε έντονη ταλάντωση έως ότου όλα τα μόρια που δεν είναι άνθρακας να αποτιναχθούν. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ανθρακοποίηση και σαν αποτέλεσμα έχει να αφήνει μακριές λωρίδες από σφιχτούς δεσμούς μεταξύ των μορίων του άνθρακα.

Η τυπική ακολουθία των διεργασιών περιγράφεται παρακάτω:

- Διαδικασία νηματοποίησης-οξειδωσης για την παραγωγή ενός πρόδρομου σταδίου. Αυτό συμπεριλαμβάνει υγρό και στεγνό στροβιλισμό ακολουθούμενο από τέντωμα των ινών.
- Διαδικασία σταθεροποίησης της ίνας, η οποία την προστατεύει από πιθανή τήξη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών επεξεργασίας.
- Διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που καλείται ανθρακοποίηση με σκοπό την απομάκρυνση τυχόν προσμίξεων.
- Τέλος, η διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας που καλείται γραφίτιοποίηση και η οποία βελτιώνει τις ιδιότητες που έχει αποκτήσει η ίνα από την διαδικασία της ενανθράκωσης.

Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη των υψηλών μέτρων ελαστικότητας παίζει ο σωστός προσανατολισμός των γραφιτικών κρυστάλλων. ^[A11]



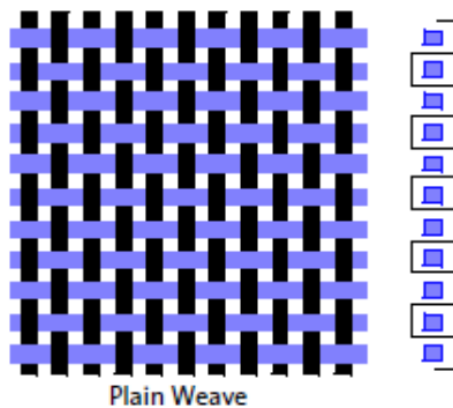
Εικόνα 30 Παραγωγή ινών άνθρακα, [B34]

1.4.6.2 Παραγωγή υφάσματος από ίνες άνθρακα

Οι ίνες ενίσχυσης του άνθρακα συνήθως είναι πλεγμένες σε υφάσματα. Υπάρχουν πολλά είδη υφάσματος που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία.

- Απλή ύφανση

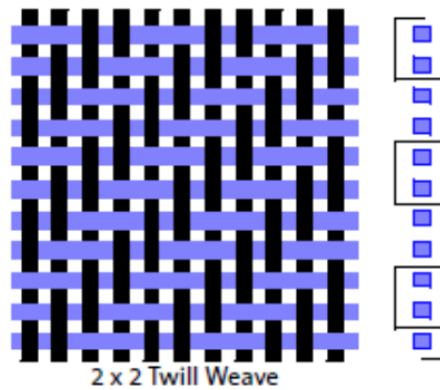
Οι ίνες πλέκονται με τα υφάδια κάθε φορά που τα συναντούν. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει ένα πολύ σταθερό ύφασμα, αλλά δύσκολο να ακολουθήσει τις απότομες αλλαγές της γεωμετρίας του καλουπιού. Τέτοιου είδους πλεκτά μοιάζουν με το μονοδιευθυντικό.



Εικόνα 31α Απλή ύφανση, [A11]

- Διαγώνια ύφανση

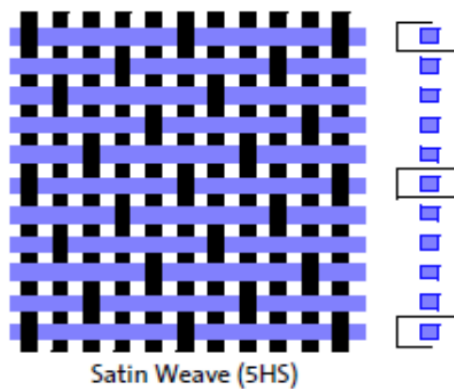
Οι ίνες περνούν πάνω και κάτω από κάποιον αριθμό ινών. Διαγώνια ύφανση είναι ένα ύφασμα του οποίου οι ίνες περνούν 2 δεσμίδες από πάνω και δυο δεσμίδες από κάτω. Αυτή η ύφανση χρησιμοποιείται σε πιο πολύπλοκες επιφάνειες.



Εικόνα 31β Διαγώνια ύφανση, [A11]

- Satin ύφανση

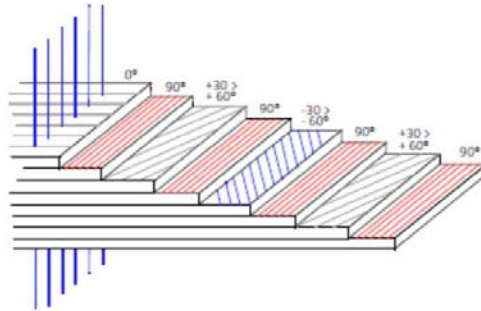
Οι ίνες περνούν πάνω από ένα αριθμό δεσμίδων αλλά κάτω από μόνο μια. Αυτή η πλέξη επιτρέπει πολύ πιο επίπεδο ύφασμα που εύκολα ακολουθεί περίπλοκες γεωμετρίες.



Εικόνα 32 Satin ύφανση, [A11]

- Πολυαξονικό επίπεδο ύφασμα

Ένα πολυαξονικό ύφασμα αποτελείται από μονοδιευθυντικά υφάσματα με διαφορετικές κατευθύνσεις ραμμένα κατάλληλα μεταξύ τους. Ωστόσο λόγω του αυξημένου του πάχους καθίσταται μη πρακτικό. Παρ' όλα αυτά μπορούν να ακολουθήσουν περίπλοκες επιφάνειες.



Εικόνα 33 Πολυαξονικό επίπεδο ύφασμα, [A11]

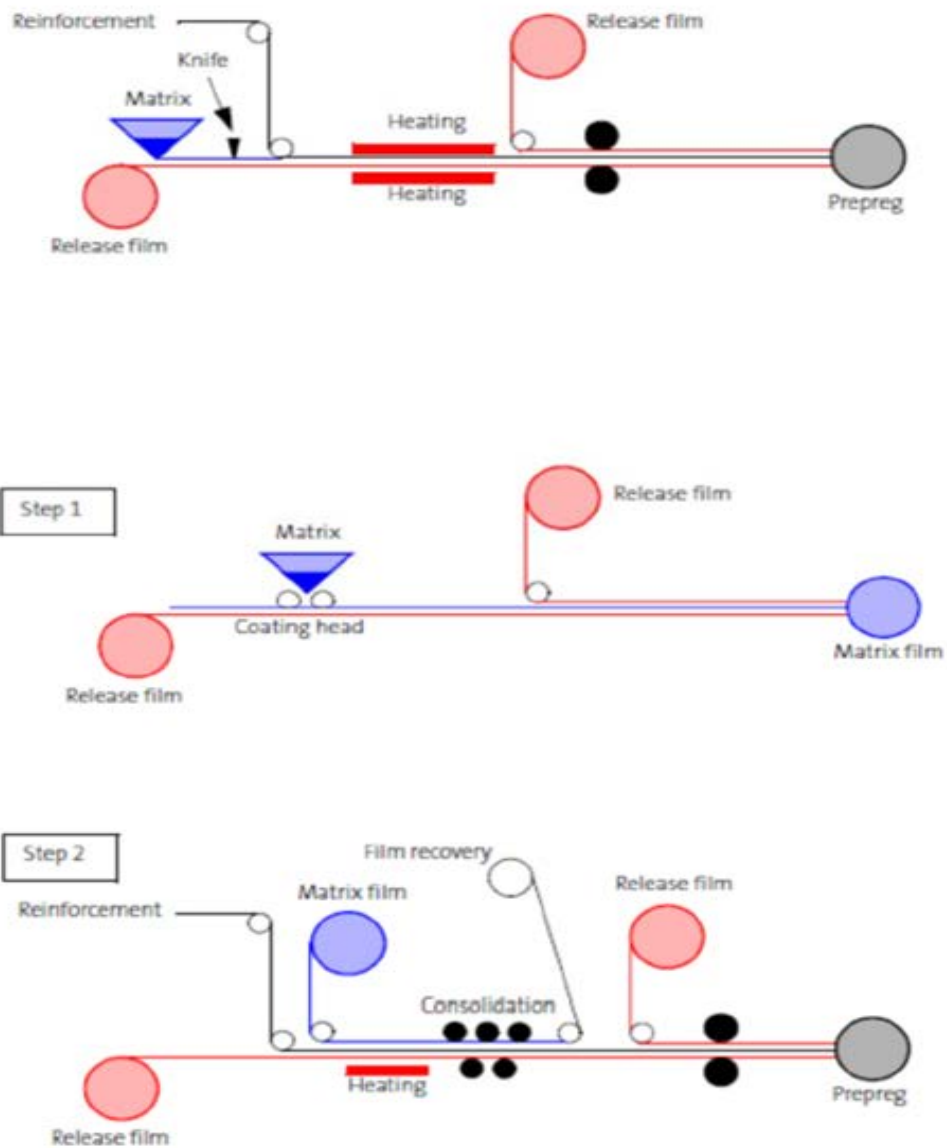
1.4.6.3 Εμποτισμός υφασμάτων με ρητίνη

Τα προ-εμποτισμένα (prepreg) υφάσματα τα οποία και χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο είναι εμποτισμένα με μια μήτρα εποξικής ρητίνης. Οι κύριες μορφές των προ-εμποτισμένων υφασμάτων είναι πλεκτά (woven) ή μονοδιευθυντικά (unidirectional).

Όσον αφορά στην παραγωγή του προ-εμποτισμένου υφάσματος υπάρχουν δυο μέθοδοι:

- Ένωση της ρητίνης και των ινών με θέρμανση.

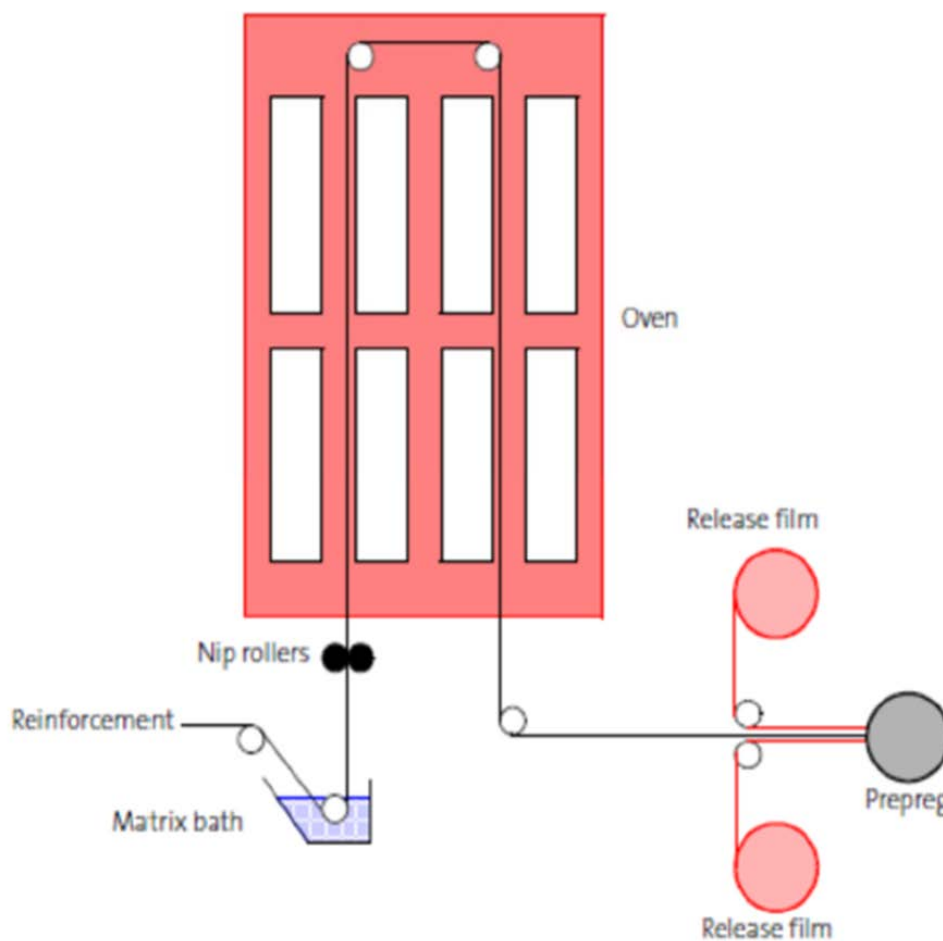
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να παραχθεί και μονοδιευθυντικό και πλεκτό ύφασμα. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο η ζεστή ρητίνη στρώνεται σε ένα φύλο με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα λεπτό φιλμ. Το φιλμ αυτό έρχεται σε επαφή με τις ίνες και μέσω ραούλων και θερμικών επεξεργασιών παίρνουν την τελική τους μορφή. Τέλος τυλίγονται γύρω από ράουλα (Εικόνα 34).



Εικόνα 34 Ένωση ρητίνης – ινών με θέρμανση, [A12]

- Ένωση της ρητίνης και των ινών σε λουτρό διαλύτη

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο για την παραγωγή του πλεκτού prepreg. Κατά αυτή την διαδικασία η ρητίνη είναι διαλυμένη σε ένα λουτρό διαλύτη, εκεί βυθίζεται το ύφασμα. Ο διαλύτης εξατμίζεται από το εμποτισμένο ύφασμα αφού περάσει μέσα από τον φούρνο (Εικόνα 35).



Εικόνα 35 Διαδικασία ένωσης ρητίνης – ινών σε λουτρό διαλύτη, [A12]

1.4.6.4 Κατασκευές με προ-εμποτισμένα

Η διαδικασία παραγωγής με προ-εμποτισμένα σύνθετα υλικά απαιτεί:

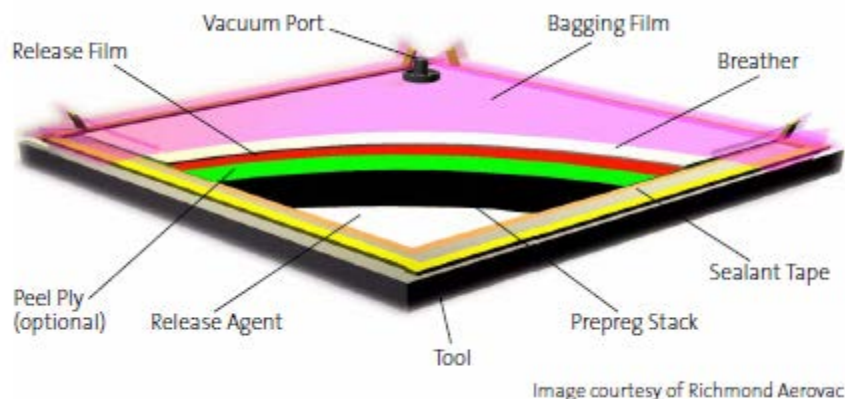
- Πίεση για να ενοποιήσει την διαστρωμάτωση
- Θερμοκρασία για να ξεκινήσει και να διατηρηθεί η θερμική διαδικασία σκλήρυνσης της ρητίνης.

1. Σακούλιασμα κενού

Η τεχνική πίεσης της διαστρωμάτωσης με την δημιουργία κενού είτε σε πίεση περιβάλλοντος είτε σε ελεγχόμενη πίεση χρησιμοποιείται για την ενοποίηση των στρώσεων και χρησιμοποιείται σε πολύ μεγάλο φάσμα εφαρμογών ακόμα και στην διαστημική βιομηχανία. Σε καλούπωμα ελεγχόμενων συνθηκών περιβάλλοντος η πίεση μπορεί να φθάσει τα 8 bar και γι' αυτό το αποτέλεσμα είναι πολύ καλύτερης ποιότητας.

Όμως το κόστος του φούρνου ελεγχόμενων συνθηκών είναι πολύ υψηλό και γι' αυτό είναι ακριβότερα και τα προϊόντα του. Η διαδικασία σακουλιάσματος κενού είναι η ίδια σε ελεγχόμενο και μη περιβάλλον πίεσης.

Αναλώσιμα διαδικασίας πίεσης με σακούλα κενού



Εικόνα 36 Σχηματική αναπαράσταση όλων των αναλώσιμων, [A12]

Υπάρχουν πολλά αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την τεχνική, το καθένα με το δικό του ρόλο. Κάποια είναι πάντα απαραίτητα και κάποια άλλα όχι.

- Αποκολλητικό: Επιτρέπει να αποκολληθεί το τελικό προϊόν από το καλούπι.
- Peel ply: Ελαφρύ ύφασμα (πολυεστέρα ή νάιλον) που εφαρμόζεται πάνω στην επιφάνεια του σύνθετου υλικού. Την προστατεύει από τα άλλα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία, όπως η κουβέρτα και αποκολλάται μετά την θερμική διαδικασία. Μπορεί να είναι εμποτισμένο ή όχι αλλά στην περίπτωση που δεν υπάρχει κίνδυνος να απορροφήσει πολύ ρητίνη από το σύνθετο υλικό και να προκαλέσει κοιλότητες κενού.
- Χρησιμοποιείται στις εξωτερικές διαστρωματώσεις όπου η επιφάνεια διαφυγής του αέρα ταυτίζεται με την εκτιθέμενη επιφάνεια του σύνθετου. Στην περίπτωση του κλειστού καλουπιού ο αέρας διαφεύγει μέσα από τους αρμούς του καλουπιού λόγω της πίεσης της εσωτερικής σακούλας και οδηγείται από την κουβέρτα που περιβάλλει το καλούπι και γι' αυτό δε χρησιμοποιείται εκεί.
- Release film: Επιτρέπει την διαφυγή του αέρα και παρεμποδίζει ως ένα βαθμό αυτήν της ρητίνης (διάτρητο φιλμ).
- Breather (Κουβέρτα): Επιτρέπει στον αέρα εντός της σακούλας να κινείται ελεύθερα ώστε να εξασφαλίσει ότι θα διαφύγει από το εσωτερικό της σακούλας κενό.

- Φιλμ σακούλας: Συνήθως αεροστεγές νάιλον υψηλής αντοχής σε πίεση και θερμοκρασία όπου μέσα του θα δημιουργηθεί το κενό.
- Sealant tape: Ταινία σφραγίσματος της σακούλας είτε με το καλούπι είτε με άλλη σακούλα.
- Επιπλέον έξοδοι αέρα: Λωρίδες από υαλόνημα εφαρμόζονται περιφερειακά της διαστρωμάτωσης για την βοήθεια της διαφυγής του αέρα.

2. Καλούπωμα πίεσης

Σε αυτήν την περίπτωση το προ-εμποτισμένο ύφασμα τοποθετείται σε ένα καλούπι ή έχει ήδη διαμορφωθεί σε ξεχωριστή διαδικασία για να τοποθετηθεί πολύ γρήγορα σε καλούπι. Τα καλούπια συνήθως κατασκευάζονται από κατεργασμένο ή/και χυτό μέταλλο και τα κομμάτια τους παράγονται ως αρσενικά ή/και ως θηλυκά. Η κοιλότητα που δημιουργείται όταν κλείσουν τα κομμάτια του καλουπιού καθορίζει το σχήμα του αντικειμένου που θα παραχθεί (στην περίπτωση του θηλυκού καλουπιού).

Το προεμποτισμένο σύνθετο είναι κολλημένο μέσα στο καλούπι και η ενοποίηση των στρωμάτων γίνεται με υδραυλική πίεση. Το καλούπι μπορεί να θερμανθεί απευθείας με ηλεκτρικές αντιστάσεις ενσωματωμένες σε αυτό ή με λάδι ή ατμό που μπορούν να οδηγηθούν μέσα από διαδρόμους εσωτερικούς του καλουπιού. Όταν κατασκευάζονται μικρά τεμάχια η θερμότητα που απαιτείται μπορεί να παρέχεται από θερμασμένες πλάκες πρέσας.

Οι θερμικοί κύκλοι σκλήρυνσης της ρητίνης μπορούν ελεγχθούν με μεγάλη ακρίβεια και μπορεί να επιτευχθεί μεγάλος βαθμός αυτοματοποίησης. Η διαδικασία παράγει προϊόντα υψηλής ποιότητας και ακρίβειας διαστάσεων. Λόγω του μεγάλου κόστους παραγωγής του καλουπιού, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μεγάλου όγκου παραγωγής.

3. Καλούπωμα σακούλας πίεσης

Μία εύκαμπτη σακούλα, συχνά από σιλικόνη, τοποθετείται εσωτερικά της κατασκευής και διογκώνεται για να παρέχει την απαραίτητη πίεση για την ενοποίηση των στρώσεων. Το αντικείμενο μπορεί να ψηθεί σε ένα φούρνο ενώ του ασκείται η πίεση. Αυτή η μέθοδος συχνά χρησιμοποιείται σε απλές διατομές όπως αυτές των σωλήνων, αλλά πρέπει να προσέξει κανείς ώστε το καλούπι να είναι αρκετά γερό για να αντέχει την εσωτερική πίεση χωρίς μεγάλες παραμορφώσεις. Αυτή είναι και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην δική μας περίπτωση.

4. Τοποθέτηση ινών/ περιέλιξη στρώσεων

Στην πιο απλή περίπτωση συνεχής στενή ταινία μονοδιευθυντική τυλίγεται σε έναν περιστρεφόμενο mandrel (ελαστικός ή μη πυρήνας -αρσενικό καλούπι) με μεγάλη ακρίβεια.

Η πίεση ενοποίησης των διαστρωματώσεων επιτυγχάνεται με το τύλιγμα υπό τάση των ινών στο mandrel. Με την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μπορούν να κατασκευασθούν και πολυπλοκότερα τεμάχια από αυτά με κυκλική διατομή.

5. Καλούπωμα θερμικής διαστολής

Το προεμποτισμένο ύφασμα τυλίγεται σε μπλοκ λάστιχου ή αφρού και μετά τοποθετείται σε καλούπι. Το συναρμολογημένο αυτό κομμάτι θερμαίνεται και καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία το καλούπι διαστέλλεται και πιέζει με μεγάλη δύναμη την διαστρωμάτωση. Αυτή η μέθοδος απαιτεί συνήθως μικρό κεφάλαιο για την αγορά του εξοπλισμού και μπορούν να παραχθούν πολύπλοκα σχήματα με έναν μόνο κύκλο θερμικής διαδικασίας σκλήρυνσης της ρητίνης μειώνοντας τον αριθμό των ενώσεων που σημαίνει ραγδαία μείωση του βάρους, αύξηση της αντοχής και μείωση του κόστους. Σημαντικές παράμετροι της διαδικασίας σκλήρυνσης της ρητίνης των προεμποτισμένων υφασμάτων

1.4.6.5 Εφαρμογές ανθρακονημάτων

Το ανθρακόνημα χρησιμοποιείται σήμερα για την κατασκευή μερών ποδηλάτων, μοτοσυκλετών, αυτοκινήτων, σκαφών, αεροπλάνων, διαστημοπλοίων, αναπηρικών αμαξιδίων, ακόμα και για τεράστιες κατασκευές όπως πολυώροφα κτήρια. Γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές εφαρμογές, όμως εξαιτίας του υψηλού κόστους τώρα αρχίζει να γίνεται προσιτό στο ευρύ καταναλωτικό κοινό. Ιδανικό είναι το ανθρακόνημα για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη επιτάχυνση είτε υπάρχουν πολλά περιστρεφόμενα μέρη είτε πολύ μεγάλη μετακινούμενη μάζα. Γενικά όπου θα βοηθούσε η μείωση του βάρους με διατήρηση της απαιτούμενης αντοχής (Εικόνα 37). Επίσης η ευχέρεια που προσφέρει η αρχική μορφή του ανθρακονήματος δίνει την δυνατότητα να δημιουργηθούν έξυπνες κατασκευές, οι οποίες θα έχουν το ελάχιστο βάρος που απαιτείται (με τον ανάλογο συντελεστή ασφαλείας), θα είναι στιβαρές εκεί που πρέπει, απορροφητικές στους κραδασμούς σε άλλα σημεία, αεροδυναμικές κ.τ.λ.



Εικόνα 37 Αγωνιστικό αυτοκίνητο F1 από ανθρακονήματα, [B34]

1.5 Αλουμίνιο

Το αργίλιο (Al) ή αλουμίνιο όπως είναι ευρέως γνωστό και η οικογένεια των κραμάτων του είναι σήμερα μετά το σίδηρο και το χάλυβα, τα σημαντικότερα βιομηχανικά μέταλλα και η χρήση τους διαρκώς επεκτείνεται. Είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο και είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της γης και συνολικά το τρίτο πιο άφθονο χημικό στοιχείο συνολικά στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Η σημερινή διάδοση του αλουμινίου είναι εύκολο να εξηγηθεί εάν ληφθούν υπόψη οι φυσικές ιδιότητές του. Πράγματι, το αλουμίνιο έχει το μικρότερο μετά το μαγνήσιο ειδικό βάρος από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα. Επίσης, η μηχανική αντοχή ορισμένων κραμάτων του φθάνει το όριο θραύσεως 70 kP/mm². Για τους λόγους αυτούς, η αντοχή ανά μονάδα βάρους ορισμένων κραμάτων είναι εντυπωσιακά υψηλή, κατάλληλη για εφαρμογές στις αεροπορικές και διαστημικές κατασκευές.

Επίσης, η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα του καθαρού αλουμινίου είναι πολύ υψηλή, μικρότερη μόνο από το χαλκό, τον άργυρο και το χρυσό. Η ανά μονάδα βάρους αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι η μεγαλύτερη από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην οξείδωση και στη διάβρωση, αν και αντιδρούν ισχυρά με το οξυγόνο. Αυτό οφείλεται στο οξείδιο του αλουμινίου που σχηματίζει ένα αδιαπέραστο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου και δεν επιτρέπει την περαιτέρω οξείδωση του. Στο οξείδιο αυτό οφείλεται και το μοναδικό ίσως μειονέκτημα που παρουσιάζει το αλουμίνιο και τα κράματά του, δηλαδή τη δύσκολη συγκόλληση τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίθετα, το αλουμίνιο και τα κράματά του προσφέρονται για όλους τους τύπους των μηχανουργικών κατεργασιών, χύτευση, κοπή, εξέλαση κλπ. Τα πλεονεκτήματά αυτά σε συνδυασμό με τα μεγάλα αποθέματα αλουμινίου που υπάρχουν το καθιστούν ισχυρό ανταγωνιστή του σιδήρου και του χάλυβα.

Οι ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του επηρεάζονται σημαντικά από τις μηχανικές και θερμικές κατεργασίες του. Ιδιαίτερη σημασία από μηχανουργικής άποψης έχουν οι εσωτερικές τάσεις που δημιουργούνται κατά τις μηχανουργικές κατεργασίες του υλικού. Οι τάσεις αυτές είναι σκόπιμο να απαλείφονται με αναθέρμανση του υλικού γιατί πολύ συχνά λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου προκαλούν με την πάροδο του χρόνου μεταβολή του σχήματος και των διαστάσεων ή ακόμα και εμφάνιση ρωγμών. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται στην καθαρή του μορφή με περιεκτικότητα 99% και άνω σε Al και κράμα με Si, Cu, Zn, Mn, Mg, Nik.α. [B8]

1.5.1 Σειρά κραμάτων 7000

Πρόκειται για κράματα Al – Zn – Mg και για κράματα Al – Zn – Mg – Cu. Αυτά, μετά από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες, παρουσιάζουν τις καλύτερες Μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου.

Το ποσοστό του Zn κυμαίνεται από 4 – 8% και αυτό του Mg από 1 – 3%. Η επιταχυνόμενη σκλήρυνση δομής οφείλεται κυρίως στην κατακρήμνιση της ένωσης MgZn₂. Προσθήκη χαλκού, σε ποσοστό μικρότερο του 2%, προκαλεί σκλήρυνση λόγω της δημιουργίας στερεού διαλύματος και κατακρήμνισης. Ωστόσο, η παρουσία χαλκού, μειώνει την εμβαπτότητα, τη συγκολλησιμότητα και τη δυσθραυστότητα των κραμάτων Al – Mg – Zn.

Παρουσία χρωμίου, σε ποσοστό μικρότερο του 0,3% βελτιώνει την αντοχή των κραμάτων αυτών σε διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση, ενώ η παρουσία Zn βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα τους. Τα κράματα της σειράς 7000 υποβάλλονται εύκολα σε θερμικές κατεργασίες, λόγω του μεγάλου θερμοκρασιακού εύρους της περιοχής ομογενοποίησης τους, της καλής τους εμβαπτότητας (ενίοτε η βαφή πραγματοποιείται στον αέρα) και των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών γήρανσης.

Λόγω του συνόλου των ιδιοτήτων αυτών, τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς 7000 δεν αλλοιώνονται κατά τη συγκόλληση τους. Ωστόσο, η συγκολλησιμότητα τους παραμένει μέτρια. Το κυριότερο μειονέκτημα των κραμάτων της σειράς αυτής είναι η μειωμένη αντοχή εν θερμώ, έτσι, η θερμοκρασία χρήσης τους παραμένει χαμηλή (έως 120°C). Τα κράματα του αλουμινίου της σειράς 7000 χρησιμοποιούνται, κυρίως, στην κατασκευή δομικών στοιχείων αεροσκαφών και τμημάτων κατασκευών που υφίστανται ισχυρή καταπόνηση, όπου απαιτούνται υψηλή μηχανική αντοχή και αντοχή σε διάβρωση. Αντιπροσωπευτικά κράματα είναι τα 7005, 7075, 7475 και 7150. Το εύρος αντοχής τους σε εφελκυσμό είναι 220 – 605 MPa. ^[B8]

1.5.2 Αλουμίνιο 7075 T651

Το σύμβολο T στην ονομασία των κραμάτων αλουμινίου σημαίνει πως το υλικό έχει υποστεί θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση. Αυτή είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε θερμικώς κατεργάσιμα χυτά και διαμορφωμένα κράματα και αποσκοπεί στην αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα με T6 συμβολίζεται η θερμική κατεργασία ομογενοποίησης σε συνδυασμό με τεχνητή γήρανση. Αναφέρεται σε προϊόντα τα οποία δεν επιδέχονται κατεργασίες ψυχρής διαμόρφωσης μετά από ομογενοποίηση και οι μηχανικές ιδιότητες τους βελτιώνονται σημαντικά με θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με κατακρήμνιση σε υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος (τεχνητή γήρανση). Κατά τη διαδικασία της *ομογενοποίησης* έχουμε θέρμανση του υλικού κοντά στη θερμοκρασία solidus. Με τη θέρμανση αυτή προσπαθούμε να επιτύχουμε τη διαλυτοποίηση των κραματικών στοιχείων στη μητρική φάση του αλουμινίου. Ένα υπέρκορο σε κραματικά στοιχεία στερεό διάλυμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της βαφής. Σκοπός της βαφής είναι η διατήρηση του υπέρκορου στερεού διαλύματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται με ταχεία ψύξη του κράματος σε κάποιο ψυκτικό μέσο όπως το νερό, το λάδι, το υγρό άζωτο κ.α. Ο ρυθμός ψύξης επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων καθώς και στην αντοχή τους στη διάβρωση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ψύξης αυξάνεται το όριο διαρροής σε κράματα τα οποία είναι ευαίσθητα στις αλλαγές του ρυθμού ψύξης όπως τα κράματα της σειράς 7000. Συγκεκριμένα στο κράμα 7075 για να επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή απαιτείται ρυθμός ψύξης 330°C/sec και άνω. Επίσης για μέγιστη αντοχή σε διάβρωση απαιτείται ρυθμός ψύξης ανώτερος από 280°C/sec.

Ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας με την κατά βάρος περιεκτικότητα των κραματικών στοιχείων του αλουμινίου **7075 T651** (Πίνακας1):

Υλικό: Περιεκτικότητα % κατά βάρος:	
Al	[87,1% – 91,4%]
Cr	[0,18% – 0,28%
Cu	[1,2% – 2%]
Fe	Μέγιστη 0,5%
Mg	[2,1% – 2,9%]
Mn	Μέγιστη 0,3%
Si	Μέγιστη 0,4%
Ti	Μέγιστη 0,2%
Zn	[5,1 – 6,1%]
Άλλο, έκαστο	Μέγιστη 0,05%
Άλλα, σύνολο	Μέγιστη 0,15%

Πίνακας 1 Περιεκτικότητα κράματος αλουμινίου 7075 651 σε διάφορα κραματικά στοιχεία, [B8]

1.6 CAD – CAM – CAE – CNC

1.6.1 CAD (Computer Aided Design)

Ο σχεδιασμός προϊόντος με την βοήθεια υπολογιστή (Computer - Aided - Design), έφερε επανάσταση στη μηχανολογία. Με την βοήθεια λογισμικών Cad μπορεί κανείς όχι μόνο να σχεδιάσει το προϊόν του και να παράγει τα απαραίτητα σχέδια για την κατασκευή του, αλλά και να το ελέγξει ως προς την αντοχή του στις αναμενόμενες καταπονήσεις, να ελέγξει τις όποιες ανοχές υπάρχουν, να κάνει δυναμική μελέτη, μελέτη μετάδοσης θερμότητας, μελέτη αεροδυναμικής και πολλές άλλες προσομοιώσεις και να καταλήξει σε κάποια βελτιστοποίηση γλιτώνοντας έτσι χρόνο και οικονομικούς πόρους. Από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά Cad στις μέρες μας είναι το AutoCAD, το Solidworks, το Parasolid, το NX και το Solidedge.

1.6.2 CAM (Computer Aided Manufacturing)

Cam ονομάζεται η κατασκευή με την βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing). Αυτή περιλαμβάνει πολλές επιμέρους διαδικασίες όπως τον προγραμματισμό PLC, συσκευών ελέγχου ποιότητας κ.α. αλλά κυρίως τον προγραμματισμό CNC μηχανών.

1.6.3 CNC (Computer Numerical Control)

Πρόκειται για έλεγχο μηχανών με την βοήθεια υπολογιστή (Computer Numerical Control). Μία εργαλειομηχανή για να θεωρείται CNC πρέπει να έχει ένα σερβοσύστημα που να την ελέγχει. Το σερβοσύστημα αποτελείται από τους επενεργητές, τα σερβομοτέρ δηλαδή, τους αισθητήρες που δίνουν αναφορά κατάστασης (π.χ. θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση του ελεγχόμενου σημείου), την μονάδα ελέγχου και το λογισμικό. Η βασική αρχή κάθε σερβοσυστήματος είναι η ανάδραση. Η ανάδραση (feedback) είναι η διαδικασία διόρθωσης της τρέχουσας τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής βάσει της επιθυμητής (δοσμένη). Την πραγματική τιμή της μεταβλητής την δίνουν οι αισθητήρες, συγκρίνεται από την μονάδα ελέγχου με την θεμιτή τιμή και αποφασίζεται από το λογισμικό ο τρόπος δράσης. Υπάρχουν τρεις τρόποι προγραμματισμού CNC εργαλειομηχανών. Ο πιο παλιός είναι η γραφή όλου του προγράμματος. Ο δεύτερος είναι ο προγραμματισμός με βάση προσωποποιημένες γεωμετρικές μορφές και ο τελευταίος τρόπος είναι η παραγωγή του επιθυμητού κώδικα πλήρως αυτοματοποιημένα από κατάλληλο λογισμικό όταν του δοθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του παραγόμενου προϊόντος. Ένα κέντρο κατεργασιών χαρακτηρίζεται από την διεύθυνση της ατράκτου του (κατακόρυφη, οριζόντια), τον αριθμό των ατράκτων του, τους άξονές του, τον τρόπο αλλαγής επεξεργαζόμενων τεμαχίων και τον τρόπο αποθήκευσης και αλλαγής των εργαλείων του.

Οι τρεις άξονες συνήθως είναι αρκετοί εκτός αν υπάρχουν γλυπτές επιφάνειες που τότε απαιτούνται παραπάνω (συνήθως πέντε).

Η CNC μηχανή μπορεί να εκτελέσει το πρόγραμμά της είτε ολόκληρο, είτε τμηματικά, είτε ανά εντολή. Σε περίπτωση επανάληψης μοτίβων υπάρχει δυνατότητα μετασχηματισμού του συστήματος συντεταγμένων, ώστε να απλοποιηθεί η διαδικασία του προγραμματισμού.

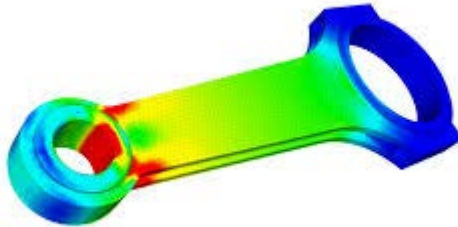
Για την απλοποίηση της αρχικοποίησης της διαδικασίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν συστήματα αυτόματου προσδιορισμού θέσης τεμαχίου. Τα συστήματα αυτά βοηθούν και στον έλεγχο της μηχανής. Έτσι διαπιστώνονται τακτικά σφάλματα και διορθώνονται. Άλλος ένας τρόπος απλοποίησης του προγραμματισμού είναι η αποθήκευση των χαρακτηριστικών των εργαλείων, για να είναι δυνατή η αντιστάθμιση του κοπτικού ώστε να μην χρειάζεται να παίρνει συνέχεια αναφορά η μηχανή. Επίσης ο χειριστής μπορεί ανά πάσα στιγμή να διακόψει τη διαδικασία αλλά και να επέμβει-τροποποιήσει τον κώδικα G. Πολλή προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί στη σωστή αρχικοποίησης της μηχανής, στο μηδενισμό, στον ορισμό του ύψους των εργαλείων κοπής κ.α. Καλή εποπτεία της επικείμενης κοπής δίνεται από την προσομοίωση της διαδικασίας σε γραφικό περιβάλλον.

Για την καλή λειτουργία του μηχανήματος και καλό παραγόμενο προϊόν πρέπει να υπάρχει εμφάνιση της κατάστασης της μηχανής στην οθόνη του χειριστή ώστε να προλαμβάνονται ατυχήματα ή προβλήματα στη παραγωγή. ^[A1]

1.6.4 CAE (Computer Aided Engineering)

Πρόκειται για μια αριθμητική μέθοδο για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Ουσιαστικά είναι η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα. Είναι προσεγγιστική μέθοδος αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημα είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ ιδίως σε μη γραμμικά φαινόμενα.

Ωστόσο χάρη στην ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας αυτό το πρόβλημα τείνει να ξεπεραστεί. Για να γίνει μια ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία (Εικόνα 38) πρέπει να εισαχθεί η γεωμετρία του μοντέλου σε μορφή cad.

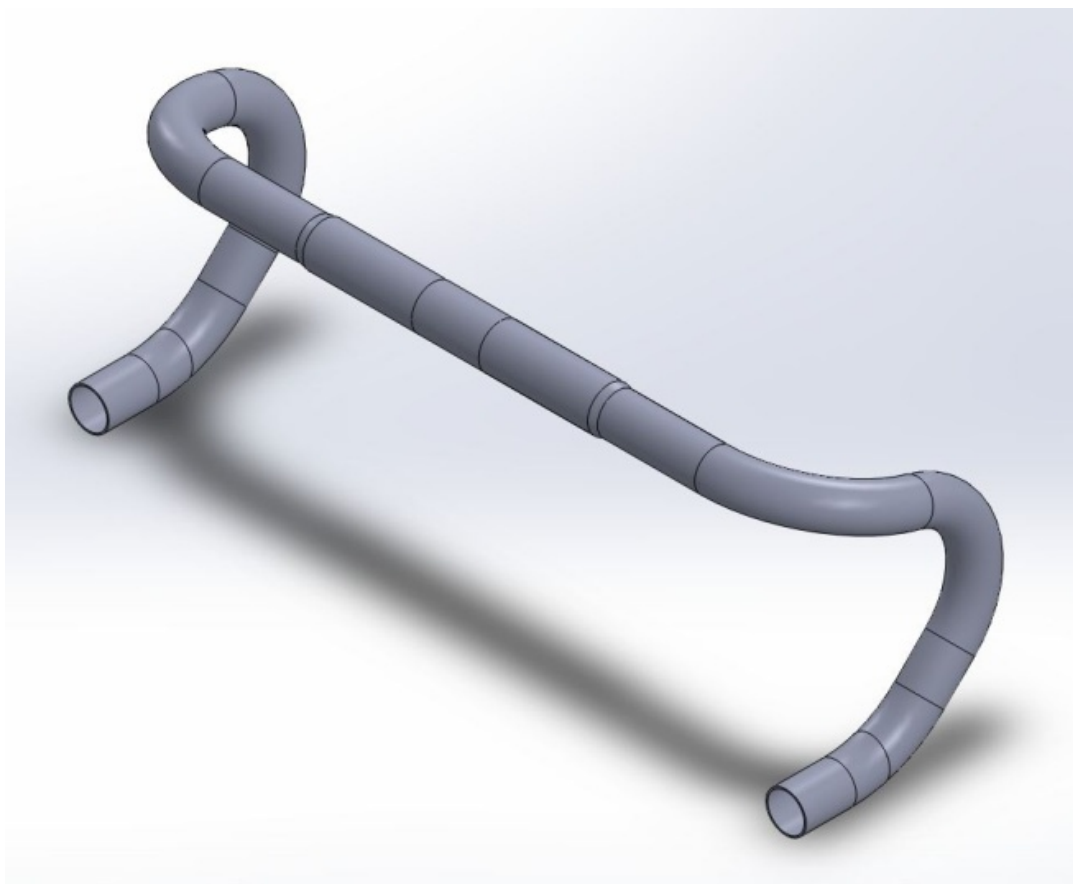


Εικόνα 38 Ανάλυση διωστήρα με χρήση πεπερασμένων στοιχείων, [A7]

2. Σχεδιασμός

Στόχος ήταν ο σχεδιασμός ενός ανθρακονημάτινου τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου (cfrp =carbon fiber reinforced polymer) σε έξι μεγέθη (360 mm (X.S.) ,380 mm (S.) 400 mm (M) , 420 mm (L) , 440mm (XL) , 460mm (XXL)) σε συνεργασία με την ελληνική εταιρία Gramcarbon. Και έτσι λοιπόν ξεκίνησε ο σχεδιασμός του πρώτου τιμονιού για να γίνει μία πρώτη επαφή με το αντικείμενο χωρίς να δοθούν ιδιαίτερες κατευθύνσεις. Ο λόγος ήταν προφανής. Οι επιβλέποντες ήθελαν να δουν μία σχεδίαση από λευκό χαρτί και χωρίς καμία επιρροή και γνώση πάνω στο αντικείμενο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να καταλάβουν κάποια πράγματα για τον τρόπο προσέγγισης του φοιτητή πάνω στο υπάρχον θέμα και επίσης να αξιολογηθεί μία λύση η οποία δεν έχει προκύψει μέσα από την εμπειρία, πράγμα που μπορεί να δώσει νέες ιδέες για την τελική σχεδίαση του τιμονιού που θα έπρεπε να σχεδιαστεί. Αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια προπαίδευση για την συνέχεια στην οποία θα θέτονταν οι απαραίτητοι περιορισμοί.

Κατόπιν λοιπόν, τέθηκαν από την εταιρία κάποιοι στόχοι ως προς την κατεύθυνση που θα έπρεπε να ακολουθηθεί κατά τον σχεδιασμό. Δηλαδή υπήρξαν κάποιες προδιαγραφές που θα έπρεπε να ικανοποιηθούν ως προς κάποια κομβικά σημεία της γεωμετρίας του τιμονιού. Το πρώτο λοιπόν πλήρως λειτουργικό τιμόνι που σχεδιάστηκε ήταν στο Solidworks και είχε την ακόλουθη μορφή (Εικόνα 39).

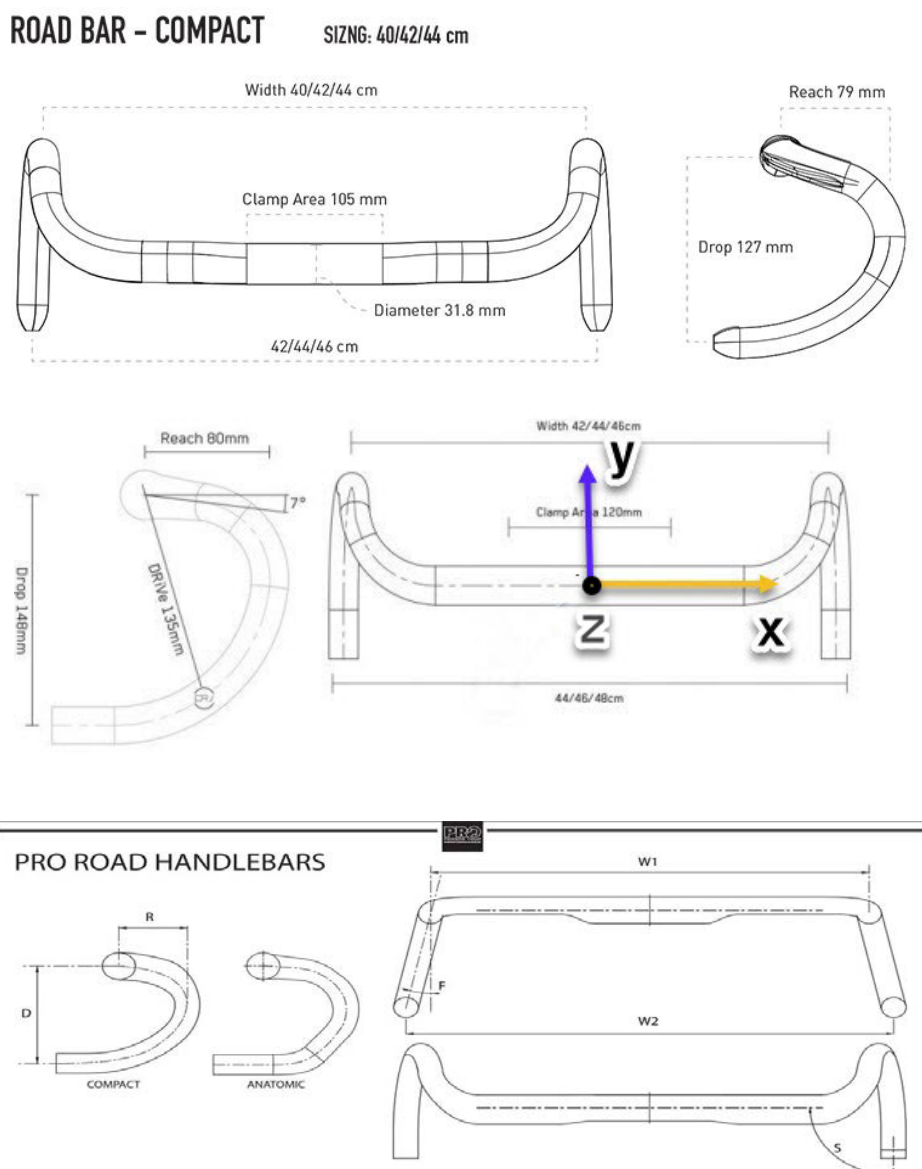


Εικόνα 39 Πρώτο πλήρες τιμόνι στο Solidworks

Έτσι λοιπόν εφόσον σχεδιάστηκε ολοκληρωμένα το πρώτο τιμόνι και αποδείχθηκαν ότι υπάρχουν οι βασικές γνώσεις σχεδίασης και αντίληψης, ακολούθησε το επόμενο βήμα το οποίο είναι κατά την γνώμη των περισσότερων από τα σημαντικότερα κατά την διαδικασία του σχεδιασμού ενός προϊόντος το οποίο προορίζεται για παραγωγή και πώληση, δηλαδή διάθεση σε διάφορες αγορές του κόσμου. Αυτό είναι η έρευνα αγοράς.

2.1. Σχεδιασμός βάση γεωμετρικών προδιαγραφών

Πριν αναφερθούν όλα τα υπόλοιπα, θα πρέπει να γίνουν γνωστά κάποια μεγέθη και κάποια πρότυπα που θα πρέπει να ακολουθηθούν σε ότι αφορά την γεωμετρία, προκειμένου να υπάρχει ένας κοινός τόπος συνεννόησης (Εικόνα 40).



Εικόνα 40 Παρουσίαση κυρίων διαστάσεων ενός τιμονιού και σύστημα συντεταγμένων, [B15]

Αυτές λοιπόν οι διαστάσεις είναι οι εξής:

- **Drop (D)** είναι το κατακόρυφο τμήμα της λαβής του τιμονιού που μετριέται σε χιλιοστά και μας δίνει μια πληροφορία για το άνοιγμα που έχει προς τα κάτω δηλαδή ως την κατακόρυφο.
- **Reach (R)** είναι το οριζόντιο τμήμα της κατακόρυφης λαβής του τιμονιού που μετριέται σε χιλιοστά και μας δίνει μια πληροφορία για το οριζόντιο άνοιγμα της λαβής του τιμονιού.
- **Width (W)** είναι το συνολικό μήκος του τιμονιού που μετριέται σε χιλιοστά και μας δείχνει μια πρώτη εικόνα ως προς την κύρια διάσταση του τιμονιού. Εδώ υπάρχει ένα θέμα καθώς η κάθε εταιρία δίνει τον δικό της τρόπο μέτρησης άλλες το μετράνε εξωτερικά και άλλες κέντρο-κέντρο για αυτό μπορεί να υπάρξει και **W1, W2** αντίστοιχα, ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης.
- **Clamp Area (CA)** είναι το συνολικό μήκος της περιοχής στην οποία η διάμετρος του τιμονιού θα πρέπει να είναι κυκλικής διατομής και ορισμένης-τυποποιημένης διαμέτρου καθώς πάνω εκεί δένει-συσφίγγεται ο λαιμός ο οποίος συνδέει το τιμόνι με το πιρούνι του ποδηλάτου.
- **Flare (F)** είναι μια γωνία που μετριέται σε μοίρες και εκφράζει την εκτροπή του drop κατά κάποιο μέγεθος σε σχέση με ένα επίπεδο το οποίο είναι παράλληλο στο YZ επίπεδο και περιστρέφεται περί τον άξονα Y.
- **Outward Bend (S)** είναι μια γωνία που μετριέται σε μοίρες και εκφράζει την εκτροπή του drop κατά κάποιο μέγεθος σε σχέση με ένα επίπεδο το οποίο είναι παράλληλο στο YZ επίπεδο και περιστρέφεται περί τον άξονα Z.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη αυτές τις ορολογίες, μπορούν να αναφερθούν και οι περιορισμοί-οδηγίες οι οποίοι έχουν τεθεί και από την Παγκόσμια ομοσπονδία Αγωνιστικής ποδηλασίας και το EN14781. Υπάρχουν κάποιες διαστάσεις και γεωμετρίες οι οποίες είναι δεδομένες στα τιμόνια αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου. Από την άκρη του τιμονιού μέχρι το ανώτατο σημείο στήριξης του λεβιέ του φρένου δεν πρέπει η διατομή του τιμονιού να ξεπερνά το **Φ24 mm** και στο σημείο στήριξης του φρένου πρέπει να είναι κυκλική και **Φ23,8-24 mm**. Αυτό οφείλεται στο ότι ο μηχανισμός της μανέτας του φρένου στηρίζεται σε σωλήνα της παραπάνω διατομής και μπαίνει στο τελικό σημείο περαστό από την άκρη του τιμονιού στο οποίο και συσφίγγεται. Συνεπώς επειδή οι διαστάσεις του σφικτήρα (του φρένου) είναι ελάχιστα μεγαλύτερες από του drop θα πρέπει να έχουμε καλή ακρίβεια. Στο κέντρο το τιμόνι πρέπει να έχει κυλινδρική διατομή για περίπου 40-70mm (ώστε να υποδέχεται και άλλες συσκευές πάνω όπως ταχύμετρο, φακό, κλπ.) και να έχει διάμετρο είτε **25.9mm** είτε **31.8mm**, λόγω του ότι οι λαιμοί που συγκρατούν το τιμόνι είναι τυποποιημένοι σε αυτές τις δύο διαστάσεις. Επίσης άλλος ένας περιορισμός ο οποίος οδεύει προς κατάργηση είναι ότι σε περίπτωση σχεδιασμού αεροδυναμικού σχήματος τιμονιού ο λόγος μήκος προς πλάτος της διατομής δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 3. Εκτός από τους παραπάνω και των περιορισμών στα θέματα αντοχής του EN14781 οι οποίοι αντικαταστάθηκαν από τους ISO 4210-3:2014 δεν υπάρχουν άλλοι περιορισμοί. ^[B30]

2.2 Έρευνα αγοράς

Έχοντας λοιπόν υπόψιν όλους τους προηγούμενους περιορισμούς μπορούσε πλέον να γίνει η έρευνα αγοράς. Η πρώτη κίνηση λοιπόν, ήταν ο εκτενής έλεγχος της αγοράς σε κάθε χώρα του κόσμου και των προϊόντων που ήταν κορυφαία την περίοδο που ξεκίνησε η εκπόνηση της εργασίας. Έτσι λοιπόν έγινε ενδελεχής έρευνα σε πολλά site αλλά και στις επίσημες ιστοσελίδες των κατασκευαστριών εταιριών. ^[A8]

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την καταγραφή παραπάνω από 24 τιμονιών μαζί με κάποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, βάρη, τρόπους κατασκευής, υλικά και τιμές για τις διάφορες υποκατηγορίες στις οποίες ανήκαν. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε και προσπάθεια να γίνει γνωστός ο αριθμός των τεμαχίων που κατασκευάζει η κάθε εταιρία ετησίως αλλά δυστυχώς δεν έγιναν και πολλά πράγματα γνωστά. ^[B10-B27]

Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί ανάλογα με τον αριθμό των τιμονιών που κατασκευάζονται, επηρεάζεται και ο σχεδιασμός τους (αποφυγή πολύ δύσκολων κοιλοτήτων συνεπάγεται μικρός χρόνος και κόστος παραγωγής) αλλά και οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την κατασκευή. Κυρίως αφορά την σχεδίαση των καλουπιών και τον τρόπο παραγωγής. Για παράδειγμα αν το καλούπι είναι εσωτερικό θα καταστρέφεται με κάποιο τρόπο ή αν θα είναι εξωτερικό θα ακολουθείται άλλη διαδικασία διαστρωμάτωσης. Η εταιρία στην οποία έγινε και η όλη διαδικασία έθεσε ως μέγιστη παραγωγή την κατασκευή ενός τιμονιού ημερησίως και μάλιστα την απασχόληση δύο εργατών για την κατασκευή του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κατασκευάζει πλήρως χειροποίητα τόσο κατά την κοπή των πατρών, όσο και κατά τη διαδικασία της στρώσης. Αυτά λοιπόν τα στοιχεία είναι πολύ σημαντικά για την συνέχεια καθώς θα επηρεάσουν την όλη διαδικασία της σχεδίασης και του τιμονιού αλλά και του καλουπιού του.

Στη συνέχεια εφόσον τέθηκαν και κάποιοι ακόμη περιορισμοί από πλευράς εταιρίας σε ότι αφορά την εργονομία, τον σχεδιασμό, την φήμη και την ποιότητα από κάποιες εταιρίες, κάποια απορρίφθηκαν και τελικά καταγράφηκαν 15 τιμόνια με τα χαρακτηριστικά τους τα οποία φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 2α-Πίνακας 2δ).

1	ΕΤΑΙΡΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΗ (PRO) gr	DROP (PRO) (mm)	REACH 1 (mm)	REACH 2(OUT) (mm)	FLARE (deg)	OUTWARD BEND (deg)	W1 (mm)	W2 (mm)	ΤΙΜΗ Σ	ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
2	1	CANNODALE KNOT SYSTEMS SIX CARBON HANDLEBAR	CAN397747	38	125	80		5		36	390	318	
3				40	125	80		5		38	410		
4				42	125	80		5		40	430		
5				44	125	80		5		42	450		
6													
7	2 3T	SUPERGO LTD CARBON HANDLEBAR STEALTH BLACK	TTT377398	38 162 (267)	119 (123)	77		89 6 (6)		38	400	313	
8				40 165 (273)	119 (123)	77		89 6 (6)		40	420		
9				42 175 (279)	119 (123)	77		89 6 (6)		42	440		
10				44 185 (285)	119 (123)	77		89 6 (6)		44	460		
11													
12	3 3T	AERONOVA LTD CARBON HANDLEBAR	TTT407368	38 190	127	104		116 6		38	400	313	HM CARBON
13				40 205	127	104		116 6		40	420		
14				42 220	127	104		116 6		42	440		
15													
16	4 VISION	METRON 4D FLAT M.A.S. HANDLEBAR	VSN407143	40	125	80 -			2			313	
17				42 267	125	80 -			2				
18				44	125	80 -			2				
19													

Πίνακας 2α Ανταγωνισμός από άλλες εταιρίες και χαρακτηριστικά τιμονιών

ΕΤΑΙΡΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΗ (PRO) gr	BAPOΣ (PRO) gr	DROP (PRO) (mm)	REACH 1 (mm)	REACH 2(OUT) (mm)	FLAR E (deg)	OUTWARD BEND (deg)	W1 (mm)	W2 (mm)	ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΙΜΗ Σ
5	SYNCRONS CRESTON 1.0 FLARE HANDLEBAL	SVC350193	40		130	80 -		12				313
			42	220	130	80 -		12				
			44		130	80 -		12				
6	SPECIALIZED S-WORKS AEROFLY II CARBON HANDLEBAR 31.8	SPZ397264	38		125	75		0				292
			40		130	80		0				
			42	235	130	80		0				
			44		130	80		0				
7	EASTON EC90 AERO CARBON ROAD HANDLEBAR	EAS254282	40		125	80		4				281
			42	230	125	80		4				
			44		125	80		4				
8	EASTON EC70 CARBON 31.8 HANDLEBAR A.X. SERIEIS	EAS254278	40		120	75		16		40	468	
			42	220	120	75		16		42	488	
			44		120	75		16		44	508	
			46		120	75		16		46	528	

Πίνακας 2β Ανταγωνισμός από άλλες εταιρίες και χαρακτηριστικά τιμονιών

1	ΕΤΑΙΡΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΗ	ΒΑΡΟΣ (PRO) gr	DROP (PRO) (mm)	REACH 1 (mm)	REACH 2(OUT) (mm)	FLAR E (deg)	OUTWARD BEND (deg)	W1 (mm)	W2 (mm)	ΤΙΜΗ Σ	ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
38	9 ZIP	SL-70 AERO CARBON ROAD HANDLEBAR	ZIP321593	38		128	70		10	4			271	UNIDIRECTI ONAL
39				40		128	70		10	4				
40				42	240	128	70		10	4				
41				44		128	70		10	4				
42														
43	10 RITCHEY	WCS CARBON STREAM II ROAD 31.8 HANDLEBAR DIZ COMPAT	RIT349324	40		124	70		4,7	1			245	CARBON MONOCOQ UE
44				42	235	126	70		4,7	1				
45				44		128	70		4,7	1				
46														
47	11 RITCHEY	WCS CARBON STREAM II (ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΠΛΕΟΝ ΣΤΗ ΜΑΜΑ ΕΤ)	RIT390518	40		130	80		4,5	2				
48				42		130	80		4,5	2				
49				44		130	80		4,5	2				
50														
51	12 FSA	K - WING AGX COMPACT CARBON HANDLEBAR	FSA406584	40		115	75		μεσω w1 k w2	10	40	450		
52				42	230	115	75			10	42	470		
53				44		115	75			10	44	490		
54														

Πίνακας 2γ Ανταγωνισμός από άλλες εταιρίες και χαρακτηριστικά τιμονιών

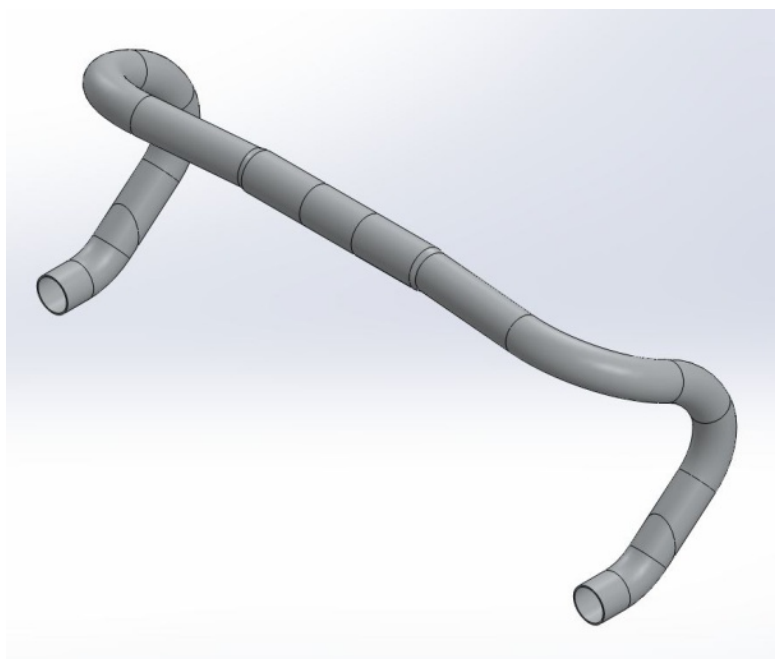
1	ΕΤΑΙΡΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΤΕΘΗ	ΒΑΡΟΣ (PRO) gr	DROP (PRO) (mm)	REACH 1 (mm)	REACH 2(OUT) (mm)	FLAR E (deg)	OUTWARD BEND (deg)	W1 (mm)	W2 (mm)	ΤΙΜΗ	ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
55	13 PRO	VIBE AERO HANDLEBAR SUPPERLIGHT		38	240	130	80		0					UD T800 & M4075 HM CARBON
56				40	245	130	80		0					
57				42	250	130	80		0					
58														
59	14 LOOK	ADH CARBON AERO HANDLEBAR		38		120	75		0				374	ellad
60				40		120	75		0					
61				42	250	120	75		0					
62				44		120	75		0					
63														
64	15 ENVE	SES AERO ROAD HANDLEBAR		40		127	79		μεσω w1 k w2		35	400		
65				42		127	79				37	420		
66				44		127	79				39	440		
67				46		127	79				41	460		

Πίνακας 2δ Ανταγωνισμός από άλλες εταιρίες και χαρακτηριστικά τιμονιών

Εφόσον λοιπόν καταγράφηκαν με όλα τα απαραίτητα κατασκευαστικά τους στοιχεία οι εν δυνάμει ανταγωνιστές, ξεκίνησε η σύγκριση μεταξύ τους με στόχο την εύρεση κάποιων κοινών χαρακτηριστικών ως προς την γεωμετρία, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτό αν κάποιες σχεδιαστικές λύσεις προτιμώνται έναντι κάποιων άλλων και γιατί. Στη συνέχεια αυτές οι οποίες φαίνονταν πιο ολοκληρωμένες και κατασκευαστικά ορθές επακαταγράφησαν και μέσα από αρκετές τηλεφωνικές επικοινωνίες με διάφορα καταστήματα που εμπορεύονται αγωνιστικά ποδήλατα και ανταλλακτικά σε όλη την Ελλάδα, έγινε μια προσπάθεια να γνωστοποιηθεί ποια από αυτά είχαν τις μεγαλύτερες πωλήσεις. Αυτό βοήθησε στο γεγονός να κατανοηθεί καλύτερα ποια είναι τελικά εκείνα τα κριτήρια που οδηγούν τους αγωνιζόμενους ποδηλάτες στο να επιλέξουν το συγκεκριμένο προϊόν. Η αγωνιστική ποδηλασία έχει ανθρώπους που έχουν αφιερώσει πολλές ώρες κόπου και ιδρώτα και θέλουν το καλύτερο δυνατό ώστε να γίνονται όσο το δυνατόν πιο ανταγωνιστικοί. Συνεπώς δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στην εργονομία, στο βάρος, στην άνεση, στην διευκόλυνση κινήσεων και στην αεροδυναμική σχεδίαση ώστε να πετύχουν όσο το δυνατόν μικρότερη αεροδυναμική αντίσταση. Βέβαια σε όλα αυτά τα κριτήρια τα οποία θέτουν δεν θα πρέπει να ξεχνάμε και την επιρροή από τη διαφήμιση κάτι το οποίο θα πρέπει να λάβουμε και εμείς υπόψη κατά τον σχεδιασμό μας.

2.3 Σχεδιασμός 2^{ου} τιμονιού και αλλαγή στρατηγικής

Έχοντας λοιπόν λάβει υπόψη όλα τα παραπάνω, τέθηκαν από την εταιρία οι νέοι περιορισμοί-στόχοι για το καινούριο τιμόνι και έτσι ξεκίνησε η σχεδίαση του. Το τιμόνι που σχεδιάστηκε είχε κάποιες ομοιότητες με το 1^ο τιμόνι πράγμα που σημαίνει ότι η πρώτη σχεδίαση που είχε γίνει, ήταν προς την σωστή κατεύθυνση χωρίς βέβαια να ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί καθώς τότε δεν υπήρχε η απαραίτητη γνώση. Το δεύτερο τιμόνι λοιπόν που σχεδιάστηκε έχει την ακόλουθη μορφή (Εικόνα 41).



Εικόνα 41 2^ο πλήρες τιμόνι σχεδίασης στο Solidworks

Με την ολοκλήρωση της σχεδίασης, η οποία ήταν σχετικά ικανοποιητική, προτάθηκε η ιδέα να αλλάξουν κάποια κριτήρια ως προς το σχεδιασμό καθώς ύστερα από βαθύτερη ανάλυση του ανταγωνισμού, βρέθηκε ότι υπάρχει ένα μικρό κενό στην αγορά το οποίο είχε καλυφθεί μερικώς και ίσως θα ήταν ευκαιρία της εταιρίας να στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση. Η ιδέα λοιπόν ήταν να σχεδιαστεί ένα τιμόνι το οποίο να έχει αεροδυναμικό σχήμα ώστε να έχει κάποια ευνοϊκά χαρακτηριστικά ως προς την αντίσταση του ανέμου, αλλά να είναι και πιο επιθυμητό από τους καταναλωτές, καθώς όπως αναφέρθηκε και πριν η διαφήμιση επηρεάζει δημιουργεί πρότυπα και αναπροσαρμόζει τα κριτήρια επιλογής του κάθε προϊόντος από τον καταναλωτή.^[A8] Σε αυτό το σημείο εμφανίστηκε και η πρώτη σκόπελος. Επειδή οι περισσότερες επιφάνειες πλέον δεν θα ήταν κυλινδρικές αλλά θα είχαν κάποιο αεροδυναμικό σχήμα το οποίο θα πρόκυπτε από καμπύλες Bezier ή αλλιώς B-splines, θα ήταν συνετό η σχεδίαση να γίνει με κάποιο ανώτερο πρόγραμμα το οποίο χειρίζεται καλύτερα τις επιφάνειες και ειδικότερα αυτές που προκύπτουν από B-Splines. Οι λύσεις λοιπόν ήταν δύο : το Catia της Dassault που ανήκει και το Solidworks και το NX της Siemens. Η εταιρία εφόσον είχε δοκιμάσει και τα δύο προγράμματα και κατέληξε στο να χρησιμοποιεί το NX. Συνεπώς η προτροπή των επιβλεπόντων ήταν να χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρόγραμμα και από τον φοιτητή ώστε να υπάρχει συνεργασία.

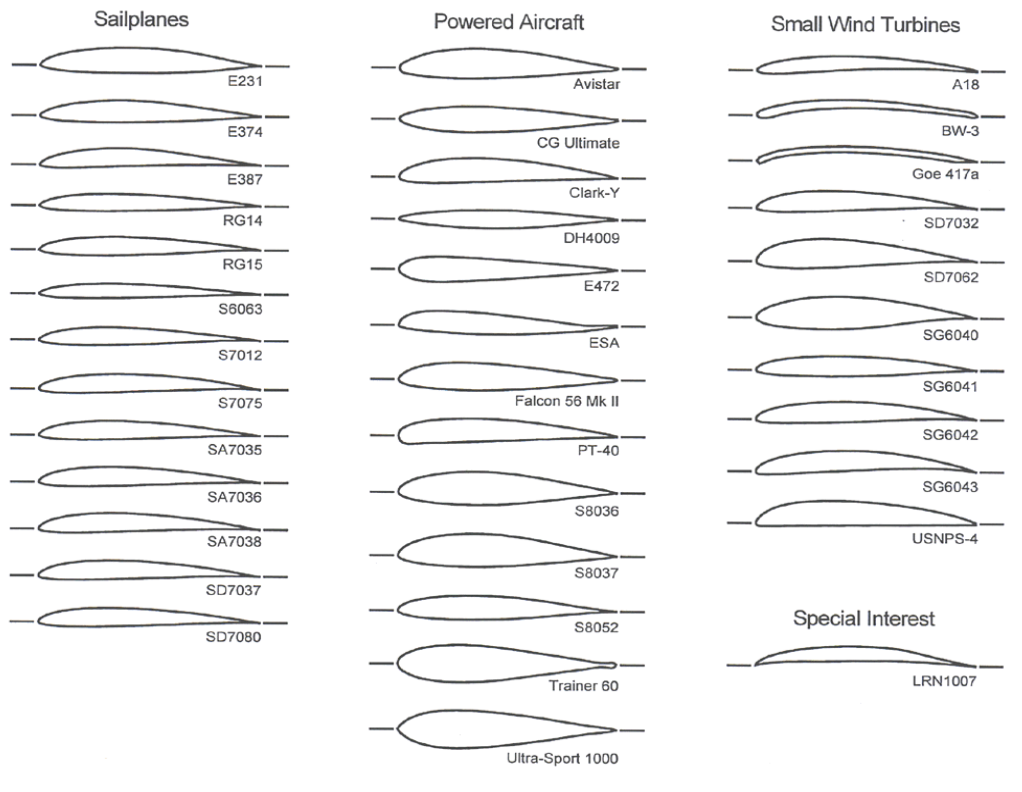
2.4 Σχεδιασμός τιμονιού στο NX

Έτσι λοιπόν θα έπρεπε να αφιερωθεί αρκετός χρόνος για την εκμάθηση του νέου προγράμματος. Αυτό με τα πολύ στενά όρια μιας διπλωματικής ίσως να θεωρηθεί υπερβολικό, όμως με τα ευρύτερα όρια είναι άκρως επιθυμητό καθώς ο φοιτητής μαθαίνει να προσαρμόζεται σε νέες απαιτήσεις, δεν εφησυχάζεται, αποκτά την νοοτροπία να μαθαίνει συνεχώς καινούρια πράγματα, να καλλιεργεί νέες δεξιότητες, να γίνεται πιο ανταγωνιστικός, να βελτιώνεται και να προοδεύει κάτι το οποίο είναι άκρως απαραίτητο για την συνέχεια στην επαγγελματική αλλά και προσωπική του ζωή.

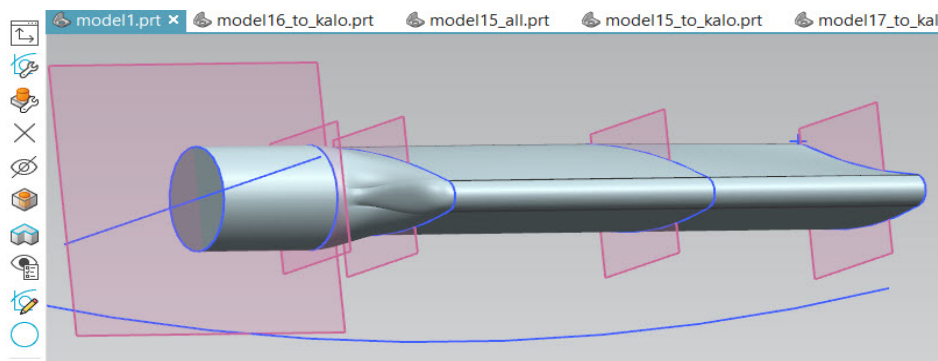
Όπως ήταν επόμενο επειδή δεν υπήρχε η απαραίτητη εμπειρία και εξοικείωση με το πρόγραμμα, η βελτίωση στην απόδοση ήταν γραμμική και κρίνεται σκόπιμο να προβληθούν κάποιες εικόνες που δείχνουν την εξέλιξη κάποιων μοντέλων έτσι ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητό πως φτάσαμε μέχρι το τελικό αποτέλεσμα.

Ξεκινώντας λοιπόν στις 2 πρώτες φωτογραφίες, (Εικόνα 43α, Εικόνα 43β) φαίνονται οι πρώτες απόπειρες σχεδιασμού ενός τμήματος του τιμονιού. Ευτυχώς όσο η σχεδίαση βρισκόταν σε πρώιμο στάδιο άλλαξαν κάποιες προδιαγραφές- στόχοι από την εταιρία και έτσι ζητήθηκε το τιμόνι που θα σχεδιαστεί να έχει και ένα offset- μετατόπιση 25mm προς τα πάνω στην κύρια λαβή του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πλέον στην ποδηλασία εισάγονται και ερασιτέχνες-χομπίστες οι οποίοι μπορεί να μην έχουν προμηθευτεί εξαρχής όλο τον κατάλληλο εξοπλισμό για το ποδήλατό τους λόγω αυξημένου κόστους και έτσι επενδύουν κάποια χρήματα σε ένα βασικό-απαραίτητο εξοπλισμό για να ξεκινήσουν-δοκιμάσουν και στην συνέχεια αν υπάρχει ενδιαφέρον το συνεχίζουν. Οι άνθρωποι αυτοί λοιπόν για να έχουν πιο βολική-εργονομική θέση οδήγησης και βάση των σωματομετρικών τους χαρακτηριστικών, μπορεί να έχουν μία πιο ψηλή θέση οδήγησης της σέλας λόγω πιο μακριών ποδιών αλλά να μην μπορούν να έχουν το τιμόνι στο κατάλληλο ύψος για το μήκος των χεριών τους.^[A5]

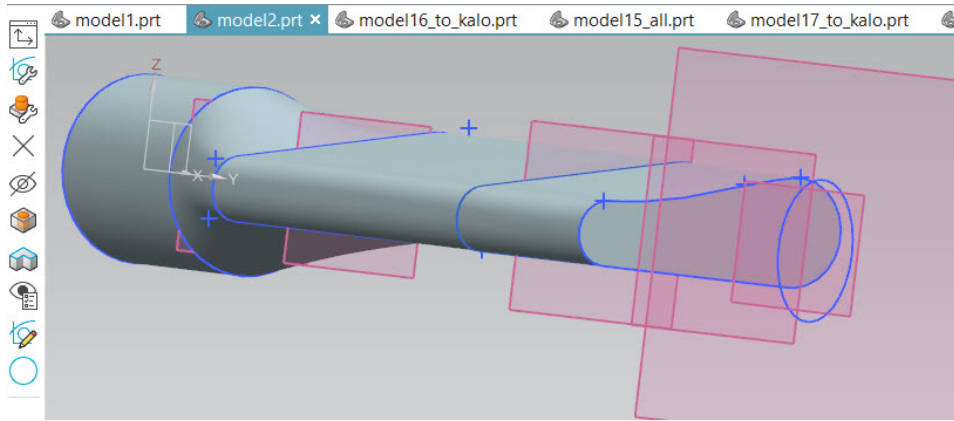
Έτσι με αυτό τον τρόπο το τιμόνι road riser aero handlebar έρχεται να καλύψει αυτή την αδυναμία. Από την έρευνα αγοράς φάνηκε ότι αυτή η κατηγορία δεν έχει καλυφθεί, οπότε κρίθηκε σκόπιμο να οδηγηθεί η σχεδίαση προς αυτή την κατεύθυνση μιας και η ζήτηση έχει αρχίσει να αυξάνεται. Αναζητώντας λοιπόν κάποια αεροδυναμικά σχήματα αεροτομών και σύμφωνα με τις διατομές NACA, προέκυψαν κάποιες αρκετά καλές προσεγγίσεις πάνω στο θέμα. Η διατομή με την οποία ομοιάζει και η δική μας ήταν η ultra sport 1000. Συνεπώς λοιπόν παρατίθενται ακόμη δύο φωτογραφίες που παραπέμπουν σε αυτή την κατεύθυνση (Εικόνα 45, Εικόνα 46) και δύο ακόμη με πιο ολοκληρωμένη σχεδίαση (Εικόνα 47, Εικόνα 48).



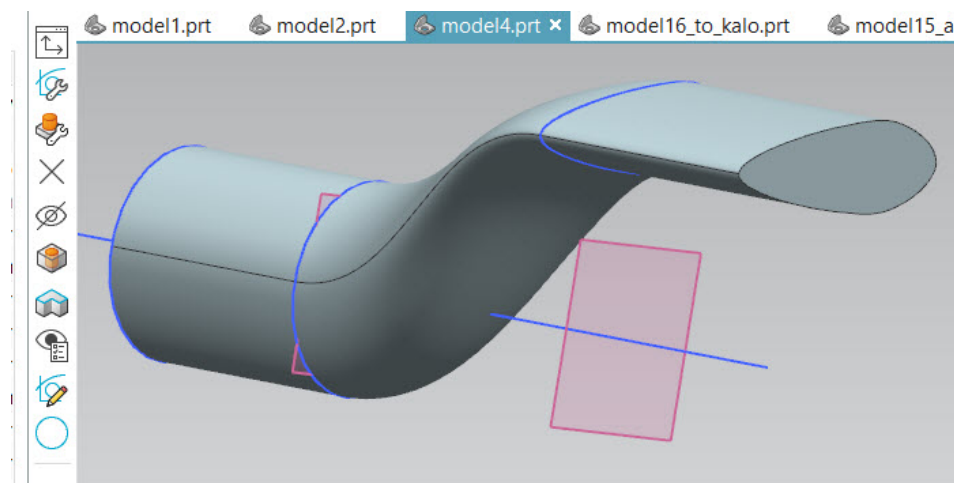
Εικόνα 42 τομές NACA, [B29]



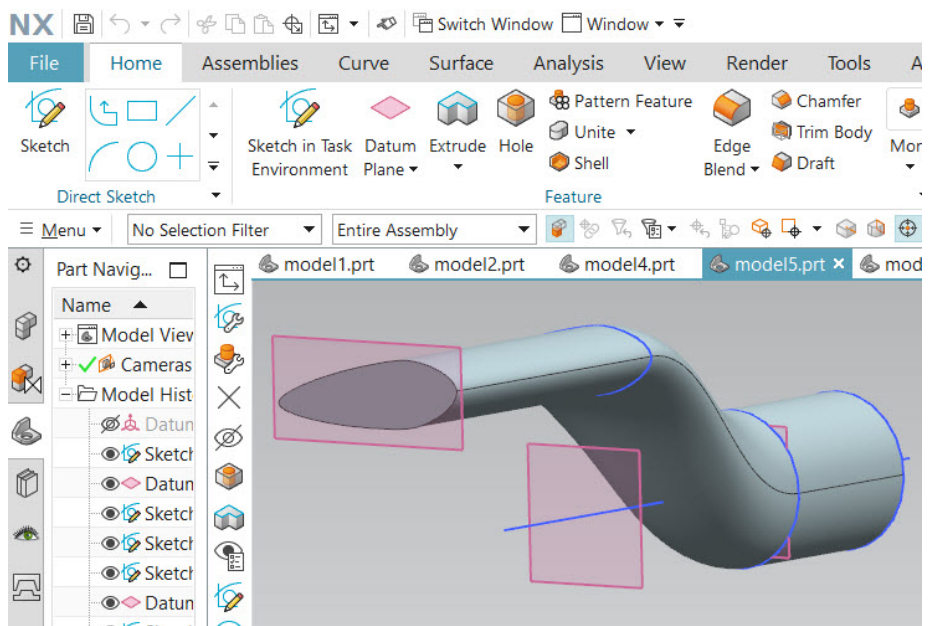
Εικόνα 43α 1^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



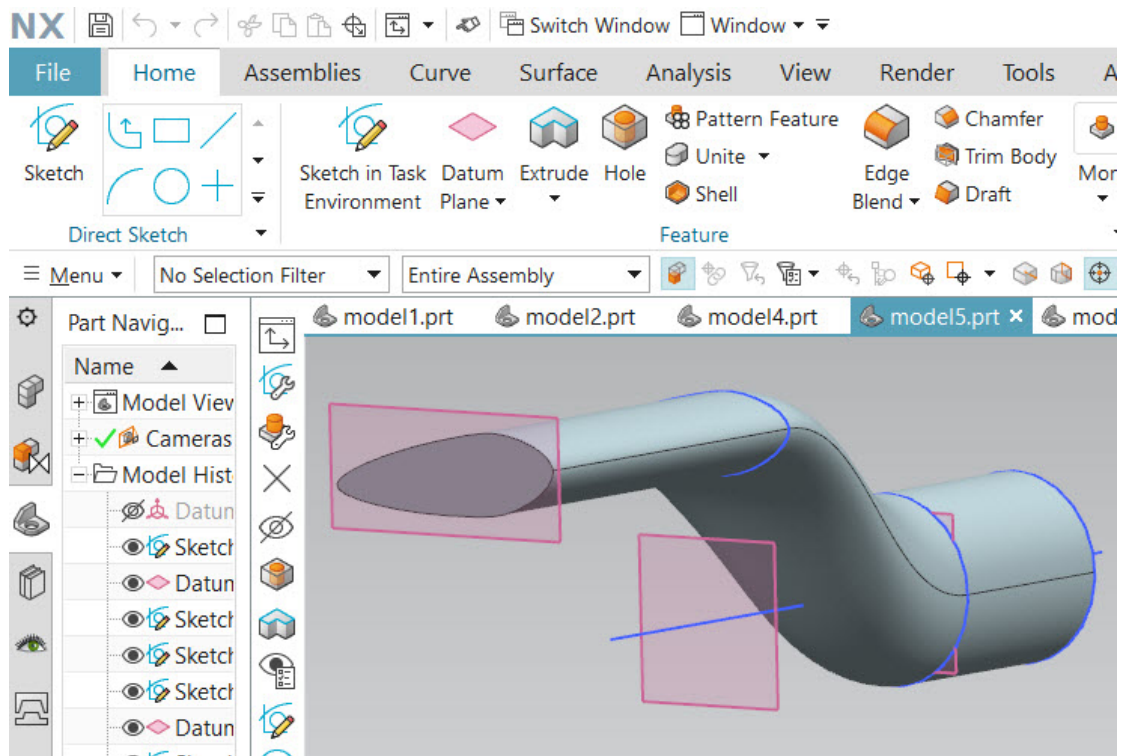
Εικόνα 43β 2^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



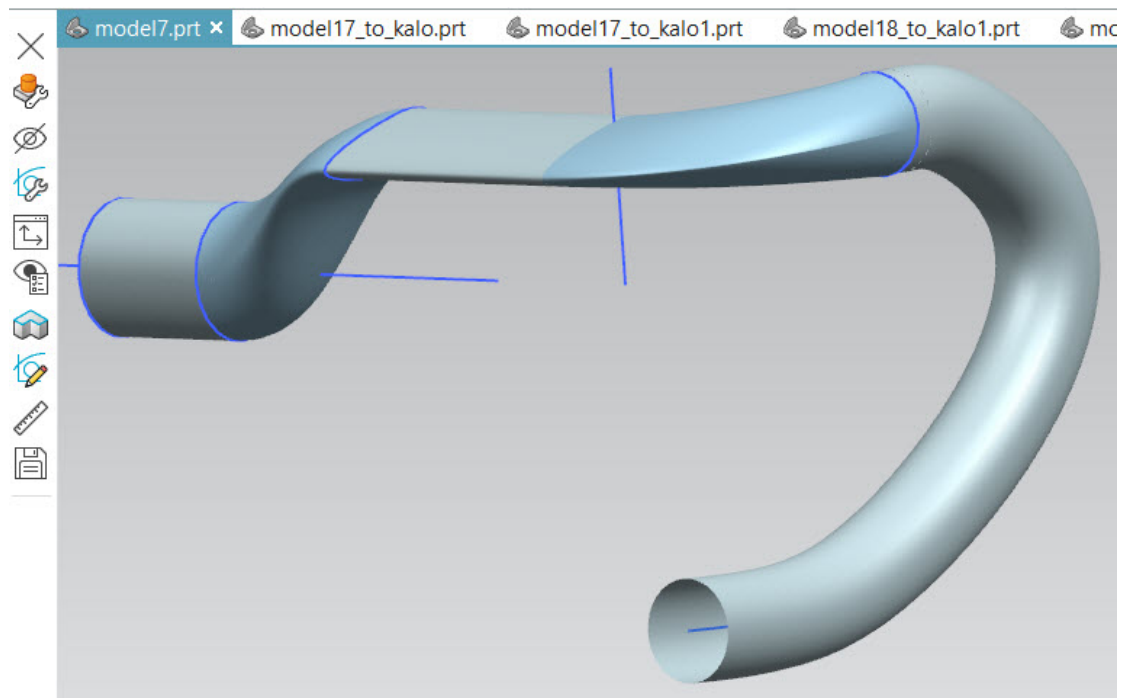
Εικόνα 44 3^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



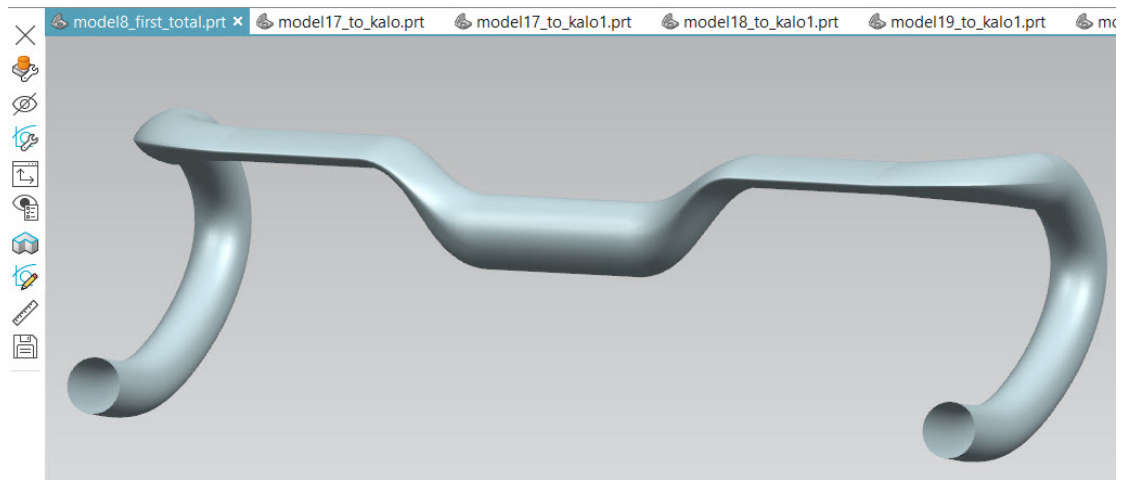
Εικόνα 45 4^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



Εικόνα 46 5^η δοκιμή με πρόγραμμα NX

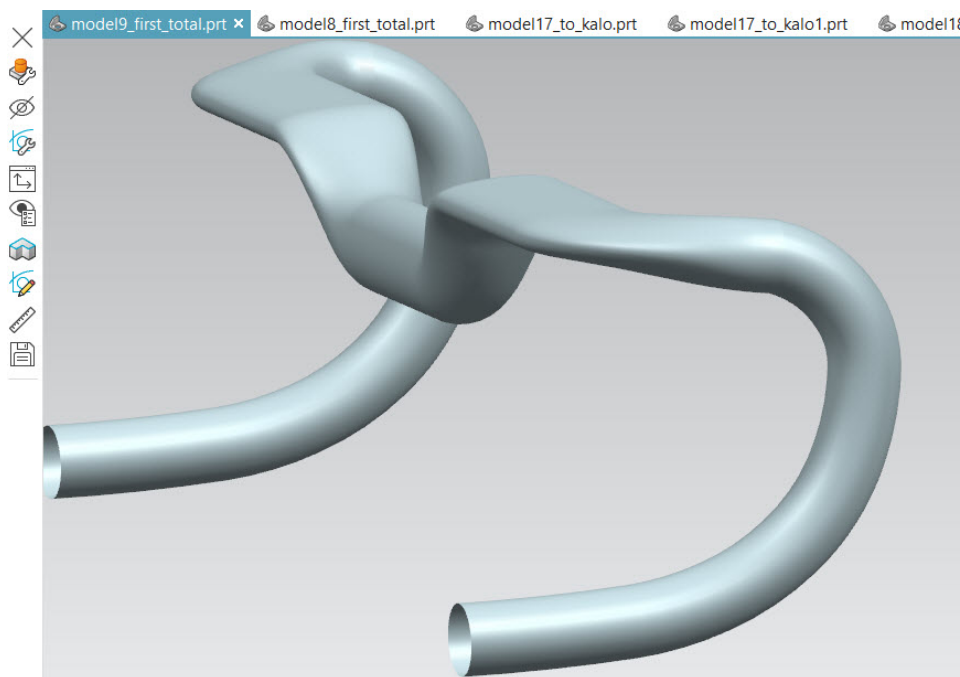


Εικόνα 47 7^η δοκιμή με πρόγραμμα NX

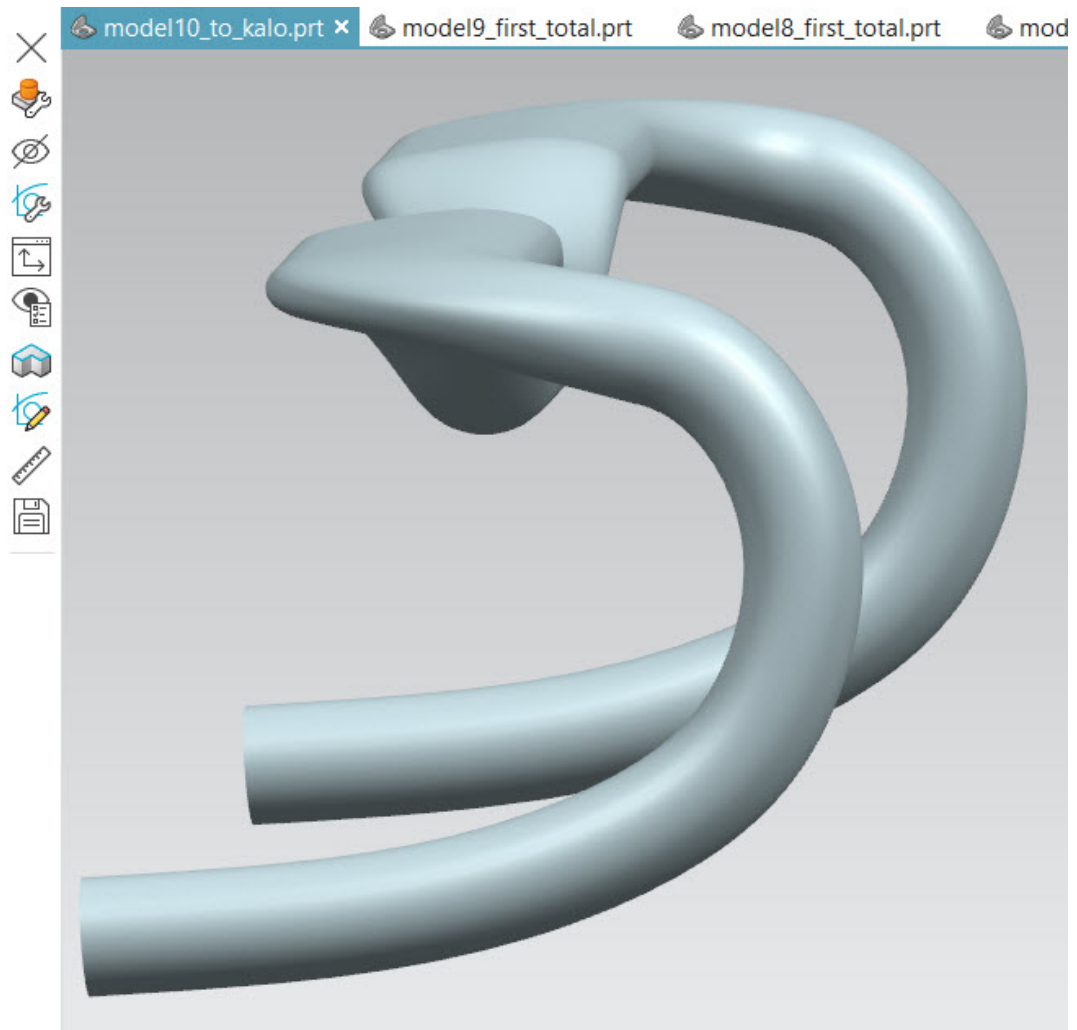


Εικόνα 48 8^η δοκιμή με πρόγραμμα NX

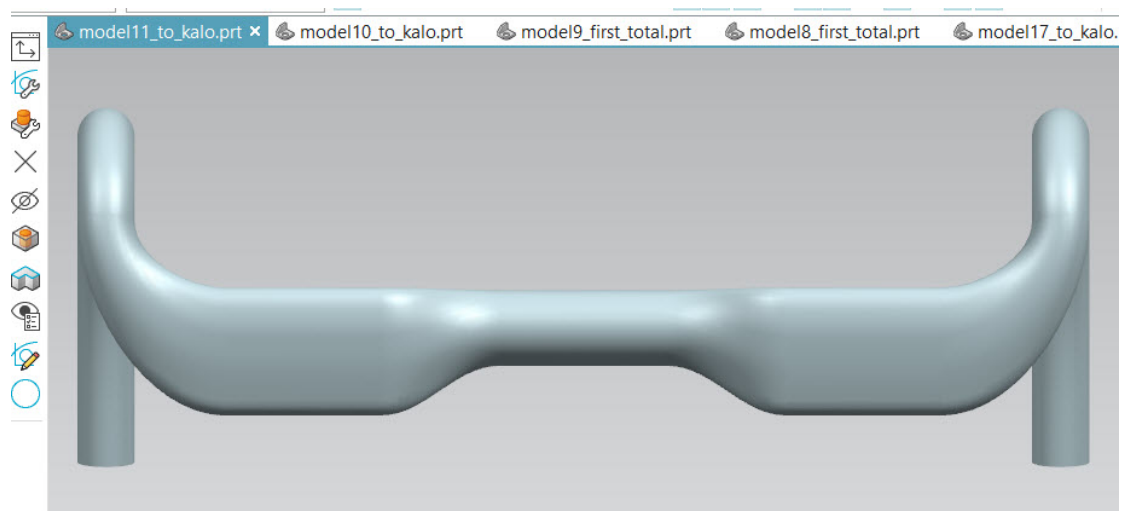
Εδώ φυσικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι πρέπει να τηρείται η αναλογία ύψος προς πλάτος $\leq 1/3$ και έτσι οι διαστάσεις που έχουμε δώσει στην αεροτομή έχουν **μήκος 54mm** και **ύψος 18mm**. Στα σχέδια βέβαια που έχουν παρουσιαστεί μέχρι στιγμής εμφανίζονται στα δύο ακραία σημεία της αεροτομής γωνίες. Αυτό θα πρέπει να διορθωθεί άμεσα καθώς στο carbon πρέπει να αποφεύγονται οι γωνίες και οι μικρές ακτίνες καμπυλότητας, καθώς σε αυτά τα σημεία το υλικό από την φύση του δεν μπορεί να κάνει τόσο καλή επαφή με το καλούπι παρά την πίεση που θα του εφαρμοστεί και έτσι υπάρχει πιθανότητα να υπάρξουν κατασκευαστικές ατέλειες ή ακόμα και αστοχία. Έτσι προχωράμε στις επόμενες δοκιμές με αλλαγμένες τις B-Splines και θέτοντας εφαπτωμενική σύνδεση μεταξύ τους ώστε να υπάρχει βέλτιστη εφαρμογή και να μην υπάρχουν υποκοπές με το καλούπι. Επίσης σε αυτά τα αρχικά σχέδια έχει δοθεί και μία θετική κλίση όλης της διατομής της αεροτομής κατά $+6^\circ$ που στην συνέχεια θα καταργηθεί καθώς δεν ήταν εργονομική.



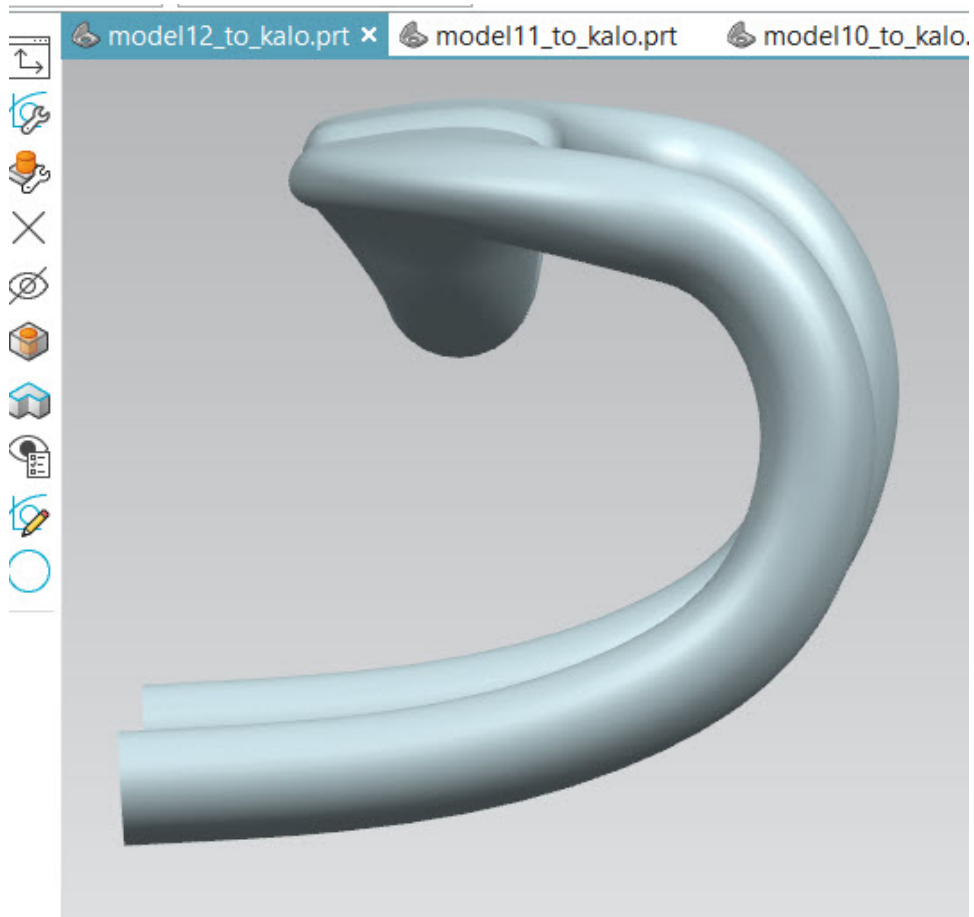
Εικόνα 49 9^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



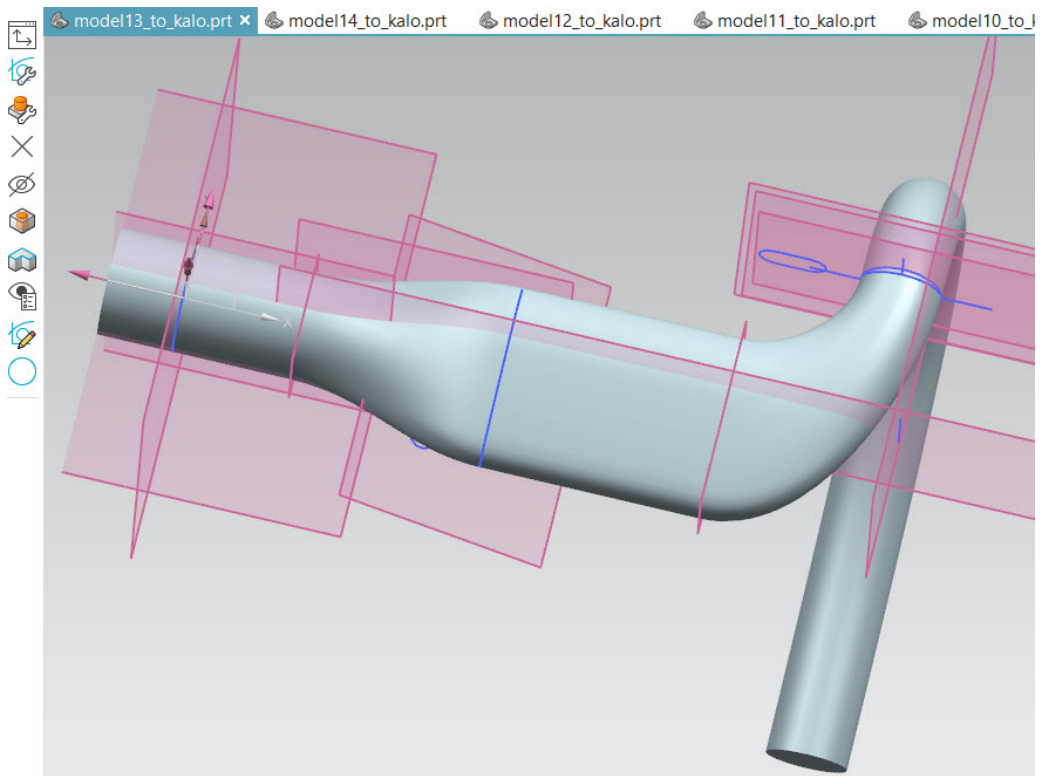
Εικόνα 50 10^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



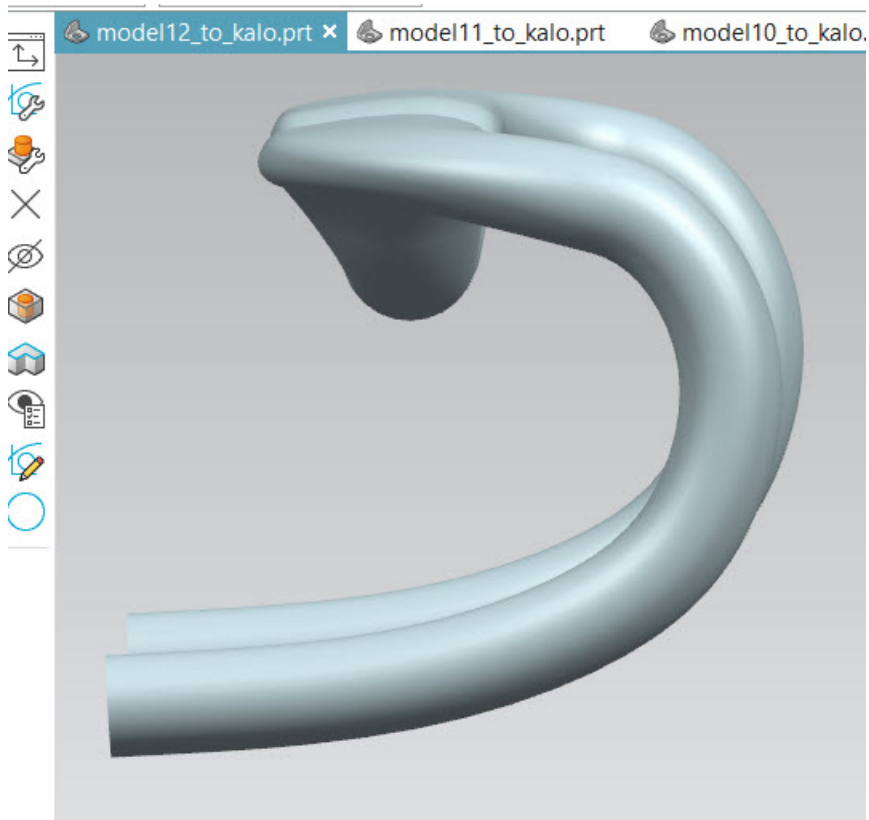
Εικόνα 51 11^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



Εικόνα 52 12^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



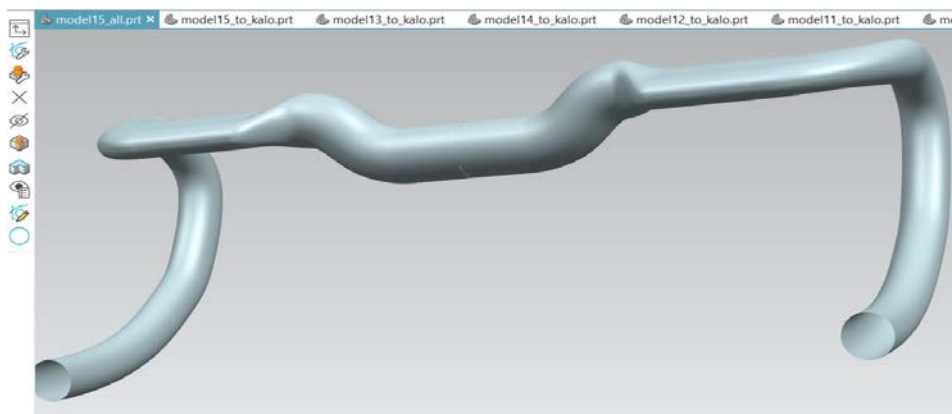
Εικόνα 53 13^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



Εικόνα 54 12^η τελική δοκιμή με πρόγραμμα NX

Στις προηγούμενες φωτογραφίες που αναρτήθηκαν (Εικόνα 49 - Εικόνα 54), φαίνονται κάποιες κατασκευαστικές προτάσεις-δοκιμές που έγιναν έτσι ώστε να προκύψουν κάποια τμήματα του τιμονιού που θα χρησιμοποιηθούν και στο τελικό σχέδιο. Δοκιμάστηκαν κάποιες ακτίνες καμπυλότητας στην στροφή που κάνει η αεροτομή κατά την σύνδεσή της με το drop, καθώς επίσης δοκιμάστηκαν διάφορες καμπυλότητες στο drop, ανοίγματα, πλάτη και ύψη και επανήλθε η κλίση της αεροτομής στις 0°.

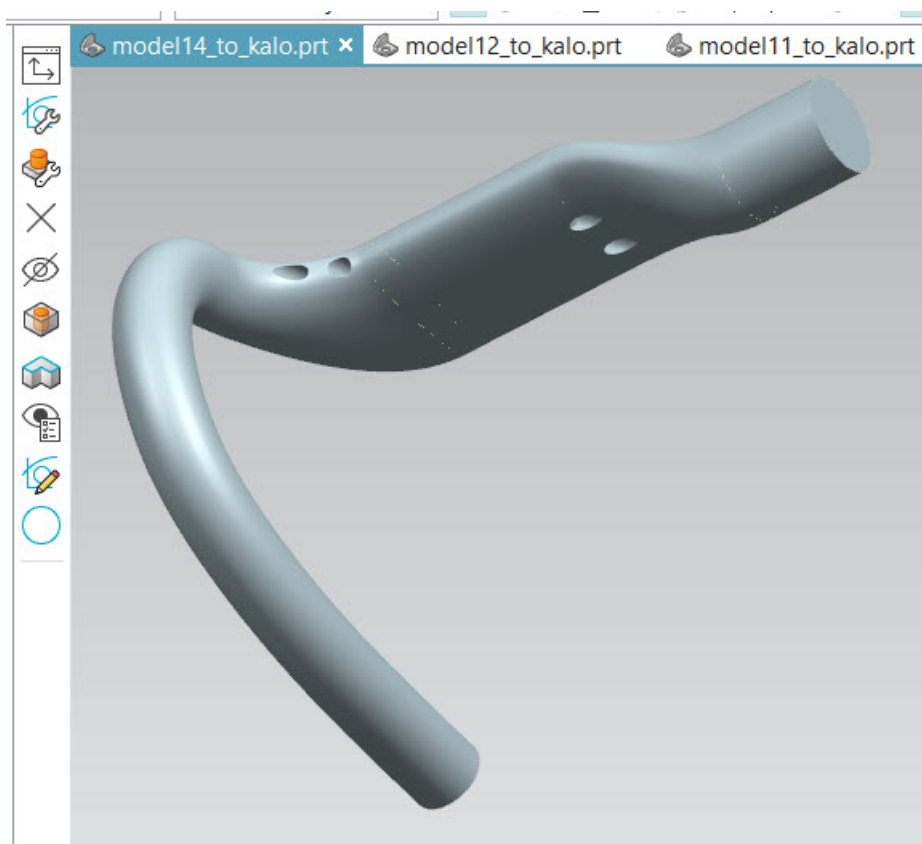
Στη συνέχεια δοκιμάστηκε η ακόλουθη σχεδιαστική λύση (Εικόνα 55) η οποία τελικά απορρίφθηκε λόγω των πολύ έντονων αλλαγών καμπυλότητας προς διάφορες κατευθύνσεις κάτι που δεν θα ήταν ιδιαίτερα βολικό για την στρώση του carbon αλλά και για την σακούλα πίεσης.



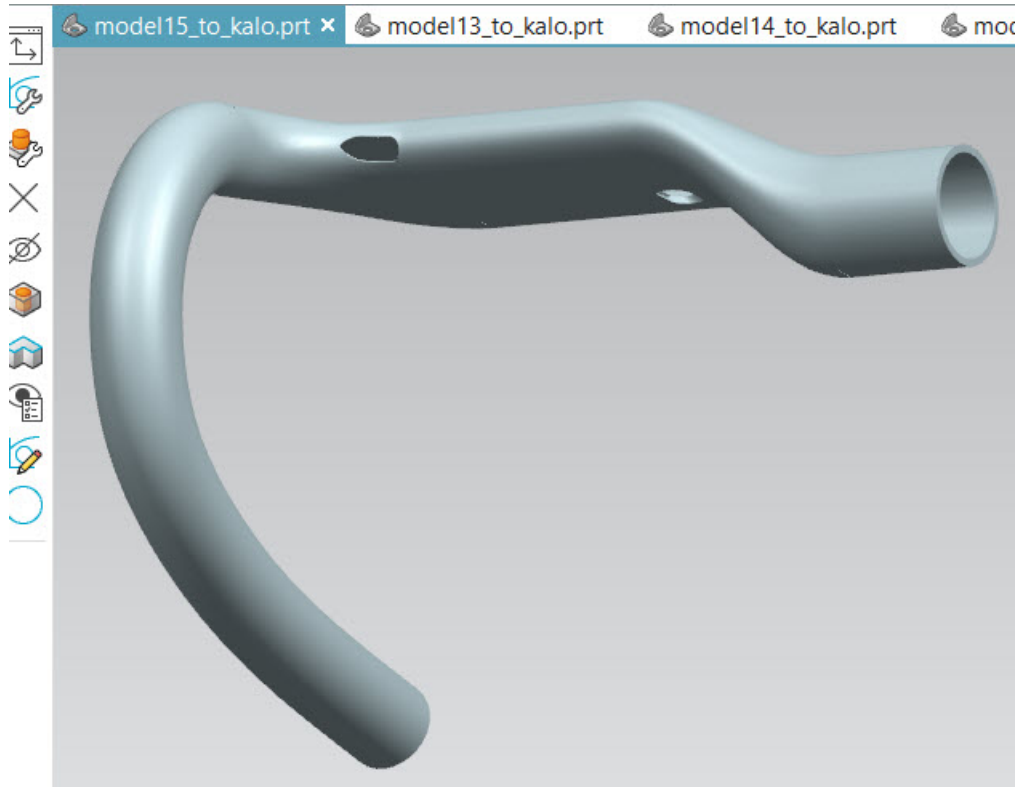
Εικόνα 55 15^η δοκιμή με πρόγραμμα NX

Κατόπιν θα έπρεπε να δοκιμαστούν κάποιες προκρινόμενες λύσεις για το που θα τοποθετηθούν οι τρύπες για τα καλώδια, ένα για τις ταχύτητες και ένα για το φρένο. Το κάθε ένα έχει διάμετρο 4-5 mm. Τέθηκε αυτός ο περιορισμός καθώς ήταν επιθυμητό τα καλώδια να περνάνε μέσα από το σώμα του τιμονιού και όχι εξωτερικά έτσι ώστε να βελτιώνεται η αεροδυναμική του τιμονιού αν και το πραγματικό όφελος είναι απειροελάχιστο. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη και την αντίσταση που παρουσιάζουν τα καλώδια ως προς την κάμψη, καθώς θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη ότι η εισαγωγή και εξαγωγή τους θα έπρεπε να είναι σχετικά εύκολη καθώς σε περίπτωση συντήρησης η κάποιας αστοχίας στον αγώνα ανάλογα με τον διαγωνισμό στον οποίο μπορεί να μετράει και αυτός ο χρόνος, η διάρκεια αλλαγής θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ελάχιστα μεγαλύτερη σε σχέση με το να ήταν τα καλώδια εξωτερικά.

Σαν πρώτη λύση (Εικόνα 56) σχεδιάστηκαν δύο ανεξάρτητες οπές στην λογική ότι όσο πιο μικρές οπές έχουμε επειδή η κυκλική επιφάνεια είναι ανάλογη του τετραγώνου της ακτίνας άρα και της διαμέτρου, το συνολικό αφαιρούμενο υλικό θα ήταν μικρότερο πράγμα που σημαίνει ότι έχουμε μεγαλύτερη ροπή αδράνειας I της διατομής. Όμως αυτή η λύση φάνηκε να μην ικανοποιεί τις απαιτήσεις καθώς θεωρήθηκε ότι θα ήταν δύσκολη η εισαγωγή και εξαγωγή σε περίπτωση αλλαγής κάποιου από τα δύο συρματόσχοινα. Έτσι προκρίθηκε η λύση (Εικόνα 57) με μία μεγαλύτερη οπή και η οποία με το σχεδιασμό της τελικά δεν είχε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό αφαιρούμενου υλικού σε σχέση με τις δύο μικρότερες οπές, συγκριτικά βέβαια και με την συνολική διατομή η οποία είναι αρκετά μεγάλη.

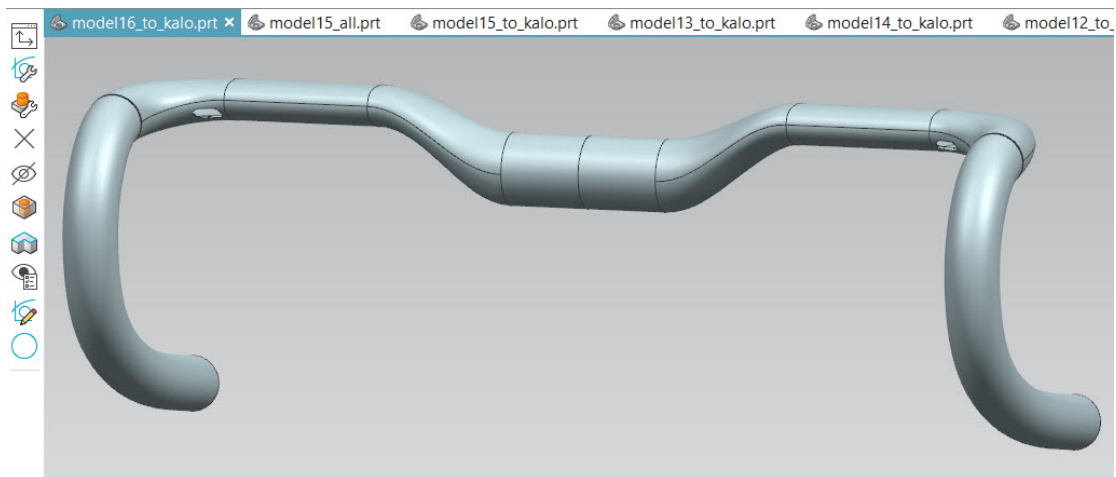


Εικόνα 56 14^η δοκιμή με πρόγραμμα NX



Εικόνα 57 15^η δοκιμή με πρόγραμμα NX

Στην ανωτέρω φωτογραφία (Εικόνα 57) βλέπουμε ότι στην μία πλευρά η οπή σχηματίζει γωνία κάτι που δεν είναι επιθυμητό. Έτσι ύστερα από κάποιες δοκιμές σε σχέση με την κλίση της οπής ως προς το XZ επίπεδο και ως προς την οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση της οπής βρέθηκε ένα σημείο το οποίο να είναι λειτουργικό-βολικό και παράλληλα να μην αφαιρείται πολύ υλικό από το τιμόνι. Και με αυτόν τον τρόπο καταλήγουμε στην 16^η ολοκληρωμένη δοκιμή (Εικόνα 58).

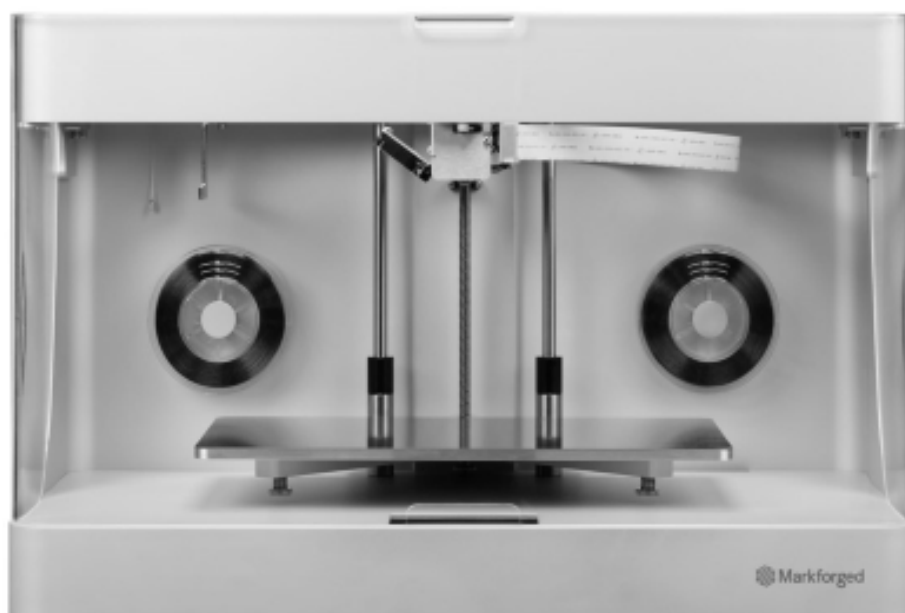


Εικόνα 58 16^η δοκιμή με πρόγραμμα NX

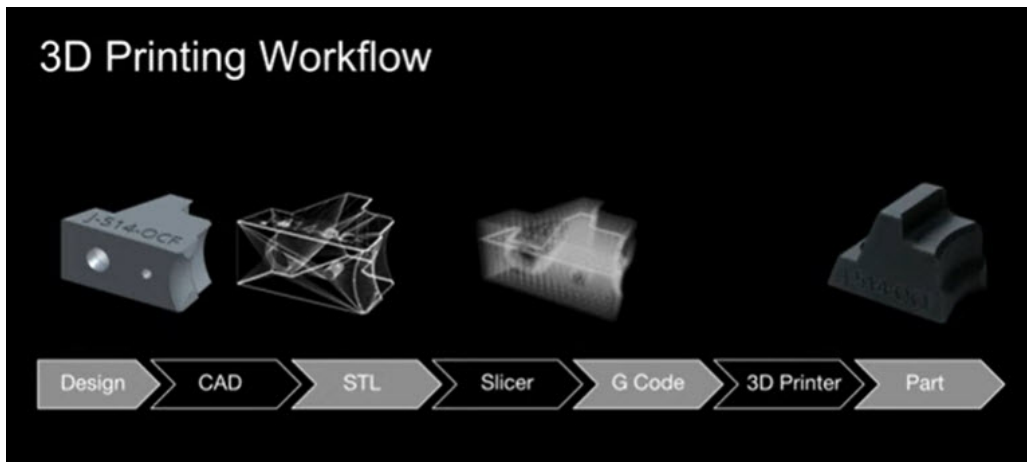
2.5 Προτυποποίηση προκρινόμενων λύσεων, 3d printing και δοκιμές

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι η σχεδίαση όλων των λύσεων πέρα από τις πρώτες 10 δεν έγινε μόνο στον υπολογιστή. Η εταιρία έχει στην κατοχή της έναν 3D printer τον Markforged Mark2 (Εικόνα 59). Είναι ένας υπερεξελιγμένος εκτυπωτής desktop εφαρμογής, με δυνατότητα εκτύπωσης διαφόρων υλικών όπως Onyx (carbon με nylon), nylon white, ίνες συνεχόμενου carbon με επικάλυψη nylon, fiberglass, Kevlar και κάποιων ακόμη υλικών. Η Markforged διαθέτει και ένα λογισμικό slicer το οποίο ονομάζεται eiger.io. Αυτό παρέχει αρκετές δυνατότητες ως προς τον τρόπο χτισίματος της όλης κατασκευής, τόσο από άποψη σχετικής θέσης όσο και ως προς την ρύθμιση του υποστηρικτικού υλικού. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα να εκτυπωθούν κάποια από τα σχέδια τα οποία κρίθηκαν ως πιο πετυχημένα και να δοκιμαστούν.

Αυτό είχε τεράστια αξία για την εξέλιξη του τελικού σχεδίου καθώς μέσω της ταχείας προτυποποίησης μπορούσαμε να έχουμε στα χέρια μας το δοκίμιο σε πραγματικές διαστάσεις με όλες τις γεωμετρικές του πληροφορίες. Συνεπώς έτσι μπορούμε να συγκρίνουμε, να δοκιμάζουμε την εργονομία της λαβής, την εμφάνιση, και τις όποιες γεωμετρικές ατέλειες υπήρχαν οι οποίες δεν θα μπορούσαν να γίνουν αντιληπτές μέσω της οθόνης του υπολογιστή.

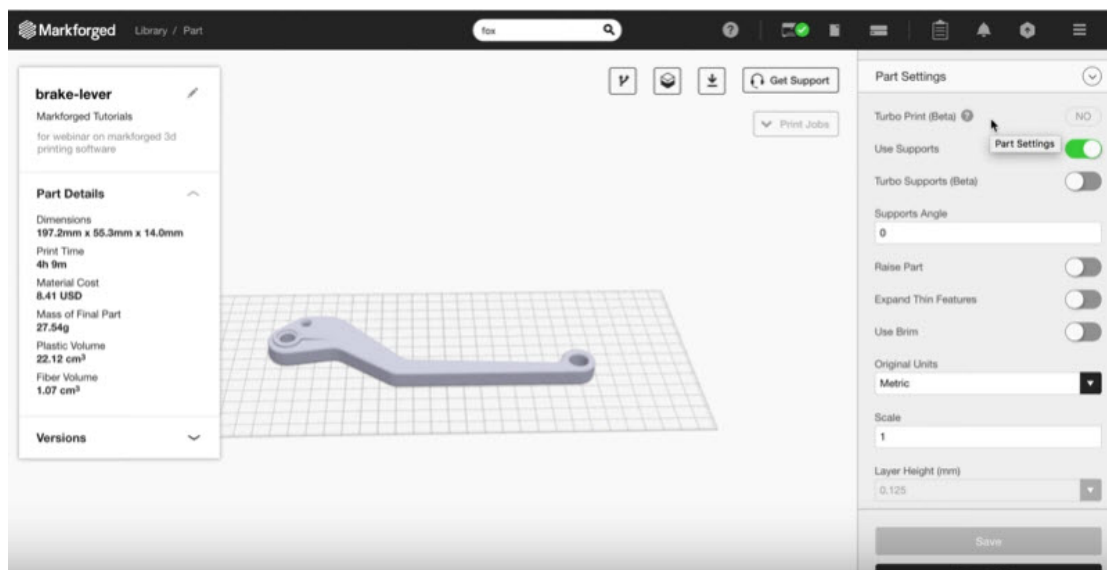


Εικόνα 59 3D printer Markforged mark2, [B9]



Εικόνα 60 Διαδικασία από την σύλληψη στο τελικό προϊόν, [B9]

Για μεγαλύτερη ταχύτητα ο εκτυπωτής διαθέτει 3 επιλογές ύψους ανά στρώση 100, 150, 200 μm . Επιλέχθηκε λοιπόν η στρώση να έχει πάχος 200 μm ή αλλιώς 0,2 mm και επίσης τέθηκε ως παράμετρος στο πρόγραμμα οι πρώτες 10 εξωτερικές στρώσεις να είναι συμπαγείς και εσωτερικά να υπάρχει πλήρωση περίπου 35%. Επομένως από το σχέδιο στο CAD, παράγουμε ένα αρχείο stl που είναι σε τέτοια ουδέτερη μορφή που αντλαμβάνεται ο εκτυπωτής, το εισάγουμε στον slicer του προγράμματος, αυτό παράγει το G-CODE και το στέλνει στον εκτυπωτή για εκκίνηση της εκτύπωσης. Θα πρέπει να αναφερθεί όμως ότι η ακόλουθη διαδικασία δεν είναι και ιδιαίτερα σύντομη. Ο λόγος είναι ότι για κάθε τεμάχιο το οποίο κατασκευάζαμε, χρειαζόταν περίπου στις 20 - 27 ώρες. Επίσης λόγω του ότι το onyx με το οποίο κατασκευάστηκαν τα δοκίμια μας είναι ακριβό λόγο των καλών μηχανικών ιδιοτήτων που έχει, επομένως κάθε λάθος στο σχέδιο πέραν από τον χρόνο κόστιζε και σε χρήμα. Παρακάτω παρατίθεται μία φωνογραφία από το γραφικό περιβάλλον του eiger.io (Εικόνα 61), το οποίο μας δίνει και πληροφορίες για τις συνολικές διαστάσεις του κομματιού, το βάρος του, το κόστος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί ανάλογα και με το ποσοστό πλήρωσης που έχουμε επιλέξει, αλλά και ο εκτιμώμενος χρόνος περάτωσης της διαδικασίας.



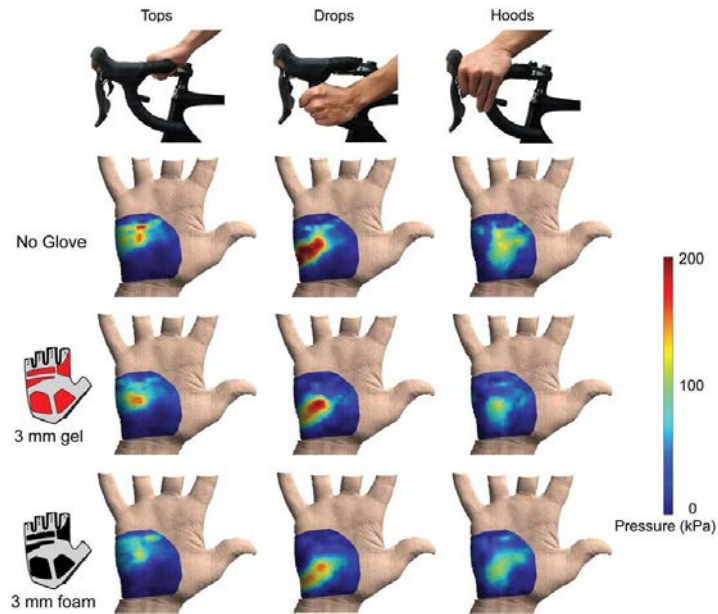
Εικόνα 61 Γραφικό περιβάλλον eiger.io Παρουσίαση μανέτας φρένου, [B9]

Συνολικά εκτυπώθηκαν **6 δοκίμια** τα οποία δοκιμάστηκαν τόσο από άποψη εφαρμογής των πρόσθετων αξεσουάρ, όπως μανέτες φρένου, ο λαιμός του τιμονιού, ταχύμετρο, και φακός ποδηλάτου, αλλά και από άποψη εργονομίας. Η εργονομία και η άνεση κατά το κράτημα είναι τα ζητήματα με το μεγαλύτερο δείκτη βαρύτητας. Σε αυτή την προσπάθεια μας βοήθησαν και κάποιοι έμπειροι αθλητές οι οποίοι δέχθηκαν να μας παρέχουν πληροφορίες-feedback δοκιμάζοντας έστω και στατικά τα διάφορα δοκίμια. Συνεπώς λοιπόν έπειτα από κάθε εκτύπωση, το δοκίμιο δοκιμαζόταν από αρκετούς αθλητές διαφορετικών κατηγοριών ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και πιο πλούσιο δείγμα. Φυσικά το τι βόλευε τον καθέναν ήταν σίγουρα και κάτι προσωπικό ανάλογα με την κατασκευή του σώματος του κάθε αθλητή, αλλά παρόλα αυτά έγινε πολύ καλή προσπάθεια στην συγκέντρωση όλων των κοινών τόπων συμφωνίας τους και έτσι κάθε φορά προβαίναμε στην επόμενη σχεδίαση.

Κρίθηκε λοιπόν σημαντικό να υπάρξει και μία μικρή ανάλυση-αναζήτηση γύρω από την ανατομία μιας παλάμης και κυρίως σε ότι αφορά τις πιέσεις που ασκούνται και τον τρόπο με τον οποίο αντιδρούν τα νεύρα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με στόχο την καλύτερη και αποτελεσματικότερη σχεδίαση του τελικού προϊόντος.

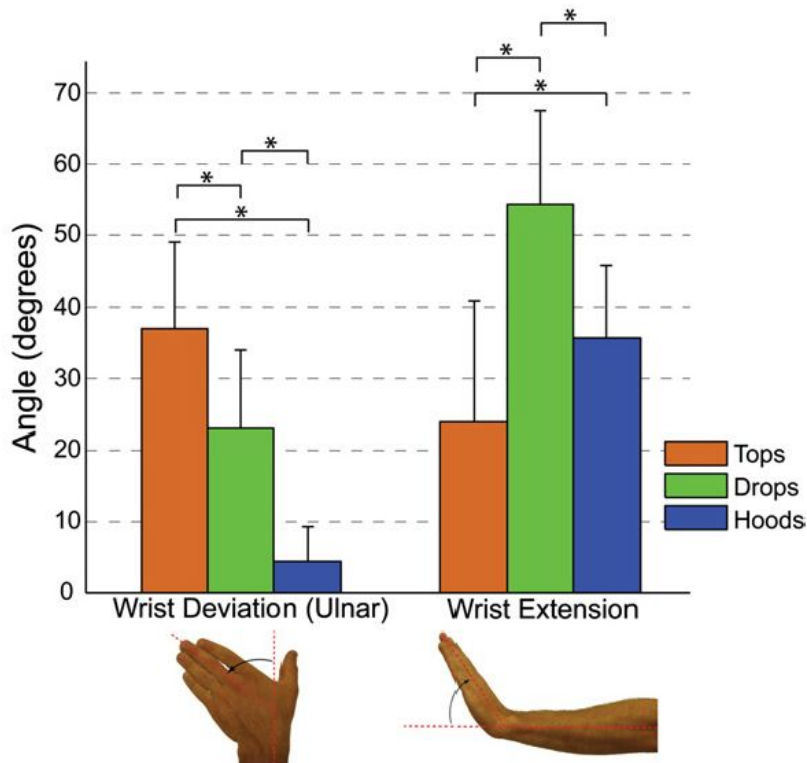
Η χρόνια πίεση στο πλευρικό νεύρο θεωρείται ότι είναι η κυριότερη αιτία απώλειας αίσθησης και κίνησης του χεριού του ποδηλάτη. Τα γάντια με ενίσχυση είναι ικανά να μειώσουν την πίεση κατά 10-28%, τα γάντια που έχουν αφρό αποσβένουν ακόμη περισσότερο την πίεση. Η αλλαγή θέσεων οδήγησης μειώνει επίσης τις πιθανότητες εμφάνισης της πάθησης αυτής που ονομάζεται ποδηλατική παράλυση (Cyclists Palsy). Αυτό το πρόβλημα συνήθως εμφανίζεται ως μούδιασμα και υπερευαισθησία στο πέμπτο δάκτυλο και στη μεριά του τέταρτου που καταλήγει το ωλενικό νεύρο συνοδευόμενο από αδυναμία στους μύες αυτών των δακτύλων. Τα συμπτώματα της ποδηλατικής παράλυσης ποικίλουν από ποδηλάτη σε ποδηλάτη αναλόγως την περίπτωση και η διάρκειά τους μπορεί να είναι από μερικές μέρες έως μήνες.^[B28]

Δύο νεύρα ελέγχουν την παλάμη του χεριού, το μεσαίο (median) και το ωλενικό (ulnar). Το ωλενικό νεύρο έχει δύο κλάδους: τον επιφανειακό και τον εσώτερο. Ο επιφανειακός κλάδος δίνει την αίσθηση του μισού τέταρτου και του πέμπτου δακτύλου, ενώ ο εσώτερος κλάδος δίνει κίνηση στους αντιθέναρ (hypothenar) μύες και άλλους μικρότερους της παλάμης. Όταν η αντιθέναρ περιοχή συμπιέζεται τότε πιέζεται το επιφανειακό και το εσώτερο ωλενικό νεύρο, με αποτέλεσμα την ποδηλατική παράλυση. Τα ενισχυμένα γάντια και οι αλλαγές θέσεων οδήγησης μπορεί να είναι μέτρα πρόληψης της ποδηλατικής παράλυσης, αλλά τα ακριβή μέτρα πρόληψής της δεν έχουν καθοριστεί. Εκτός της απευθείας πίεσης στην αντιθέναρ περιοχή, η διατήρηση δυσμενούς θέσης του καρπού ίσως οδηγήσει σε ποδηλατική παράλυση, λόγω διάτασης του ωλενικού και του μεσαίου νεύρου. Η δυσμενέστερη θέση για οδήγηση είναι η κάτω θέση (drop), γιατί οι καρποί είναι πολύ λυγισμένοι και στα χέρια ασκείται επιπλέον 4% του βάρους του ποδηλάτη σε σχέση με την πάνω (top) και με την μπροστινή (hood) θέση. Ανάλογα με την θέση οδήγησης αλλάζει και η καταπόνηση των νεύρων της παλάμης.



Εικόνα 62 Κατανομή πιέσεων στις παλάμες σε διάφορες περιπτώσεις, [B28]

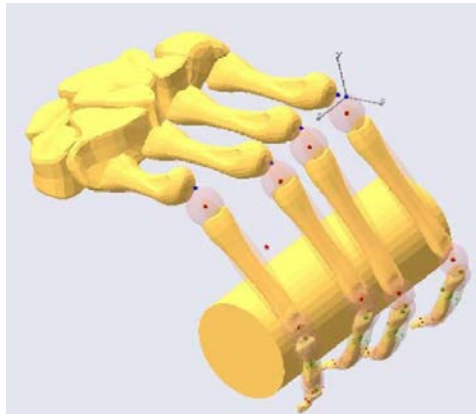
Η έκταση του καρπού (Wrist Extension) (Εικόνα 63), είναι πολύ μεγαλύτερη στην κάτω θέση (54°) σε σχέση με την μπροστά (36°) και την πάνω (23°). Η απόκλιση του καρπού (Wrist Deviation) είναι μεγαλύτερη στην επάνω θέση (37°) σε σχέση με την κάτω (22°) και την μπροστά (4°) θέση.



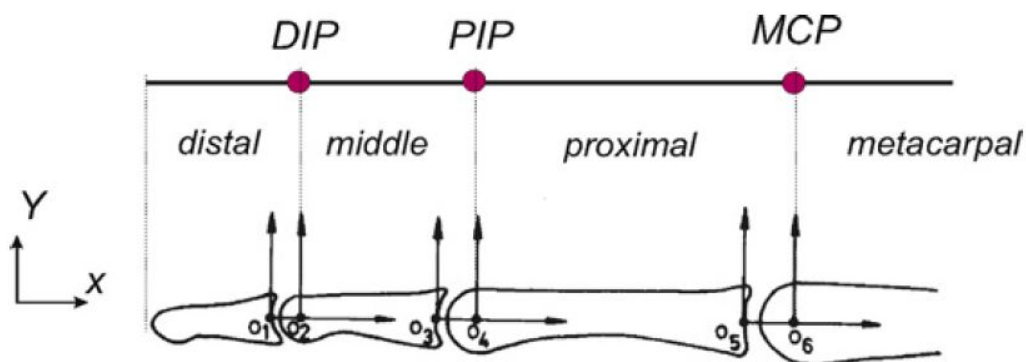
Εικόνα 63 Γωνίες καρπού ανάλογα με τη θέση οδήγησης, [B28]

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αν η πίεση που ασκείται στα χέρια του ποδηλάτη είναι περίπου 160kPa (αυτό αντιστοιχεί σε 30kg) για μιάμιση ώρα θα παρατηρηθεί αδράνεια των νεύρων. Εάν όμως η πίεση αυτή διαρκέσει 3 ώρες μπορεί να προκληθεί αδυναμία κίνησης και αίσθησης του τέταρτου και πέμπτου δακτύλου για βδομάδες ή και μήνες.

Η σχέση λαβής και χεριού επηρεάζει την άνεση και την ασφάλεια χρήσης του εργαλείου ή/και της μηχανής σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει. Ερευνητές έχουν υπολογίσει τις κάθετες δυνάμεις επαφής καθώς και το πως επηρεάζουν οι δυνάμεις τριβής μεταξύ του χεριού και της λαβής, μυοσκελετικά το χέρι. Οι μελέτες αυτές έδειξαν ότι οι μέγιστες δυνάμεις και ροπές των αρθρώσεων του χεριού επιτυγχάνονται σε κυλίνδρους περίπου 31mm (Εικόνα 64).



Εικόνα 64 Αποτύπωση σκελετικών οστών παλάμης, [B28]



Εικόνα 65 Ονομασία οστών δακτύλου παλάμης, [28]

Οι τριβές μεγιστοποιούνται στην διάσταση αυτή αλλά μόνο για τις αρθρώσεις μεταξύ του DIP και PIP, ενώ στην MCP αυξάνονται όσο αυξάνεται και η διάσταση του κυλίνδρου. Φυσικά θα μπορούσε να γίνει και εκτενέστερη ανάλυση πάνω σε αυτό το κομμάτι αλλά ίσως να κρίνεται υπερβολική μια τέτοια ενέργεια (Εικόνα 65).

Συνεχίζοντας λοιπόν, θα ξεκινήσουμε να παρουσιάσουμε τις 6 διαδοχικές λύσεις με κάποιο σχολιασμό έτσι ώστε να εξηγήσουμε πως φτάσαμε στην τελική σχεδίαση. Στις περιπτώσεις 1A και 1B δοκιμάστηκαν δυο διαφορετικές καμπυλότητες που συνδέουν την αεροτομή με το drop. Στην 1A δοκιμάστηκε μεγαλύτερη καμπυλότητα με απόσταση από το τέλος της αεροτομής μέχρι το κέντρο του drop 25 mm ενώ στην 1B 45 mm. Επομένως για να παραμείνει σταθερό το μήκος του τιμονιού άλλαξε το συνολικό μήκος της αεροτομής.

Ακόμη η αεροτομή όπως προαναφέραμε είχε μία θετική κλίση $+6^\circ$ ως προς τον οριζόντιο άξονα. Τέλος το droop όπως αρχικά είχε προσεγγιστεί θεωρήθηκε μικρό και επομένως χρειάστηκε επανασχεδιασμός με καινούριες B-splines.

Συνεπώς δοκιμάστηκε και μία με ενδιάμεση ακτίνα καμπυλότητας με απόσταση 35 mm από την άκρη της αεροτομής μέχρι το κέντρο του droop. Επίσης μίκρυνε η καμπυλότητα του droop άλλαξε και η πάνω πλευρά του και κάπως έτσι διαμορφώθηκε η δεύτερη κατασκευαστική λύση.

Στις 3 πρώτες αυτές δοκιμές 1A 1B και 2 (Εικόνα 66 - Εικόνα 69) έπειτα από αρκετές δοκιμές με διάφορους αθλητές παρατηρήθηκε ότι το πιάσιμο στην αεροτομή (1^η λαβή) και στην κούρμπα (2^η λαβή hoods) δεν ήταν τόσο εργονομικό-βολικό και παρατηρήθηκε ότι η παλάμη είχε την τάση να γλιστρήσει και να χαθεί η επαφή με το τιμόνι. Αυτό λοιπόν που παρατηρήθηκε ήταν ότι οφειλόταν στην μεγάλη συνολική κλίση που αποκτούσε η αεροτομή λόγω της επιπρόσθετης κλίσης που της είχε δοθεί αρχικά. Επίσης μετά από σύγκριση των 1A και 1B βρέθηκε ότι η μεγαλύτερη καμπυλότητα ήταν πολύ πιο βολική για την παλάμη καθώς την αγκάλιαζε καλύτερα, υπήρχε μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής συνεπώς και καλύτερη στήριξη. Ακόμη άλλο ένα σημείο που παρατηρήθηκε ότι υπήρχε πρόβλημα ήταν με τις δύο καμπυλότητες του droop την πάνω και την κάτω. Η πάνω ήταν πιο μεγάλη από ότι έπρεπε και έτσι δεν μπορούσε να εφαρμόσει τόσο καλά ο σφικτήρας της μανέτας του φρένου που σημαίνει μεγάλες σημειακές τάσεις που μπορούσαν να τραυματίσουν το droop. Επιπροσθέτως με μικρή αλλαγή της θέσης της μανέτας προκαλούνταν υπερβολικά μεγάλη μεταβολή στην κλίση της, πράγμα που δεν ήταν επιθυμητό. Επίσης η κάτω καμπυλότητα δεν ήταν αρκετά μικρή και έτσι δεν βοηθούσε πολύ στο εργονομικό και άνετο κράτημα και προτάθηκε να αλλαχτεί.



Εικόνα 66 1^ο εκτυπωμένο δοκίμιο A version



Εικόνα 67 1^ο εκτυπωμένο δοκίμιο A και B version



Εικόνα 68 1^ο εκτυπωμένο δοκίμιο B version



Εικόνα 69 2^ο εκτυπωμένο δοκίμιο

Συνεπώς λοιπόν έπειτα από αυτές τις αδυναμίες που εμφανίστηκαν, έπρεπε να σχεδιαστεί εκ νέου το τιμόνι και να εκτυπωθεί ξανά. Πριν λοιπόν ξεκινήσει η σχεδίαση του τιμονιού προτάθηκε η δημιουργία μιας κλίσης των $drop$ ως προς το κατακόρυφο επίπεδο YZ . Η γωνία αυτή όπως αναφέρθηκε και στην αρχή των ορισμών ονομάζεται flare. Οπότε δώσαμε μια γωνία $f=5^\circ$. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι με αυτόν τον τρόπο το μήκος του τιμονιού του ποδηλάτου στην κάτω πλευρά είναι μεγαλύτερο κατά 40 mm πράγμα που είναι πιο εργονομικό καθώς τα χέρια του αναβάτη είναι σε λίγο πιο ανοιχτή θέση και παρόλο που είναι περισσότερο σκυμμένος δεν εμποδίζεται περισσότερο η αναπνοή του, κάτι το οποίο είναι ζωτικής σημασίας και για τον ίδιο αλλά και για την καλύτερη αποδοσή του. Σε κάποια άλλα τιμόνια δίνονται και ακόμα μεγαλύτερες τιμές στη γωνία flare όμως αυξάνεται περισσότερο η συνολική εκτειθέμενη επιφάνεια στον αέρα πράγμα που δεν καθιστά το τιμόνι τόσο αεροδυναμικό (θεωρητικά διότι πρακτικά είναι απειροελάχιστη η διαφορά) και επομένως δεν θα μπορούσε εμπορικά να καταταγεί σε αυτή την κατηγορία.



Εικόνα 70 3^ο εκτυπωμένο δοκίμιο σε κομμάτια

Λαμβάνοντας λοιπόν αυτά υπόψη, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε και το τρίτο δοκίμιο (Εικόνα 70). Επίσης προτάθηκε το τελείωμα του drop να έχει ένα οριζόντιο τμήμα γύρω στα 50 mm ώστε να δίνεται η δυνατότητα να υπάρχει μία ακόμα λαβή σε περίπτωση ορθοπεταλίας. Επειδή όμως το δοκίμιο ήταν αρκετά μεγάλο πλέον δεν μπορούσε να χωρέσει στα όρια του τραπέζιού του εκτυπωτή και κατά δεύτερον επειδή παραγγέλθηκε να εκτυπωθεί το μισό πλέον τιμόνι με οποιαδήποτε θέση και να καταλάμβανε αυτό στο χώρο, θα απαιτούνταν πολύ μεγάλο ποσό υποστηρικτικού υλικού πράγμα ιδιαίτερα χρονοβόρο και κοστοβόρο.

Επομένως το σχέδιο μας πλέον απαρτίζεται από 3 κομμάτια στα οποία έχουν σχεδιαστεί κατάλληλες κυλινδρικές εσοχές και προεξοχές αντίστοιχα για να μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους.

Τα τρία κομμάτια δημιουργήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αλλάζει το τεμάχιο σε κρίσιμα σημεία της γεωμετρίας που μεταφέρουν πολύ πληροφορία και ταυτόχρονα, έτσι ώστε να μην απαιτείται μεγάλη ποσότητα υποστηρικτικού υλικού. Προέκυψε λοιπόν το 3^ο δοκίμιο.



Εικόνα 71 3^ο εκτυπωμένο δοκίμιο συναρμολογημένο

Εφόσον κατασκευάστηκε και δοκιμάστηκε και το 3^ο δοκίμιο όλο το τιμόνι πέραν από την σχεδίαση του drop, είχε αφήσει πολύ ικανοποιημένους και χαρούμενους τους επιβλέποντες. Η γωνία flare ήταν και αυτή πολύ εύστοχη προσθήκη στο σχεδιασμό του τιμονιού.

Παρόλα αυτά, το σχέδιο του drop ως προς τις καμπυλότητες είχε ακόμα κάποιες ατέλειες ως προς το πιάσιμο-σφύξιμο του σφυκτήρα αλλά και ως προς την εργονομία της λαβής. Επομένως χρειάστηκε να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν άλλες δύο λύσεις που αφορούσαν μόνο το κομμάτι των drop και έτσι σχεδιάστηκαν τα δοκίμια 4 και 5 (Εικόνα 72 και Εικόνα 73).



Εικόνα72 4^ο εκτυπωμένο δοκίμιο



Εικόνα 73 5^ο εκτυπωμένο δοκίμιο



Εικόνα 74 Συγκενρωτικά δοκιμίων, συγκριτικές, τελικό 5^ο δοκίμιο δοκιμές θέσης της μανέτας

Συνεπώς εφόσον σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τα δοκίμια 4 και 5 δοκιμάστηκαν και ύστερα από ενδελεχή έλεγχο προκρίθηκε το 5^ο δοκίμιο ως το βέλτιστο από θέμα εφαρμογής του σφικτήρα στο drop, καθώς και από άποψη συγκράτησης και εναλλαγής της κλίσης της μανέτας, ανάλογα με την μεταβολή της θέσης της αλλά και το σημαντικότερο από άποψη εργονομίας. Σχεδόν όλοι οι αθλητές συμφώνησαν ότι το 5^ο δοκίμιο διέθετε το καλύτερο κράτημα σε όλες τις λαβές από όλα όσα είχαν δοκιμάσει και πρότειναν να χρησιμοποιηθεί αυτή η λαβή και στο τελικό σχέδιο.

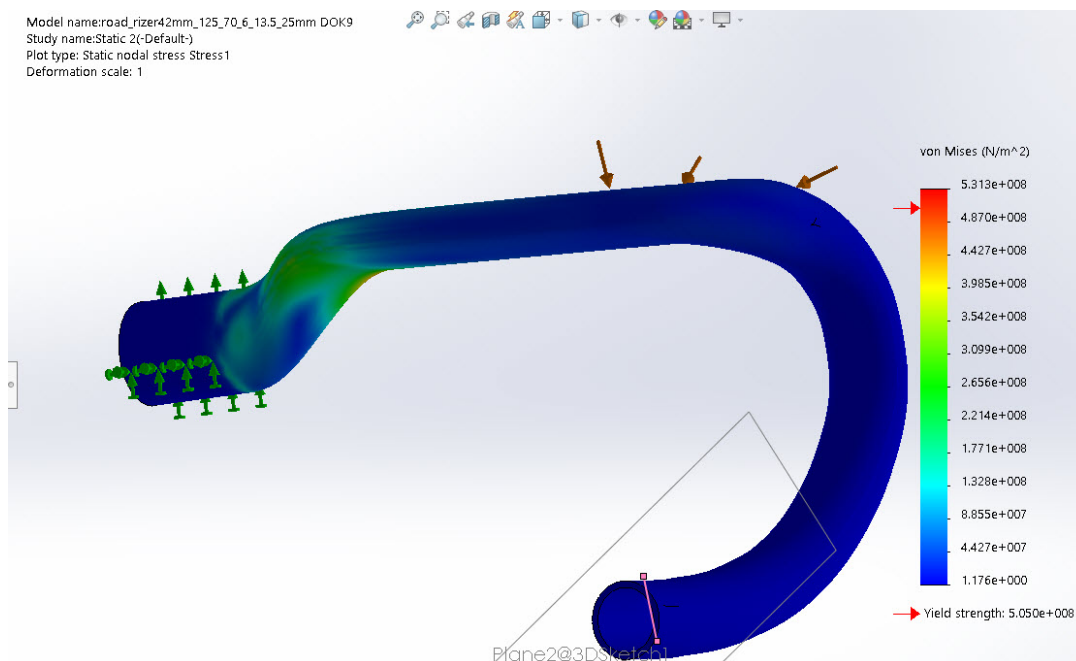
2.6 Δοκιμή τιμονιού με πεπερασμένα στοιχεία Τεστ Αντοχής

Σχεδόν λοιπόν το κομμάτι της σχεδίασης του τιμονιού είχε ολοκληρωθεί. Το μόνο που έμενε ήταν να δοκιμαστεί το τιμόνι σε ένα πρώτο τεστ αντοχής έτσι ώστε να δούμε αν υπήρχαν σημεία με συγκεντρώσεις τάσεων ή υπερβολικά πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε περιοχές πράγμα που θα σήμαινε την αλλαγή γεωμετρίας. Για να εκπληρωθεί λοιπόν αυτή η διαδικασία θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν πεπερασμένα στοιχεία. Επειδή όμως μέχρι εκείνη τη στιγμή οι γνώσεις πάνω στο πακέτο των πεπερασμένων στοιχείων του NX ήταν μηδαμινές προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί αρχικά το Solidworks για την μοντελοποίηση σαν μία πρώτη προσέγγιση ώστε να διαπιστωθούν όλα τα τρωτά σημεία που προαναφέρθηκαν. Επομένως το σχέδιο που είχε γίνει με το NX το οποίο αποτελούνταν από επιφάνειες (surfaces) δηλαδή είχε μηδενικό πάχος, μετατράπηκε σε πλήρως λειτουργικό τιμόνι με πάχος 2 mm. Επίσης καταργήθηκαν και οι οπές που είχαν δημιουργηθεί ώστε να μην έχουμε συγκεντρώσεις τάσεων στις περιοχές αυτές και να μην επηρεάζεται και το υπόλοιπο σχέδιο από αυτές. Κατόπιν αυτό το αρχείο μετατράπηκε σε STEP και σε IGES αρχεία που είναι ουδέτερες μορφές ώστε να μπορέσουν να διαβαστούν από οποιοδήποτε πρόγραμμα και εισήχθησαν στο Solidworks. Ο λόγος που έγιναν δύο μετατροπές ήταν ότι λόγω επιφανειών που είχαν δημιουργηθεί με B-splines υπήρχε περίπτωση κατά την μετάφραση του αρχείου να χαθεί πληροφορία της γεωμετρίας και με αυτόν τον τρόπο έγινε έλεγχος και σύγκριση των δύο αρχείων και τελικά αποδείχτηκε ότι ήταν πανομοιότυπα, οπότε δεν υπήρχε πρόβλημα όποιο από τα δύο και αν χρησιμοποιούνταν.

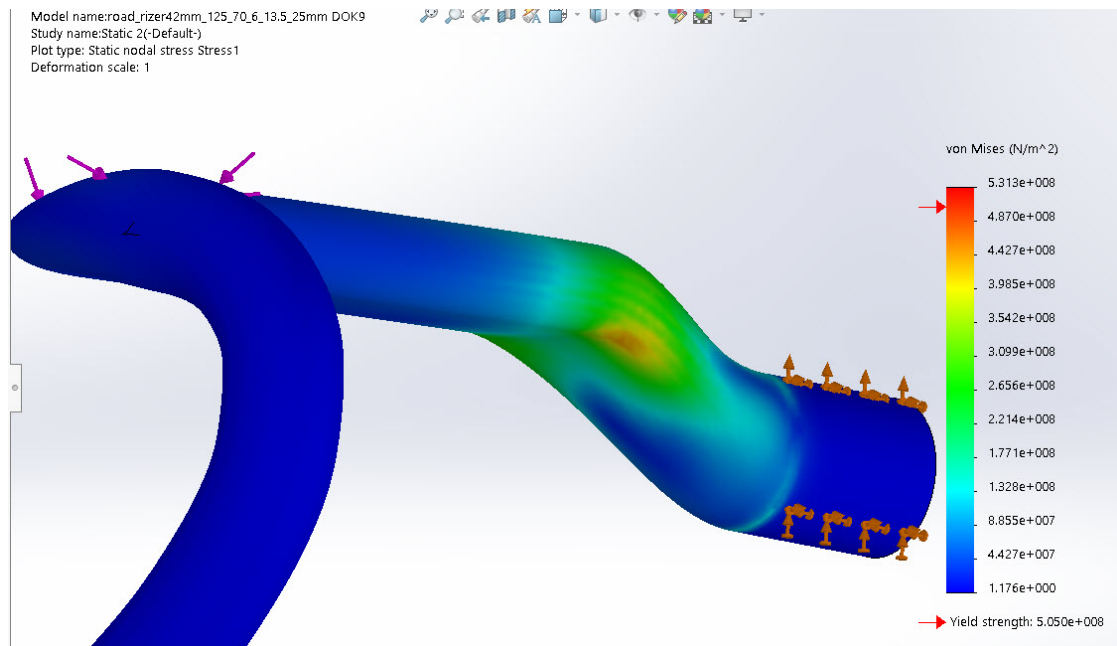
Εφόσον έγινε η εισαγωγή του αρχείου στο Solidworks, έπρεπε αρχικά να δώσουμε κάποιες ιδιότητες ως προς την αντοχή, την πυκνότητα στο τιμόνι δηλαδή να του δώσουμε μία ταυτότητα. Αυτές αφορούσαν το υλικό το οποίο θα χρησιμοποιούνταν. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν αλουμίνιο 7075 T6 και με αυτό το υλικό μοντελοποιήθηκε το τιμόνι. Έπειτα έπρεπε να φτιαχτεί το πλέγμα (mesh) το οποίο αποτελούνταν από 3d στοιχεία. Το Solidworks 2017 που χρησιμοποιήθηκε δεν δίνει πολλές δυνατότητες ως προς την επιλογή τύπου πεπερασμένων στοιχείων που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Παρόλα αυτά είχε την δυνατότητα να ρυθμίσουμε την πυκνότητα του πλέγματος. Για να έχουμε την μέγιστη δυνατή ακρίβεια, το πλέγμα έγινε όσο το δυνατόν πιο πυκνό μπορούσε να γίνει από τις default δυνατότητες που παρείχε το πρόγραμμα (fine meshing).

Μετά από αυτό έπρεπε να δούμε ποιο κριτήριο από αυτά που έχει το iso είναι το πιο δυσμενές για την κατασκευή και αυτό να εφαρμοστεί κατ' αρχάς έτσι ώστε να εμφανιστούν πιο εύκολα οι όποιες αδυναμίες της.

Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στην προκειμένη περίπτωση ήταν μία πάκτωση στο κέντρο του τιμονιού καθώς και στην πραγματικότητα σε αυτό το σημείο το τιμόνι συσφίγγεται με το λαιμό του ποδήλατου, και η εφαρμογή μίας κατακόρυφης δύναμης 1000N όσο δηλαδή και το μέγιστο βάρος ενός αναβάτη που υπάρχει σε αγωνιστική ποδηλασία εκεί που συνδέεται το τέλος της αεροτομής με το drop που όπως προαναφέρθηκε λέγεται hood (Εικόνα 75). Φυσικά η δύναμη αυτή δεν αντικατοπτρίζει ακριβώς το βάρος του αναβάτη καθώς ένα μεγάλο μέρος του στηρίζεται στα πετάλια και την σέλα όμως σε μία ανωμαλία-λακκούβα του δρόμου το φορτίο πολλαπλασιάζεται λόγω επιτάχυνσης από την απότομη μεταβολή της γεωμετρίας του δρόμου, και μέσα από κάποιες υποθέσεις και υπολογισμούς το ISO συστήνει αυτή την τιμή για τις πειραματικές μετρήσεις και τα simulations. Επίσης έγινε και άλλος ένας έλεγχος (Εικόνα 78) με πάκτωση πάλι στο κέντρο του τιμονιού και εφαρμογή της δύναμης 1000 N στην αεροτομή (αυτή δεν συμπεριλαμβάνεται στο ISO γίνεται όμως για λόγους πληρότητας). Τέλος άλλη μία δοκιμή είναι πάλι πάκτωση στο κέντρο του τιμονιού και εφαρμογή μιας δύναμης κατακόρυφης 1000 N στην άκρη του drop που είναι και η δυσμενέστερη (Εικόνα 81). Έτσι προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα τα οποία είναι ιδιαίτερα ευχάριστα καθώς δεν φάνηκαν να υπάρχουν συγκεντρώσεις τάσεων σε κανένα σημείο αλλά περιοχές με υψηλές τάσεις, κάτι που δεν προκαλεί προβλήματα καθώς με την χρήση του carbon δίνεται η δυνατότητα να ενισχυθούν με παραπάνω στρώσεις οι περιοχές αυτές και έτσι δεν θα υπάρχει κανένας απολύτως κίνδυνος. Τα ροζ ή πορτοκαλί βέλη στις εικόνες είναι αυτά των δυνάμεων ή/και των ροπών και τα πράσινα της πάκτωσης. [B30-B31]



Εικόνα 75 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στο hood αναπτυσσόμενες τάσεις (Mpa)

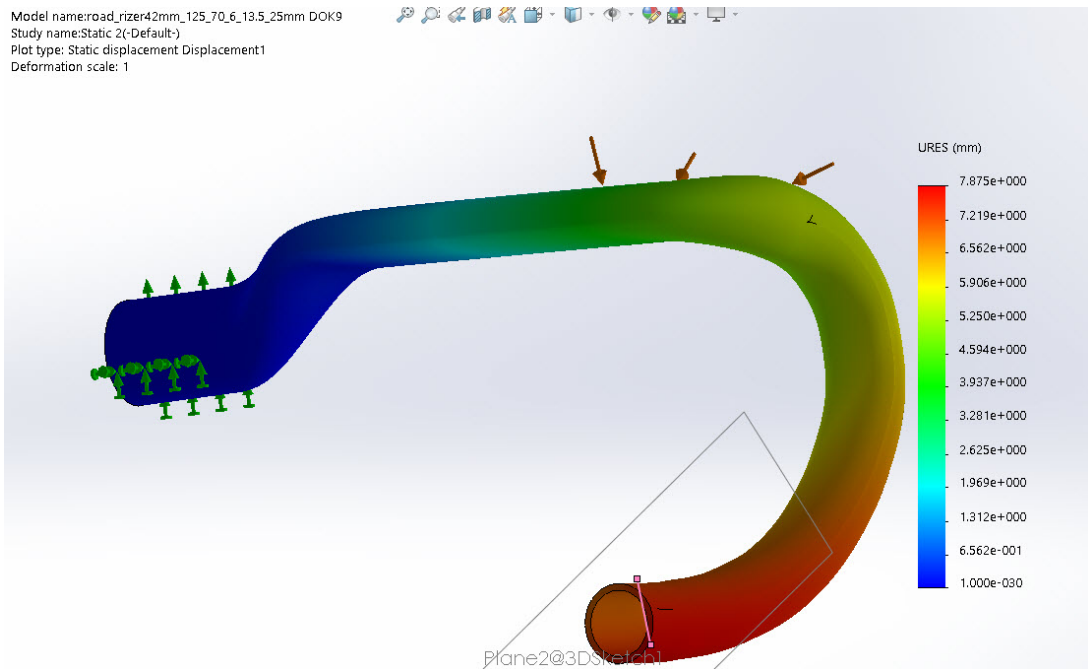


Εικόνα 76 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στο hood από άλλη οπτική γωνία αναπτυσσόμενες τάσεις

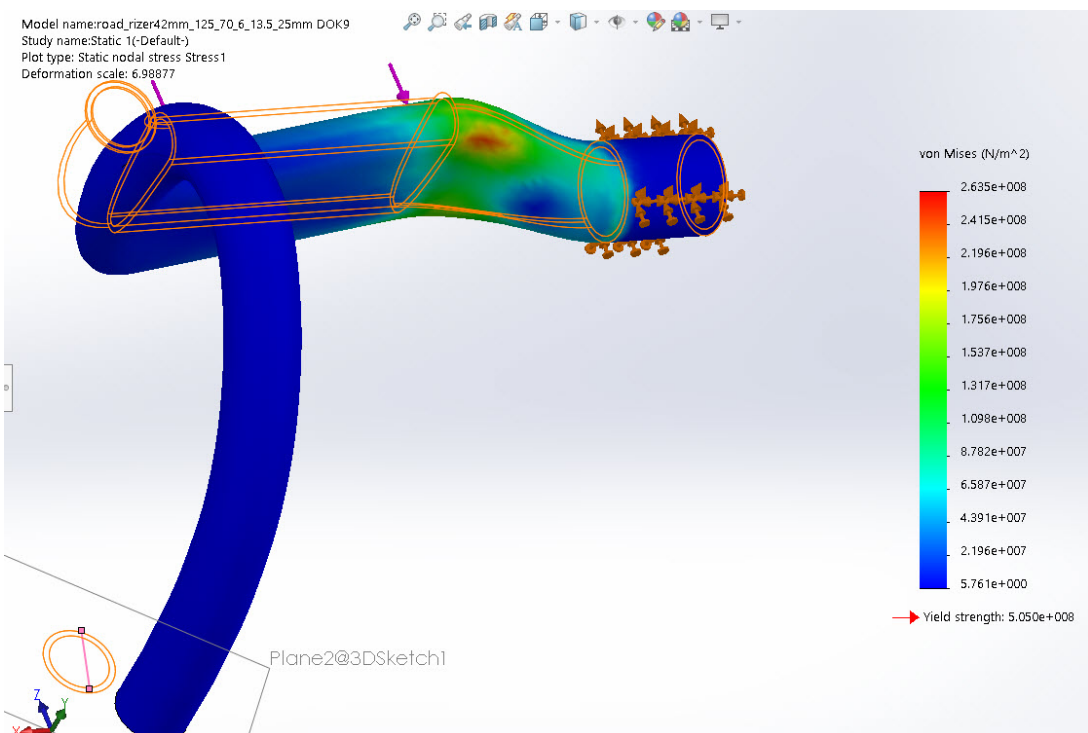
Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε ότι για αυτή την φόρτιση η μέγιστη τάση που εμφανίζεται στην σύνδεση του κεντρικού τμήματος με την αεροτομή είναι **531 MPa** με το όριο διαρροής του αλουμινίου να είναι **505 MPa** που σημαίνει ότι είναι μεγαλύτερη του. Αυτό σημαίνει ότι για να κρατήσουμε το υπάρχον υλικό θα πρέπει να έχουμε μεγαλύτερο από 2mm πάχος αν θέλουμε να επιτύχουμε την μη αστοχία της κατασκευής. Με την έννοια αστοχία πέρα από την κατάρρευση της κατασκευής μπορεί να θεωρηθεί και η διαρροή του υλικού δηλαδή πλέον να έχουμε παραμένουσες παραμορφώσεις. Επειδή όμως το μεταβαλλόμενο πάχος της διατομής είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε τέτοιες γεωμετρίες θα έπρεπε όλες οι διατομές να είναι πιο παχιές πράγμα που σημαίνει αύξηση βάρους για να ενισχυθεί ουσιαστικά μόνο μια περιοχή η οποία έχει αδυναμία. Ενώ με το carbon μπορεί να ενισχυθεί η περιοχή αυτή με πρόσθετες στρώσεις και να πέσει δραματικά το μέγεθος των τάσεων σε αυτές τις περιοχές.

Επίσης σε αυτή τη δοκιμή προκύπτει ότι η μέγιστη μετατόπιση είναι 7,87mm στο κάτω ακραίο σημείο του drop που είναι μεν αποδεκτή αλλά πρόκειται για πλαστική πλέον παραμόρφωση (μέρος της γιατί έχει και μη πλαστικό τμήμα) κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Αυτό το πρόβλημα λύνεται επίσης με το carbon το οποίο έχει πολύ μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας σε σχέση με το αλουμίνιο .

Επίσης για τα 2 mm πάχος υπολογίζεται μέσω της δυνατότητας που δίνει το Solidworks ότι η μάζα του μισού τιμονιού θα είναι γύρω στα 222 gr που σημαίνει ότι όλη η κατασκευή θα ζύγιζε γύρω στα **444 gr**. Έτσι με ένα πάχος στα 3mm θα ζύγιζε **641gr** ενώ διπλασιασμό του πάχους δηλαδή στα 4 mm για να πέσουν αρκετά οι τάσεις σε επιτρεπόμενα όρια καθώς θα πρέπει να συμπεριληφθεί και ο παράγοντας της κόπωσης, το συνολικό βάρος θα ήταν περίπου στα 820 gr ενώ για το δικό μας τιμόνι εκτιμάται ότι το συνολικό του βάρος από carbon θα ανέρχεται στα **200-350 gr** που σε σχέση με το αλουμινένιο πρόκειται για μία σημαντική βελτίωση.



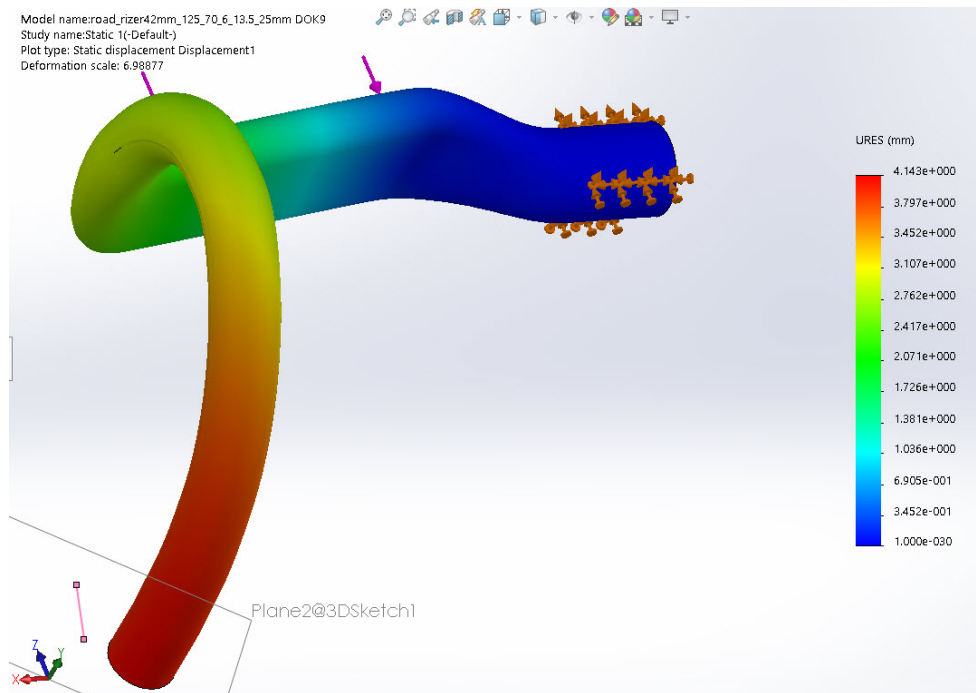
Εικόνα 77 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στο hood-αποτελέσματα μετατοπίσεων



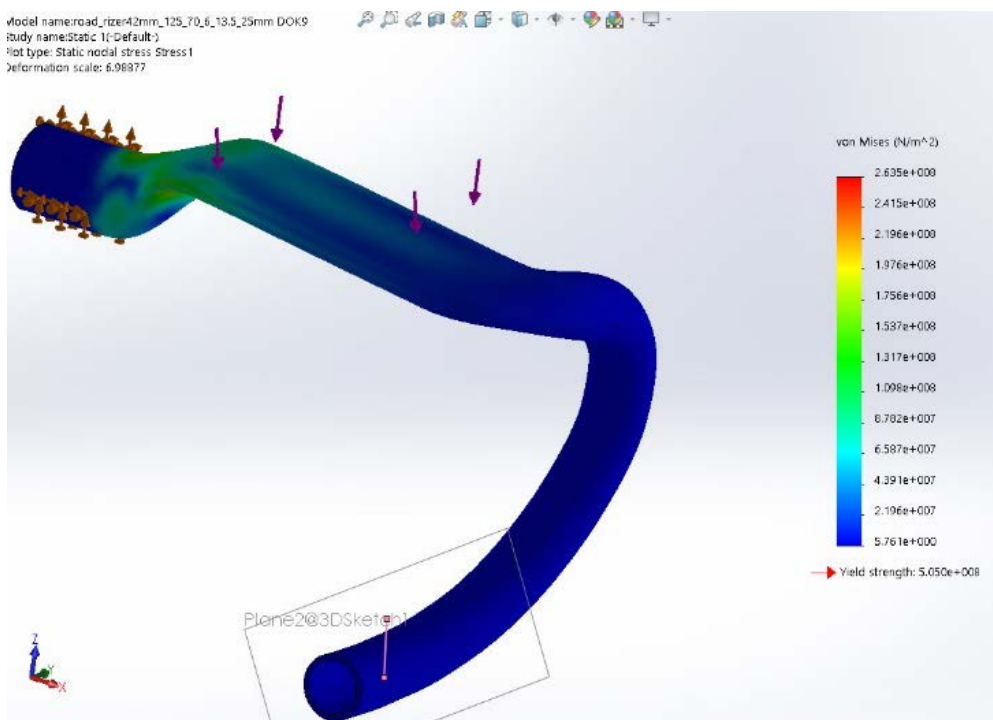
Εικόνα 78 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στην αεροτομή (λιγότερο επικίνδυνη) μέγιστες τάσεις (MPa)

Δοκιμάστηκε επίσης και το λιγότερο επικίνδυνο σενάριο με την άσκηση της κάθετης δύναμης αυτή τη φορά στην αεροτομή και προέκυψαν σαφώς πιο ευνοϊκά αποτελέσματα για την κατασκευή.

Τώρα η μέγιστη τάση που αναπτύχθηκε ήταν **263 MPa** και παρατηρείται να βρίσκεται στην ίδια περιοχή και με την προηγούμενη δοκιμή και η μέγιστη μετατόπιση με αυτή τη φόρτιση είναι **4,14 mm**

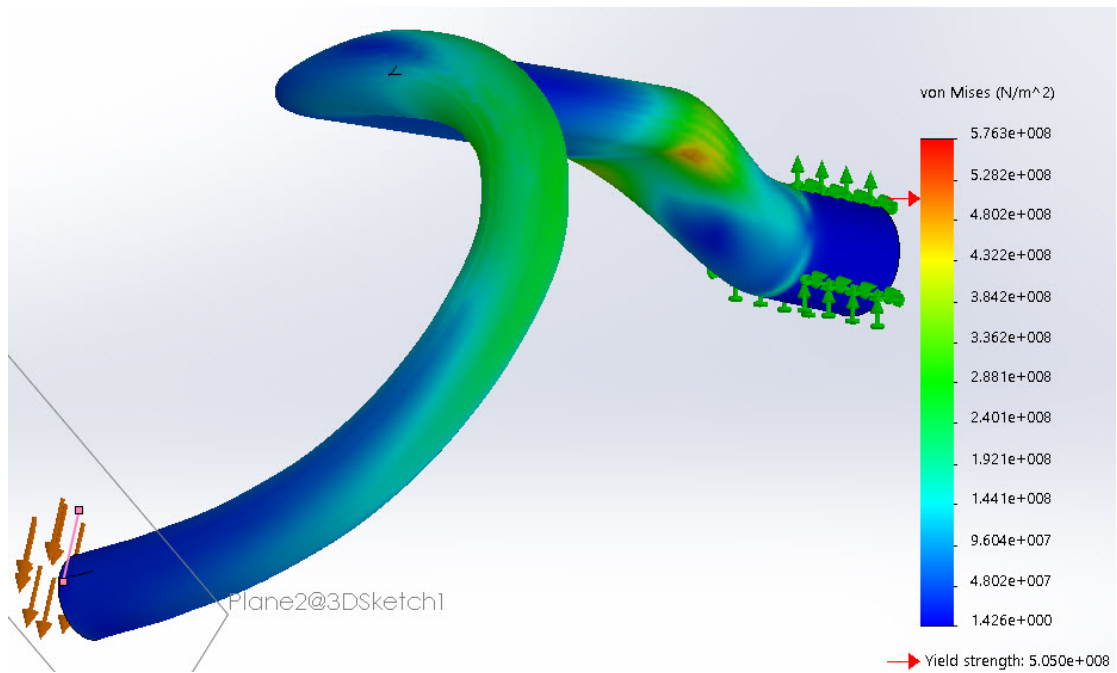


Εικόνα 79 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στην αεροτομή (λιγότερο επικίνδυνη) μετατοπίσεις (mm)

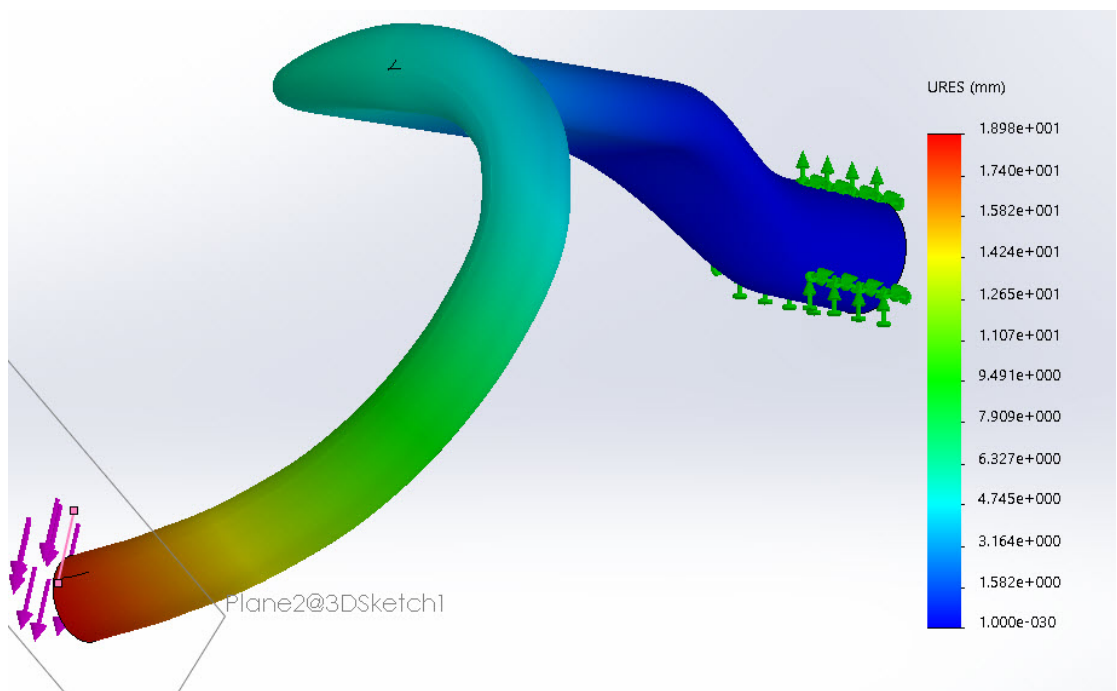


Εικόνα 80 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στην αεροτομή (λιγότερο επικίνδυνη) μέγιστες τάσεις (MPa)

Και τώρα θα δοκιμάσουμε και την τρίτη περίπτωση (Εικόνα 81) όπου η δύναμη των 1000 N ασκείται στην άκρη του drop για να δούμε πως συμπεριφέρεται όλη η κατασκευή καθώς με αυτόν τον τρόπο δεν υπάρχει περιοχή που να είναι αφόρτιστη. Ξέρουμε ότι είναι η πιο δυσμενής και περιμένουμε πιο μεγάλες τάσεις αλλά κυρίως μετατοπίσεις.



Εικόνα 81 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στο κάτω άκρο (πιο επικίνδυνη) μέγιστες τάσεις (MPa)

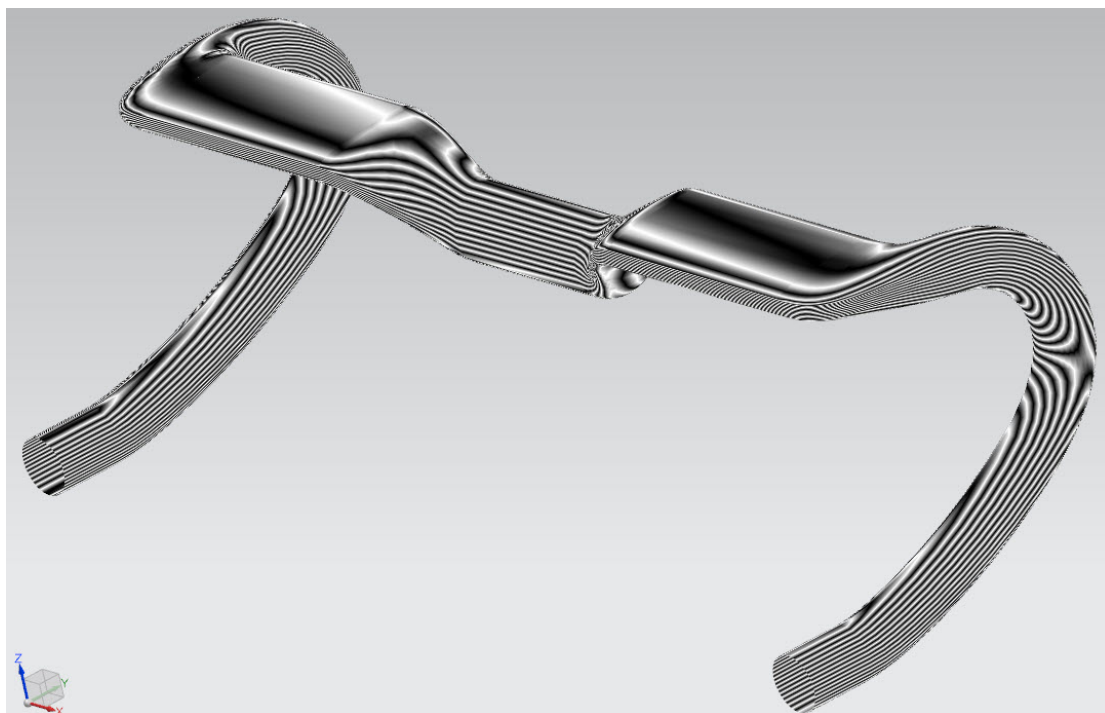


Εικόνα 82 Εφαρμογή δύναμης 1000 N στην αεροτομή (λιγότερο επικίνδυνη) μετατοπίσεις (mm)

Σε αυτή την δοκιμή βλέπουμε μία μικρή αύξηση της μέγιστης τάσης που εμφανίζεται στην κατασκευή που είναι **576 MPa** όσο είναι σχεδόν και το όριο θραύσης της κατασκευής. Αυτό σημαίνει την ολική κατάρρευση της δηλαδή πλήρης αστοχία του υλικού. Τουλάχιστον με αυτές τις δοκιμές βρέθηκαν τα σημεία που υποφέρουν περισσότερο και το ευχάριστο ήταν ότι δεν υπήρχαν συγκεντρώσεις τάσεων σε σημεία αλλά οι τάσεις σε κάποιες περιοχές ήταν αρκετά υψηλές και κυρίως στην ένωση του κεντρικού τμήματος με την αεροτομή.

Επομένως πλέον είναι εύκολο και για την μετέπειτα ανάλυση με το carbon να λάβουμε υπόψη ποιες περιοχές θα χρειαστούν περεταίρω ενίσχυση.

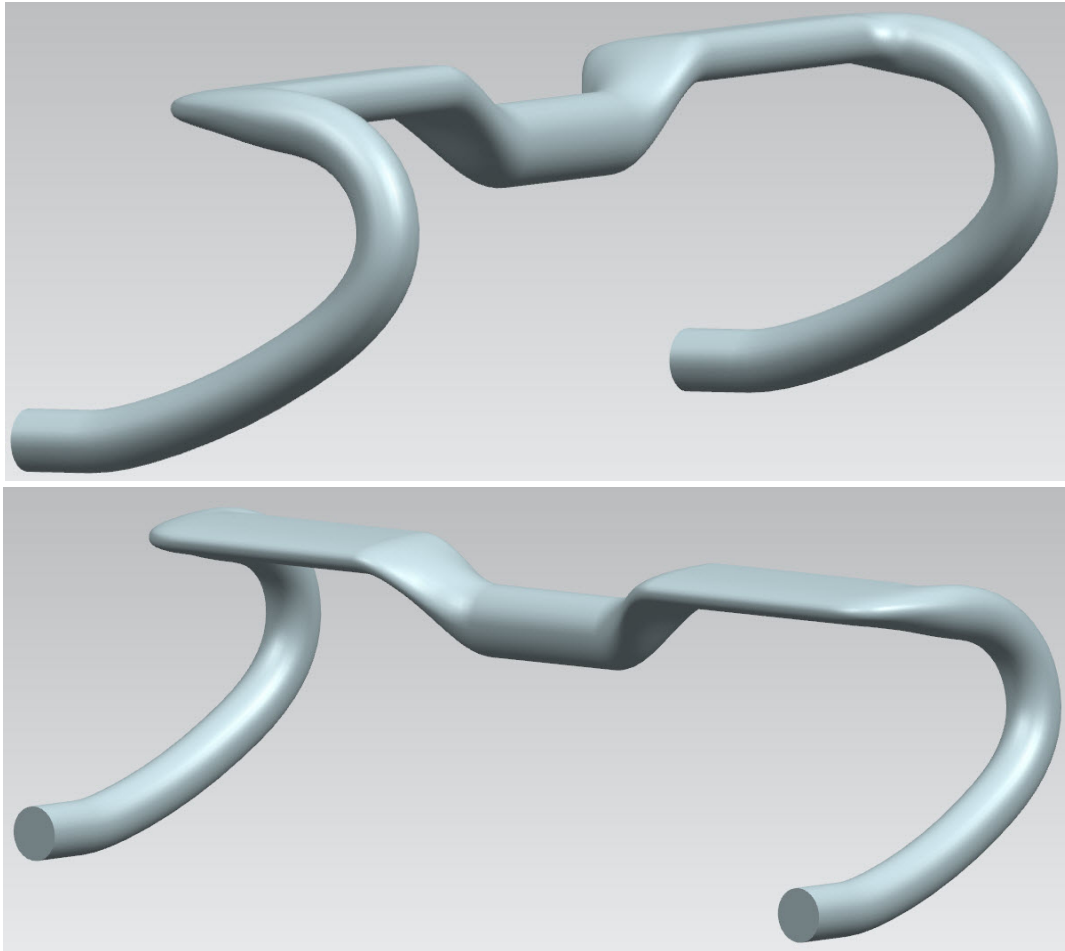
Συνοψίζοντας λοιπόν για το κομμάτι της σχεδίασης θα παρουσιάσουμε το τελικό σχέδιο του τιμονιού με όλα τα βασικά γεωμετρικά του χαρακτηριστικά και θα γίνει και ένας έλεγχος ανάκλασης έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι οι επιφάνειες μεταξύ τους συνδέονται ομαλά χωρίς απότομες μεταβολές κλίσεων.



Εικόνα 83 Έλεγχος ομαλότητας της επιφάνειας του τιμονιού. Εντολή reflection

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η reflection (Εικόνα 83) με την οποία έγινε ο έλεγχος για την ομαλότητα των επιφανειών. Μέσω των συνεχόμενων μαύρων ριγών μπορεί να προκύψει το κατά πόσο υπάρχει ασυνέχεια μεταξύ δύο επιφανειών που συνδέονται μεταξύ τους με μία τρίτη και αυτό παίζει σημαντικό ρόλο ώστε η τελική κατασκευαστική επιφάνεια να είναι λεία και να μην υπάρχουν πολύ μικρές εγχοπές. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα να επηρεαστεί το σχήμα του καλουπιού από το οποίο τελικά θα παραχθεί το τιμόνι.

Έτσι λοιπόν, μπορεί πλέον να παρουσιαστεί το τιμόνι χωρίς τις οπές για τα καλώδια καθώς ύστερα από προτροπή των επιβλεπόντων θεωρήθηκε πιο δόκιμο να κατασκευαστεί το πρώτο τιμόνι και να γίνει επί τόπου δοκιμή για την τελική θέση τους, καθώς οι οπές θα γίνονται με άλλη διαδικασία στο τέλος της κατασκευής του τιμονιού (Εικόνα 84).



Εικόνα 84 Τελικό σχέδιο τιμονιού από διάφορες οπτικές γωνίες

Το τιμόνι λοιπόν που παρουσιάζεται έχει:

- Μήκος Width $W = 420\text{mm}$
- Ανύψωση Rise $R = 25\text{ mm}$
- Διατομή drop $\Phi = 24\text{mm}$
- Κατακόρυφο άνοιγμα κατακόρυφης λαβής Drop = 120 mm
- Οριζόντιο άνοιγμα κατακόρυφης λαβής Reach = 70 mm
- Γωνία Flare $f=5^\circ$
- Γωνία σύνδεσης αεροτομής με το drop $\lambda=-13,5^\circ$
- Κεντρικό πιάσιμο λαιμού Clamp Area CA = 70 mm
- Διάμετρος κεντρικού τμήματος $\Phi=31.8\text{ mm}$
- Μήκος αεροτομής 100 mm
- Ύψος αεροτομής 18 mm
- Πλάτος αεροτομής 54 mm

Επειδή πρόκειται για οικογένεια τιμονιών όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, το σχέδιο έγινε παραμετρικό και ύστερα από συζήτηση και κάποιες δοκιμές για να δημιουργηθούν τα διάφορα μεγέθη, σύμφωνα με τις τάσεις που προέκυψαν από την πρώτη δοκιμή πάρθηκε η απόφαση να αλλάζει μόνο το μήκος της αεροτομής μιας και παρατηρήθηκε ότι στην δυσμενή καταπόνηση η διατομή της αεροτομής δεν αντιμετώπιζε ιδιαίτερα μεγάλες τάσεις. Επίσης τα νούμερα που θέλουμε να παραχθούν είναι 6 (360 mm (X.S.) ,380 mm (S.) 400 mm (M) , 420 mm (L) , 440mm (XL) , 460mm (XXL)). Αυτά τα οποία θα κληθούν να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες τάσεις από τις υπολογιζόμενες είναι τα XL & XXL που επειδή έχουν μεγαλύτερη πρόβολο με την ίδια επιβολή δύναμης θα προκληθούν μεγαλύτερες ροπές άρα και μεγαλύτερες τάσεις που θα κληθεί να αντέξει η κατασκευή.

3. Προδιαγραφές κανονισμών ISO και EN

Εφόσον λοιπόν ολοκληρώθηκε και η μελέτη του τιμονιού από αλουμίνιο, μπορούμε να συνεχίσουμε με την μελέτη του τιμονιού με τα σύνθετα υλικά δοκιμάζοντας διάφορες διαστρωματώσεις και ελέγχοντας τάσεις σε διάφορες διευθύνσεις και μετατοπίσεις. Πριν όμως από αυτήν την διαδικασία κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν τα ευρωπαϊκά και παγκόσμια στάνταρ-νόρμες με τα οποία θα πρέπει να σχεδιάζεται το ποδήλατο και να τα ικανοποιεί. Υπάρχει λοιπόν το EN 14781.

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 περισσότερο, το τιμόνι του αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου και η σύνδεσή του με τον λαιμό πρέπει να αντέχει κάποιες καταπονήσεις.

Αυτό το πρότυπο (EN) έχει πλέον αντικατασταθεί από το πρότυπο **ISO 4210 : 2014**. Συγκεκριμένα οι οδηγίες του ISO που αφορούν το τμήμα της διεύθυνσης του ποδηλάτου είναι το **ISO 4210-5:2014**. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι έλεγχοι που απαιτεί ο κανονισμός όπως αναφέρονται στο πρότυπο αυτό . ^[B30-B31]

Οδήγηση:

1. Διαστάσεις τιμονιού

Το τιμόνι μπορεί να έχει ολικό πλάτος από 350mm έως και 1000mm εκτός και αν 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 περιελιχθεί με την αφρώδη ταινία και τις τάπες που την συγκρατούν, θα πρέπει οι τελευταίες να αντέχουν δύναμη απομάκρυνσης 70N.

2.2 Μέθοδος ελέγχου

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

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

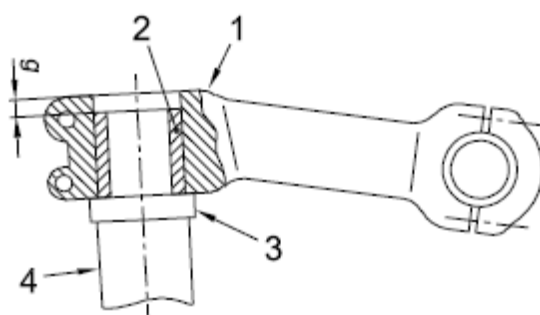
Το τιμόνι-λαιμός θα πρέπει να παρέχει έναν από τους δύο εναλλακτικούς τρόπους που ακολουθούν, ώστε να εξασφαλίζεται ένα ασφαλές βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι.

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 την εξωτερική διάμετρο του λαιμού.

B) Θα πρέπει να έχει διαμόρφωση που θα σταματά την διείσδυση του λαιμού στο πιρούνι στο βάθος που καθορίστηκε στο A.

4. Τιμόνι-λαιμός – σφικτήρας λαιμού με το πιρούνι

Η απόσταση g , που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, ανάμεσα στο πάνω μέρος του σφικτήρα του 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 τιμονιού στον λαιμό και σωστή θέση οδήγησης. Για πιρούνια και λαιμούς από αλουμίνιο και ανθρακονήματα, 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 αποστακτικός δακτύλιος
- 4 σωλήνας κεφαλής ποδηλάτου

Εικόνα 85 Λαιμός σύσφιξης τιμονιού, [B30]

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 πιο 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.

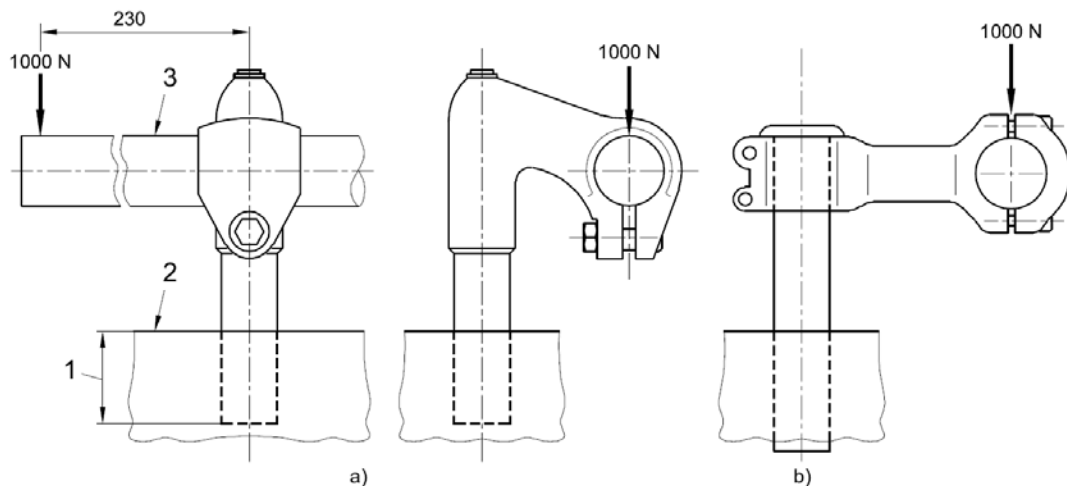
6.1.2 Απαίτηση

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 ελέγχους 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, τον στερεώνουμε σε μια βάση στην οποία θα έχει εισχωρήσει στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος, ή για λαιμό που εισχωρεί το πιρούνι σε αυτόν, τον συνδέουμε σε μία κατασκευή στο ύψος που πρέπει, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Συναρμολογούμε τον λαιμό με μία συμπαγή ράβδο και ασκούμε 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 διείσδυσης
 2 βάση συγκράτησης
 3 συμπαγής ράβδος

Εικόνα 86 Λαιμός τιμονιού κατά την επιβολή δύναμης 1000 N, [B30]

6.2. Τιμόνι και λαιμός - έλεγχος σε πλάγια κάμψη

6.2.1 Γενικά

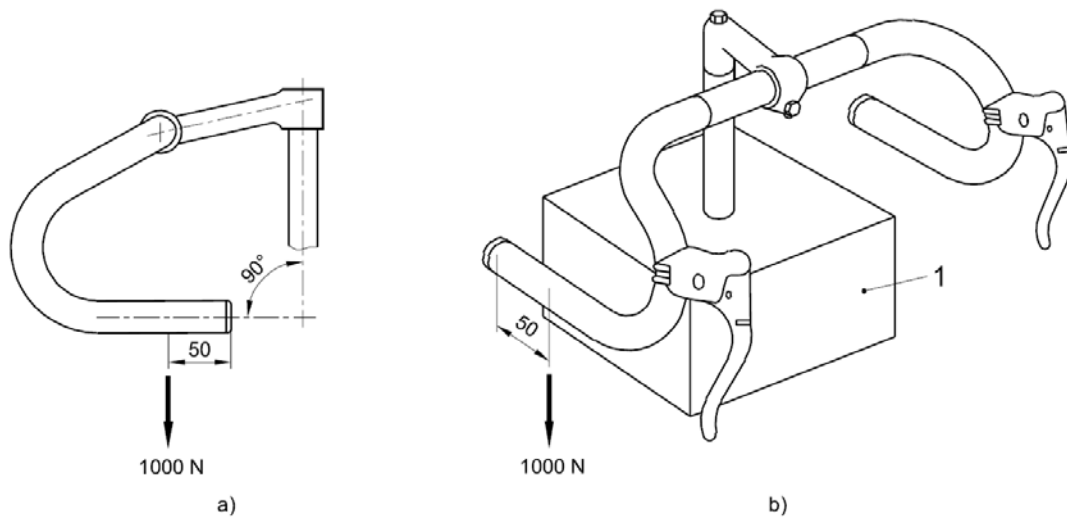
Αυτός ο έλεγχος χρησιμοποιείται για τιμόνια και το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό.

6.2.2 Απαίτηση

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

Συναρμολογούμε το τιμόνι με τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (εκτός και αν το τιμόνι με τον λαιμό είναι μόνιμα συνδεδεμένα) και παραλληλίζουμε τις λαβές του τιμονιού σε ένα επίπεδο, κάθετο στον άξονα οδήγησης. Για λαιμό που εισχωρεί στο πιρούνι, τον συνδέουμε σε μια βάση στην οποία θα έχει εισχωρήσει στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος, ή για λαιμό που εισχωρεί το πιρούνι σε αυτόν, συνδέουμε τον λαιμό σε μία κατασκευή στο ύψος που πρέπει, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Εφαρμόζουμε 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

Εικόνα 87 Εφαρμογή δύναμης 1000 N 50 mm από το άκρο του drop, [B30]

6.3 Τιμόνι-λαιμός - έλεγχος σε μπροστά κάμψη

6.3.1 Γενικά

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

Ασκούμε δύναμη 1600N στο σημείο σύνδεσης του λαιμού με το τιμόνι σε γωνία 45° προς τα κάτω, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί και η δύναμη αυτή θα πρέπει να διατηρηθεί για ένα λεπτό. Διακόπτουμε την διαδικασία και μετράμε την μετατόπιση (6.3.2).

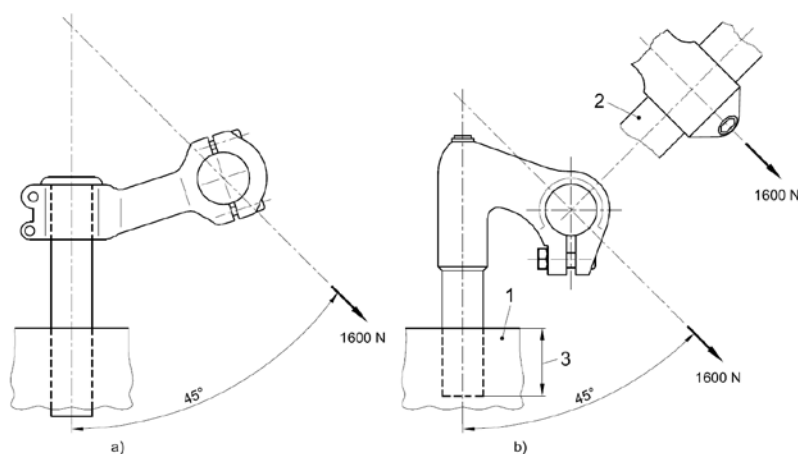
Εάν το τιμόνι-λαιμός καλύπτει την απαίτηση της 6.3.2 συνεχίζουμε στο δεύτερο στάδιο του ελέγχου.

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 πρέπει να 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, εφαρμόζουμε 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 διατηρούμε 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

Εικόνα 88 Εφαρμογή δύναμης 1600 N στον λαιμό σε γωνία 45° από την κατακόρυφο, [B30]

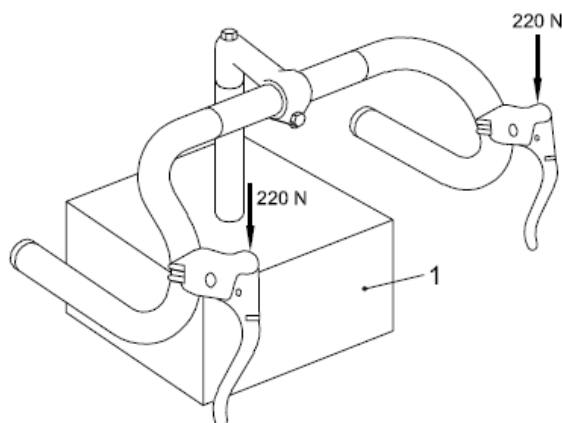
6.4 Τιμόνι - λαιμός, στρεπτικός έλεγχος ασφαλείας

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

Συναρμολογούμε το τιμόνι με τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, συνδέουμε τον λαιμό με την βάση στήριξης στο ελάχιστο επιτρεπτό βάθος διεύθυνσης και παραλληλίζουμε τις λαβές του τιμονιού σε ένα επίπεδο, κάθετο στον άξονα οδήγησης. Εφαρμόζουμε 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.



Εικόνα 89 Εφαρμογή δύναμης 220 N και στις δύο μανέτες του τιμονιού με κατακόρυφη διεύθυνση, [B30]

6.5 Τιμόνι-λαιμός-πιρούνι - έλεγχος σε στρέψη

6.5.1 Απαίτηση

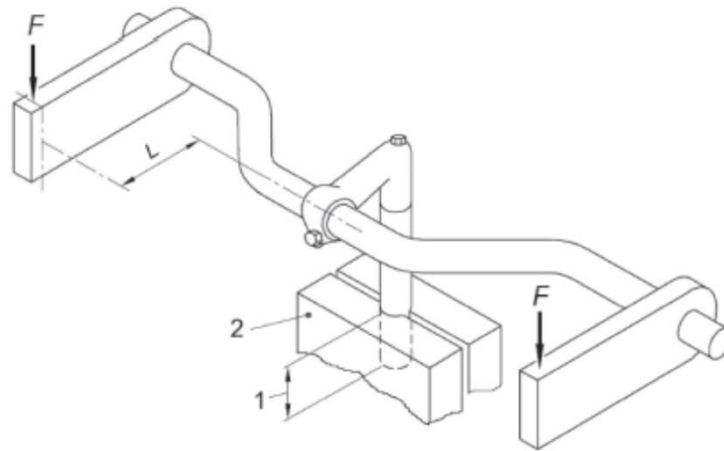
Όταν γίνει ο έλεγχος με την μέθοδο που περιγράφεται στη παράγραφο 6.5.2, θα πρέπει να μην υπάρχει σχετική μετακίνηση του λαιμού με το πιρούνι.

6.5.2 Μέθοδος ελέγχου

Συναρμολογούμε σωστά το τιμόνι στο στέλεχος του τιμονιού με το σύστημα ασφάλισης σφιγμένο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και σφίγγουμε το στέλεχος του τιμονιού με ασφάλεια στο προσάρτημα στο ελάχιστο βάθος εισαγωγής και με τον άξονα κατακόρυφο. Εφαρμόζουμε μια ροπή T1 (60 Nm) γύρω από την κεντρική γραμμή του σφικτήρα στελέχους. Διαιρούμε την ροπή εξίσου με κάθετες, προς τα κάτω δυνάμεις που εφαρμόζονται και στις δύο πλευρές του τιμονιού και διατηρούμε τις δυνάμεις για 1 λεπτό. Η ροπή δίδεται στον πίνακα που ακολουθεί (Εικόνα 90).

Torques in newton metres

Bicycle type	City and trekking bicycles	Young adult bicycles	Mountain bicycles	Racing bicycles
Torque, T_1	60	60	80	60



1. Ελάχιστο βάθος εισόδου
2. Μπλόκ συγκράτησης

Εικόνα 90 Εφαρμογή δύναμης 100 N στις δύο άκρες του τιμονιού για δημιουργία ροπής για έλεγχο του λαιμού, [B30]

6.6 Αεροδυναμικές επεκτάσεις τιμονιού - έλεγχος ασφαλείας

6.6.1 Γενικά

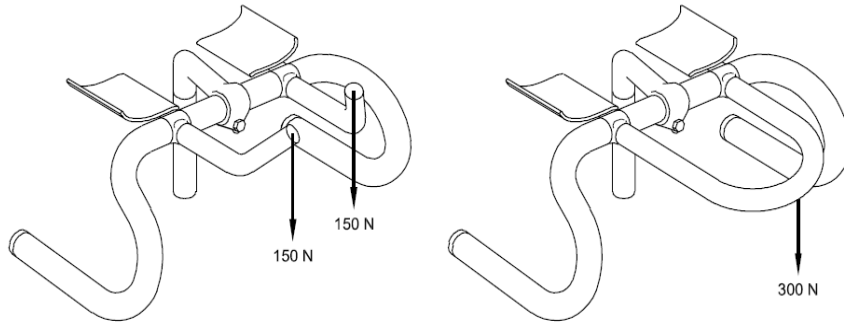
Όταν το τιμόνι είναι δυνατό να δεχθεί αεροδυναμικές επεκτάσεις (επεκτάσεις που επιτρέπουν στον αναβάτη μια αεροδυναμικότερη θέση οδήγησης) το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό και τις επεκτάσεις θα πρέπει να αντέχουν τους παρακάτω ελέγχους ασφαλείας.

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

Συναρμολογούμε το τιμόνι με τον λαιμό και τις αεροδυναμικές επεκτάσεις σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών τους. Ο άξονας οδήγησης πρέπει να είναι κάθετος. Εφαρμόζουμε 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.



Εικόνα 91 Εφαρμογή δύναμης 150 N σε κάθε αερόμπαρα ή 300 N αν είναι ενιαία, [B30]

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, παραλληλίζουμε τις κάτω λαβές του τιμονιού με ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα οδήγησης και συναρμολογούμε το τιμόνι με τον λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Συνδέουμε τον λαιμό σε μία βάση στήριξης στο ελάχιστο βάθος διείσδυσης ή στην περίπτωση που ο λαιμός διεισδύει στο πιρούνι, ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή για την συναρμολόγηση του λαιμού σε ανάλογη βάση.

Προσαρτούμε 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 ασκούμε αντίρροπες δυνάμεις των 280N στους συνδέσμους, αντιστρέφοντας τις δυνάμεις 100.000 φορές. Οι δυνάμεις πρέπει να είναι παράλληλες με τον άξονα οδήγησης και η συχνότητα αντιστροφής των δυνάμεων να μην ξεπεράσει τα 25 Hz.

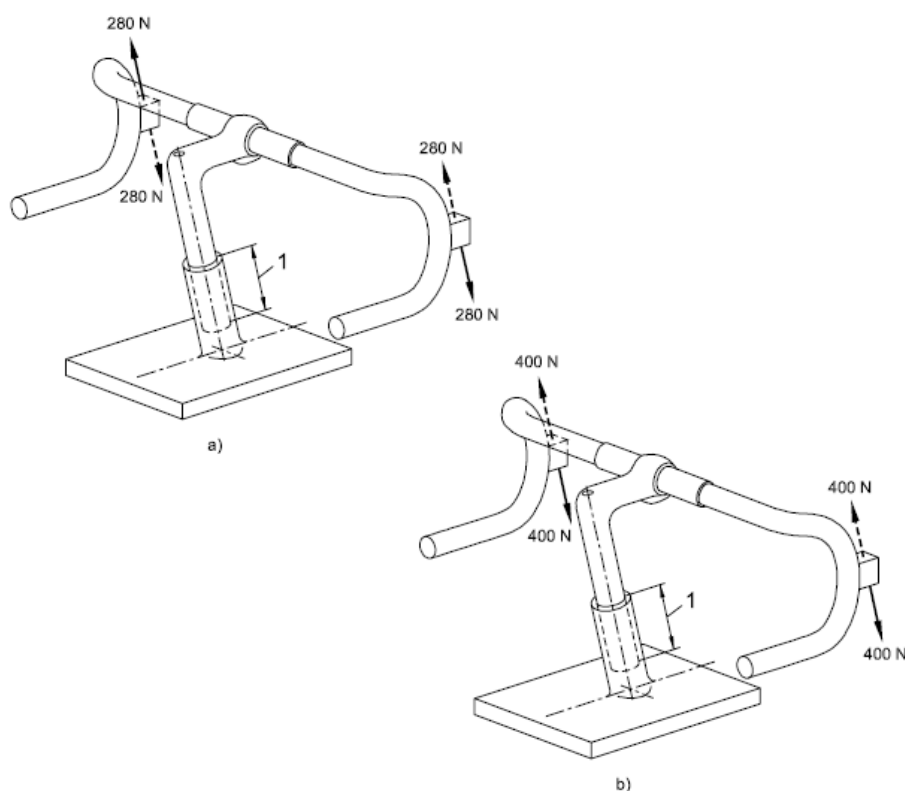
Αν το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό και τους συνδέσμους καλύπτει τις απαιτήσεις της παραγράφου 7.7.2, συνεχίζουμε με το δεύτερο στάδιο ελέγχου στην ίδια κατασκευή.

7.7.4 Απαιτήση 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 ασκούμε ομόρροπες δυνάμεις των 400N στους συνδέσμους, αντιστρέφοντας τις δυνάμεις 100.000 φορές. Οι δυνάμεις πρέπει να είναι παράλληλες με τον άξονα οδήγησης και η συχνότητα αντιστροφής των δυνάμεων να μην ξεπεράσει τα 25 Hz.



a) πρώτο στάδιο - αντίρροπες δυνάμεις

b) δεύτερο στάδιο - ομόρροπες δυνάμεις

1 ελάχιστο βάθος διείσδυσης

Εικόνα 92 Εφαρμογή ομόρροπων και αντίρροπων δυνάμεων 280 N και 400 N, [B30]

Επιλογή κριτηρίων από τον ISO 4210-5:2014

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 από 360 -460 mm 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 υπόψιν.

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, 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 επεκτάσεις τιμονιού - έλεγχος ασφαλείας

Δεν λαμβάνεται υπόψη από επιλογή, το τιμόνι που θα σχεδιαστεί δεν θα είναι υπολογισμένο για αεροδυναμικές επεκτάσεις. Οι επεκτάσεις αυτές μπαίνουν στο τιμόνι συνήθως από αθλητές που τρέχουν σε τρίαθλο ή γενικά σε μεγάλες διαδρομές χωρίς μεγάλες υψομετρικές διαφορές που η αεροδυναμική θέση είναι ένας από τους καθοριστικότερους παράγοντες απόδοσης του ποδηλάτη.

7. Συναρμολογημένο τιμόνι με λαιμό - έλεγχος κόπωσης

Λαμβάνεται υπόψη σε πρώτη κατάσταση. Είναι δυναμικός έλεγχος του τιμονιού σε δύο στάδια.

4. Διαστρωματώσεις βάση προδιαγραφών

4.1 Ονομασία, ιδιότητες υλικών, κριτήρια και συνθήκες ελέγχου

Έχοντας καταλήξει πλέον στο τελικό σχέδιο το οποίο μας έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα στις δοκιμές με αλουμίνιο ως προς την συγκέντρωση τάσεων για το μέγεθος των 420 mm (L) επόμενο βήμα είναι η εύρεση κατάλληλων διαστρωματώσεων ανθρακονημάτων.

Αποφασίστηκε να βγει σε δύο εκδόσεις ανάλογα με το υλικό το οποίο χρησιμοποιείται κάθε φορά. Τα υλικά που ήταν διαθέσιμα είναι:

- T300 woven, οι ίνες του οποίου ζυγίζουν 198 gr ανά m² υφάσματος και η περιεκτικότητά του σε ρητίνη είναι 44% κατά βάρος. Το πάχος της στρώσης είναι στα 0,24 mm στην αρχή το οποίο φτάνει μετά την άσκηση πίεσης και ψησίματος στα 0,22 mm. Η ρητίνη που χρησιμοποιείται είναι η 2500 και ο κωδικός προϊόντος F6347B-05P
- T700 UD (unidirectional), οι ίνες του οποίου ζυγίζουν 175 gr/m² και η περιεκτικότητά του σε ρητίνη είναι 33% κατά βάρος. Το πάχος της στρώσης είναι στα 0,17 mm στην αρχή το οποίο φτάνει μετά την άσκηση πίεσης και ψησίματος στα 0,16 mm. Η ρητίνη που χρησιμοποιείται είναι η 2592 και ο κωδικός προϊόντος P3252S-17
- M40J woven, με βάρος ινών 225 gr/m² και περιεκτικότητα 40% κατά βάρος ρητίνη. Το πάχος της στρώσης είναι στα 0,24 mm στην αρχή το οποίο φτάνει μετά την άσκηση πίεσης και ψησίματος στα 0,22 mm. Η ρητίνη που χρησιμοποιείται είναι η 2592 και ο κωδικός προϊόντος P9052F-25. ^[B1]
- HR40 UD, με βάρος ινών και περιεκτικότητα ρητίνης ίδια με το T700. ^[B32-B33]

Από τα παραπάνω υλικά, το T300 woven και το T700 UD είναι πιο φθηνά και υφίστανται μεγαλύτερες παραμορφώσεις καθώς έχουν μικρότερο μέτρο ελαστικότητας, ενώ τα M40J και HR40 πιο ακριβά αλλά παρουσιάζουν μικρότερες μετατοπίσεις εφόσον έχουν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας και αντέχουν σε υψηλότερα φορτία.

Έτσι, οι δύο διαφορετικές διαστρωματώσεις για το συγκεκριμένο μέγεθος θα είναι οι:

- STD (standard) διαστρωμάτωση που θα περιέχει τα υλικά T300 woven και T700 UD όπου θα αποτελεί και την οικονομική επιλογή.
- SL (super light) διαστρωμάτωση που θα περιέχει τα υλικά M40J και HR40 κυρίως (συμπληρωματικά σε κάποια σημεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το T300) όπου θα αποτελεί την πιο ακριβή επιλογή.

Ζητούμενο σε κάθε διαστρωμάτωση δεν ήταν μόνο να χρησιμοποιηθεί ο ελάχιστος αριθμός στρώσεων ανθρακονήματος έτσι ώστε το μοντέλο να αντέχει σε κάθε προσομοίωση, αλλά και η ακαμψία του σε συγκεκριμένα τμήματα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ο ελάχιστος αριθμός στρώσεων, το τιμόνι που θα προέκυπτε δεν θα βόλευε τον αναβάτη .

Αυτό οφείλεται στις μεγάλες μετατοπίσεις που θα είχαν τα διάφορα τμήματα του. Οπότε θα χανόταν μέρος της κινητικής ενέργειας του ποδηλάτη και θα προκαλούνταν κόπωση.

Για παράδειγμα, μεγάλες μετατοπίσεις κατά το τεστ με την επιβολή πολύ μεγάλης δύναμης στο κάτω μέρος του drop και σε συγκεκριμένη απόσταση από το άκρο του, όπως προβλέπεται από τον ISO θα ήταν αναμενόμενες. Επομένως η μελέτη του τιμονιού, γίνεται πέρα από την αντοχή του και για την απαραίτητη στιβαρότητα-δυσκαμψία που θα πρέπει να έχει. Όλα αυτά θα γίνουν πιο κατανοητά στην συνέχεια με την παρουσίαση των διάφορων δοκιμών.

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε πριν καν αρχίσουν οι αναλύσεις με ανθρακονήματα ήταν ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των διαθέσιμων υλικών. Οι εταιρίες που φτιάχνουν τα υφάσματα prepreg συνήθως χρησιμοποιούν τις ίνες και την εποξική ρητίνη στην συγκεκριμένη περιεκτικότητα που τους ζητά ο αγοραστής.

Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων του υλικού μπορεί να γίνει από την εταιρία παραγωγής prepreg αλλά έχει ασύμφορα μεγάλο κόστος, το οποίο αυξάνεται ραγδαία με την βελτίωση των ιδιοτήτων που ζητά ο αγοραστής να προσδιοριστούν.

Στην περίπτωσή μας, χρησιμοποιήθηκαν οι ιδιότητες που δίνονται για την εκάστοτε ίνα άνθρακα από την εταιρία παραγωγής Toray, σε συνδυασμό με στοιχεία που βρέθηκαν από εταιρίες που χρησιμοποιούσαν υλικά με παρόμοιες συνταγές με τα διαθέσιμα δικά μας. Επειδή ακριβώς οι ιδιότητες αυτές αφορούσαν ιδανικά δοκίμια, κατά τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών στο πρόγραμμα SIEMENS NX μειώθηκαν οι αντίστοιχες μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις που μπορούσαν να φέρουν πριν αστοχήσουν, έτσι ώστε να έχουμε έναν συντελεστή ασφαλείας στα αποτελέσματά μας. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε μικρότερη περιεκτικότητα ινών από την αναγραφόμενη (σπάνιο φαινόμενο), είτε για λόγους πολυκαιρίας του υλικού μέσα στους καταγύκτες όπου αρχίζει και χάνει τις ιδιότητες της η μήτρα, είτε ακόμα και λόγω της διαδικασίας του στρωσίματος όπου μπορεί οι ίνες να χάνουν την απαραίτητη συνοχή μεταξύ τους λόγω τραβηγμάτων επαναλαμβανόμενων δοκιμών κατά την τοποθέτηση με αποτέλεσμα την δημιουργία πόρων κ.α.

Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στο παράρτημα.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3) δίνονται οι τιμές των βασικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Παρότι στις τελικές διαστρωματώσεις χρησιμοποιούνται μόνο τα υλικά T300 woven, T700 UD, M40J woven και HR40 UD, δίνονται και οι ιδιότητες για τα M46J woven και M46J UD, τα οποία όμως δεν χρησιμοποιούνται πλέον από την εταιρία (Gramcarbon) και δεν προτιμώνται λόγω του αυξημένου κόστους σε σχέση με τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν.

Properties		T700_UD	T300_Woven	M46J_UD	M46J_Woven	HR40_UD	M40J Woven
Poisson's ratio		0,32	0,08	0,3	0,1	0,3	0,1
density	g/cm ³	1,625	1,563	1,522	1,484	1,64	1,550
Young's Modulus							
E1	GPa	135	52.7	205	160	180	145
E2	GPa	10	52.7	8	160	8	145
E3	GPa	10	5.27	8	16	8	8
Shear modulus G12	GPa	5	30	5	40	5	40
G13	GPa	5	5	5	5	5	5
G23	GPa	5	5	5	5	5	5
tensile strength							
ST1	MPa	1700	573	1900	1600	2000	1700
ST2	MPa	40	573	40	1600	40	1700
ST3	MPa	40	57.3	40	160	40	170
compressive strength SCI	MPa	1000	631	850	600	900	720
SC2	MPa	40	63.1	40	600	40	720
SC3	MPa	40	63.1	40	160	40	170
shear strength							
SS12	MPa	85,7	74	59	35	60	60

Πίνακας 3 Ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το πρόγραμμα SEIMENS NX μας δίνει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσουμε τα laminates με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι η zone based μέθοδος, όπου ορίζονται διαφορετικές ζώνες οι οποίες έχουν κοινή κύρια διεύθυνση διαστρωμάτωσης. Ο δεύτερος τρόπος είναι η ply based (global layup), όπου ορίζεται η επιφάνεια που θα καταλαμβάνει κάθε στρώση. Πλεονέκτημα της πρώτης μεθόδου είναι η εξοικονόμηση χρόνου κατά το στήσιμο κάθε προσομοίωσης, ενώ παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Κατά τη δεύτερη μέθοδο, μπορεί να προσεγγιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η πραγματικότητα, καθώς μοντελοποιούνται πλήρως τα overlap ή υπερκαλύψεις των στρώσεων ανθρακονήματος, με αποτέλεσμα να παράγει αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας. Ωστόσο, σε πολύπλοκα σχήματα όπως το τιμόνι, μπορεί να προκύψουν σφάλματα κατά το "στρώσιμο" κάθε στρώσης και συνεπώς να αλλοιώνονται τα αποτελέσματα. Επίσης είναι μία διαδικασία που απαιτεί αρκετές γνώσεις χρόνων και εμπειρία χειρισμού κάτι που στην περίπτωση μια διπλωματικής δεν θα ήταν και τόσο εύκολο. Γι' αυτό το λόγο, επιλέχθηκε η πρώτη μέθοδος για την αναπαράσταση των διαστρωματώσεων, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι επικαλύψεις και οι συνδέσεις. ^[A13]

Για την παραγωγή αξιοποιήσιμων αποτελεσμάτων με την μέθοδο zone based, είναι απαραίτητος ο προσανατολισμός της κύριας διεύθυνσης του υλικού των πεπερασμένων στοιχείων σε μία κύρια κατεύθυνση, η οποία θεωρείται η κατεύθυνση με διεύθυνση 0°. Ο προσανατολισμός αυτός αλλάζει για κάθε διαφορετικό κομμάτι του τιμονιού, ακολουθώντας τη διεύθυνση της γενέτειρας του καθενός.

Για την δική μας περίπτωση το τιμόνι θα χωριστεί σε 3 ζώνες, δοκιμάζοντας διάφορους πιθανούς συνδυασμούς που θα μας οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στην συνέχεια θα γίνει ανάλυση της εντατικής κατάστασης που δημιουργεί η απαίτηση του **ISO 4210-5:2014**, ο οποίος απαιτεί φόρτιση του τιμονιού στην χειρολαβή με κατακόρυφο φορτίο 1000 N και σε απόσταση από το άκρο της χειρολαβής 50 mm και πάκτωση του τιμονιού στο κέντρο. Στο πρότυπο αυτό φαίνεται πως πλέον έχει καταργηθεί η συνιστώμενη κατακόρυφη μετατόπιση. Σύμφωνα με το παλιότερο πρότυπο το **EN 14781** η επιτρεπόμενη μέγιστη μετατόπιση ήταν στα **15mm** στο σημείο εφαρμογής της δύναμης. Προφανώς δεν είναι η μοναδική φόρτιση που πρέπει να ελεγχθεί. Επειδή όμως είναι η πιο δυσμενής φόρτιση για την κατασκευή μας ,αυτή θα ελεγχθεί κυρίως και στη συνέχεια θα ελεγχθεί και η στρεπτική ροπή των 60 Nm στα hood. Για τις ανάγκες του υπολογισμού και λόγω συμμετρίας εργαζόμαστε με το μισό τιμόνι.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε πως πριν εφαρμόσουμε τα κριτήρια ελέγχου του ISO και του EN η εταιρία μας έθεσε ένα παραπλήσιο πρόβλημα καθώς πέρα από το εκπαιδευτικό χαρακτήρα, ήθελε να ελέγξει κάποιες άλλες παραμέτρους και να βγάλει κάποια συμπεράσματα σε σχέση με την στατικότητα της κατασκευής . Ο στόχος λοιπόν που τέθηκε ήταν ο εξής: Χρησιμοποιώντας τις ίδιες συνθήκες φόρτισης και συγκράτησης του τιμονιού με αυτής του ISO να βρεθεί μία διαστρωμάτωση με την οποία να ικανοποιείται η συνθήκη που λέει ότι η μετατόπιση στο άκρο της κατασκευής και όχι στο σημείο εφαρμογής να μην ξεπερνάει τα 10 mm.

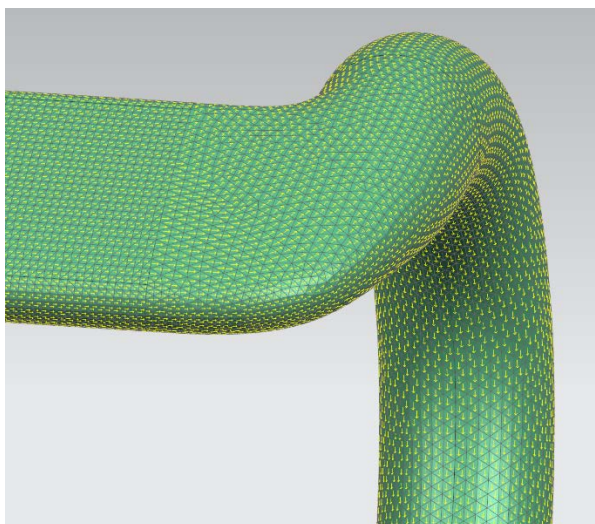
Από την ανάλυση που έχει προηγηθεί για κατασκευή του τιμονιού από αλουμίνιο έχουμε μια αίσθηση της εντατικής κατάστασης και βάσει αυτής θα ξεκινήσουμε μια πρώτη εκτίμηση των στρώσεων των προεμποτισμένων υλικών.

Η φιλοσοφία της σχεδίασης και μελέτης είναι η διαρκής τροποποίηση των στρώσεων και επανεπίλυση μέχρι την επίτευξη των απαιτήσεων . Για τον σκοπό αυτό χωρίζουμε το μισό τιμόνι σε τρεις ζώνες οι οποίες είναι οι εξής: το drop, η αεροτομή και το κεντρικό τμήμα που για τις ανάγκες του προγράμματος είναι κατά σειράν laminate1, laminate2 και laminate3 αντίστοιχα.

Συνολικά έχουν γίνει πάνω από **45 δοκιμές** με διάφορες διαστρωματώσεις. Επειδή όμως θα απαιτούνταν πάρα πολλές σελίδες για να παρουσιαστούν αναλυτικά, εδώ θα παρουσιαστούν μόνο η πρώτη και η τελευταία από κάθε κατηγορία STD και SL και κάποιες ενδιάμεσες θα παρουσιαστούν εν συντομία με τα αποτελέσματα των δοκιμών σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα. Αναλυτικά κάποιες ακόμη δοκιμές θα παρουσιαστούν στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

Τα πεπερασμένα στοιχεία είναι τριγωνικά τριών κόμβων (CTRIA3), (υπάρχουν και τα τριγωνικά CTRIA6 με 6 κόμβους 3 στις κορυφές και 3 ενδιάμεσους), μεγέθους 2 χιλιοστών και με προσανατολισμό (orientation) υλικού των σύνθετων όπως φαίνεται στην συνημμένη εικόνα, με κίτρινα βέλη (Εικόνα 93). Για κάθε περιοχή ο προσανατολισμός δίνεται και διαφορετικά. ^[A7]

Για τα drop η κύρια διεύθυνση δίνεται ακολουθώντας την τεθλασμένη Spline που είναι και η γενεσιουργός γραμμή του drop. Ενώ για το μεσαίο τμήμα και αυτό της αεροτομής η κύρια διεύθυνση δίνεται παράλληλα με την επιμήκη κατεύθυνση αλλά σε κάποια σημεία χρησιμοποιείται και η οδηγός καμπύλη (στο κεντρικό τμήμα) έτσι ώστε να λαμβάνονται ακόμη καλύτερα υπόψη οι κύριες διευθύνσεις.



Εικόνα 93 Κατευθύνσεις πεπερασμένων στοιχείων (orientation).

Ο τρόπος διαστρωμάτωσης δεν ήταν τυχαίος. Παρατηρώντας καλά τις αναπτυσσόμενες τάσεις από τις προηγούμενες αναλύσεις και με τις γνώσεις της μηχανικής, χρησιμοποιώντας πεπερασμένα στοιχεία έχουν βγει κάποια πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Σε μία τέτοια φόρτιση έχουμε ουσιαστικά κάμψη και των τριών περιοχών. Η κάμψη δημιουργεί κυρίως εφελκυστικές τάσεις στην μία πλευρά της κατασκευής και θλιπτικές στην άλλη. Η κάμψη λοιπόν στην περίπτωση μας εμφανίζεται στην κύρια διεύθυνση που έχουμε ορίσει στο σχήμα μας για κάθε περιοχή (η επιλογή των κύριων διευθύνσεων ήταν συγκεκριμένη για αυτό το λόγο). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι αυτή την διεύθυνση θα πρέπει να την ενισχύσουμε πιο πολύ με περισσότερες ίνες. Και επίσης λόγω της διατομής η οποία ως προς τον άξονα Z που γίνεται η κάμψη για το κεντρικό κομμάτι και αυτό της αεροτομής είναι μικρή, συμπεραίνουμε ότι θα χρειαστούν αρκετές στρώσεις.

4.2 Δοκιμή διαστρωματώσεων για την έκδοση STD (Standard)

Στην συνέχεια παραθέτουμε την αρχική διαστρωμάτωση την τριών ζωνών με τα υλικά T700_UD και T300_Woven, ακόμα δείχνουμε και την αρχική βύθιση που είναι **40.89 mm** και φυσικά είναι εκτός απαιτήσεων του προτύπου. Επίσης στην περίπτωση αυτή και οι τάσεις που αναπτύσσονται ξεπερνούν τα όρια θραύσης που έχουν δοθεί στο υλικό κάτι που στην πραγματικότητα θα σήμαινε την κατάρρευση της κατασκευής. Κανονικά ο τρόπος ελέγχου απαιτεί τον έλεγχο των τάσεων ανά διεύθυνση όπως π.χ. 11, 22, 12, κλπ. Αλλά στην πρώτη περίπτωση και το κριτήριο Von Mises είναι αρκετό για να δείξει ότι υπάρχει πρόβλημα. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις θα υπάρξει αναλυτικός έλεγχος.

Laminate Nam	Laminate1				
Laminate Layup					
	Total Number of Plies :		6		
	Total Thickness :		1,240E+0 mm		
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,26	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45

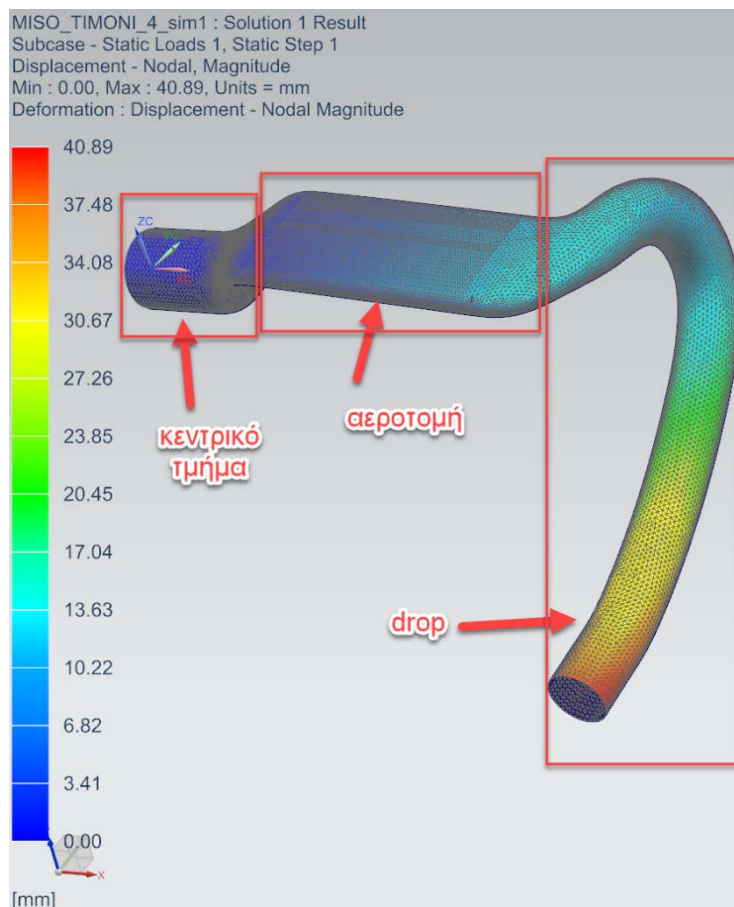
Πίνακας 4α Διαστρωμάτωση Laminate1 (drop) 1^η δοκιμή

Laminate Nam	Laminate2				
Laminate Layup					
	Total Number of Plies :		8		
	Total Thickness :		1,520E+0 mm		
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45

Πίνακας 4β Διαστρωμάτωση Laminate2 (αεροτομή) 1^η δοκιμή

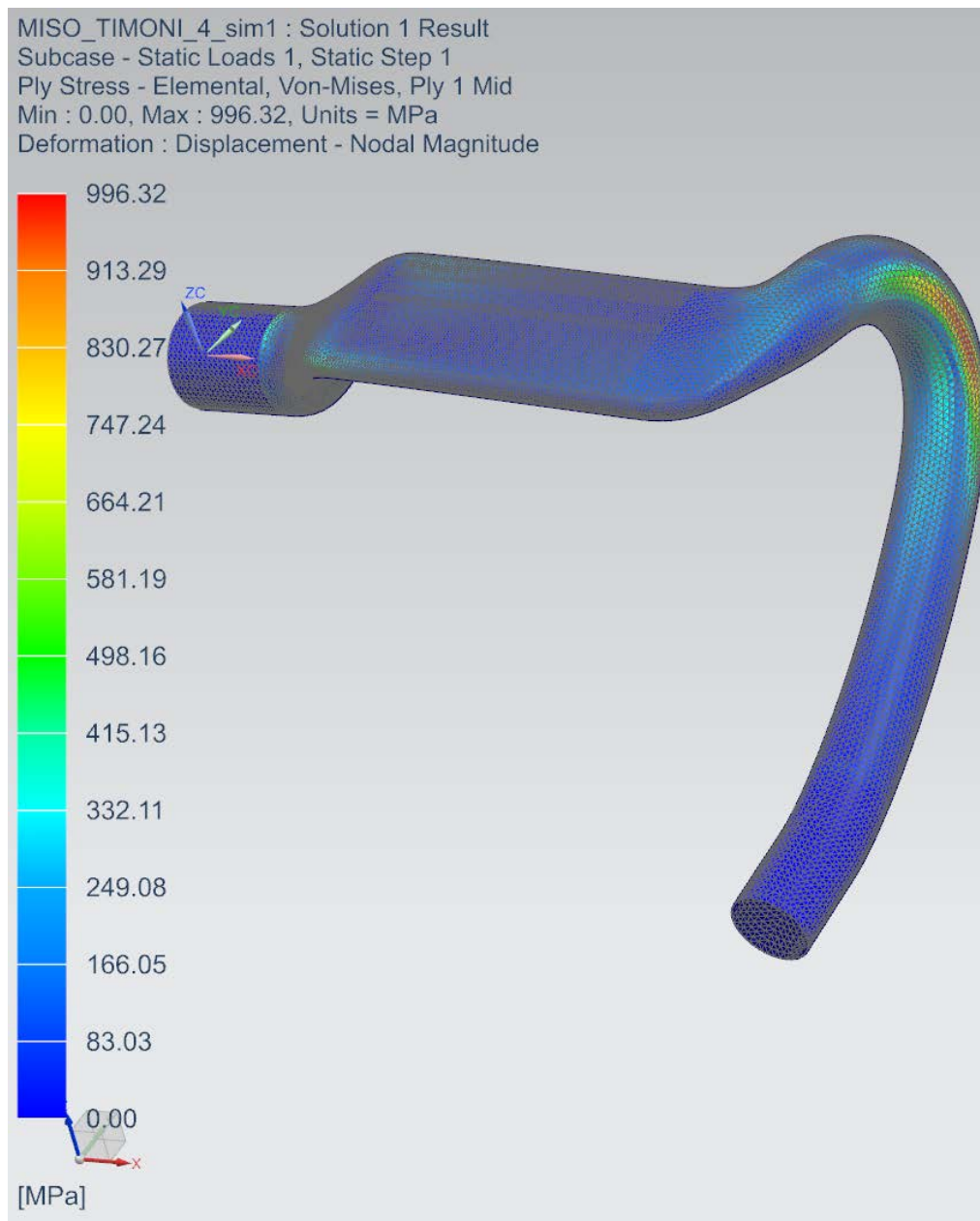
Laminate Name: Laminate3					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		8			
Total Thickness :		1,760E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
8	8	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
6	6	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
4	4	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
2	2	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45

Πίνακας 4γ Διαστρωμάτωση Laminate3 (κεντρικό τμήμα) 1^η δοκιμή



Εικόνα 94 Μετατοπίσεις από φόρτιση 1000N στην χειρολαβή κατακόρυφα (40.89mm)

Βλέπουμε ότι οι μετατοπίσεις είναι αρκετά μεγάλες (40.89mm >10mm), άρα χρειάζεται αύξηση του αριθμού των στρώσεων. Παρακάτω παρατίθεται και εικόνα των τάσεων (Εικόνα 95) της στρώσης 1 για λόγους πληρότητας όπου φαίνεται ότι και οι τάσεις είναι μεγαλύτερες των επιτρεπόμενων. Στην πραγματικότητα οι τάσεις εφόσον το υλικό δεν είναι ισότροπο δεν θα έπρεπε να ελεγχθούν με αυτόν τον τρόπο (Von Mises) αλλά σύμφωνα με τις κύριες διευθύνσεις 11 και 22 όπως θα γίνει και στα υπόλοιπα μοντέλα. Εδώ απλώς έγινε ενδεικτικά με αυτόν τον τρόπο καθώς ξέραμε ότι δεν θα υπήρχε πρόβλημα.



Εικόνα 95: Τάσεις Von Mises (MPa) για την πρώτη δοκιμή .

Στην συνέχεια παραθέτουμε πίνακα με διάφορες δοκιμές που έγιναν και τις αντίστοιχες βυθίσεις που δεν ικανοποιούσαν το κριτήριο βύθισης που έχει θέσει η εταιρία (Πίνακας 5).

Όμως αποτελούν το ενδιάμεσο στάδιο για να καταλήξουμε στην τελική διαστρωμάτωση για την πρώτη έκδοση του τιμονιού με την STD διαστρωμάτωση. Για συντομογραφία στην απεικόνιση των στρώσεων γράφουμε W0 για το T300_Woven στις 0 μοίρες και W45 για το T300_Woven στις 45 μοίρες και U0 για το T700_UD στις 0 μοίρες.

Laminate3	Laminate2	Laminate1	Μετατόπιση (mm)
(W0,W45) ₇ ,W0	(W0,W45) ₆	(W0,W45) ₄ , W0	19.33
(W0,W45) ₇ ,W0	(W0,W45) ₆	(W0,W45) ₆ ,	15.75
(W0,W45) ₈ ,W0	(W0,W45) ₇	(W0,W45) ₇	13.04
(W0,W45) ₉	(W0,W45) ₈	(W0,W45) ₈	11.52
(W0,W45) ₉	(W0,W45) ₉	(W0,W45) ₉	11.119
(W0,W45) ₁₀	(W0,W45) ₉	(W0,W45) ₉	10.689
(W0,W45) ₁₀	(W0,W45) ₉ ,W0	(W0,W45) ₉ ,W0	10.40
(W0,W45) ₁₁	(W0,W45) ₉ ,W0	(W0,W45) ₉ ,W0	10.068
(W0,W0,W45) ₆	(W0,W0,W45) ₆	(W0,W0,W45) ₅	12.05
(W0,W0,W45) ₆	(W0,W0,W45) ₆	(W0,W0,W45) ₅ , (W0) ₂	11.285
(W0,W0,W45) ₃ ,U0, (W0,W0,W45) ₃	(W0,W0,W45) ₃ ,U0, (W0,W0,W45) ₃	(W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45),U0, (W0,W0,W45) ₂	10.898
(W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45) ₂	(W0,W0,W45) ₃ ,U0, (W0,W0,W45) ₃	(W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45),U0, (W0,W0,W45) ₂	10.676
(W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45) ₂	(W0,W0,W45) ₃ ,U0, (W0,W0,W45) ₃	(W0,W0,W45),U0, (W0,W0,W45),U0, (W0,W0,W45),U0, (W0,W0,W45) ₂	10.145
(W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45) ₂ ,U0, (W0,W0,W45) ₂	(W0,W0,W45) ₃ ,U0, (W0,W0,W45) ₃	[(W0,W0,W45),U0] ₄ , [(W0,W0,W45)]	9.862

Πίνακας 5 Δοκιμές διαστρωμάτωσης μοντέλου και αποτελέσματα μετατοπίσεων

Παρατηρώντας την ακολουθία των μετατοπίσεων αλλά και των εμφανιζόμενων τάσεων θα μπορούσαμε να αφαιρέσουμε από το ενδιάμεσο W0 την κάθετη στρώση και να κρατήσουμε την μονοδιευθυντική, μιας και οι τάσεις καλύπτονται και να κρατήσουμε τις ίνες (ακαμψία) στην διαμήκη κατεύθυνση που είναι υπεύθυνη για τις αναπτυσσόμενες βυθίσεις. Στην ουσία αντικαθιστούμε το W0 με U0, πετυχαίνοντας έτσι και μικρότερο βάρος και κόστος και προφανώς καλύτερη εκμετάλλευση του υλικού και το μοντέλο καλύπτεται και για δευτερογενείς εντάσεις από άλλες δυνάμεις μικρότερου μεγέθους και άλλων κατευθύνσεων .

Έτσι φθάνουμε στην τελική λύση για την συγκεκριμένη ομάδα σύνθετων υλικών, η οποία είναι η ακόλουθη σε διαστρωμάτωση. Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά βυθίσεις ,τάσεις και αναγραφή μέγιστων και ελάχιστων τάσεων του μοντέλου σε όλες τις στρώσεις και ζώνες (Laminates) και στα στοιχεία (elements) που εμφανίζονται. Η παρατηρούμενη μετατόπιση 10.002 mm, πρακτικά ικανοποιεί το κριτήριο χωρίς να χρειάζεται επιπλέον επανάληψη .

Laminate Name					
Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :				19	
Total Thickness :				3,640E+0 mm	
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
19	19	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
18	18	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
17	17	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
16	16	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
15	15	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
14	14	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
13	13	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
12	12	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
11	11	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 6α Διαστρωμάτωση Laminate1 (drop) τελική δοκιμή

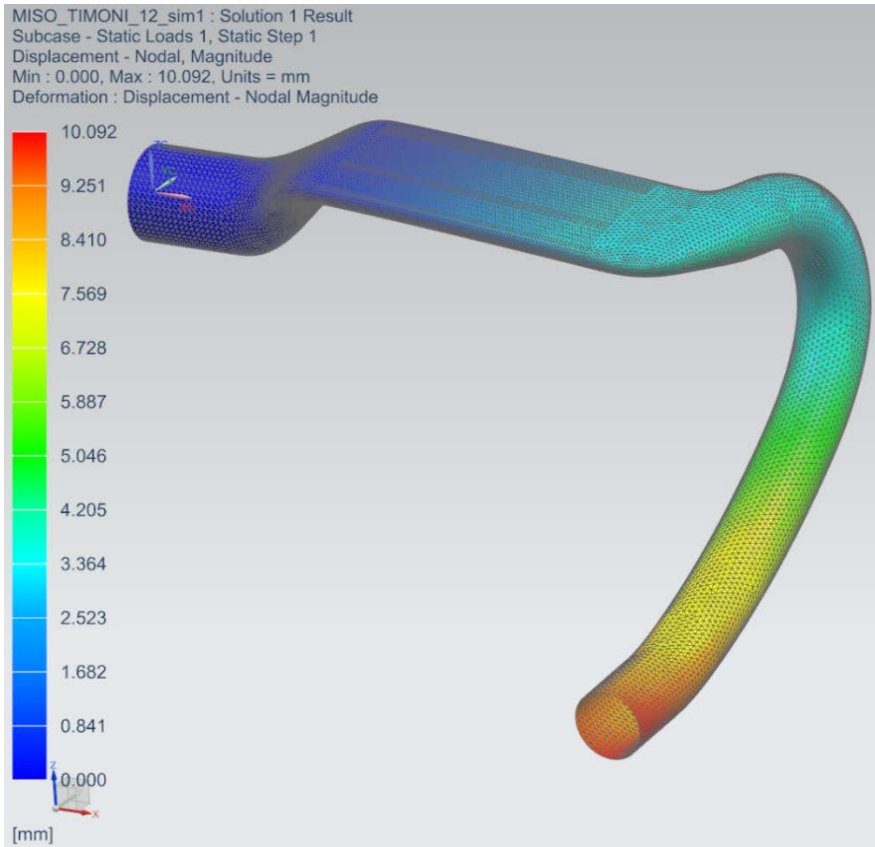
Laminate Name		Laminate2			
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		20			
Total Thickness :		3,920E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
20	20	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
19	19	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
18	18	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
17	17	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
16	16	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
15	15	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
14	14	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
13	13	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
12	12	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
11	11	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
6	6	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
5	5	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
4	4	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 6β Διαστρωμάτωση Laminate2 (αεροτομή) τελική δοκιμή

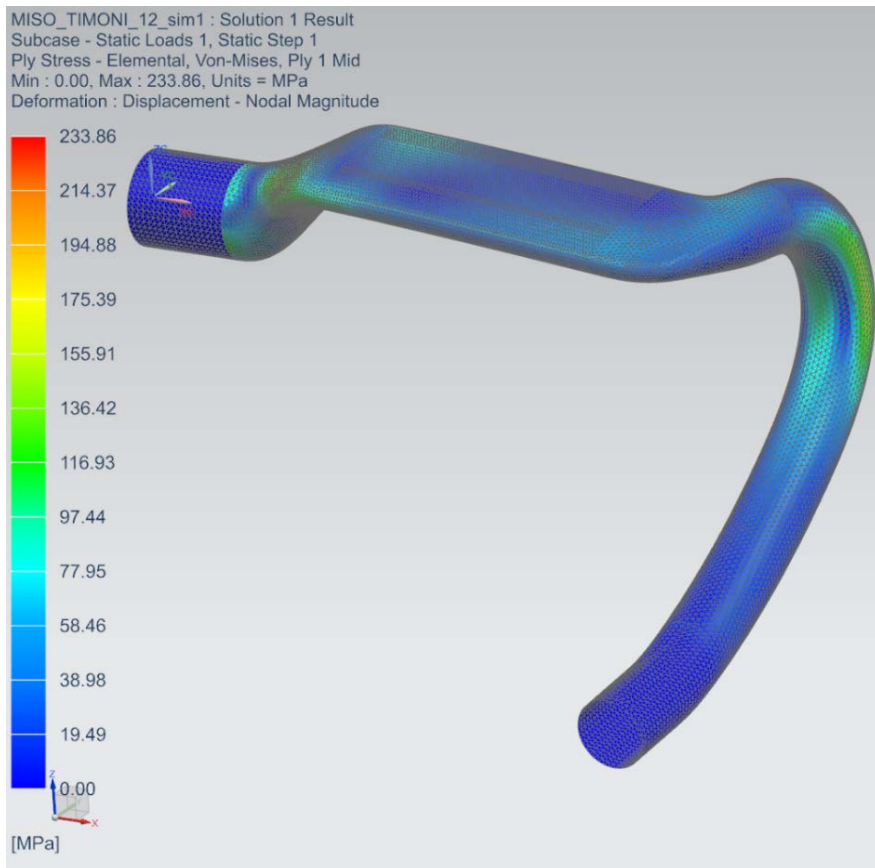
Laminate Nam	Laminate3				
Laminate Layup					
	Total Number of Plies :		21		
	Total Thickness :		4,080E+0 mm		
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
21	21	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
20	20	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
19	19	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
18	18	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
17	17	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
16	16	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
15	15	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
14	14	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
13	13	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
12	12	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
11	11	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
10	10	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
9	9	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
8	8	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
7	7	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
6	6	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
5	5	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
4	4	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 6γ Διαστρωμάτωση Laminate3 (κεντρικό τμήμα) τελική δοκιμή

Παρακάτω θα ακολουθήσουν και κάποιες εικόνες από την ανάλυση παρουσιάζοντας τις τάσεις κατά Von Mises καθώς και τις μετατοπίσεις (Εικόνα 41 και Εικόνα 42). Πάντως από την παραπάνω διαστρωμάτωση αυτό που μπορεί να βγει ως συμπέρασμα είναι πως ο αριθμός των στρώσεων είναι αρκετά μεγάλος. Σε αυτό οφείλεται ότι ο πίνακας των υλικών που δόθηκε ίσως να εμπεριέχει κάποιες ιδιότητες οι οποίες να είναι υποβαθμισμένες σε σχέση με αυτές που δίνει ο κατασκευαστής και εκεί να οφείλεται το πρόβλημα. Το σίγουρο είναι ότι χρήζει μεγαλύτερης διερεύνησης ο λόγος μείωσης των ιδιοτήτων η οποία θα γίνει μετά την περάτωση της διαδικασίας της διπλωματικής μιας και απαιτεί πολύ χρόνο και πολύ εξειδικευμένη γνώση. Για αυτό χρησιμοποιείται και η δεύτερη κατηγορία υλικών που έχουν πιο έγκυρες ιδιότητες.



Εικόνα 96 Μετατοπίσεις συνολικές στο μοντέλο .



Εικόνα 97 Τάσεις Von Mises (Μpa)

	Element Id	Ply Id	Laminate Name	Stresses							
				Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	Maximum Shear (kPa)	
Min Stress 11	31356	20	Laminate3	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Max Stress 11	29105	20	Laminate3	-4,97E+05	-1,65E+04	0,00E+00	3,42E+03	-7,38E+03	-1,43E+02	2,40E+05	
Min Stress 22	30518	1	Laminate3	3,65E+05	1,81E+04	0,00E+00	-3,63E+03	-5,81E+01	1,03E+02	1,74E+05	
Max Stress 22	4963	1	Laminate1	-2,44E+04	-2,29E+05	0,00E+00	-3,92E+04	-1,96E+03	-1,53E+02	1,10E+05	
Min Stress 33	1	1	Laminate1	1,46E+04	1,61E+05	0,00E+00	-7,55E+03	1,41E+03	-2,62E+01	7,34E+04	
Max Stress 33	1	1	Laminate1	3,05E+00	1,27E+02	0,00E+00	2,08E+01	2,50E+00	-7,56E-01	6,55E+01	
Min Stress 12	29834	3	Laminate3	3,05E+00	1,27E+02	0,00E+00	2,08E+01	2,50E+00	-7,56E-01	6,55E+01	
Max Stress 12	31183	21	Laminate3	-1,24E+05	-6,13E+04	0,00E+00	-1,15E+05	3,55E+03	-1,55E+02	1,19E+05	
Min Stress 23	31183	11	Laminate3	-3,78E+04	-1,15E+05	0,00E+00	1,09E+05	4,25E-11	-4,31E-12	1,15E+05	
Max Stress 23	29731	11	Laminate3	-2,34E+05	-1,44E+04	0,00E+00	4,28E+03	-3,52E+04	-2,42E+03	1,10E+05	
Min Stress 31	30925	11	Laminate3	1,62E+05	-2,23E+03	0,00E+00	-4,45E+03	2,37E+04	3,92E+03	8,21E+04	
Max Stress 31	28620	11	Laminate3	-4,00E+04	-5,20E+03	0,00E+00	-6,40E+03	1,28E+04	-1,87E+04	1,85E+04	
Min Maximum Shear Stress	26157	1	Laminate3	1,88E+05	4,44E+03	0,00E+00	-2,13E+03	-9,16E+01	3,23E+04	9,16E+04	
Max Maximum Shear Stress	31356	20	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
				-4,97E+05	-1,65E+04	0,00E+00	3,42E+03	-7,38E+03	-1,43E+02	2,40E+05	

Πίνακας 7 Μέγιστες και ελάχιστες τάσεις στο συνολικό μοντέλο.

4.3 Δοκιμή διαστρωματώσεων για την έκδοση SL (Superlight)

Τώρα θα εξετάσουμε την δεύτερη λύση με την ομάδα υλικών HR40_UD και M40J_Woven ,υλικά που είναι πιο άκαμπτα, έχουν και μεγαλύτερες επιτρεπόμενες τάσεις και μέτρα ελαστικότητας με σκοπό την επίτευξη χαμηλότερου βάρους.

Για τον σκοπό αυτό, για να ξεκινήσουμε την διαδικασία επίτευξης καλύτερης αρχικής εκκίνησης οσον αφορά την διαστρωμάτωση, αφού έχουμε καταλάβει καλύτερα από την προηγηθείσα ανάλυση την συμπεριφορά του μοντέλου, κάνουμε μια αρχική εκτίμηση λαμβάνοντας υπόψιν τις ακαμψίες των στρώσεων ειδικά στην στήριξη κατά την διαμήκη κατεύθυνση της προηγούμενης λύσης και με βαρύτητα 1 στην ακαμψία στην ίδια κατεύθυνση και βαρύτητα $2^{0.5}/2$ για 45 μοίρες και εξίσωση με άγνωστο τον αριθμό των στρώσεων με τις νέες ακαμψίες.

Η θεώρηση αυτή έδωσε ένα καλό σημείο εκκίνησης και παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα τα βήματα και οι επιλύσεις που έγιναν μέχρι την επίτευξη αποδεκτής λύσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εταιρίας και την ικανοποίηση των εμφανιζόμενων τάσεων . Να σημειωθεί ότι στην πρώτη δοκιμή είχαμε πρόβλημα και με τις τάσεις .

Αντίστοιχα και με την προηγούμενη θεώρηση χρησιμοποιούμε τα σύμβολα W0 για το υλικό M40J_Woven στις 0 μοίρες , το W45 για το ίδιο στις 45 μοίρες και το U0 για το HR40_UD στις 0 μοίρες .

Laminate1	Laminate2	Laminate3	Μετατόπιση σε mm
[(W0,U0,W45),U0] ₂ , (W0,U0,W45)	[(W0,U0,W45),U0], (W0,U0,W45)	(W0,U0,W45) ₃	13.05
(W0,U0,W45) ₂ ,U0, (W0,U0,W45) ₂	(W0,U0,W45) ₄	[(W0,U0,W45),U0] ₂ , (W0,U0,W45)	10.132

Πίνακας 8 Δοκιμές διαστρωμάτωσης μοντέλου και μετατοπίσεις

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε την τελική διαστρωμάτωση με τα ενισχυμένα υλικά για κάθε τμήμα, τις βυθίσεις και τα συνολικά μέγιστα και ελάχιστα των τάσεων των στρώσεων στο σύνολο του μοντέλου. Αυτό που προκύπτει είναι ότι παρόλο που οι τάσεις είναι υψηλότερες σε σχέση με την 1^η περίπτωση επιτυγχάνονται οι ίδιες μετατοπίσεις. Αυτό οφείλεται λοιπόν στις καλύτερες ιδιότητες που έχουν τα υλικά σε ότι αφορά το μέτρο ελαστικότητας ως προς την κύρια διεύθυνση 11, ως προς την 22 ακόμα και για την διατμητική 12.

Laminate Name		Laminate1			
Laminate Layup					
		Total Number of Plies :	12		
		Total Thickness :	2,400E+0 mm		
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
12	12	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
11	11	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
10	10	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
9	9	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
6	6	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

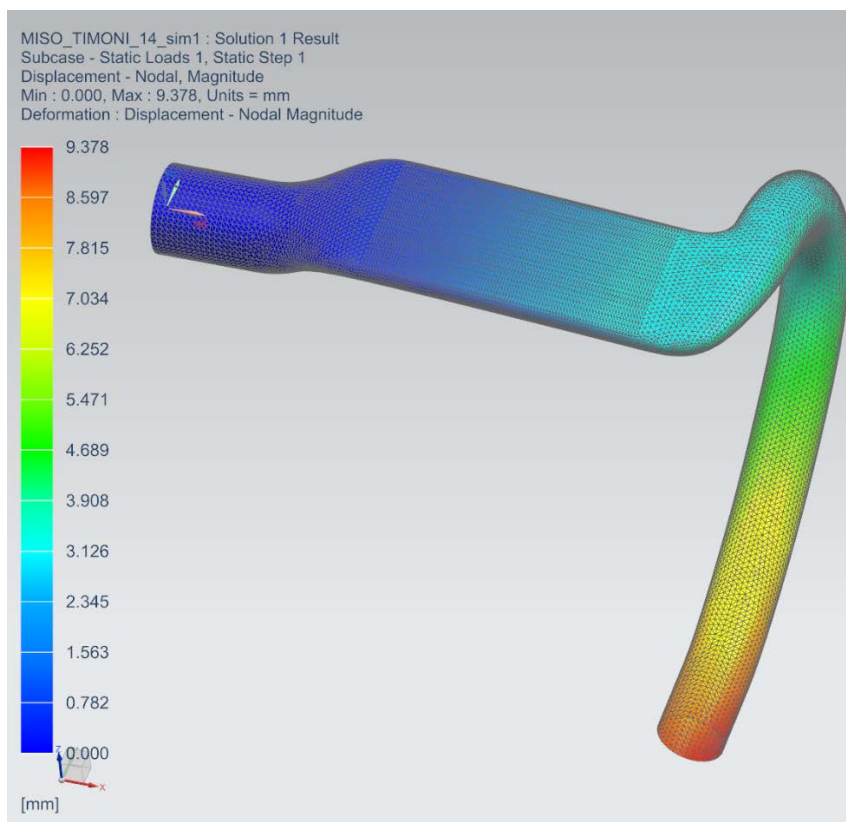
Πίνακας 9α Διαστρωμάτωση Laminate1 (drop) τελική

Laminate Name		Laminate2			
Laminate Layup					
		Total Number of Plies :	12		
		Total Thickness :	2,400E+0 mm		
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
12	12	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
11	11	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
10	10	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
9	9	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
6	6	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

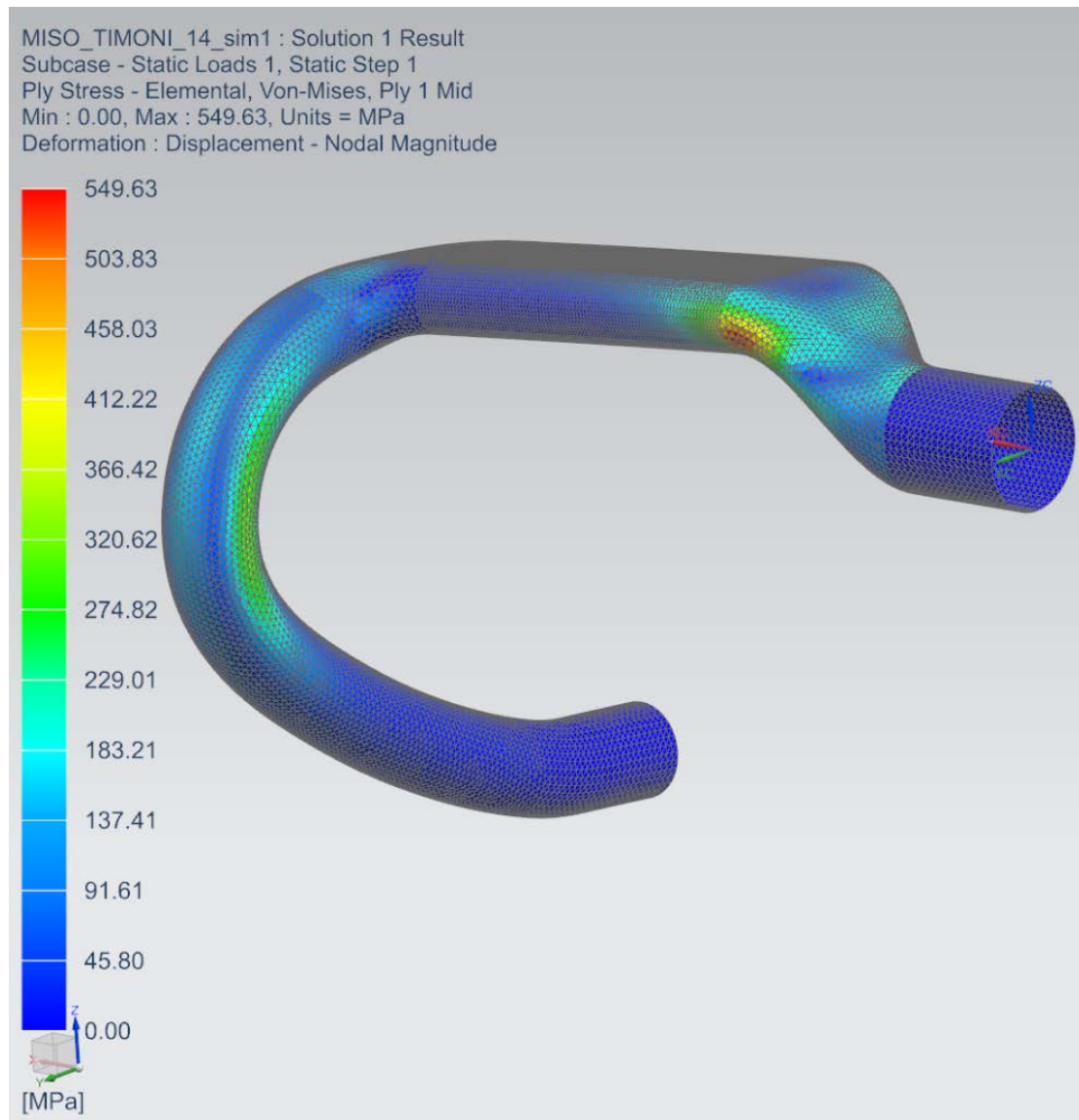
Πίνακας 9β Διαστρωμάτωση Laminate2 (αεροτομή) τελική

Laminate Name Laminate3					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :				13	
Total Thickness :				2,560E+0 mm	
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
13	13	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
12	12	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
11	11	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
10	10	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
9	9	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
8	8	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
7	7	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
6	6	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 9γ Διαστρωμάτωση Laminate3 (κεντρικό) τελική



Εικόνα 98 Μετατοπίσεις σε mm συνολικές στο μοντέλο .



Εικόνα 99 Τάσεις Von Mises

Συγκρίνοντας λοιπόν τις διαστρωματώσεις σε κάθε τμήμα έχουμε ότι για τα υλικά T300 και T700 για το κεντρικό μέρος είναι απαραίτητες 21 στρώσεις πλεκτές και μονοδιευθυντικές ενώ για τα αντίστοιχα M40J και HR40 απαιτούνται 13 στρώσεις αντίστοιχα. Για το τμήμα της αεροτομής, στην πρώτη περίπτωση απαιτούνται 20 στρώσεις ενώ στη δεύτερη 12. Οι ίδιες ακριβώς απαιτήσεις ισχύουν και για το κομμάτι των drop. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στον συνολικό αριθμό στρώσεων που αυτό φυσικά έχει μεγάλη επίδραση και στο βάρος. Παρόλο που τα υλικά της δεύτερης κατηγορίας έχουν λίγο μεγαλύτερη πυκνότητα σε σχέση με αυτά της πρώτης η διαφορά τους είναι τέτοια που συνολικά παρατηρείται πολύ μεγάλη βελτίωση του βάρους.

Παρακάτω θα παραθέσουμε και τον πίνακα με τις μέγιστες και τις ελάχιστες τάσεις που αναπτύσσονται στην δεύτερη περίπτωση οι οποίες όπως είναι επόμενο είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με της πρώτης περίπτωσης λόγω λιγότερων στρώσεων (Πίνακας 10).

	Element Id	Ply Id	Laminate Name	Stresses							Maximum Shear (kPa)
				Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)		
Min Stress 11	31352	12	Laminate3	-5,92E+05	-9,88E+03	0,00E+00	4,93E+02	-1,33E+04	6,03E+01	2,91E+05	
Max Stress 11	29102	12	Laminate3	3,86E+05	9,62E+03	0,00E+00	-2,59E+03	-1,66E+02	3,14E+01	1,88E+05	
Min Stress 22	30518	1	Laminate3	-8,40E+04	-5,72E+05	0,00E+00	-4,91E+04	-5,51E+03	-9,32E+01	2,49E+05	
Max Stress 22	4963	1	Laminate1	3,79E+04	3,47E+05	0,00E+00	-7,91E+03	3,55E+03	-3,08E+01	1,55E+05	
Min Stress 33	1	1	Laminate1	-1,57E+01	3,17E+02	0,00E+00	3,56E+01	5,98E+00	-3,63E+00	1,70E+02	
Max Stress 33	1	1	Laminate1	-1,57E+01	3,17E+02	0,00E+00	3,56E+01	5,98E+00	-3,63E+00	1,70E+02	
Min Stress 12	29834	3	Laminate3	-2,59E+05	-1,06E+05	0,00E+00	-1,37E+05	8,60E+03	6,56E+02	1,57E+05	
Max Stress 12	31183	13	Laminate3	-1,05E+05	-2,89E+05	0,00E+00	1,53E+05	5,56E-11	8,05E-12	1,79E+05	
Min Stress 23	31183	6	Laminate3	-1,37E+05	-2,31E+05	0,00E+00	5,14E+04	-5,30E+04	-6,61E+03	6,96E+04	
Max Stress 23	29739	6	Laminate3	-7,38E+04	1,22E+05	0,00E+00	-8,04E+04	3,55E+04	1,47E+04	1,27E+05	
Min Stress 31	30887	6	Laminate3	-1,57E+05	2,55E+03	0,00E+00	-4,02E+02	2,04E+04	-2,34E+04	7,99E+04	
Max Stress 31	28618	6	Laminate3	7,30E+04	1,25E+05	0,00E+00	-3,72E+04	-5,20E+02	3,23E+04	4,55E+04	
Min Maximum Shear Stress	26157	1	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Max Maximum Shear Stress:	31352	12	Laminate3	-5,92E+05	-9,88E+03	0,00E+00	4,93E+02	-1,33E+04	6,03E+01	2,91E+05	

Πίνακας 10 Μέγιστες και ελάχιστες τάσεις στο συνολικό μοντέλο .

4.4 Συγκριτικά βάρους και κόστους κατασκευής πρώτων δοκιμών

Συγκρίνοντας τα βάρη για τις δύο περιπτώσεις των STD και SL προκύπτουν κάποιες πολύ χρήσιμες πληροφορίες. Εισάγοντας λοιπόν την πυκνότητα του κάθε υλικού, ανάλογα με το πάχος του και με την επιφάνεια της κάθε στρώσης που καλύπτει πάνω στο τιμόνι μπορεί να προκύψει με ικανοποιητική ακρίβεια το ακριβές βάρος.

Κανονικά στην πραγματικότητα θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη και οι αναγκαίες επικαλύψεις που πρέπει να έχουν οι στρώσεις σε ότι αφορά το κομμάτι των exact (είναι τα κομμάτια από το prerreg ύφασμα τα οποία κόβονται όσο είναι ακριβώς και η διάσταση του καλουπιού) τμημάτων του καλουπιού με αυτά των over (είναι τα κομμάτια από το prerreg ύφασμα τα οποία κόβονται μεγαλύτερα κατά ένα ποσοστό από τις διαστάσεις του καλουπιού συνήθως έως 7 mm για κάθε πλευρά). Καθώς όμως προχωράμε προς το εσωτερικό του καλουπιού η μία στρώση σε σχέση με την επόμενη είναι κατά ένα ποσοστό μικρότερη. Επειδή λοιπόν αυτή η παράμετρος δεν λαμβάνεται υπόψη για την δική μας εφαρμογή, όπως και αυτή των επικαλύψεων θεωρούμε ότι οι δύο μεταξύ τους αλληλοαναιρούνται με πολύ μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα.

Έτσι λοιπόν ακολουθούν οι δύο πίνακες με τα συνολικά βάρη κάθε τιμονιού για την κάθε περίπτωση στην επόμενη σελίδα. Από τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει βλέπουμε ότι για την έκδοση STD το συνολικό βάρος που θα έχει το τιμόνι για να ικανοποιήσει το κριτήριο που έθεσε η εταιρία, κατόπιν επιβολής δύναμης 1000N και σε απόσταση 50 mm από το άκρο και ανώτατη επιτρεπόμενη μετατόπιση στο άκρο του τιμονιού τα 10 mm, προέκυψε στα **574, 3 gr**. Για την αντίστοιχη SL έκδοση με τις ίδιες συνθήκες ελέγχου το βάρος του τιμονιού ήταν στα **358,5 gr**. Αυτό σημαίνει ότι η STD έκδοση είναι κατά **60,2%** βαρύτερη της SL έκδοσης. Επομένως μπορούμε να αντιληφθούμε πόσο μεγάλο ρόλο παίζουν τα υλικά και κυρίως τα μέτρα ελαστικότητας στην ακαμψία μιας κατασκευής ειδικά όταν υπάρχει περιορισμός.

ΤΙΜΟΝΙ ΜΕ T300_WOVEN ΚΑΙ T700_UD										
Επιφάνεια	Στρώσεις T300_Woven	Στρώσεις T700_UD	Επιφάνεια T300_Woven	Επιφάνεια T700_UD	Πάχος T300_Woven	Πάχος T700_UD	Ειδικό βάρος T300_Woven	Ειδικό βάρος T700_UD	Μάζα T300_Woven	Μάζα T700_UD
Laminate	n	T700_UD	n mm ²	mm ²	n mm	mm	n g/cm ³	g/cm ³	ven (gr)	(gr)
Laminate1	12	9	230040	172530	0.22	0.16	1.563	1.625	79.10	44.86
Laminate2	12	8	208272	138848	0.22	0.16	1.563	1.625	71.62	36.10
Laminate3	10	9	95960	86364	0.22	0.16	1.563	1.625	33.00	22.45
Επιφάνειες Laminate (mm ²)			534272	397742		Επιμέρους μάζες στρώσεων (gr)			183.71	103.41
						Σύνολο μάζας μισού τιμονιού (gr)				287.13
						Σύνολο μάζας τιμονιού (gr)				574.26
ΤΙΜΟΝΙ ΜΕ MJ40_WOVEN ΚΑΙ HR40_UD										
Επιφάνεια	Στρώσεις M40J_Woven	Στρώσεις HR40_UD	Επιφάνεια M40J_Woven	Επιφάνεια HR40_UD	Πάχος M40J_Woven	Πάχος HR40_UD	Ειδικό βάρος M40J_Woven	Ειδικό βάρος HR40	Βάρος T300_Woven	Βάρος T700_UD
Laminate	n	HR40_UD	n mm ²	mm ²	n mm	mm	n g/cm ³	g/cm ³	ven	Bάρος T700_UD
Laminate1	8	5	153360	95850	0.22	0.16	1.55	1.64	52.30	25.15
Laminate2	8	4	138848	69424	0.22	0.16	1.55	1.64	47.35	18.22
Laminate3	8	4	76768	38384	0.22	0.16	1.55	1.64	26.18	10.07
Επιφάνειες Laminate (mm ²)			368976	203658		Επιμέρους μάζες στρώσεων (gr)			125.82	53.44
						Σύνολο μάζας μισού τιμονιού (gr)				179.26
						Σύνολο μάζας τιμονιού (gr)				358.52

Πίνακας 11α Συνολικό βάρος STD έκδοσης

Πίνακας 11β Συνολικό βάρος SL έκδοσης

Έχοντας και κάποιες ενδεικτικές τιμές για το κόστος του κάθε υλικού και γνωρίζοντας επί πλέον τη συνολική επιφάνεια που απαιτείται από το καθένα προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας .

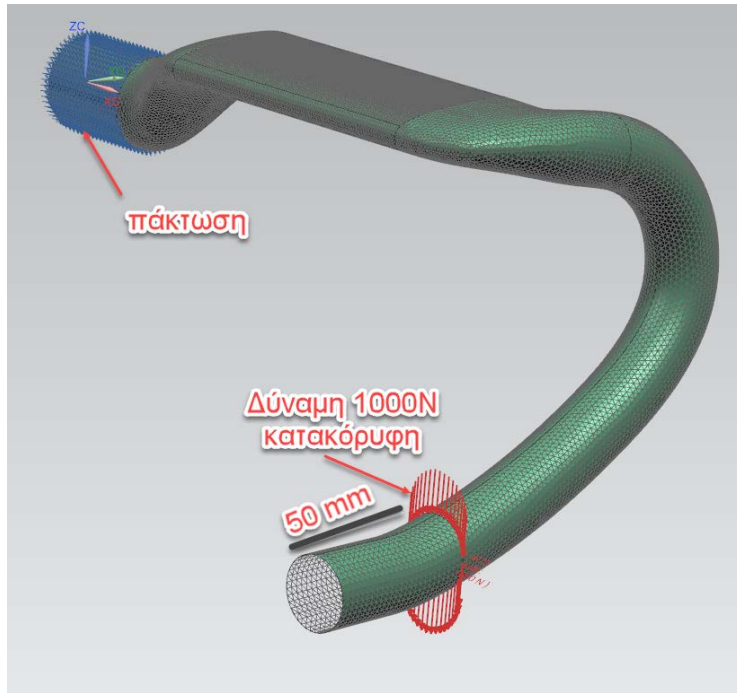
		Επιφάνεια (m ²)	Κόστος €	Κόστος STD	Κόστος SL
Τιμή T300 wooven €/m ²	46	1.068544	49.153024	70.63	108.42
Τιμή T700 ud €/m ²	27	0.795484	21.478068		
Τιμή M40J wooven €/m ²	100	0.737952	73.7952		
Τιμή HR40 ud €/m ²	85	0.407316	34.62186		

Πίνακας 12 Κοστολόγηση των δύο εκδόσεων των τιμονιών STD και SL

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όταν υπάρχουν δύο απαιτήσεις και βάρους και αντοχής το κόστος για να υπάρχουν καλύτερα αποτελέσματα αυξάνεται. Έτσι στην πρώτη περίπτωση το τιμόνι στην έκδοση STD κοστίζει για να κατασκευαστεί **70.6 €** σε ότι αφορά μόνο το κομμάτι του prepreg και όχι συμπεριλαμβανομένου του κόστους των επιμέρους υλικών όπως αποκολλητικά, σακούλες πίεσης, κουβέρτες , εργασία κ.α. ενώ στην δεύτερη περίπτωση για την έκδοση SL το κόστος ανέρχεται στα **108.4 €** Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε ότι η έκδοση SL είναι κατά **53,5%** πιο ακριβή σε σχέση με την έκδοση STD. Φυσικά αυτά τα ποσά βάρους και κόστους και τα αντίστοιχα ποσοστά μπορούν να μεταβληθούν ανάλογα με το αν αλλάξουν οι απαιτήσεις που έχουμε θέσει για την κατασκευή μας. Δηλαδή αν αυστηροποιήσουμε και άλλο τα κριτήρια οι διαφορές θα αυξηθούν ενώ αν υπάρξει μικρότερη απαίτηση οι διαφορές θα μειωθούν.

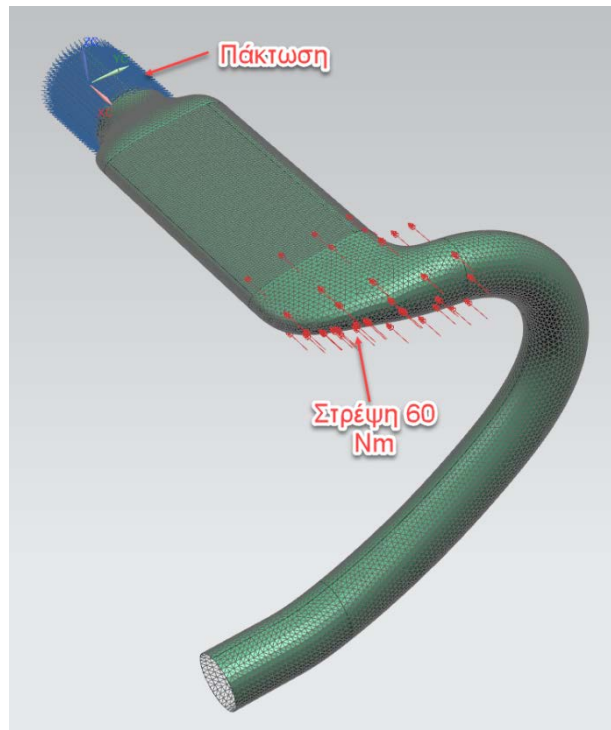
4.5 Έκδοση STD με νέους περιορισμούς, εύρεση διαστρωμάτωσης

Συνεχίζοντας λοιπόν την διαδικασία η πρόταση της εταιρίας ήταν σε πρώτη φάση να εφαρμοστεί ξανά το πιο δυσμενές κριτήριο της φόρτισης που προτείνει ο ISO και ο EN και στη συνέχεια να εφαρμοστεί και ακόμα ένα πιο ευνοϊκό. Το κριτήριο αυτό λοιπόν λέει ότι ασκείται σε μία απόσταση 50 mm από το άκρο της χειρολαβής του drop, μία κατακόρυφη δύναμη 1000 N έχοντας πακτώσει το κεντρικό τμήμα του λαιμού. Σύμφωνα με τον ISO δεν υπάρχει περιορισμός ως προς την μέγιστη επιτρεπόμενη κατακόρυφη μετατόπιση που μπορεί να έχει το σημείο εφαρμογής της δύναμης. Σύμφωνα όμως με το προηγούμενο πρότυπο του EN η μετατόπιση αυτή δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 15 mm. Επειδή η σχεδίαση γίνεται σύμφωνα με τον ISO αλλά λαμβάνουμε υπόψη και τον EN θα προσπαθήσουμε η μετατόπιση να μην υπερβαίνει κατά πολύ την συνιστώμενη τιμή του EN. Έτσι λοιπόν παρακάτω θα παραθέσουμε τις δοκιμές που κάναμε τόσο σε άσκηση της κατακόρυφης δύναμης όσο και με την επιβολή στρεπτικής ροπής μεγέθους 60 N στα hood (μεσαία λαβή).



Εικόνα 100 Εισαγωγή κατακόρυφης δύναμης 1000N στην χειρολαβή (drop)

Ακολουθεί και η εισαγωγή στρεπτικής ροπής 60 Nm στο τιμόνι σύμφωνα με το ISO για έλεγχο αντοχής. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα δύο τεστ είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και δεν ασκούνται ταυτόχρονα οι φορτίσεις.



Εικόνα 101 Εισαγωγή στρεπτικής ροπής 60 Nm .

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας δοκιμών για κατάληξη στην λύση της πρώτης ομάδας υλικών T300_Woven και T700_UD . Ακολουθούμε και εδώ τον ίδιο συμβολισμό με αυτόν που είχαμε χρησιμοποιήσει προηγούμενες δοκιμές όσον αφορά τα σύμβολα W και U .

Laminate3	Laminate2	Laminate1	Βυθίσεις
(W45,U02,U90) ₂ ,W45,U0 ₂	(W45,U02,U90) ₂ ,W45,U0 ₂	(W45,U0 ₂ ,U90) ₂ ,W45,U0 ₂	19.503
U45,U- 45,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,U45,U-45	U45,U- 45,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,U45,U-45	U45,U- 45,U0 ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,U45,U-45	16.77
U45,U- 45,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,U90,U0 ₂ ,U- 45,U45	U45,U- 45,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,U- 45,U45	U45,U- 45,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,U-45,U45	16.477
W0,U0 ₃ ,U90,U0 ₃ ,U90,U0 ₂ ,W0	W0,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,W0	W0,U0 ₃ ,U90,U0,U90,U0 ₃ ,W0	18.96

Πίνακας 13 Δοκιμές διαστρωματώσεων STD έκδοσης για τα νέα κριτήρια συναρτήσεως της βύθισης

Αυτό που βγήκε ως συμπέρασμα από την προηγούμενη διαδικασία διαστρωμάτωσης προσπαθώντας να επιτύχουμε τους στόχους που είχε θέσει η εταιρία, ήταν ότι το υλικό T300 woven που χρησιμοποιούσε είχε πολύ χειρότερες ιδιότητες σε σχέση με το άλλο υλικό το T700 unidirectional. Επομένως η χρήση του T300 φαινόταν ότι στην δική μας περίπτωση δεν ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς ήταν και πιο ακριβό και είχε και μικρότερα μέτρα ελαστικότητας και όρια αντοχής.

Συνεπώς υλοποιήθηκε η ιδέα να χρησιμοποιηθεί μόνο το T700 unidirectional υλικό σε διάφορες γωνίες. Κάνοντας λοιπόν αλληπάλληλες δοκιμές με διάφορους συνδυασμούς στρώσεων και έχοντας υπόψη τους περιορισμούς καταλήξαμε στην ακόλουθη διαστρωμάτωση. Επίσης επειδή το πάχος της κάθε στρώσης του T700 ήταν στα 0,16 mm σε σχέση με το T300 που ήταν στα 0,22 mm, μπορούσαμε να έχουμε περισσότερες στρώσεις με ίδιο τελικό πάχος. Προφανώς αυτό οφείλεται κιόλας στο γεγονός ότι το T300 που είναι πλεκτό και έχει ίνες και στις 0° και στις 90° έχει δύο άξονες ενίσχυσης ενώ το T700 που είναι μονοδιευθυντικό έχει μόνο έναν. Έτσι οι ενδιάμεσες περιπτώσεις θα έπρεπε να καλυφθούν με τοποθέτηση των ινών σε περισσότερες διευθύνσεις.

Η διαστρωμάτωση αυτή αποτελείται από 14 στρώσεις για το κεντρικό κομμάτι και 13 στρώσεις για τα drop και την αεροτομή. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι στρώσεις, οι διευθύνσεις και το πάχος της στρώσης για το T700.

Laminate Name Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		13			
Total Thickness :		2,080E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
13	13	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	-45
12	12	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	45
11	11	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
9	9	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
7	7	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
5	5	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
3	3	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	-45
1	1	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	45

Πίνακας 14α Στρώσεις Laminate1 (drop)

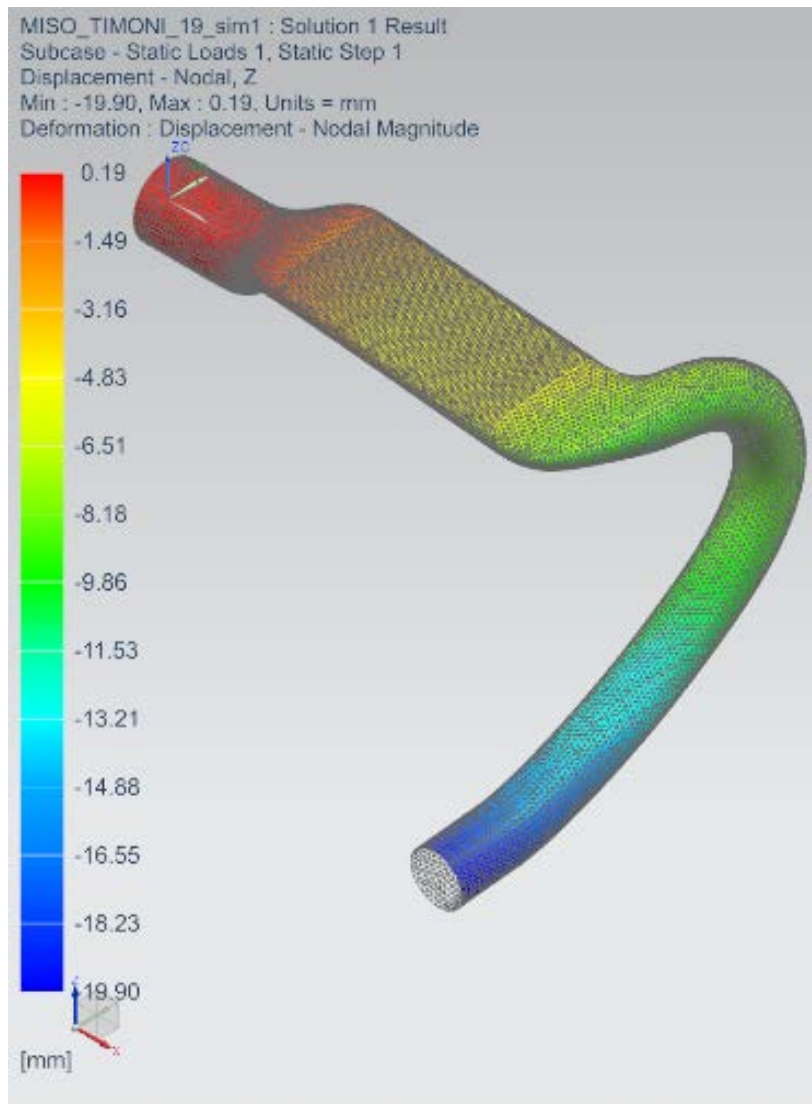
Laminate Name Laminate2					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		13			
Total Thickness :		2,080E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
13	13	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	-45
12	12	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	45
11	11	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
9	9	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
7	7	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
5	5	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
3	3	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	-45
1	1	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	45

Πίνακας 14β Στρώσεις Laminate2 (αεροτομή).

Laminate Nam Laminate3					
Laminate Layup					
Total Number of Plies				14	
Total Thickness :				2,240E+0 mm	
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
14	14	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	-45
13	13	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	45
12	12	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
11	11	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
9	9	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
7	7	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
5	5	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
3	3	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	-45
1	1	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	45

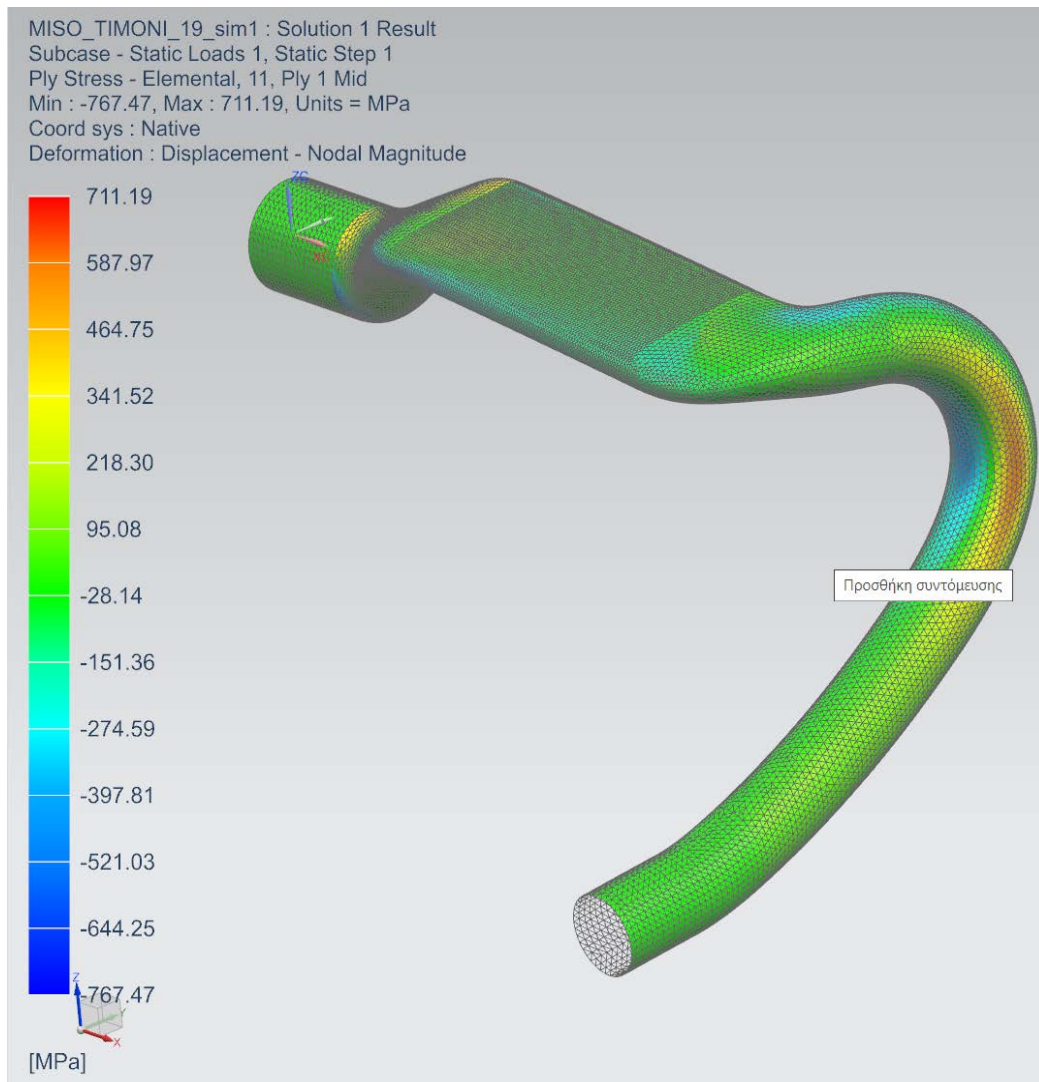
Πίνακας 14γ Στρώσεις Laminate3 (Κεντρικό τμήμα).

Έχοντας λοιπόν την διαστρωμάτωση που μόλις αναφέραμε ασκούμε σε πρώτο στάδιο τη δύναμη των 1000 N. Βάση λοιπόν αυτής της δύναμης προκύπτουν κάποιες μετατοπίσεις. Ακολουθεί εικόνα μετατοπίσεων κατά τον άξονα Z. Η μέγιστη μετατόπιση που εμφανίζεται στην άκρη της χειρολαβής είναι **19.90 mm** και στο σημείο εφαρμογής της δύναμης **16.288 mm** κατά απόλυτη τιμή προφανώς (αφού τα θετικά Z έχουν κατεύθυνση προς τα άνω). Συνεπώς η τιμή αυτή είναι αρκετά κοντινή με τα 15 mm που απαιτούσε το προηγούμενο πρότυπο. Πρόκειται για μία απόκλιση **7,9 %** που σύμφωνα με την εταιρία βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά της όρια. Φυσικά τώρα επειδή έχουμε λιγότερες στρώσεις σε σχέση με πριν οι τάσεις θα περιμένουμε να είναι σαφώς μεγαλύτερες. Παρόλα αυτά η σχεδίαση δεν έγινε εντελώς στο όριο αντοχής των υλικών καθώς εκεί θα έπρεπε να εισαχθούν και κριτήρια αστοχίας όπως για παράδειγμα Tsai-Lui, Hoffman, Tsai_Wu, Hill κ.α. καθώς αυτά επιλύονται ακριβέστερα με άλλον Solver στο πρόγραμμα του NX_Nastran και όχι με τον 101 που χρησιμοποιείται για Linear Static Analysis συμπεριλαμβανομένων και των ανωτέρω κριτηρίων.



Εικόνα 102 Μετατοπίσεις με την κατακόρυφη δύναμη των 1000N (drop).

Επομένως είναι και πάλι απαραίτητο να παρουσιαστούν οι αναπτυσσόμενες τάσεις (Εικόνα 103). Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις αναπτυσσόμενες τάσεις από την εν λόγω φόρτιση που αναφέρονται στην στρώση 1, η οποία είναι και η εξωτερική στρώση του τιμονιού και όλες οι υπόλοιπες με αυξανόμενο αριθμό είναι εσωτερικές αυτής. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η τάση 11 καθώς είναι η πρώτη διεύθυνση που θα πρέπει να ελέγξουμε. Πιο κάτω φαίνεται περιληπτικός πίνακας με τα δυσμενέστερα μεγέθη έντασης από την εν λόγω φόρτιση (Πίνακας15).



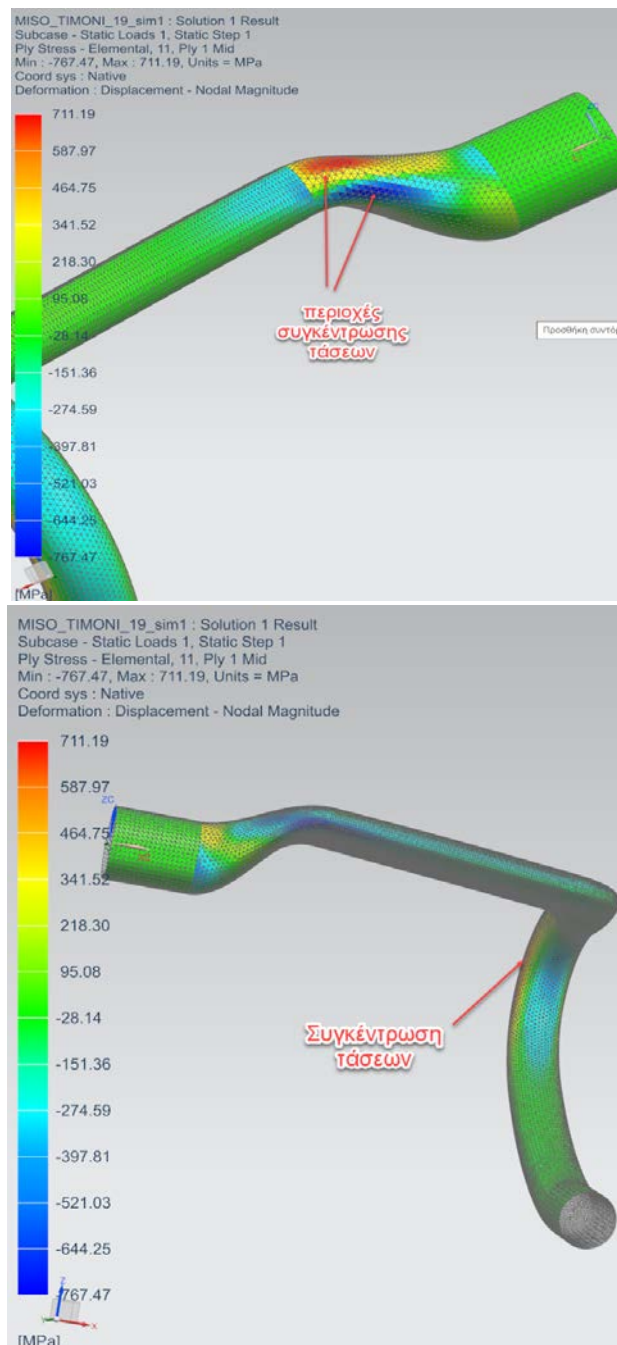
Εικόνα 103 Τάσεις κατά τη διεύθυνση 11 στη στρώση 1 λόγω φόρτισης 1000N.

Επίσης οι τάσεις που είναι σημαντικές είναι οι 22 και οι 12. Εάν παρατηρήσουμε ότι σε αυτή την κατεύθυνση αρχίζουν και αυξάνουν οι τάσεις πέραν του επιτρεπόμενου υπάρχει τρόπος να βελτιωθεί αυτή η κατάσταση και θα αναλυθεί παρακάτω. Οι 12 όμως δεν λαμβάνονται τόσο πολύ υπόψη σαν κύριο χαρακτηριστικό αλλά σαν δευτερεύον. Καθώς εκεί δεν υπάρχουν ίνες για να φέρουν φορτίο.

Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses						Maximum Shear(kPa)
				Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	
				mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Min Stress 11	29926	14 Middle	Laminate3	-1,15E+06	-4,03E+04	0,00E+00	2,26E+03	-8,15E-12	1,61E-11	5,57E+05
Max Stress 11	28010	13 Middle	Laminate3	7,71E+05	4,25E+04	0,00E+00	1,29E+04	1,78E+03	-1,89E+02	3,64E+05
Min Stress 22	28011	1 Middle	Laminate3	1,89E+05	-9,09E+04	0,00E+00	-2,26E+04	1,20E+03	-1,20E+03	1,42E+05
Max Stress 22	27922	14 Middle	Laminate3	2,83E+05	7,97E+04	0,00E+00	-6,82E+03	1,30E-11	1,59E-11	1,02E+05
Min Stress 33	3744	3 Middle	Laminate1	-5,04E+04	4,08E+04	0,00E+00	1,02E+03	-1,01E+03	-2,15E+03	4,56E+04
Max Stress 33	3744	3 Middle	Laminate1	-5,04E+04	4,08E+04	0,00E+00	1,02E+03	-1,01E+03	-2,15E+03	4,56E+04
Min Stress 12	25729	1 Middle	Laminate2	-4,31E+05	-5,93E+04	0,00E+00	-4,93E+04	3,42E+03	-2,06E+02	1,92E+05
Max Stress 12	29422	12 Middle	Laminate3	-5,94E+05	-4,15E+04	0,00E+00	4,83E+04	-1,61E+04	-7,78E+03	2,81E+05
Min Stress 23	29284	6 Middle	Laminate3	-2,15E+05	-4,12E+04	0,00E+00	-1,55E+04	-6,23E+04	-7,07E+03	8,81E+04
Max Stress 23	28840	4 Middle	Laminate3	-5,81E+04	-4,08E+04	0,00E+00	-1,23E+04	3,70E+04	3,57E+02	1,50E+04
Min Stress 31	29363	10 Middle	Laminate3	-2,01E+05	-4,35E+04	0,00E+00	-4,35E+04	-2,01E+04	-2,66E+04	9,01E+04
Max Stress 31	28676	4 Middle	Laminate3	6,05E+03	-4,78E+04	0,00E+00	2,02E+04	-8,77E+03	1,29E+04	3,37E+04
Min Maximum Shear Stress	22966	13 Middle	Laminate2	-4,46E+04	-4,48E+04	0,00E+00	-7,74E+02	-7,28E-12	1,01E-11	7,79E+02
Max Maximum Shear Stress	29926	14 Middle	Laminate3	-1,15E+06	-4,03E+04	0,00E+00	2,26E+03	-8,15E-12	1,61E-11	5,57E+05

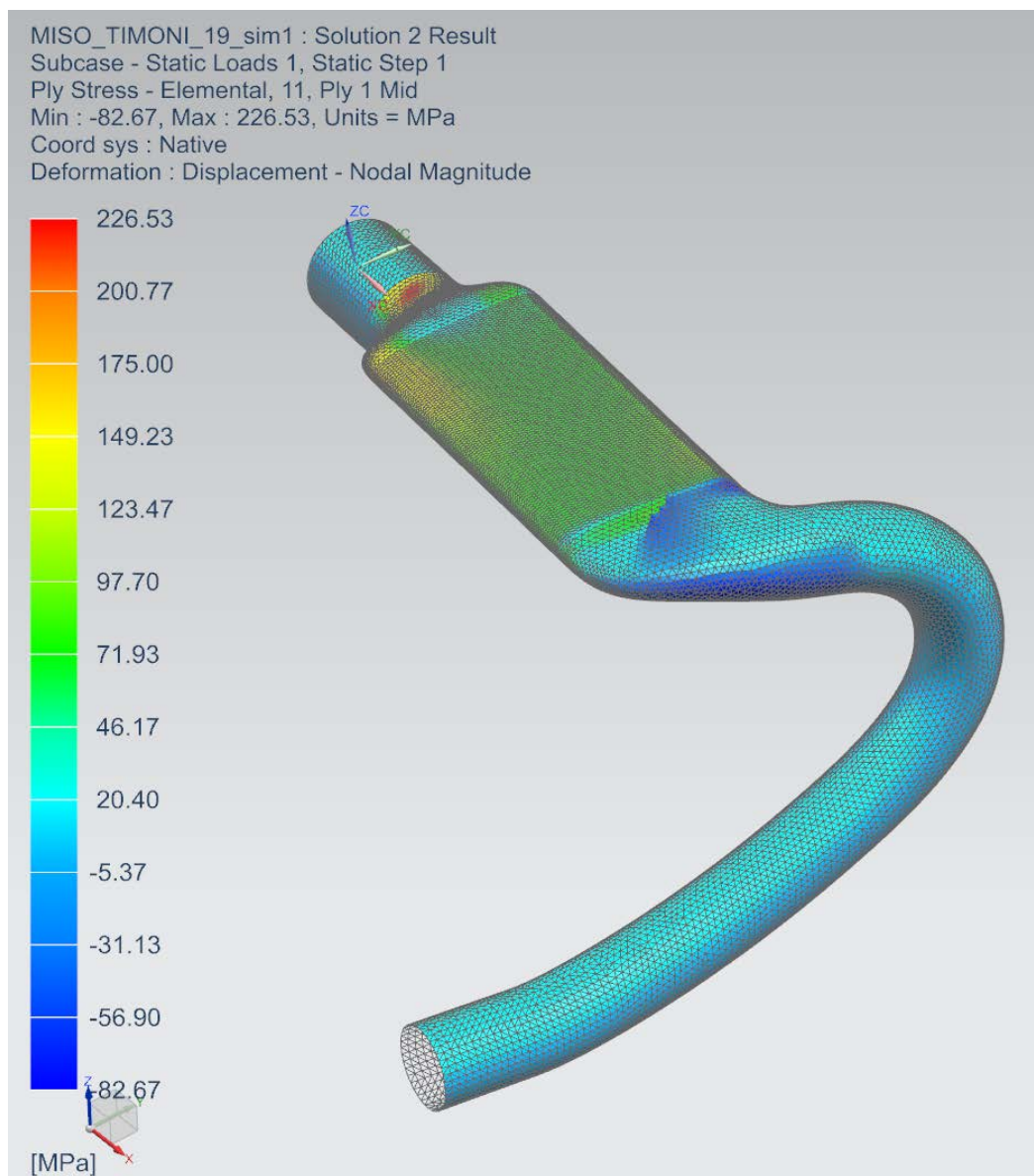
Πίνακας 15 Διαμενέστερες τάσεις στις στρώσεις από την κατακόρυφη δύναμη 1000N.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τα σημεία όπου παρατηρούνται συγκεντρώσεις τάσεων και έχουμε μικρές υπερβάσεις. Για να βελτιωθούν αυτές οι περιοχές, θα καλυφθούν με τοπικά στρώματα (Patches) από προεμποτισμένες στρώσεις, ανάλογα με την διεύθυνση των τάσεων. Για παράδειγμα στην διεύθυνση 11 σε πολύ λίγα σημεία υπήρχαν αρκετά μεγάλες τάσεις σαφώς μικρότερες από τα όρια αντοχής του υλικού. Στην διεύθυνση όμως 22 και 12 τα σημεία αυτά ήταν περισσότερα. Έτσι σε αυτά τα σημεία κάτω ακριβώς από την υπάρχουσα στρώση που αντιμετωπίζει πρόβλημα, τοποθετούμε πρόσθετο T700 υλικό είτε σε διεύθυνση 90° (για την 22) είτε σε $\pm 45^\circ$ (για την 12) ανάλογα με το τι μας δείχνει το πρόγραμμα ότι υπάρχει υπέρβαση (Εικόνα 104).



Εικόνα 104: Συγκέντρωση τάσεων και βελτίωση με τοπική ενίσχυση .

Τέλος παραθέτουμε και στοιχεία τάσεων από την στρεπτική ροπή 60 Nm που εφαρμόζεται όπως έχει αναφερθεί ανωτέρω .



Εικόνα 105 Ανάπτυξη τάσεων στην στρώση 1 λόγω στρέψης 60 Nm.

Όπως ήταν επόμενο, οι τάσεις που αναπτύσσονται λόγω αυτής της φόρτισης είναι αρκετά μικρότερες. Παρόλα αυτά εφόσον και το ISO το επιβάλλει αυτό τεστ ήμασταν υποχρεωμένοι να το ελέγξουμε . Πιο σπάνια αλλά με κάποιες τέτοιες διαδικασίες δεν αποκλείεται να προκύψουν κρυφές τάσεις και αδυναμίες σε σημεία που λόγω της άλλης φόρτισης δεν είχαν εμφανιστεί. Ευτυχώς όμως η επιλογή της διαστρωμάτωσης της κατασκευής μας έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ομοιομορφία έως ένα βαθμό και να μην υπάρχουν τρωτά σημεία. Παραθέτουμε λοιπόν και τον πίνακα μας με τα μέγιστα και ελάχιστα των τάσεων που εμφανίζονται στις διάφορες στρώσεις λόγω εφαρμογής ροπής (Πίνακας 16).

	Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses						Maximum Shear(kPa)	
					Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)		
Min Stress 11	29316	14	Middle	Laminate3	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	1,12E+05
Max Stress 11	26535	2	Middle	Laminate3	-2,23E+05	1,68E+02	0,00E+00	2,68E+03	-1,78E-12	2,79E-12	2,79E-12	1,12E+05
Min Stress 22	29281	13	Middle	Laminate3	4,00E+04	8,21E+03	0,00E+00	-4,18E+03	-1,23E+03	-1,38E+02	-1,38E+02	1,64E+04
Max Stress 22	29121	14	Middle	Laminate3	3,60E+04	-1,42E+04	0,00E+00	-4,32E+03	-5,27E+02	-4,09E+02	-4,09E+02	2,55E+04
Min Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	8,52E+03	1,95E+04	0,00E+00	1,73E+01	-7,73E-13	-1,21E-12	-1,21E-12	5,50E+03
Max Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	-2,62E-01	-2,50E-03	0,00E+00	-1,13E-02	-8,77E-03	-1,31E-03	-1,31E-03	1,30E-01
Min Stress 12	27269	3	Middle	Laminate3	-2,62E-01	-2,50E-03	0,00E+00	-1,13E-02	-8,77E-03	-1,31E-03	-1,31E-03	1,30E-01
Max Stress 12	27244	4	Middle	Laminate3	3,68E+04	-2,27E+03	0,00E+00	-1,41E+04	-7,30E+01	1,88E+01	1,88E+01	2,41E+04
Min Stress 23	28778	6	Middle	Laminate3	-4,16E+04	3,65E+03	0,00E+00	1,46E+04	-8,01E+02	-6,04E+02	-6,04E+02	2,69E+04
Max Stress 23	11244	6	Middle	Laminate2	-2,52E+04	6,48E+03	0,00E+00	-4,67E+03	-1,85E+04	-5,75E+02	-5,75E+02	1,65E+04
Min Stress 31	13199	7	Middle	Laminate2	-1,21E+04	6,00E+02	0,00E+00	-5,12E+03	1,32E+04	-3,53E+02	-3,53E+02	8,16E+03
Max Stress 31	11297	6	Middle	Laminate2	-4,40E+04	3,12E+03	0,00E+00	-8,33E+02	1,30E+03	-1,06E+04	-1,06E+04	2,36E+04
Min Maximum Shear Stress	29943	1	Middle	Laminate3	-2,94E+04	1,74E+03	0,00E+00	3,16E+03	2,10E+03	1,42E+04	1,42E+04	1,59E+04
Max Maximum Shear Stress	29316	14	Middle	Laminate3	0,00E+00	1,68E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
					-2,23E+05	1,68E+02	0,00E+00	2,68E+03	-1,78E-12	2,79E-12	2,79E-12	1,12E+05

Πίνακας 16 Διαμενέστερες τάσεις λόγω στρέψης 60 Nm.

4.6 Έκδοση SL με νέους περιορισμούς, εύρεση διαστρωμάτωσης

Τώρα θα εξετάσουμε την περίπτωση της χρήσης της δεύτερης ομάδας υλικών (HR40-UD και M40J-Woven). Τα υλικά αυτά έχουν μεγάλα μέτρα ελαστικότητας και αντοχής όπως έχουμε προαναφέρει. Και σε αυτή την περίπτωση επαναλαμβάνουμε τους δύο ελέγχους δοκιμής. Η πρώτη περίπτωση αφορά την εφαρμογή της δύναμης των 1000N και η δεύτερη της εφαρμογής της ροπής των 60 Nm. Εδώ πάλι οι απαιτήσεις είναι οι ίδιες κάνοντας έναν συνδυασμό του ISO και EN και η μέγιστη μετατόπιση δεν θέλαμε να ξεπερνάει κατά πολύ τα 15 mm σε ότι αφορά το 1^ο τεστ.

Στην συνέχεια παρατίθεται πίνακας δοκιμών (Πίνακας 17) για κατάληξη στην λύση της δεύτερης ομάδας υλικών HR40_UD και M40J_Woven (SL), με τις ίδιες παρατηρήσεις για τον συμβολισμό .

Laminate3	Laminate2	Laminate1	Βυθίσεις
U45,U- 45,U0,U90 ,U02,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U0 ,U90,U0,U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U0, U90,U0,U-45,U45	23.062
U45,U- 45,U0,U90 ,U03,U90,U0, U- 45,U45	U45,U- 45,U0,U02, U90,U0,U-45,U45	U45,U- 45,U0,U02,U90, U0,U-45,U45	18.378
U45,U- 45,U0,U90 ,U04,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90, U03,U90,U0,U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U03, U90,U0,U- 45,U45	17.675
U45,U- 45,U02, U90,U03,U90,U02, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90, U03,U90,U0,U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U04, U90,U0,U-45,U45	14.124
U45,U- 45,U0,U90 ,U02,U90,U02,U90 ,U0,U90,U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90, U02,U90,U02,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U02, U90,U02,U90,U0,U- 45, U45	15.53
U45,U- 45,U0,U90 ,U02,U90,U02,U90 ,U0,U90,U- 452, U45	U45,U- 45,U0,U90, U02,U90,U02,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U02, U90,U02,U90,U0,U- 45, U45	12.151
U45,U- 453,U0, U90,U04,U90,U0, U454,U45	U45,U- 45,U0,U90, U02,U90,U02,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U02, U90,U02,U90,U0,U- 45, U45	12.01

Laminate3	Laminate2	Laminate1	Βυθίσεις
U45,U- 45 ₄ ,U0 , U90,U0 ₂ ,U90,U0, U-45 ₄ ,U45	U45,U- 45,U0,U90, U0 ₂ ,U90,U0 ₂ ,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U0 ₂ , U90,U0 ₂ ,U90,U0,U- 45, U45	12.443
U45 ₂ ,U- 45 ₃ ,U0, U90,U0 ₂ ,U90,U0, U-45,U45 ₂	U45,U- 45,U0,U90, U0 ₂ ,U90, U0 ₂ ,U90,U0, U-45,U45	U45,U- 45,U0,U90,U0 ₂ , U90,U0 ₂ ,U90,U0,U- 45, U45	11.573
(U45,U- 5) ₃ ,U45, U0,U90,U0,U90, U0,U- 45 ₂ , (U45, U-45) ₂	U5,U- 45,U0,U90,U0 ₂ , U90,U0,U-45,U45	U5,U- 45,U0,U90,U0 ₂ , U90,U0,U-45,U45	13.737
(U45,U- 45) ₃ ,U45, U0,U90,U0 ₂ ,U- 45 ,(U45,U-45) ₃	U45,U- 45,U0,U90, U0 ₂ ,U90, U0,U- 45, U45	U45,U- 45,U0,U90,U0 ₂ , U90,U0,U-45,U45	15.1
(U45,U-45) ₂ , U- 45 ₃ ,U0,U90, U0 ₂ , U- 45 ₃ , (U45,U-45) ₂	U45,U- 45,U90,U0, U90,U0 ₂ , U90,U0,U45 ,U-45	U45.U- 45,U90,U0,U90, U0 ₂ ,U90,U0,U45,U-45	15.79
W45 ₂ ,W0 ₂ ,U0 ₂ , W0 ₂ ,W45 ₂	W45,W0,U0 ₂ ,W0,W45	W45,W0,U0 ₂ ,W0,W45	13.453
(W45,W0) ₂ ,U0 ₂ , (W0,W45) ₂	W45,W0,U0 ₂ ,W0,W45	W45,W0,U0 ₂ ,W0,W45	13.446
(W45,W0) ₂ ,U0 ₂ , (W0,W45) ₂	W45,W0,U0,W0,W45	W45,W0,U0,W0,W45	16.06

Πίνακας 17 Δοκιμές διαστρωματώσεων SL έκδοσης για τα νέα κριτήρια συναρτήσεως της βύθισης

Αυτό που προκύπτει από τις παραπάνω δοκιμές είναι ότι η χρήση μόνο του μονοδιευθυντικού υλικού δεν ήταν απαραίτητη όπως στην προηγούμενη περίπτωση με τα άλλα υλικά. Σε αυτήν την περίπτωση φάνηκε ότι με συνδυασμό και των δύο θα είχαμε καλύτερο αποτέλεσμα.

Μετά από αυτές και κάποιες ακόμα δοκιμές τόσο με μονοδιευθυντικό υλικό HR40-UD, όσο και με συνδυασμό και του μονοδιευθυντικού και του υφαντού υλικού M40J-Woven, ως καλύτερος συνδυασμός είναι αυτός που αναφέρεται παρακάτω.

Laminate Name Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of Plies : 5					
Total Thickness : 1,040E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
5	5	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
4	4	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
3	3	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
2	2	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45

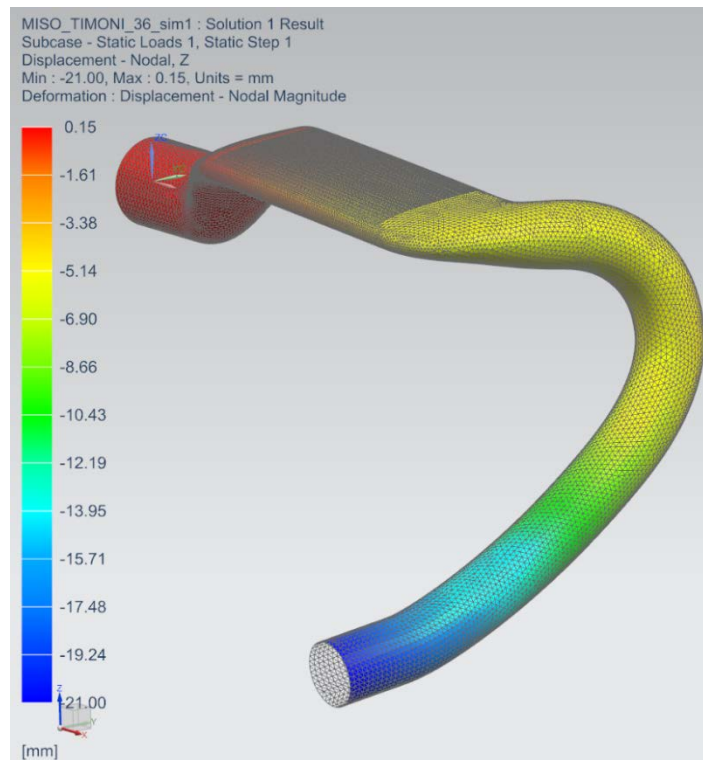
Πίνακας 18α Στρώσεις Laminate1 χειρολαβής (drop)

Laminate Name Laminate2					
Laminate Layup					
Total Number of Plies : 6					
Total Thickness : 1,200E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
6	6	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
5	5	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
3	3	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
2	2	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45

Πίνακας 18β Στρώσεις Laminate2 αεροτομής.

Laminate Name Laminate3					
Laminate Layup					
Total Number of Plies : 9					
Total Thickness : 1,920E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
9	9	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
8	8	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
6	6	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45

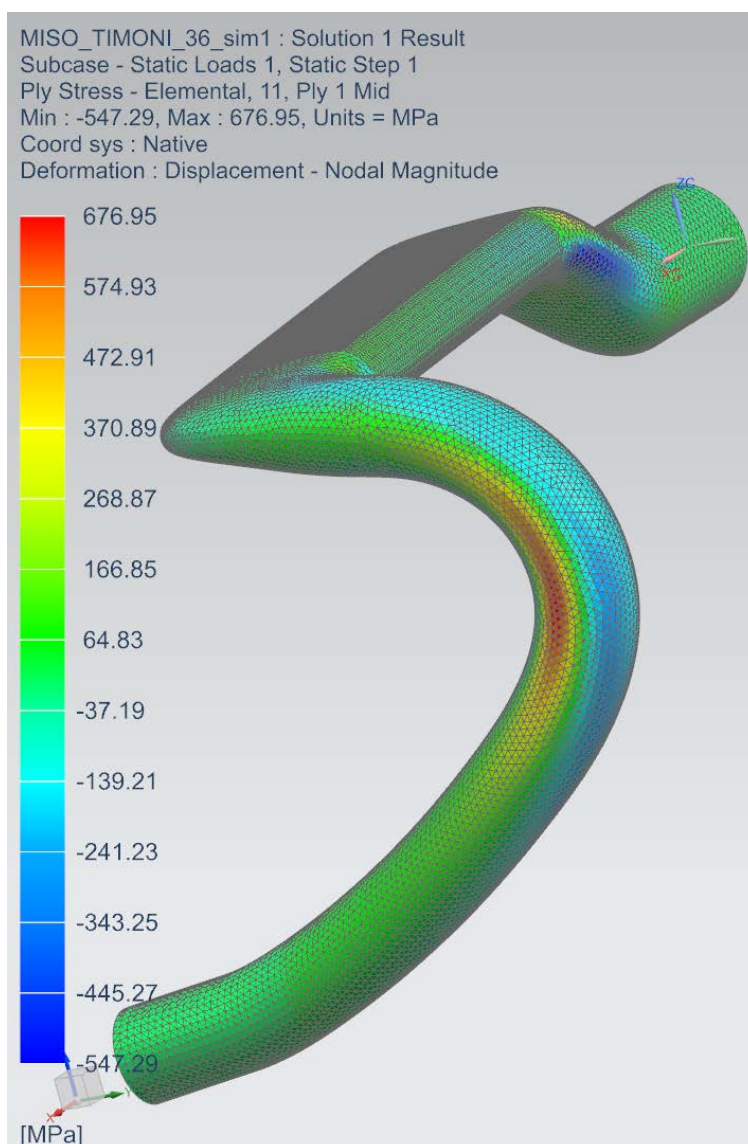
Πίνακας 18γ Στρώσεις Laminate3 (κεντρικό τμήμα στήριξης τιμονιού).



Εικόνα 106 Μετατοπίσεις κατακόρυφα στον άξονα Z μετά την επιβολή του φορτίου 1000N.

Στην ανωτέρω εικόνα η βύθιση κατά Z (Εικόνα 106) στην θέση επιβολής του κατακόρυφου φορτίου είναι κατά απόλυτο **16.06 mm** και αυτή η μέτρηση έχει προκύψει ελέγχοντας τα σημεία των πεπερασμένων στοιχείων καθόλη την περίμετρο σε εκείνη την περιοχή.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά μια εικόνα από τις αναπτυσσόμενες τάσεις (Εικόνα 107) στην κατεύθυνση 11 και στην συνέχεια τα μέγιστα και τα ελάχιστα που παρατηρούνται στις πιο κρίσιμες στρώσεις (Πίνακας 19).



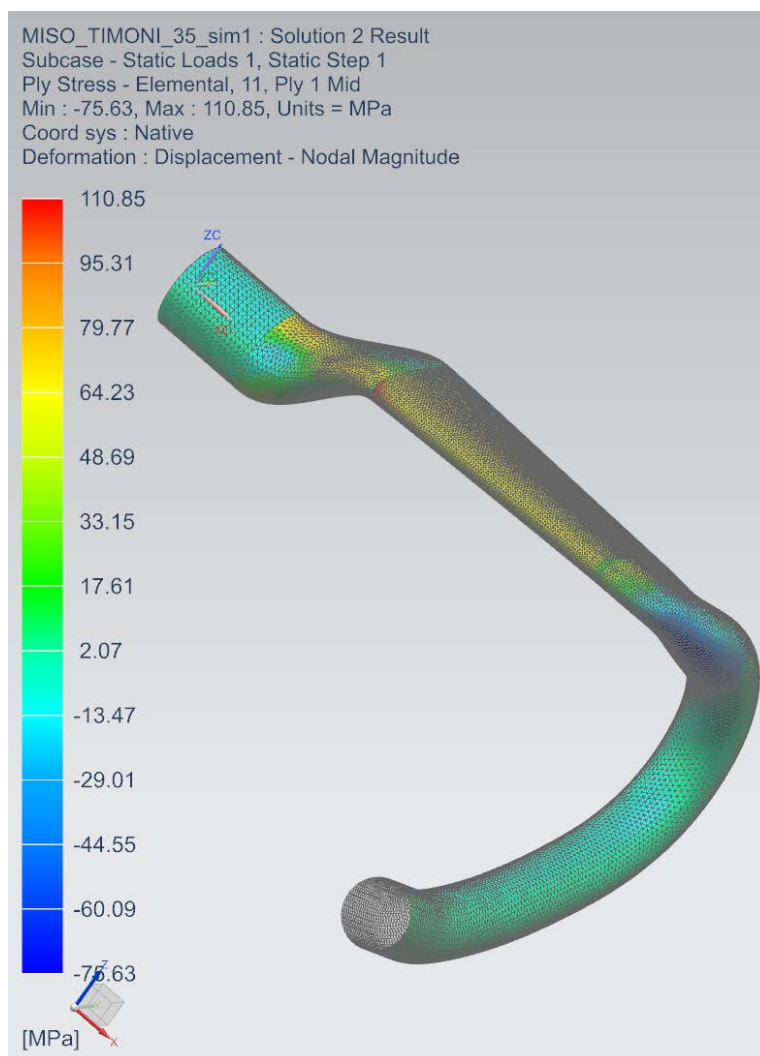
Εικόνα 107 Εμφανιζόμενες τάσεις στην στρώση 1 (ply1) στην κύρια διεύθυνση 11.

Αυτό που παρατηρούμε από τα ανωτέρω είναι ότι πλέον χρειάζονται λιγότερες στρώσεις σε σχέση με την STD έκδοση. Και αυτό επιτυγχάνεται χάρη στα μεγαλύτερα όρια αντοχής και μέτρα ελαστικότητας που έχουν τα υλικά. Επίσης αυτό που παρατηρούμε και από τις ιδιότητες αυτών των υλικών είναι ότι το πλεκτό με το μονοδιευθυντικό δεν έχουν μεγάλες διαφορές σε αντοχές και ιδιότητες, όπως συνέβαινε με τα πιο φτηνά υλικά και επομένως κρίθηκε πως ο συνδυασμός και των δύο θα μπορούσε να επιτύχει καλύτερα τα επιθυμητά αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν για αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται 5 στρώσεις για το drop, 6 για την αεροτομή και 9 για το κεντρικό κομμάτι.

Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stresses			Maximum Shear(kPa)
							Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	
				mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Min Stress 11	25719	3 Middle	Laminate2	-7,22E+05	-6,94E+03	0,00E+00	-1,34E+04	-5,63E+04	-5,37E+03	3,58E+05
Max Stress 11	11713	5 Middle	Laminate2	4,00E+04	6,69E+03	0,00E+00	-5,88E+02	-1,61E-12	2,19E-12	1,67E+04
Min Stress 22	28011	1 Middle	Laminate3	4,79E+03	-8,69E+05	0,00E+00	-8,02E+04	8,47E+02	-3,63E+03	4,44E+05
Max Stress 22	4947	2 Middle	Laminate1	-9,75E+04	6,27E+05	0,00E+00	-1,53E+04	-1,74E+03	9,32E+02	3,63E+05
Min Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	1,53E+03	1,08E+03	0,00E+00	8,50E+02	3,03E+01	-8,76E+00	8,79E+01
Max Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	1,53E+03	1,08E+03	0,00E+00	8,50E+02	3,03E+01	-8,76E+00	8,79E+02
Min Stress 12	9957	5 Middle	Laminate1	2,47E+04	3,52E+04	0,00E+00	-3,39E+05	-1,73E-11	4,90E-14	3,39E+05
Max Stress 12	28685	10 Middle	Laminate3	3,94E+04	-7,13E+04	0,00E+00	2,48E+05	1,25E-11	-1,69E-12	2,54E+05
Min Stress 23	28673	5 Middle	Laminate3	-3,96E+05	-1,16E+04	0,00E+00	3,06E+03	-7,55E+04	-1,33E+04	1,92E+05
Max Stress 23	28835	5 Middle	Laminate3	-1,87E+05	-7,30E+03	0,00E+00	-3,40E+03	5,63E+04	2,07E+03	8,98E+04
Min Stress 31	25726	2 Middle	Laminate2	-3,03E+05	-2,67E+03	0,00E+00	5,68E+04	-2,42E+04	-3,96E+04	1,61E+05
Max Stress 31	23180	2 Middle	Laminate2	-1,91E+05	-6,07E+03	0,00E+00	-1,80E+05	-2,99E+04	3,54E+04	2,03E+05
Min Maximum Shear Stress	29943	1 Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Max Maximum Shear Stress	23179	1 Middle	Laminate2	-5,71E+05	3,13E+05	0,00E+00	8,85E+04	-2,83E+04	1,34E+04	4,51E+05

Πίνακας 19 Συγκεντρωτικός πίνακας των δυσμενών τάσεων ανά στρώση και Laminate .

Κατωτέρω εξετάζουμε την απόκριση του τιμονιού σε ροπή στρεπτική 60 Nm σύμφωνα με το ISO. Φυσικά και όπως περιμένουμε οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μικρότερες από ότι στην πρώτη φόρτιση αλλά για λόγους πληρότητας θα έπρεπε να αναφερθεί και αυτή η περίπτωση (Εικόνα 108).



Εικόνα 108 Τάσεις στην στρώση 1 (ply1) με την εφαρμοζόμενη στρέψη 60 Nm κατά μήκος της αεροτομής.

Αυτό επίσης που θα πρέπει να επισημανθεί είναι ότι για όλες τις δοκιμές που έχουν γίνει πολλές φορές οι τάσεις που εμφανίζονται στην σύνδεση των 2D mesh είναι αρκετά μεγάλες καθώς το πρόγραμμα χρησιμοποιεί κάποιες παραδοχές σε ότι αφορά την ένωση των δύο περιοχών οπότε δεν θα έπρεπε τοπικά να λαμβάνονται υπόψη με μεγάλη βαρύτητα. Παρόλα αυτά είναι χρήσιμες καθώς δείχνουν μια τάση για ποιο επικίνδυνα σημεία. Επειδή στην πραγματικότητα οι περισσότερες στρώσεις θα είναι συνεχόμενες αυτό το πρόβλημα δεν θα υπάρχει. Εδώ όμως εμφανίζεται εξαιτίας του λόγου που προείπαμε.

	Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stresses			Maximum Shear(kPa)
								Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	
Min Stress 11	13789	5	Middle	Laminate2	-1,04E+05	-2,02E+04	0,00E+00	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Max Stress 11	28314	3	Middle	Laminate3	4,00E+04	-3,87E+04	0,00E+00	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Min Stress 22	29007	2	Middle	Laminate3	2,15E+04	-9,21E+04	0,00E+00	8,50E+03	-1,32E+02	-3,08E+02	5,74E+04
Max Stress 22	13161	5	Middle	Laminate2	-3,91E+04	1,17E+05	0,00E+00	1,45E+04	1,00E-12	9,72E-12	7,94E+04
Min Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	3,71E-01	1,67E+00	0,00E+00	6,83E-01	-1,54E-01	-1,64E-02	9,43E-01
Max Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	3,71E-01	1,67E+00	0,00E+00	6,83E-01	-1,54E-01	-1,64E-02	9,43E-01
Min Stress 12	12890	5	Middle	Laminate2	2,24E+04	-6,44E+03	0,00E+00	-4,67E+04	3,94E-12	-6,71E-12	4,89E+04
Max Stress 12	19175	2	Middle	Laminate2	-1,05E+04	-4,13E+03	0,00E+00	5,09E+04	8,19E+03	-1,36E+03	5,10E+04
Min Stress 23	29048	3	Middle	Laminate3	3,99E+04	1,02E+04	0,00E+00	-2,48E+04	-1,48E+04	2,37E+02	2,89E+04
Max Stress 23	14095	2	Middle	Laminate2	-6,46E+02	-8,04E+03	0,00E+00	2,54E+04	2,26E+04	-4,18E+02	2,57E+04
Min Stress 31	12879	2	Middle	Laminate2	-4,24E+04	3,37E+04	0,00E+00	-1,83E+04	6,17E+03	-1,81E+04	4,22E+04
Max Stress 31	11677	2	Middle	Laminate2	3,15E+04	-9,80E+03	0,00E+00	-1,79E+04	4,73E+03	2,25E+04	2,74E+04
Min Maximum Shear Stress	29943	1	Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Max Maximum Shear Stress	13094	5	Middle	Laminate2	-5,23E+04	1,01E+05	0,00E+00	2,52E+04	7,26E-13	5,69E-12	8,07E+04

Πίνακας 20 Δυσμενείς τάσεις ανά στρώση και Laminate με την εφαρμογή στρεπτικής ροπής 60Nm.

4.7 Συγκριτικά βάρους και κόστους κατασκευής δεύτερων εκδόσεων

Όπως και για τις προηγούμενες περιπτώσεις των δύο εκδόσεων STD και SL με τα πρώτα κριτήρια ελέγχου που είχαν τεθεί έτσι και σε αυτήν την περίπτωση θα παρουσιαστούν οι αναλυτικοί πίνακες βάρους και κόστους.

	Επιφάνεια Laminate	Στρώσεις T300_Woven	Στρώσεις T700_UD	ΤΙΜΟΝΙ ΜΕ T300_WOVEN ΚΑΙ T700_UD		Πάχος T300_Woven n mm	Πάχος T700_UD mm	Ειδικό βάρος T300_Woven n g/cm ³	Ειδικό βάρος T700_UD g/cm ³	Μάζα T300_Woven ven (gr)	Μάζα T700_UD ven (gr)
				Επιφάνεια T300_Woven n mm ²	Επιφάνεια T700_UD mm ²						
Laminate1	19170	0	13		249210	0.22	0.16	1.563	1.625	0.00	64.79
Laminate2	17356	0	13		225628	0.22	0.16	1.563	1.625	0.00	58.66
Laminate3	9596	0	14		134344	0.22	0.16	1.563	1.625	0.00	34.93
Επιφάνειες Laminate (mm ²)					609182			Επιμέρους μάζες στρώσεων (gr)		0.00	158.39
								Σύνολο μάζας μισού τιμονιού (gr)			158.39
								Σύνολο μάζας τιμονιού (gr)			316.77

	Επιφάνεια Laminate	Στρώσεις M40J_Woven	Στρώσεις HR40_UD	ΤΙΜΟΝΙ ΜΕ M40J_WOVEN ΚΑΙ HR40_UD		Πάχος M40J_Woven n mm	Πάχος HR40_UD mm	Ειδικό βάρος M40J_Woven n g/cm ³	Ειδικό βάρος HR40 g/cm ³	Βάρος T300_Woven ven	Βάρος T700_UD ven
				Επιφάνεια M40J_Woven n mm ²	Επιφάνεια HR40_UD mm ²						
Laminate1	19170	4	1		19170	0.22	0.16	1.55	1.64	26.15	5.03
Laminate2	17356	4	2		34712	0.22	0.16	1.55	1.64	23.67	9.11
Laminate3	9596	8	1		9596	0.22	0.16	1.55	1.64	26.18	2.52
Επιφάνειες Laminate (mm ²)					63478			Επιμέρους μάζες στρώσεων (gr)		76.00	16.66
								Σύνολο μάζας μισού τιμονιού (gr)			92.66
								Σύνολο μάζας τιμονιού (gr)			185.31

Πίνακας 21α Συνολικό Βάρος STD 2^{ης} έκδοσης

Πίνακας 21β Συνολικό Βάρος SL 2^{ης} έκδοσης

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το βάρος έχει μειωθεί για κάθε περίπτωση σχεδόν στο μισό. Το βάρος λοιπόν της STD έκδοσης είναι στα **316,8 gr** ενώ το βάρος της SL έκδοσης είναι στα **185,3 gr**. Συγκρίνοντας λοιπόν τις 2 εκδόσεις προκύπτει ότι η SL έκδοση είναι κατά **58,5%** ελαφρύτερη από την STD έκδοση πράγμα που είναι ιδιαίτερα ευχάριστο καθώς και με αυτό το βάρος που έχει το SL τιμόνι μας επιτρέπει να έχουμε ένα από τα ελαφρύτερα τιμόνια της αγοράς σε όλες τις κατηγορίες. Σε ότι αφορά τις επικαλύψεις και τις τοπικές ενισχύσεις υπολογίζεται ότι αυτές δεν θα ξεπερνούν τα 10 gr για κάθε περίπτωση.

Επίσης θα φτιάξουμε και ένα πίνακα με το κόστος του κάθε τιμονιού μόνο σε ότι αφορά την απαιτούμενη ποσότητα σε prepreg υλικά χωρίς να εξετάσουμε όλες τις υπόλοιπες διαδικασίες και απαιτούμενα υλικά όπως έγινε δηλαδή και στην προηγούμενη περίπτωση.

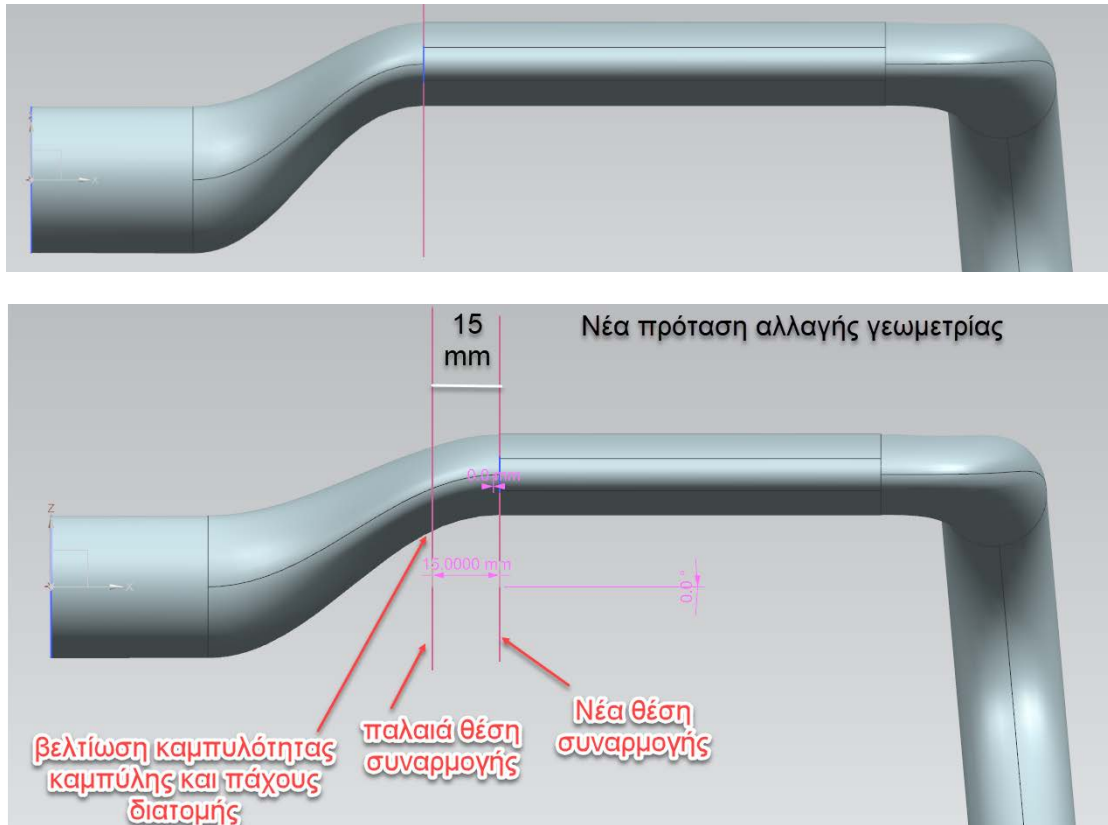
		Επιφάνεια (m ²)	Κόστος €	Κόστος STD	Κόστος SL
Τιμή T300 wooven €/m²	46	0	0	32.90	55.37
Τιμή T700 ud €/m²	27	1.218364	32.895828		
Τιμή M40J wooven €/m²	100	0.445744	44.5744		
Τιμή HR40 ud €/m²	85	0.126956	10.79126		

Πίνακας 22 Κόστος κατασκευής 2^{ων} εκδόσεων STD και SL

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι το κόστος υλικών (μόνο prepreg) , για την κατασκευή της απλής έκδοσης STD ανέρχεται στα **32,9 €** ενώ η έκδοση SL ανέρχεται στα **55,4 €** δηλαδή η STD είναι **59,4%** φθηνότερη της SL (Πίνακας 22).

4.8 Βελτίωση της κατασκευής αποδοτικότερη γεωμετρία

Αυτό που παρατηρήθηκε μετά από όλες αυτές τις δοκιμές ήταν ότι υπήρχε μία συγκέντρωση τάσεων στην περιοχή κοντά στην ένωση του κεντρικού τμήματος του τιμονιού με αυτή της αεροτομής. Ο λόγος ήταν ότι στη γεωμετρία αυτή, η αλλαγή κλίσης ήταν περισσότερο απότομη από ότι θα προτιμούταν ιδανικά και επομένως η διατομή του τιμονιού μίκραινε πιο γρήγορα από ότι θα μπορούσε να μικρύνει. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ροπής αντίστασης S της διατομής σε αυτή την περιοχή, κάτι που είναι πολύ σημαντικό καθώς από αυτό επηρεάζονται οι μέγιστες τάσεις συνεπώς και οι μετατοπίσεις. Η ιδέα λοιπόν που υλοποιήθηκε ήταν να μετατοπιστεί η αρχή της αεροτομής κατά 15mm φυσικά μικραίνοντας αντίστοιχα το συνολικό της μήκος έτσι ώστε οι συνολικές διαστάσεις του τιμονιού να παραμείνουν οι ίδιες με στόχο την πιο ομαλή μετάβαση σε αυτή την περιοχή. Ούτως η άλλως το ενεργό μήκος της αεροτομής ήταν τέτοιο που επέτρεπε κανονικά την λαβή και στην άνω θέση. Παρακάτω λοιπόν θα παρουσιαστούν η αρχική και η τελική λύση σχηματικά για να γίνει απολύτως κατανοητή η αλλαγή αυτή (Εικόνα 109).

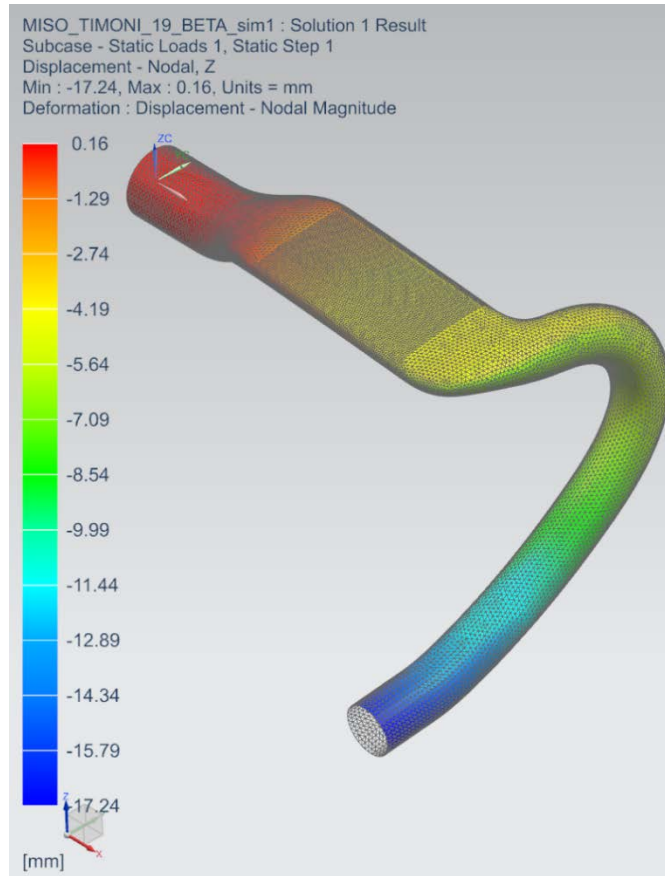


Εικόνα 109 Σύγκριση των δύο λύσεων παλιά και νέα εκδοχή

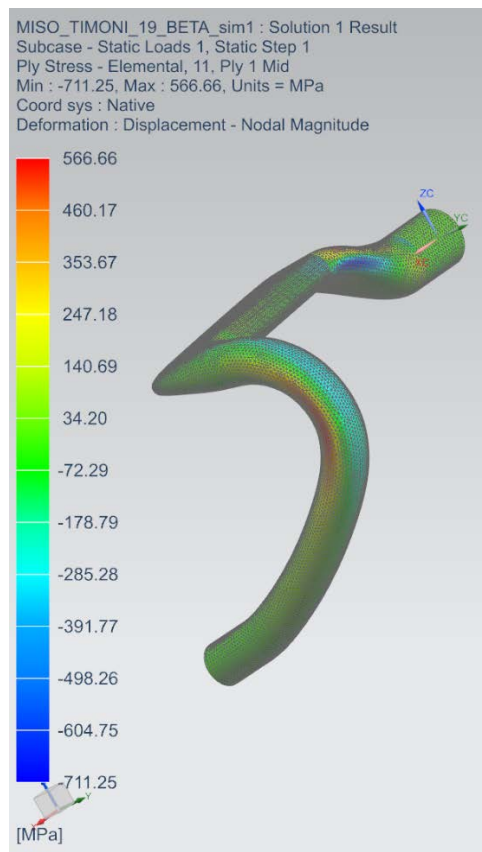
Παρατηρούμε ότι στην 1^η περίπτωση παρουσιάζεται μια μορφή που μοιάζει με <<γόνατο>> και αυτό επιφέρει μεγαλύτερες τάσεις και γωνιακές μετατοπίσεις (στροφές) πράγμα που με την αεροτομή ως πρόβολο αντανακλάται σε μεγαλύτερες κατακόρυφες μετατοπίσεις. Συνεπώς φαίνεται ότι υπάρχει γεωμετρικά καλύτερη αρμονία. Μένει τώρα να αποδείξουμε ότι αυτή η ιδέα ήταν προς την σωστή κατεύθυνση.

Για να γίνει αυτό θα εφαρμόσουμε το πιο δυσμενές κριτήριο από το ISO που είναι η εφαρμογή της δύναμης των 1000N όπως κάναμε και στις παλιότερες δοκιμές διατηρώντας για την κάθε έκδοση τον ίδιο αριθμό στρώσεων ανά τμήμα του τιμονιού με αυτόν των προηγούμενων δοκιμών και με αυτόν τον τρόπο θα ελέγξουμε τις νέες τάσεις και τις νέες μετατοπίσεις.

Αρχικά θα ασχοληθούμε με την περίπτωση της αρχικής ομάδας υλικών όπως παρουσιάστηκε, δηλαδή T700_Woven και T300_UD. Η έκδοση αυτή αποτελεί την 2^η έκδοση STD και στη συνέχεια θα γίνει το ίδιο και για την δεύτερη ομάδα υλικών. Από τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω σημαντικό είναι να δείξουμε ότι οι νέες μετατοπίσεις κατά Z για την STD έκδοση είναι πλέον **13,61 mm** και για την SL **14,905 mm**. Επίσης συγκρίνοντας τις μέγιστες τάσεις που εμφανίζονται παρατηρείται μία μείωση της τάξης του **20-25%** πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό. Αυτά λοιπόν τα στοιχεία μας δείχνουν ότι καλό θα ήταν να αλλάξει και πάλι η σχεδίαση έτσι ώστε να βελτιωθούν τα αποτελέσματά μας.



Εικόνα 110 Βυθίσεις στον άξονα Z από κατακόρυφο φορτίο 1000N.

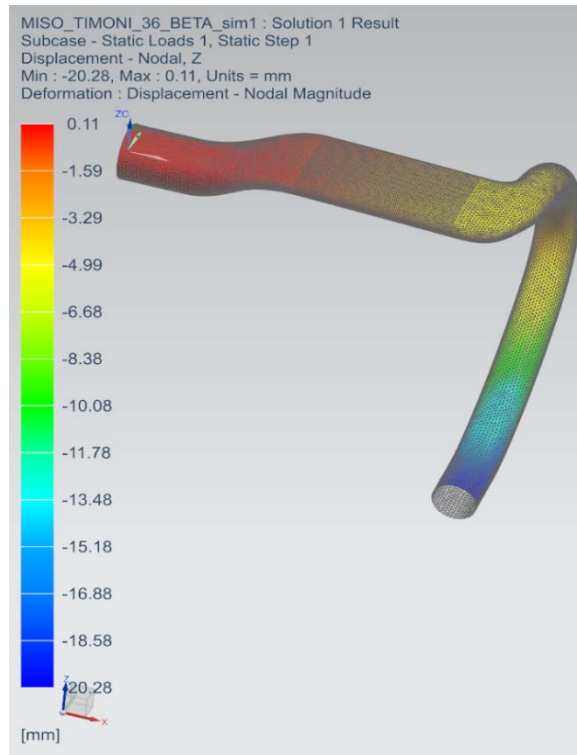


Εικόνα 111: Αναπτυσσόμενες τάσεις στην στρώση 1 (ply1), τάσεις S11.

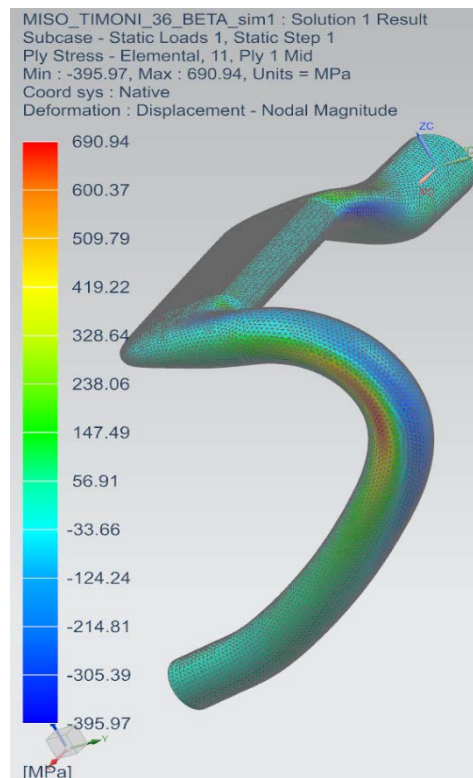
	Element Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses						Maximum Shear(kPa)
				Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	
Min Stress 11	27634	14 Middle	Laminate3	-8,75E+05	-1,63E+04	0,00E+00	-4,79E+03	-1,41E-11	2,28E-11	4,30E+05
Max Stress 11	17416	4 Middle	Laminate2	4,00E+04	1,20E+03	0,00E+00	-7,44E+03	-6,17E+01	2,76E+00	2,08E+04
Min Stress 22	27384	1 Middle	Laminate3	-1,76E+05	-7,33E+04	0,00E+00	-3,26E+04	1,57E+02	8,84E+02	6,09E+04
Max Stress 22	9971	3 Middle	Laminate1	8,60E+02	6,21E+04	0,00E+00	-4,23E+03	-4,81E+03	7,32E+02	3,09E+04
Min Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	7,98E+02	4,83E+01	0,00E+00	6,90E+01	4,92E+00	-3,15E+00	3,81E+02
Max Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	7,98E+02	4,83E+01	0,00E+00	6,90E+01	4,92E+00	-3,15E+00	3,81E+02
Min Stress 12	27379	1 Middle	Laminate3	-4,22E+05	-6,55E+04	0,00E+00	-4,57E+04	-2,53E+03	9,18E+02	1,84E+05
Max Stress 12	27379	2 Middle	Laminate3	-6,73E+05	-4,12E+04	0,00E+00	4,06E+04	-4,68E+03	1,69E+03	3,18E+05
Min Stress 23	27563	7 Middle	Laminate3	-3,18E+05	-1,84E+04	0,00E+00	1,16E+04	-3,80E+04	-4,66E+03	1,50E+05
Max Stress 23	28571	7 Middle	Laminate3	-2,47E+05	-9,08E+03	0,00E+00	-4,52E+03	3,36E+04	2,83E+03	1,19E+05
Min Stress 31	24972	7 Middle	Laminate3	-7,56E+04	-1,60E+03	0,00E+00	-5,24E+03	-3,70E+02	-2,43E+04	3,74E+04
Max Stress 31	24987	6 Middle	Laminate3	-1,29E+04	1,66E+04	0,00E+00	3,13E+03	1,69E+03	2,89E+04	1,51E+04
Min Maximum Shear Stress	28967	1 Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Max Maximum Shear Stress	27634	14 Middle	Laminate3	-8,75E+05	-1,63E+04	0,00E+00	-4,79E+03	-1,41E-11	2,28E-11	4,30E+05

Πίνακας 23 Δυσμενείς τάσεις ανά στρώση και Laminate με την εφαρμογή κατακόρυφης δύναμης 1000N.

Τώρα θα ασχοληθούμε με την δεύτερη ομάδα υλικών HR40_UD και M40J_Woven που αποτελεί την 2^η έκδοση τιμονιού SL.



Εικόνα 112 : Μετατοπίσεις στον άξονα Z λόγω κατακόρυφου φορτίου 1000 N



Εικόνα 113 Αναπτυσσόμενες τάσεις στην στρώση 1 (ply1) στη διεύθυνση 11 λόγω κατακόρυφου φορτίου 1000N.

Element		Ply	Computation	Laminate	Stresses						Maximum
Id	Id	Location	Name	Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	Stress31 (kPa)	Shear(kPa)
				mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Min Stress 11	4921	3 Middle	Laminate1	-7,12E+05	3,91E+03	0,00E+00	-1,61E+03	-4,25E+04	1,75E+03	1,75E+03	3,58E+05
Max Stress 11	17297	3 Middle	Laminate2	4,00E+04	2,39E+02	0,00E+00	-4,89E+03	3,22E+02	4,28E+02	4,28E+02	2,05E+04
Min Stress 22	5214	5 Middle	Laminate1	-4,81E+05	-5,73E+05	0,00E+00	-1,82E+03	-8,52E-12	-5,05E-13	-5,05E-13	4,64E+04
Max Stress 22	27382	8 Middle	Laminate3	-5,17E+04	3,15E+05	0,00E+00	4,27E+02	-1,49E+03	4,08E+03	4,08E+03	1,83E+05
Min Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	1,31E+03	8,03E+02	0,00E+00	7,35E+02	2,63E+01	-1,07E+01	-1,07E+01	7,78E+02
Max Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	1,31E+03	8,03E+02	0,00E+00	7,35E+02	2,63E+01	-1,07E+01	-1,07E+01	7,78E+02
Min Stress 12	9957	5 Middle	Laminate1	-3,69E+03	-1,27E+03	0,00E+00	-3,77E+05	-1,78E-11	-1,61E-14	-1,61E-14	3,77E+05
Max Stress 12	9713	2 Middle	Laminate1	2,87E+04	8,81E+04	0,00E+00	2,90E+05	3,86E+04	6,29E+01	6,29E+01	2,92E+05
Min Stress 23	27544	4 Middle	Laminate3	-2,93E+05	-9,48E+04	0,00E+00	2,42E+04	-5,04E+04	-1,46E+04	-1,46E+04	1,02E+05
Max Stress 23	9798	2 Middle	Laminate1	-6,96E+04	-4,87E+04	0,00E+00	2,43E+05	4,36E+04	7,05E+02	7,05E+02	2,44E+05
Min Stress 31	23934	3 Middle	Laminate2	-2,15E+05	-1,71E+02	0,00E+00	7,23E+03	-1,44E+04	-2,75E+04	-2,75E+04	1,08E+05
Max Stress 31	21780	3 Middle	Laminate2	-2,76E+05	-2,30E+03	0,00E+00	-1,32E+04	-1,76E+04	2,19E+04	2,19E+04	1,38E+05
Min Maximum Shear Stress	28967	1 Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Max Maximum Shear Stress	9957	5 Middle	Laminate1	-3,69E+03	-1,27E+03	0,00E+00	-3,77E+05	-1,78E-11	-1,61E-14	-1,61E-14	3,77E+05

Πίνακας 24 Δυσμενείς τάσεις ανά στρώση και Laminate με την εφαρμογή κατακόρυφης δύναμης 1000N.

4.9 Κόπωση ανθρακονημάτων

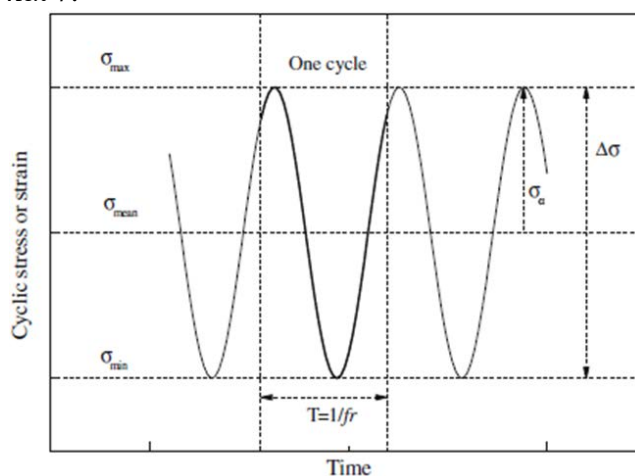
Στο σημείο αυτό έπρεπε να γίνει κάποια προσέγγιση στο θέμα της αντοχής στην κόπωση των ανθρακονημάτων. Βάση του βιβλίου “Fatigue of fiber reinforced composites” [A10], προκύπτουν κάποια εμπειρικά μοντέλα για τον υπολογισμό των S-N καμπυλών. Η προσέγγιση βασίζεται στην θεωρία.

Μια λίστα, που περιέχει τα βασικά σύμβολα από συντομογραφίες δίδεται παρακάτω.

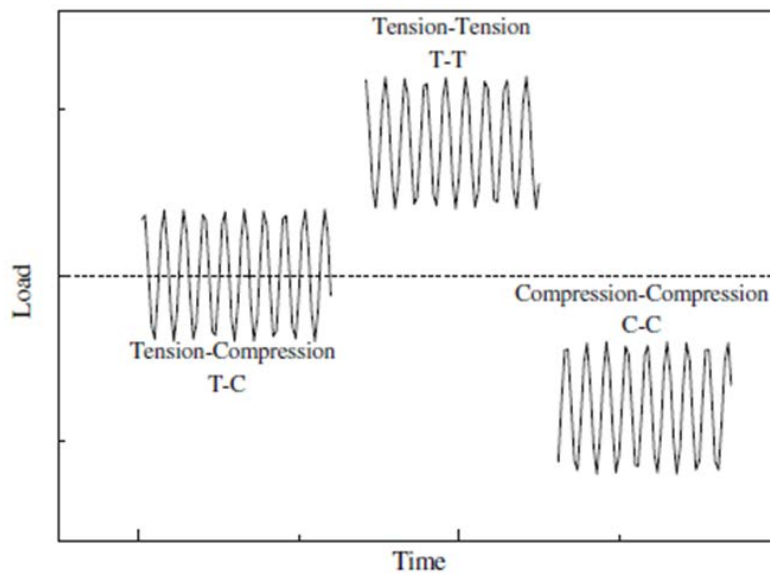
σ	Stress variable
σ_a	Stress amplitude
σ_m	Mean cyclic stress
σ_{min}	Minimum cyclic stress
σ_{max}	Maximum cyclic stress
$\Delta\sigma$	Stress range
σ_e	Equivalent static strength (wear-out model, Eq. 3.26)
σ_r	Residual strength (wear-out model)
$R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$	Stress ratio
ε	Strain
N	Number of cycles
N_f	Number of cycles to failure
f_r	Fatigue frequency
UTS	Ultimate tensile stress
UCS	Ultimate compressive stress
X	Longitudinal tensile strength
X'	Longitudinal compressive strength
Y	Transverse tensile strength
Y'	Transverse compressive strength
S	In-plane shear strength
$F_{ij}, i, j = 1, 2, 6$	Failure tensor components
θ	Off-axis angle
σ_{st}	Off-axis static strength
$E(1)$	Young's modulus measured at the first cycle
$E(N)$	Young's modulus measured at the N th cycle
$\sigma_o, k, A, B, \beta, C, G$	S-N curve formulation-model parameters

Πίνακας 25 Βασικά μεγέθη, σύμβολα και συντμήσεις, [A10]

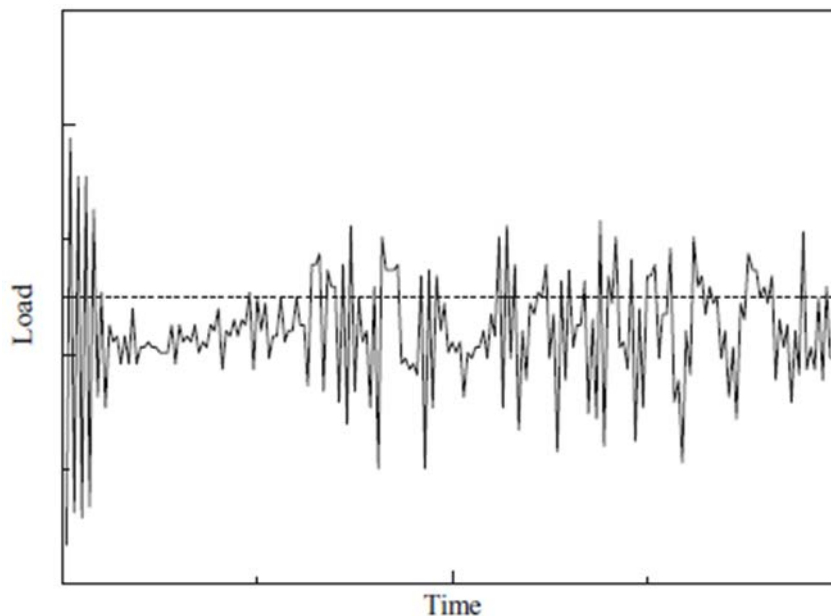
Η βασική ορολογία της κόπωσης μαζί με τις αντιπροσωπευτικές σταθερού πλάτους και μοτίβα φόρτισης μεταβλητού πλάτους που παρουσιάζονται σχηματικά στα Διαγράμματα 5, 6, και 7.



Διάγραμμα 5 Αντιπροσωπευτικά μοτίβα σταθερού πλάτους φορτίσεων, [A10]



Διάγραμμα 6 Αντιπροσωπευτικά μοτίβα σταθερού πλάτους φορτίσεων, [A10]



Διάγραμμα 7 Παράδειγμα μιας μεταβλητού πλάτους κόπωσης σε χρονικές σειρές, [A10]

Κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής, η ακαμψία του δομικού στοιχείου μειώνεται. Η μοντελοποίηση της ζωής με κόπωση στα δείγματα κομμένα σε διάφορες γωνίες off-axis από ένα πολλαπλών κατευθύνσεων ύφασμα $[0 / (\pm 45)_2 / 0]$ T που υποβλήθηκε σε μονοαξονική κυκλική φόρτιση σε ένα ευρύ φάσμα από αναλογίες του R, διεξήχθη και βασίζεται σε μετρήσεις που έγιναν.

Ένα απλό εμπειρικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των καμπυλών σχεδιασμού, οι οποίες δεν αντιστοιχούν στην αντοχή σε κόπωση αλλά σε μία προκαθορισμένη τιμή της μείωσης της ακαμψίας χρησιμοποιώντας μόνο ένα τμήμα των δεδομένων με κόπωση που απαιτούνται για τον καθορισμό ενός αξιόπιστου μοντέλου καμπύλων S-N.

Οι καθιερωμένες καμπύλες Sc-N παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την επιτρεπόμενη υποβάθμιση της ακαμψίας και επίσης την πιθανότητα για επιβίωση (μη καταστροφή). Δείχθηκε ότι οι Sc-N καμπύλες είναι συγκρίσιμες με αντίστοιχο σχεδιασμό από επιτρεπόμενες που προήλθαν μετά από στατιστική ανάλυση των δεδομένων αντοχής σε κόπωση, παρόλα αυτά οι καμπύλες που ελέγχουν την δυσκαμψία είναι, στις περισσότερες από τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, συντηρητικές, ειδικά για μεγαλύτερο αριθμό κύκλων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο πίνακας προσέγγισης των S-N καμπυλών.

Direction	R-ratio							
	10		-1		0.1		0.5	
	Sc-N	S-N	Sc-N	S-N	Sc-N	S-N	Sc-N	S-N
0°	305.1 $N^{-0.0591}$ (0.97)	244.51 $N^{-0.0387}$	164.6 $N^{-0.0585}$ (0.98)	142.2 $N^{-0.0463}$	585.4 $N^{-0.1116}$ (0.85)	528.5 $N^{-0.1008}$	366.4 $N^{-0.0502}$ (0.95)	326.4 $N^{-0.0420}$
15°					168.2 $N^{-0.0733}$ (0.96)	164.9 $N^{-0.0694}$		
30°	327.7 $N^{-0.1139}$ (0.99)	321.9 $N^{-0.1115}$	113.2 $N^{-0.0807}$ (0.96)	113.8 $N^{-0.0788}$				
45°	216.9 $N^{-0.0758}$ (0.98)	238.8 $N^{-0.0843}$	133.4 $N^{-0.0850}$ (0.95)	112.9 $N^{-0.0721}$	161.6 $N^{-0.0950}$ (0.98)	153.4 $N^{-0.0921}$	166.9 $N^{-0.0719}$ (0.93)	156.96 $N^{-0.0671}$
60°	154.2 $N^{-0.0953}$ (0.98)	143.5 $N^{-0.0833}$	121.7 $N^{-0.0986}$ (0.89)	121.8 $N^{-0.0993}$				
75°					94.47 $N^{0.0995}$ (0.83)	75.03 $N^{-0.0769}$		
90°	67.20 $N^{-0.0441}$ (0.99)	70.39 $N^{-0.0485}$		77.46 $N^{-0.0712}$	70.62 $N^{-0.0963}$ (0.84)	55.41 $N^{-0.0690}$		

* Numbers in parentheses indicate the respective $E(N)/E(1)$ values

Πίνακας 26 Προσέγγιση καμπυλών S – N σε πεδίο εμπιστοσύνης 95%, [A10]

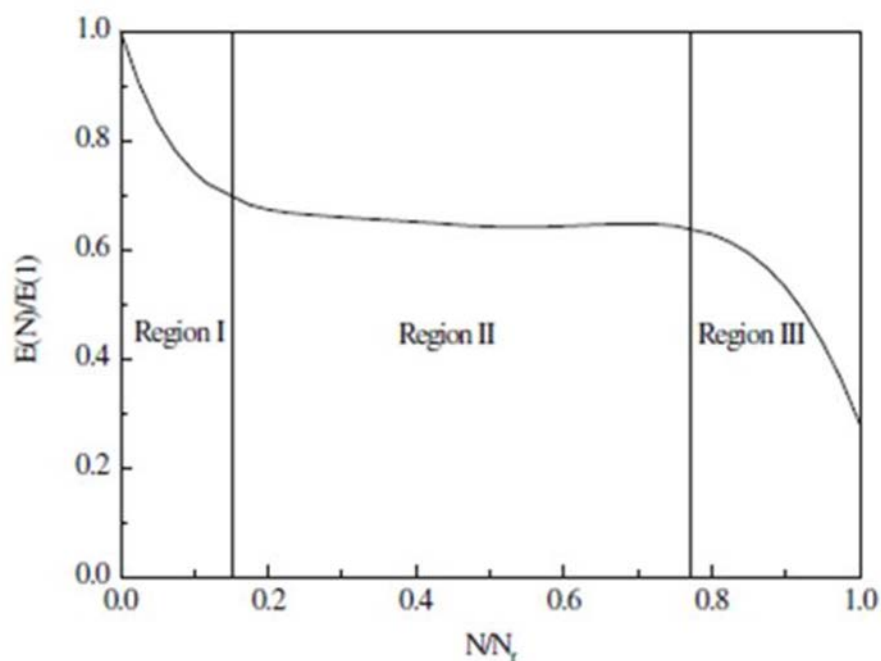
Επίσης στο βιβλίο αυτό δίνεται και ένα εμπειρικό μοντέλο μείωσης του μέτρου ελαστικότητας. Οι τρεις περιοχές που ορίζονται σε αυτό το σχήμα διακρίθηκαν πρώτα από την καμπύλη για την εφελκυσμό-εφελκυσμό (tension-tension), κόπωση των cross-ply carbon/epoxy laminates .

Στην αρχική περιοχή, και μέχρι περίπου 10% της ζωής κόπωσης, το υλικό εμφανίζει μια απότομη μείωση της ακαμψίας (σε σύγκριση με την περιοχή II).

Στην ενδιάμεση περιοχή, η ακαμψία υλικού αποδομείται με ένα σταθερό και μέτριο ρυθμό. Τέλος, σημαντική επιδείνωση του υλικού μπορεί να παρατηρηθεί κοντά στο τέλος της διάρκειας ζωής κόπωσης.

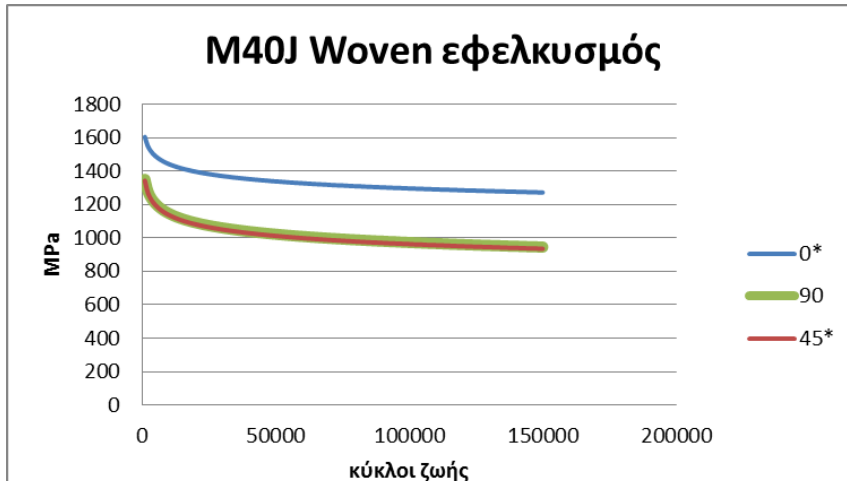
Η τρίτη περιοχή με μια απότομη κλίση προσομοιώνει το φαινόμενο αυτό. Ο κύριος στόχος της ερευνητικής κοινότητας είναι να διαμορφώσει αυτή τη συμπεριφορά για κάθε επιλεγμένο σύνθετο υλικό για διάφορες δομικές εφαρμογές. Προς το σκοπό αυτό, ένας δυναμικός νόμος συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την υποβάθμιση της ακαμψίας σε ένα ύφασμα από σύνθετο φύλλο ινών υάλου και εισήγαγε την έννοια του συντελεστή της κόπωσης.

Ο συντελεστής αυτός ορίστηκε ως η αναλογία της μέγιστης τάσης προς την μέγιστη τάση στον πρώτο συγκεκριμένο κύκλο. Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η μείωση του μέτρου ελαστικότητας ανάλογα με τις επαναλήψεις (Διάγραμμα 8).

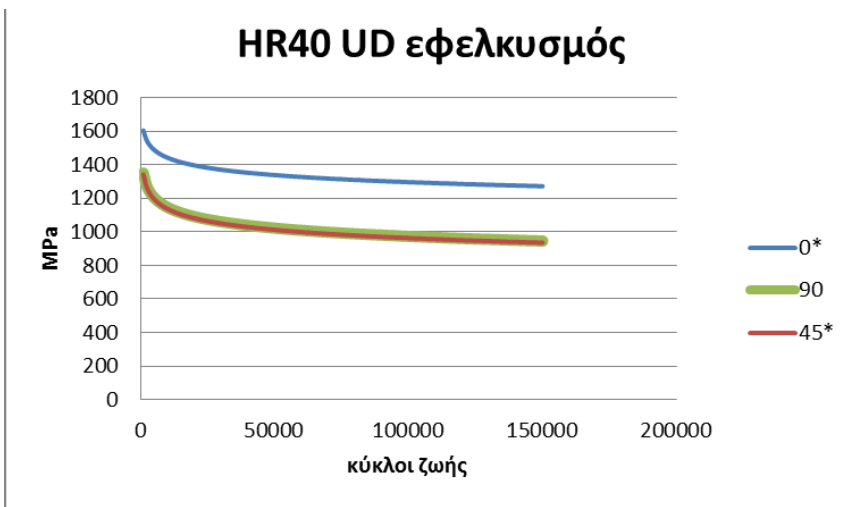


Διάγραμμα 8 Μείωση μέτρου ελαστικότητας ως προς τις επαναλήψεις (ανηγμένες τιμές), [A10]

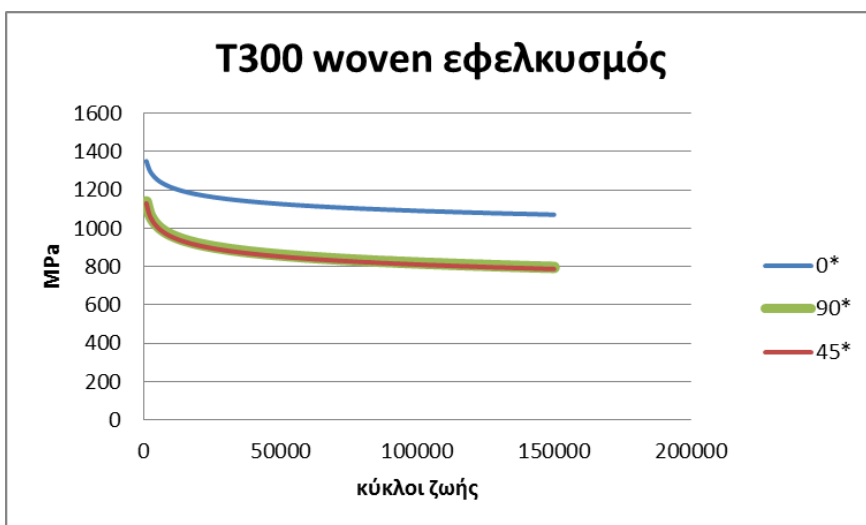
Σύμφωνα με τα προηγούμενα λοιπόν προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα S-N για τα υλικά που χρησιμοποιούμε. Μετά από ανάλυση που έγινε στο λογισμικό πακέτο του NX προέκυψε ότι το μοντέλο αντέχει. Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας την δύναμη που απαιτείται για την κόπωση που είναι 280 N σε πρώτη φάση και ύστερα σε 400 N δύναμη. Ελέγξαμε και για τις δύο περιπτώσεις ότι οι τάσεις που αναπτύσσονταν ήταν κάτω από αυτές που φαίνονται ως μέγιστες επιτρεπόμενες από τα παρακάτω διαγράμματα οπότε βάση της παραδοχής που είχε γίνει δεχτήκαμε ότι αντέχουν. Φυσικά αυτό στην πραγματικότητα δεν ισχύει απαραίτητα καθώς θα έπρεπε να γίνει πλήρης έλεγχος ο οποίος όμως απαιτεί πολλές γνώσεις και χρόνο καθώς επίσης και ιδιότητες σε ότι αφορά τα υλικά που προσφέρει η εταιρία σε σχέση με την αντοχή τους σε κόπωση και όχι κάποιες τιμές που έγιναν στα πλαίσια μιας ερευνητικής εργασίας με διάφορες παραδοχές που έγιναν.



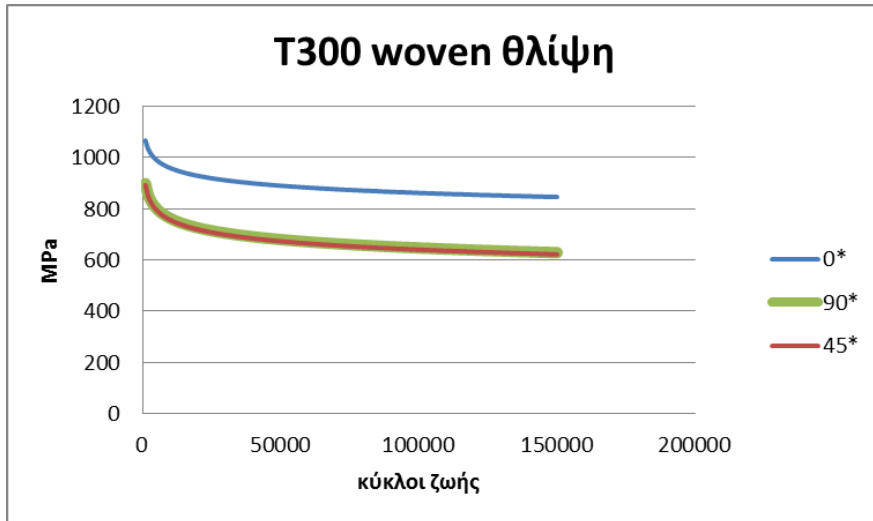
Διάγραμμα 9 Κόπωση του M40J wovnen σε εφελκυσμό (φορτίο-κύκλοι), [A10]



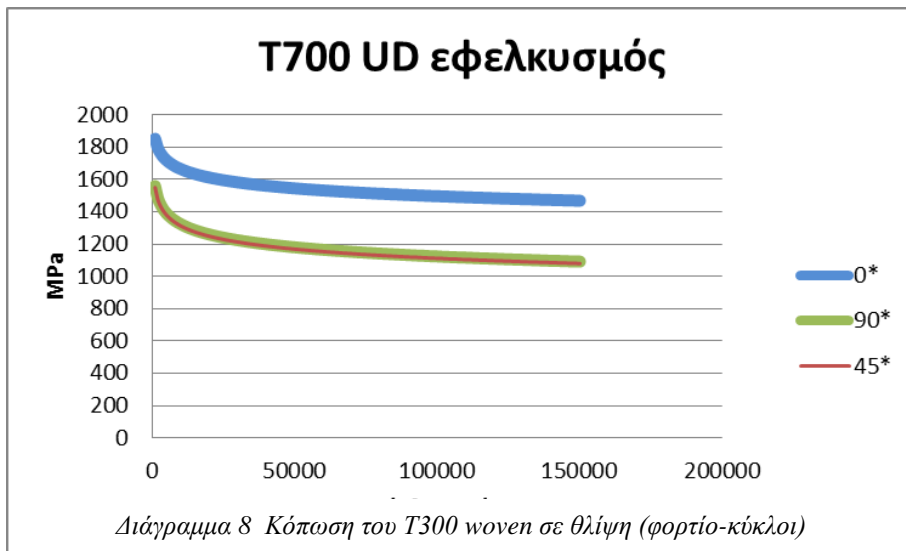
Διάγραμμα 10 Κόπωση του HR40 unidirectional σε εφελκυσμό (φορτίο-κύκλοι), [A10]



Διάγραμμα 11 Κόπωση του T300 wovnen σε εφελκυσμό (φορτίο-κύκλοι), [A10]

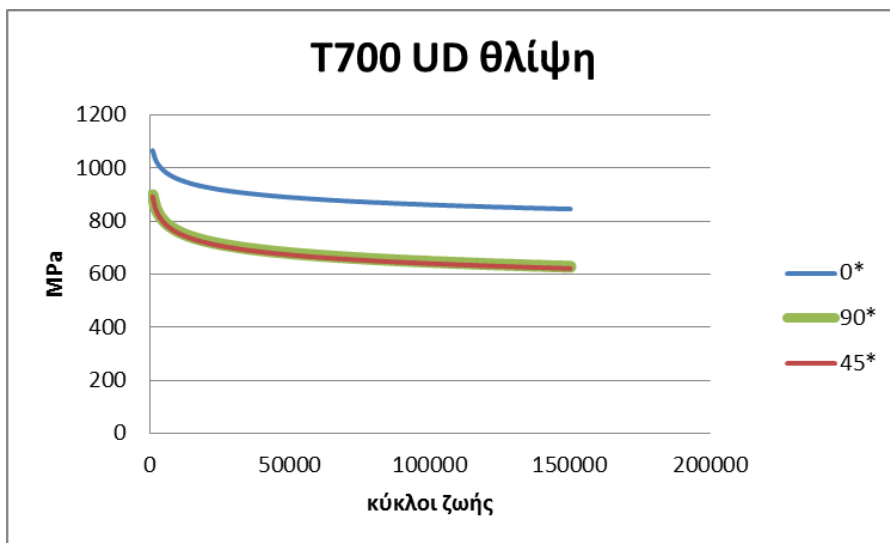


Διάγραμμα 12 Κόπωση του T300 woven σε θλίψη (φορτίο-κύκλοι) , [A10]



Διάγραμμα 8 Κόπωση του T300 woven σε θλίψη (φορτίο-κύκλοι)

Διάγραμμα 13 Κόπωση του T700 unidirectional σε εφελκυσμό (φορτίο-κύκλοι) , [A10]



Διάγραμμα 14 Κόπωση του T700 unidirectional σε θλίψη (φορτίο-κύκλοι) , [A10]

4.10 Συγκεντρωτικός πίνακας για όλες τις τελικές δοκιμές

Επειδή παρουσιάστηκαν πολλές περιπτώσεις διαστρωμάτωσης καλό θα ήταν να υπάρχει ένας συγκεντρωτικός πίνακας που να περιέχει μόνο τα απολύτως απαραίτητα (Πίνακας 27). Αυτό αφορά τις τελικές εκδόσεις για κάθε κατηγορία, τις μετατοπίσεις και το κόστος κατασκευής. Επειδή ο έλεγχος της αντοχής ήταν δεδομένος για όλες τις περιπτώσεις δεν υπήρχε λόγος να αναφερθεί και αυτή η πληροφορία στον πίνακα.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ			
Μοντέλο Τιμονιού	Βύθιση (mm)	Βάρος (gr)	Κόστος (€)
STD	6.986 (10.092)	574.3	70.6
SL	6.653 (9.378)	358.5	108.4
STD-1	16.288	316.8	32.9
SL-1	16.06	185.3	55.4
STD-2	13.61	316.8	32.9
SL-2	14.905	185.3	55.4

Πίνακας 27 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τις τελικές λύσεις όλων των εκδόσεων

Διευκρίνηση οι εντός παρενθέσεως τιμές αφορούν συνολικές μετατοπίσεις του μοντέλου στο άκρο της χειρολαβής του drop, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική φάση της εργασίας, ενώ οι άλλες αφορούν μετατόπιση στο σημείο εφαρμογής του φορτίου των 1000 N (κατακόρυφη μετατόπιση στον Z άξονα) για να υπάρχει σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης τα μοντέλα STD-1 και SL-1 αφορούν αυτά με τις απαιτήσεις ISO και EN και σύμφωνα με τις νέες προδιαγραφές της εταιρίας, ενώ τα μοντέλα STD-2 και SL-2 αφορούν τα νέας βελτιωμένης γεωμετρίας τιμόνια, πάλι με απαιτήσεις ISO και EN. Συγκριτικά λοιπόν διατηρώντας το ίδιο βάρος και στρώσεις για την έκδοση STD προκύπτει ότι η STD-1 έκδοση έχει **19,67 %** μεγαλύτερες μετατοπίσεις κατά τον Z άξονα. Σε αυτήν την περίπτωση βλέπουμε ότι ίσως μέσω της βελτίωσης της γεωμετρίας θα μπορούσαμε να αφαιρέσουμε μια στρώση από το τιμόνι για να ελαφρύνει ακόμη περισσότερο μιας και η μετατόπιση μας το επιτρέπει όμως δεν κρίνεται σκόπιμο. Αντίστοιχα για την έκδοση SL προκύπτει ότι στην SL-1 έχουμε **7,8%** μεγαλύτερες μετατοπίσεις σε σχέση με την SL-2.

5. Σχεδιασμός και μελέτη καλουπιού

5.1 Αρχικές προσεγγίσεις για τον σχεδιασμό και γεωμετρικές τεχνικές

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός και έχουμε καταλήξει στο ακριβές σχέδιο του τιμονιού, καθώς και στην επιθυμητή διαστρωμάτωση που θέλουμε να πετύχουμε, το επόμενο βήμα είναι η σχεδίαση και η μελέτη του καλουπιού. Αυτή είναι εξίσου σημαντική διαδικασία ίσως από τις σημαντικότερες καθώς χωρίς το καλούπι δεν μπορεί να κατασκευαστεί το τιμόνι. Συνεπώς χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια και προσοχή έτσι ώστε και το αποτέλεσμα- προϊόν που θα προκύψει να ικανοποιεί όλες τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις.

Πρώτη σκέψη που μας απασχόλησε ήταν το υλικό του καλουπιού και ο αριθμός των επιμέρους τμημάτων του. Από την μέγιστη δυναμικότητα της εταιρίας και τον αριθμό των τιμονιών που έχει θέσει σαν στόχο, έπρεπε να καταλήξουμε σε κάποιες λύσεις. Υπήρξαν τρεις η χρήση χάλυβα, αλουμινίου και carbon.

Η πρώτη λύση ήταν να χρησιμοποιηθεί χάλυβας. Τα θετικά του χάλυβα είναι ότι έχει μεγαλύτερη αντοχή στη χρήση πράγμα που θα σημαίνει ότι ένα τέτοιο καλούπι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και να παράξει πολλές χιλιάδες τεμάχια χωρίς να αντιμετωπίσει προβλήματα στην κρίσιμη επιφάνεια που θέλει να αποδώσει. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη αντοχή της επιφάνειας στις τριβές και στην πρόκληση αμυχών. Επίσης το κόστος κτήσης του είναι σημαντικά μικρότερο από ότι του αλουμινίου σε αρκετές περιπτώσεις. Τα αρνητικά του όμως είναι ότι έχει μεγαλύτερη πυκνότητα άρα και βάρος που για μία εταιρία που κάνει αυτή τη δουλειά χειροποίητα είναι απαγορευτικό καθώς δυσκολεύει αρκετά το έργο των τεχνιτών. Η κατεργασιμότητα του απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή και το κόστος αυτής είναι μεγαλύτερο, επίσης δεν επιδέχεται εύκολα μετατροπές-τροποποιήσεις και αντικατάσταση και τέλος οι ρυθμοί απόψυξης μετά από το ψήσιμο δεν είναι τόσο μεγάλοι πράγμα που σημαίνει ότι για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ξανά το καλούπι θα πρέπει να περάσει πολύ περισσότερος χρόνος σε σχέση με το αλουμίνιο. ^[A1]

Η δεύτερη λοιπόν λύση που είναι και αυτή που τελικά θα εφαρμόσουμε είναι η χρήση αλουμινίου για το καλούπι. Το αλουμίνιο έχει ακριβώς τα αντίθετα χαρακτηριστικά από τον χάλυβα. Τα θετικά λοιπόν, είναι ότι το κόστος κατεργασιμότητας λόγω του ότι είναι πιο μαλακό το τεμάχιο, είναι μικρότερο και ο χρόνος κατασκευής του καλουπιού είναι πιο σύντομος. Επίσης η πυκνότητα του είναι μικρότερη επομένως και το βάρος για δεδομένο όγκο είναι μικρότερο, κάτι που όπως αναφέρθηκε είναι επιθυμητό από τους τεχνίτες. Οι ρυθμοί απόψυξης είναι πολύ πιο γρήγοροι έως και 7 φορές πιο μεγάλοι. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί πολύ πιο γρήγορα το καλούπι για την κατασκευή νέου τιμονιού. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό για το μέγεθος της εταιρίας καθώς δεν φτιάχνει μεγάλες παρτίδες (όταν φτάνει στα όρια του το απόθεμα δίνεται εντολή για νέα παραγωγή) λόγω αποθηκευτικού χώρου, δεσμευόμενου κεφαλαίου σε απόθεμα.

Έτσι θα μπορούσε το carbon που καταναλώνεται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός άλλου εξαρτήματος όπως για παράδειγμα ενός σκελετού που έχει μεγαλύτερη ζήτηση, όπως επίσης και απασχόληση των τεχνιτών οι οποίοι θα μπορούσαν να κάνουν κάποια άλλη εργασία εκείνη την ώρα. Επίσης το αλουμίνιο είναι πιο δεκτικό σε τυχόν τροποποιήσεις που μπορεί να απαιτηθούν. Από την άλλη τα αρνητικά του είναι ότι έχει μεγαλύτερο κόστος κτήσης σε σχέση με το χάλυβα και ότι δεν έχει τόσο μεγάλη αντοχή στην χρήση δηλαδή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσες πολλές φορές χωρίς να υπάρχουν φθορές και γενικά αλλοίωση της επιφάνειάς του. Επομένως είναι κατάλληλο για μικρότερες ποσότητες παραγωγής.

Η τρίτη λύση ήταν να κατασκευαστεί καλούπι από carbon. Φυσικά αυτή η λύση απορρίφθηκε εξ αρχής λόγω του πολύ μεγάλου κόστους καθώς θα απαιτούνταν σχεδιασμός και μελέτη για την κατασκευή καλουπιού για το καλούπι του τιμονιού και επίσης δεν υπάρχει πουθενά στην Ελλάδα αυτή η τεχνολογία- τεχνογνωσία για να επιτευχθεί αυτό. Παρόλα αυτά η εταιρία αυτή την λύση την χρησιμοποιεί για την κατασκευή των σκελετών της καθώς το carbon έχει αρκετά χαμηλό βάρος για την αντοχή του και έτσι το καλούπι βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα βάρους. Επίσης η τιμή πώλησης ενός σκελετού είναι από 15 -25 φορές μεγαλύτερη από αυτή του τιμονιού επομένως σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε να γίνει απόσβεση σε μία τέτοια επένδυση. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι ο στόχος πώλησης του τιμονιού είναι η τιμή του να κυμαίνεται στα 250-350 €

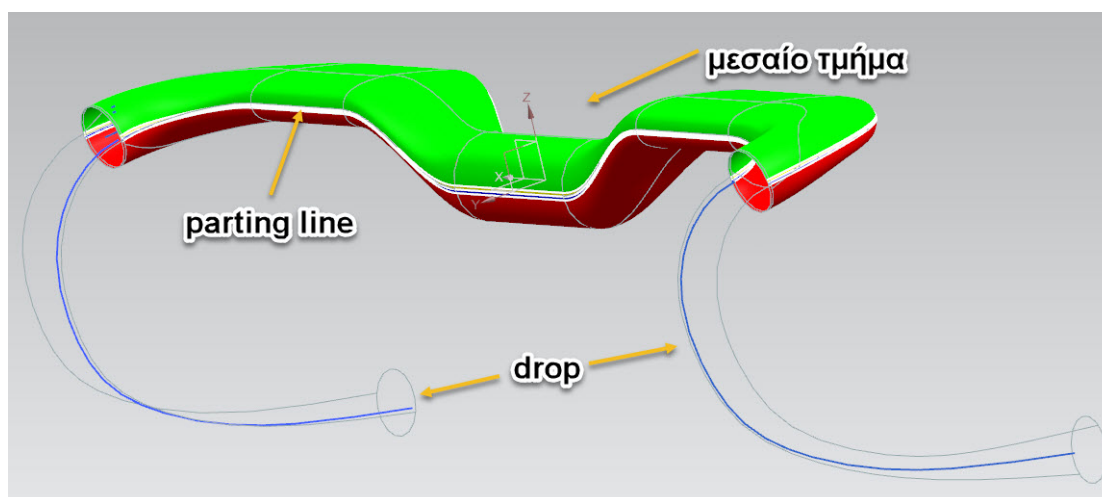
Τώρα σε ότι αφορά τα κομμάτια που θα αποτελούν το καλούπι η πρώτη σκέψη η οποία απορρίφθηκε ήταν να αποτελείται από 2 τμήματα κάτι όμως που θα αύξανε πάρα πολύ την πολυπλοκότητα στην κατασκευή του καλουπιού κατά την κατεργασία σε CNC μηχανή, επίσης θα απαιτούνταν πολύ περισσότερο υλικό για το αρχικό block μιας και το καλούπι θα ήταν από billet αλουμίνιο και τέλος θα υπήρχε και δυσκολία στο ξεκαλούπωμα.

Έτσι λοιπόν από την μορφή του τιμονιού που θέλουμε να αποτυπώσουμε στο καλούπι η πιο δόκιμη και κατασκευαστικά ορθή λύση ήταν το καλούπι να αποτελείται από 6 τμήματα, 2 για κάθε drop και 2 για το κεντρικό κομμάτι. Αυτό θα διευκόλυνε πολύ και στην κατασκευή της οικογένειας των τιμονιών καθώς έτσι τα καλούπια για τα drop θα παρέμεναν τα ίδια και θα έπρεπε να αλλάξουν μόνο τα κεντρικά τμήματα και αυτά μόνο ως προς το μήκος της αεροτομής και πουθενά αλλού. Συνεπώς και για το πρόγραμμα του CAM οι ρουτίνες θα παρέμεναν ακριβώς οι ίδιες και θα άλλαζαν μόνο τα όρια επεξεργασίας κάτι το οποίο θα εξοικονομούσε αρκετό χρόνο.

Υπήρχαν διάφορες δυνατότητες προσέγγισης του τρόπου σχεδιασμού του καλουπιού. Ο πρώτος ήταν εφόσον το τιμόνι είχε μετατραπεί σε step αρχείο και είχε εισαχθεί στο Solidworks για τις πρώτες δοκιμές αντοχής, να συνέχιζε εκεί η κατασκευή του καλουπιού καθώς το Solidworks προσφέρει αρκετές δυνατότητες και ευνοϊκό περιβάλλον με αρκετά χρήσιμα tutorials και εκπαιδευτικό υλικό σε αντίθεση με το NX το οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμα. Παρόλα αυτά διαθέτει πολύ δυνατό εργαλείο το mold wizard που έχει πάρα πολλές δυνατότητες.

Επειδή η εταιρία απέκτησε πρόσφατα και το CAM του NX έγινε μία προτροπή το καλούπι να σχεδιαστεί στο NX έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης συμβατότητα και να μην υπάρχουν απώλειες στη πληροφορία της γεωμετρίας κατά την μετάφραση από το ένα πρόγραμμα στο άλλο. Συνεπώς ακολουθήθηκε μία τρίτη οδός στην οποία χρησιμοποιήθηκε το NX αλλά καμία εντολή από το mold wizard και έτσι η σχεδίαση του καλουπιού ξεκίνησε από την αρχή χωρίς καμία βάση.

Πρώτο πράγμα που θα έπρεπε να καθοριστεί ήταν το parting line δηλαδή η γραμμή η οποία θα χωρίζει το κάθε τμήμα του τιμονιού σε δύο μέρη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν υποκοπές, δηλαδή να μην υπάρχουν αρνητικές γωνίες ώστε να μπορεί να ξεκαλουπωθεί το τιμόνι. Αυτή είναι πολύ σημαντική διαδικασία καθώς δεν θα μπορούσε να προχωρήσει η σχεδίαση σε μετέπειτα στάδιο. Η εντολή λοιπόν που χρησιμοποιείται είναι το draft analysis. Με αυτό τον τρόπο διαχωρίζονται τα δύο τμήματα του τιμονιού που θα το απαρτίζουν και το χώρισμα για το καλούπι καθώς θα είναι διαιρετό.

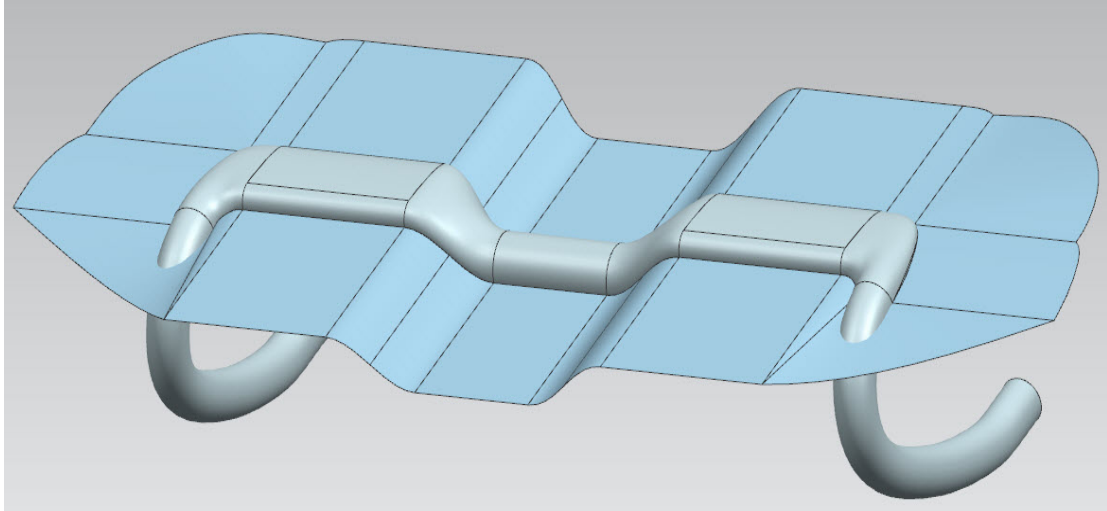


Εικόνα 114 draft analysis για το κεντρικό τμήμα του τιμονιού

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται χαρακτηριστικά η parting line (τεθλασμένη 3d γραμμή) για το κεντρικό τμήμα του τιμονιού με άσπρο κίτρινο χρώμα και ουσιαστικά υποδηλώνει πως θα χωριστεί το κομμάτι στα 2 με άξονα αναφοράς τον Z και πάνω και κάτω με πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα τα τμήματα του τιμονιού μετά το χώρισμα (Εικόνα 114). Η κατασκευή του μεσαίου τμήματος του καλουπιού αποτελεί και την πιο δύσκολη διαδικασία, επειδή δεν πρόκειται για ένα αξονοσυμμετρικό τμήμα όπως θα μπορούσαν κατά κάποιο τρόπο να θεωρηθούν τα drop, παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται ορθό να γνωστοποιηθεί ο τρόπος σύλληψης-σχεδίασης του καλουπιού. Έχοντας λοιπόν σχεδιάσει το τιμόνι, θα πρέπει να σχεδιαστεί ένα block κατάλληλων διαστάσεων που να περιλαμβάνει όλο το μεσαίο τμήμα και μάλιστα να το υπερκαλύπτει. Στη συνέχεια μέσω της εντολής subtract αφαιρούμε από το block τον όγκο του τιμονιού και έτσι προκύπτει η κοιλότητα με τη γεωμετρία του τιμονιού.

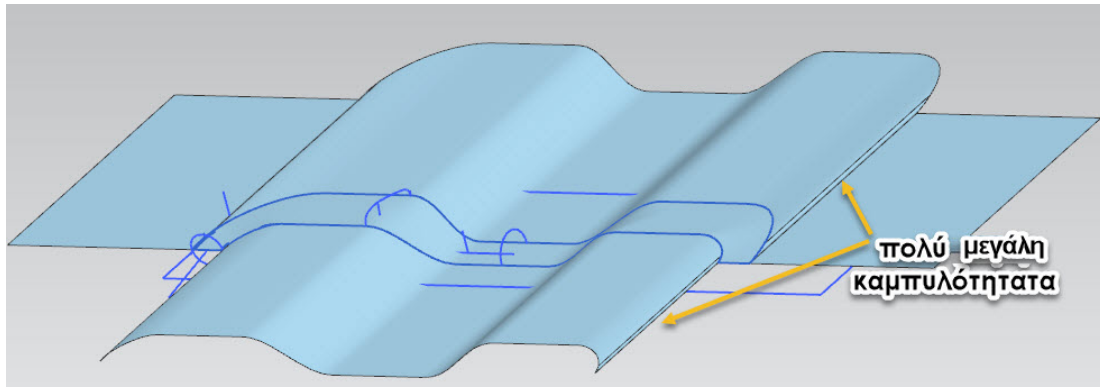
Έχοντας λοιπόν τις parting lines, δημιουργούμε επίπεδα με τα οποία θα τμήσουμε το block και στην συνέχεια χρησιμοποιούμε την εντολή split με την οποία θα διαιρέσουμε ουσιαστικά το κεντρικό καλούπι σε δύο επιμέρους καλούπια. Παρόμοια διαδικασία θα ακολουθηθεί και για τα drops.



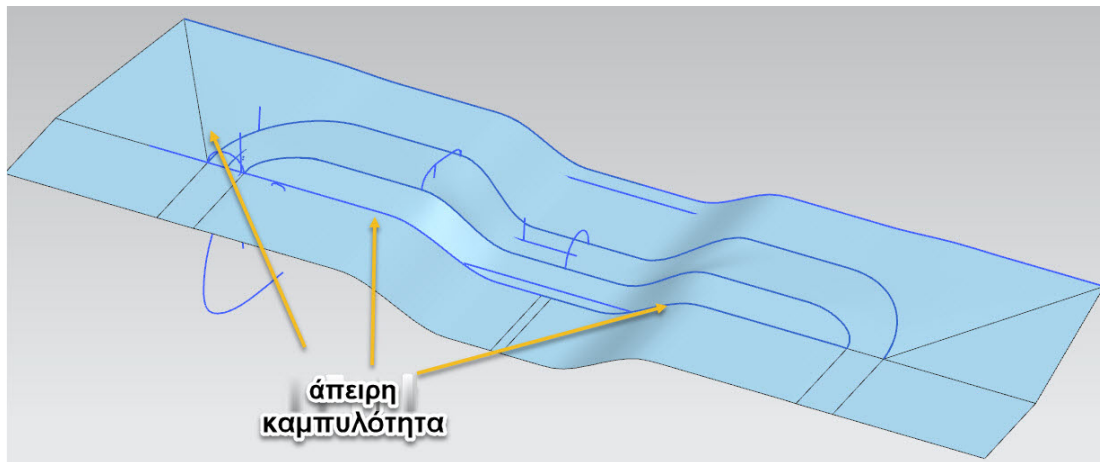
Εικόνα 115 δημιουργία επιπέδων προερχόμενων από parting lines

Ξεκινάμε από τις parting lines τις οποίες τις προεκτείνουμε με διάφορους τρόπους προσπαθώντας όσο το δυνατόν να είναι παράλληλες με το επίπεδο XY. Φυσικά αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε κάποια οριζόντια τμήματα των parting lines. Στα υπόλοιπα τμήματα χρειάζεται ειδική μεταχείριση με δημιουργία επιφανειών που να συνδέουν τις διάφορες επίπεδες επιφάνειες μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη ομαλότητα (G1 tangent, G2 curvature). Έτσι λοιπόν προκύπτει το ανωτέρω σχέδιο το οποίο απεικονίζει όλες τις απαραίτητες επιφάνειες που έχουν γίνει ουσιαστικά μία μεγάλη πολυεπιφάνεια. Αυτή η επιφάνεια που έχει προκύψει θα είναι και η επιφάνεια στην οποία θα χωριστεί το κεντρικό καλούπι στα δύο επιμέρους άρα και η επιφάνεια επαφής τους.

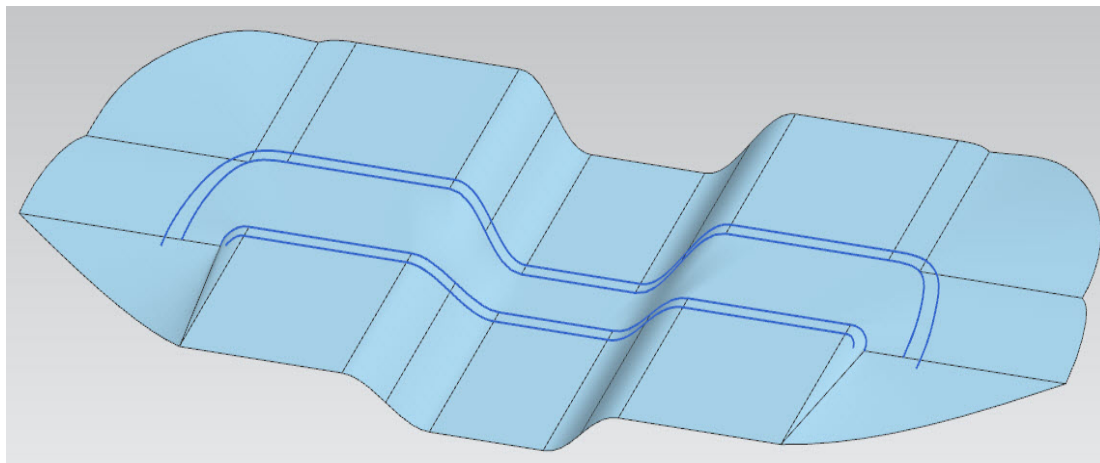
Παρακάτω θα αναφέρουμε κάποιους τρόπους προσέγγισης αυτών των επιφανειών καθώς στόχος ήταν να μην υπάρχουν περιοχές με πολύ μικρές ακτίνες καμπυλότητας καθώς εκεί δεν θα υπήρχε κοπτικό εργαλείο τόσο μικρό ώστε να μπορέσει να περατώσει την κατεργασία. Συνεπώς οι καμπυλότητες σε αυτά τα σημεία θα είναι πολύ μεγάλες ή ακόμα και να απειρίζονται (Εικόνα 116 - Εικόνα 118).



Εικόνα 116 Επιφάνειες με πολύ μεγάλη καμπυλότητα



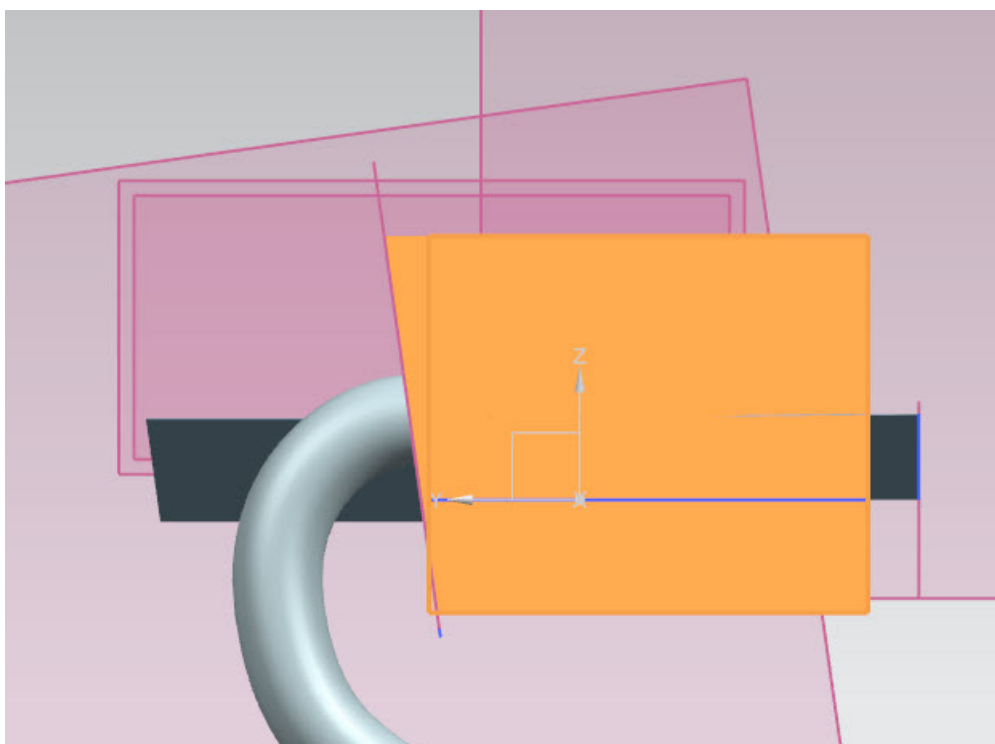
Εικόνα 117 Επιφάνειες όπου η σύνδεσή τους έχει άπειρη καμπυλότητα



Εικόνα 118 Τελική σχεδίαση επιφανειών με ικανοποιητικές επιφάνειες

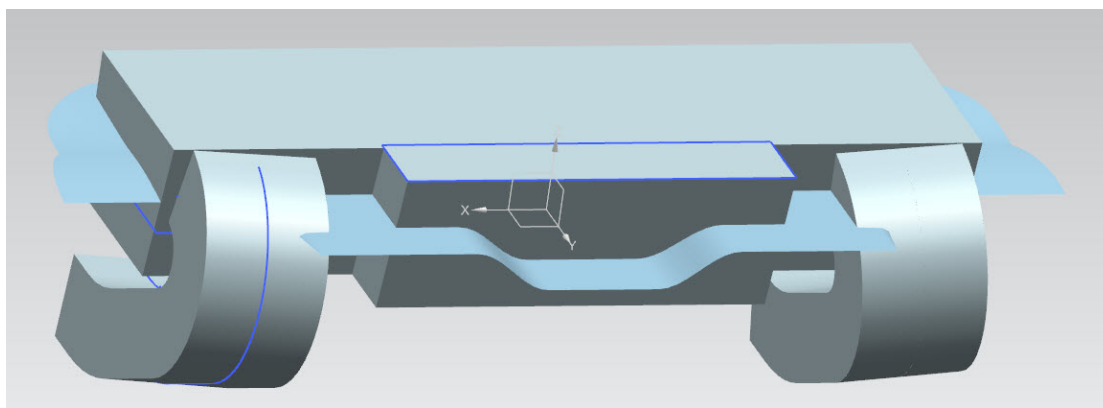
Αυτές είναι κάποιες από τις δοκιμές για τον σχεδιασμό των επιφανειών αυτών και μία αλληλουχία σχεδίων για το πως καταλήξαμε στο τελικό σχέδιο αυτών. Είναι μια διαδικασία που εμπεριέχει αρκετά το κομμάτι της δοκιμής και εναλλαγής (try, error, change) οπότε κάθε φορά θα πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με κάποια σχεδιαστικά κριτήρια που έχουμε θέσει.

Στην αρχή υπήρξε η ιδέα το μπλοκ να σχεδιαστεί με μία κλίση ίδια με αυτή που είχε δοθεί στο ξεκίνημα του drop δηλαδή με $-13,5^\circ$ (Εικόνα 119) έτσι ώστε το χάρισμα του κεντρικού καλούπιου με το καλούπι των drop να γίνει ακριβώς στην ένωση του τελειώματος του hood με το drop, αλλά το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση ήταν ότι δεν θα μπορούσε να συγκρατηθεί στα μάγουλα της μέγγενης για να γίνει η κατεργασία στο CNC. Η ιδέα λοιπόν να σχεδιαστεί και ιδιοσυσκευή συγκράτησης για να προχωρήσει αυτή η λύση απορρίφθηκε καθώς αυτό θα απαιτούσε περισσότερο χρόνο και χρήμα οπότε θα έπρεπε να βρεθεί μία διαφορετική λύση.



Εικόνα 119 1^η δοκιμή κεντρικού καλούπιού με γωνία $-13,5^\circ$

Με αυτή λοιπόν την πρώτη ιδέα, σχεδιάστηκε ένα δοκιμαστικό συνολικό καλούπι για να ελέγξουμε κάποια πολύ βασικά κριτήρια της γεωμετρίας που αφορούσαν και την γωνία τοποθέτησης των drop καθώς έγινε η σκέψη ότι τα καλούπια και σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να έχουν κατακόρυφες επιφάνειες έτσι ώστε να μπορούν να συγκρατηθούν από την μέγγενη. Συνεπώς στα καλούπια των drop δόθηκε η γωνία τοποθέτησής τους ίδια με την γωνία flare 6° (Εικόνα 120). Το σχέδιο λοιπόν που προέκυψε ήταν το ακόλουθο :



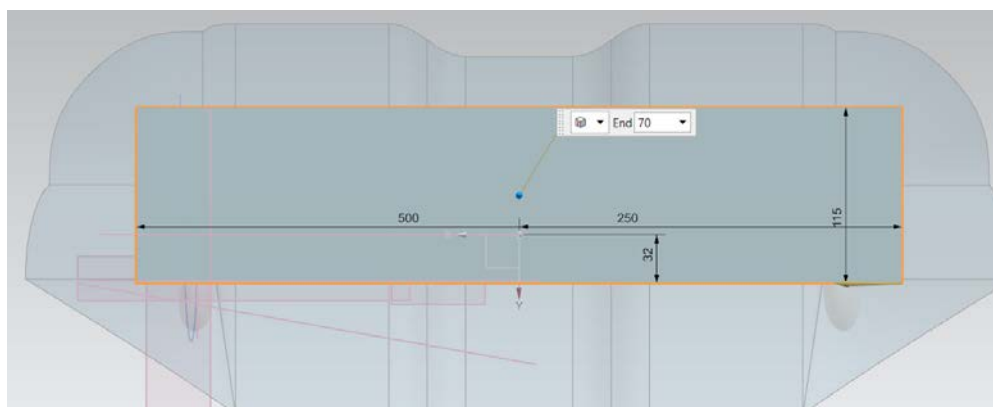
Εικόνα 120 1^ο Καλούπι μόνο με γεωμετρικές πληροφορίες

5.2 Δεύτερη σχεδιαστική προσέγγιση του καλουπιού

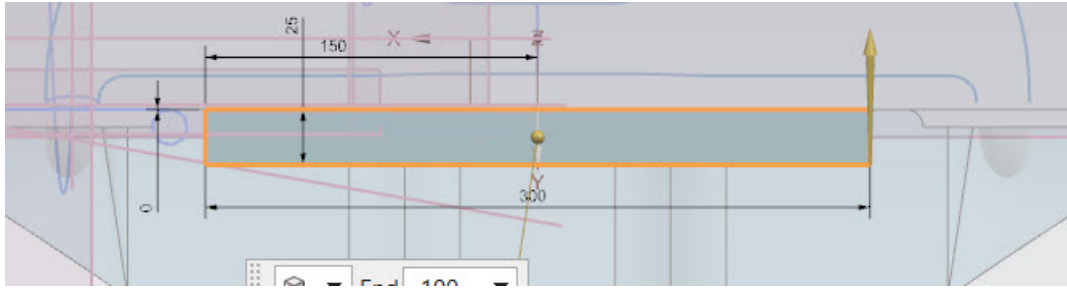
Στη συνέχεια, άλλαξε ο τρόπος σχεδίασης του block το οποίο θα υπερκαλύπτει τουλάχιστον ως προς το μήκος το τιμόνι. Ως προς το πλάτος υπάρχει ένα θέμα καθώς με τα επίπεδα που σχεδιάστηκαν στην προηγούμενη φάση, θα πρέπει να υπάρχει αρμονία και να κοπούν με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνουν όσο το δυνατόν περισσότερο και την δημιουργία των κατακόρυφων block που αφορούν τα drop. Αυτή είναι μία διαδικασία που απαιτεί δοκιμή και αλλαγές.

Προφανώς αν υπήρχε εμπειρία οι δοκιμές αυτές θα ήταν λιγότερες. Συνεπώς λοιπόν έπειτα από διάφορες δοκιμές σε μήκος και πλάτος βρέθηκαν οι διαστάσεις αυτές που ήταν ικανοποιητικές-βολικές για την όλη διαδικασία.

Από εμπειρία και παραδείγματα άλλων καλουπιών τέθηκε ως ελάχιστο πάχος τα 45 mm. Επειδή όμως το τιμόνι μας έχει μία ανύψωση 25 mm αυτό θα πρέπει να προστεθεί στο αρχικό ύψος των 45 mm. Οπότε το αρχικό ύψος κάθε block θα είναι στα 70 mm. Οι διαστάσεις λοιπόν για το block του κεντρικού τμήματος είναι 500mm x 115 mm x 70 mm με απόσταση της μπροστινής πλευράς 32 mm από την αρχή των αξόνων. Επιπλέον όμως λόγω ανάγκης ύπαρξης θέσεων για εισαγωγή βιδών θα πρέπει να προστεθεί ένα κομμάτι διάστασης 300 mm x 25mm στο μπροστινό τμήμα και να τοποθετηθεί αξονοσυμμετρικά.



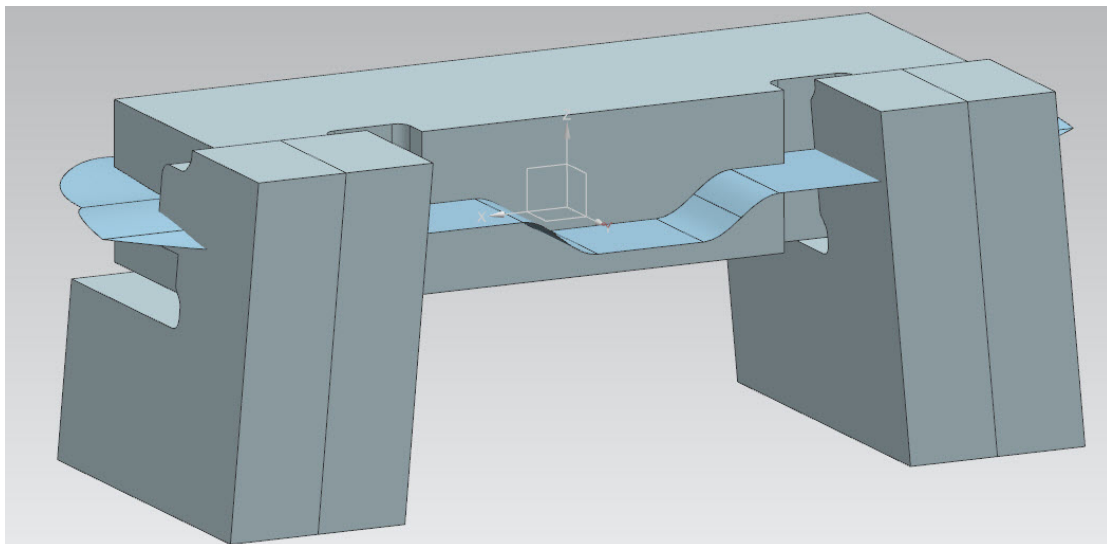
Εικόνα 121 Αρχικό block κεντρικού κομματιού



Εικόνα 122 Πρόσθετο κομμάτι αρχικού καλουπιού

Από κατασκευαστικής απόψεως λοιπόν, το αρχικό block για κάθε τμήμα του επιμέρους καλουπιού του κεντρικού τμήματος, που θα πρέπει να εισαχθεί στην μηχανή CNC, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 500 mm x (115+25) mm x 70mm. Επομένως μία ασφαλής λύση στην οποία δεν θα απαιτηθεί η αφαίρεση πολύ παραπανήσιου υλικού είναι οι διαστάσεις του block να είναι 510 mm x 150 x 80 mm.

Κατόπιν λοιπόν προτροπής της σχεδίασης του καλουπιού με κατακόρυφο κεντρικό τμήμα έγινε η ακόλουθη απόπειρα (Εικόνα 123).



Εικόνα 123 2^η σχεδιαστική προσέγγιση καλουπιού

Σε αυτή εδώ την περίπτωση παρατηρείται ότι στα καλούπια των drop έχουν δοθεί κάποιες γωνίες ίσες με αυτής των flare. Η αιτία που έγινε αυτό είναι διότι υπήρχε η κατεύθυνση ότι το καλούπι έπρεπε να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε η επιφάνεια διαχωρισμού του να είναι παράλληλη με τις εξωτερικές πλευρές του καλουπιού. Ο λόγος που είχε ζητηθεί, ήταν να υπάρξει ευκολία στην δημιουργία θέσεων (οπών) ώστε να τοποθετηθούν οι κεντραριστικοί πείροι που θα οδηγούν τα δύο καλούπια κατά την σύνδεση τους σε σωστή θέση. Όμως με αυτόν τον τρόπο δεν θα μπορούσε με ευκολία να κατασκευαστεί στην μηχανή CNC καθώς κατά το πάχος του καλουπιού οι επιφάνειες δεν θα ήταν κατακόρυφες όσο οι μεγάλες έδρες θα παρέμεναν οριζόντιες.

Επομένως δεν θα υπήρχε επαρκής σύσφιξη στην μέγγενη της μηχανής και θα χρειαζόταν επιπλέον ιδιοσυσκευή ή κάποιο αντίστοιχο πλακίδιο με σχήμα σφήνας, πράγμα το οποίο ήταν δύσκολο να βρεθεί για την γωνία που επιθυμούσαμε και μπορεί και η ακρίβεια που τελικά θα πετυχαίναμε να μην ήταν ικανοποιητική.

Παρόλα αυτά η γεωμετρία του κεντρικού καλουπιού είναι ικανοποιητική επομένως μπορούμε να προσχωρήσουμε και στην πιο λεπτομερή σχεδίαση του, με σχεδίαση αυλακιού ρητίνης, υπολογισμούς απαιτήσεων από μεριάς αριθμού κοχλίων, κεντραριστικών πείρων, εξολκέων και των θέσεων αυτών καθώς και κάποιων ακόμα κατασκευαστικών πληροφοριών.

5.3 Υπολογισμός φορτίων και αριθμού κοχλίων

Υπολογίζοντας λοιπόν την επιφάνεια της κοιλότητας που έχει δημιουργηθεί στο καλούπι προκύπτει ότι η συνολική επιφάνεια είναι για κάθε ένα από τα δύο κεντρικά είναι ίση με 27.017mm^2 . Θεωρώντας μάλιστα ότι αυτή η επιφάνεια είναι όλη σε μία διεύθυνση έστω παράλληλη στο επίπεδο XY κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα, με αυτόν τον τρόπο η κατάσταση που υπολογίζεται είναι πιο δυσμενής από την πραγματική, θα υπολογίσουμε την συνολική δύναμη που ασκείται στο καλούπι λόγο της πίεσης των **8 bar** ($1\text{bar} = 10^5 \text{N/m}^2 = 10^5 * 10^{-6} = 0,1 \text{N/mm}^2$) όπου θα ασκηθούν από το κύκλωμα.

Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν την επιφάνεια με την πίεση προκύπτει μία δύναμη $F = P * A = 0,8 \text{N/mm}^2 * 27.017\text{mm}^2 = 26.613\text{N}$. Η δύναμη αυτή είναι η δύναμη αποχωρισμού των δύο καλουπιών (του πάνω και του κάτω) της οποίας θα κληθούν να λάβουν οι κοχλίες που θα συνδέουν τα δύο τμήματα μεταξύ τους προκειμένου να μην χαθεί η επαφή μεταξύ τους. Σε αυτές τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως κοχλίες M8 ή M10 και σε απόσταση όχι μεγαλύτερη 100-120 mm ο ένας από τον άλλο. ^[A6]

ΤΥΠΟΣ	Βήμα σπειρώματος, P	Κυρία διάμετρος, d = D	Μέση διάμετρος, d ₂ = D ₂	Εσωτερική διάμετρος κοχλία, d ₃	Εσωτερική διάμετρος περικοχλίου, D ₁	Βάθος σπειρώματος, h ₃	Φορτιζόμενη επιφάνεια, A, mm ²
M 8	1.25	8.00	7.188	6.466	6.647	0.767	36.60
M 10	1.50	10.00	9.026	8.160	8.876	0.920	58.30

Η καταπονούμενη επιφάνεια του κοχλία είναι

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad \text{αν η φόρτιση είναι στατική, και} \quad A = \frac{\pi d_3^2}{4} \quad \text{αν είναι δυναμική}$$

Πίνακας 28 Σπειρώματα και καταπονούμενες επιφάνειες κοχλία, [A6]

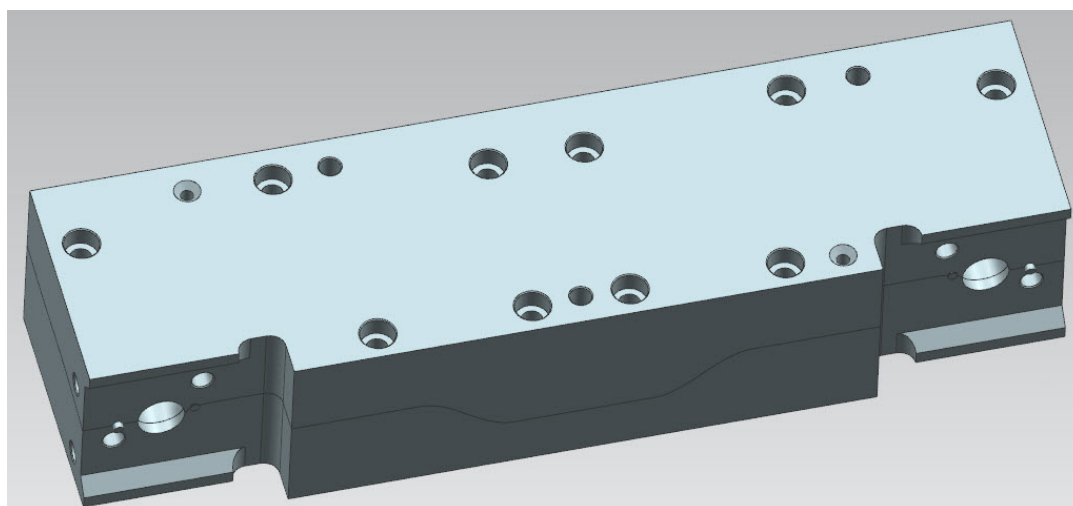
Επειδή εδώ πρόκειται για μη δυναμική φόρτιση θα λάβουμε την πρώτη περίπτωση δηλαδή της στατικής καταπόνησης. Παρακάτω παρατίθεται και ένας πίνακας για τις διάφορες ποιότητες σε κοχλίες και περικόχλια από άποψη αντοχής.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΑ	S_u	S_y	$S_{y0.2}$	δ_u (% επιμήκυνση μετά τη θραύση)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΡΙ-ΚΟΧΛΙΟΥ	S_u
	(MPa)	(MPa)	(MPa)			(MPa)
3.6	300	180	-	25	5	500
4.6	400	240	-	22	5	500
4.8	400	320	-	14	5	500
5.6	500	300	-	20	5	500
5.8	500	400	-	10	5	500
6.6	600	360	-	16	6	600
6.8	600	480	-	8	6	600
6.9	600	-	540	12	6	600
8.8	800	-	640	12	8	800
10.9	1000	-	900	9	10	1000
12.9	1200	-	1080	8	12	1200
14.9	1400	-	1260	7	14	1400

Πίνακας 29 Κατηγορία κοχλιών ανάλογα της αντοχής τους, [A6]

Στη δική μας λοιπόν περίπτωση και βάση του συνολικού ύψους που θα πρέπει να έχουν οι κοχλίες λόγω μεγάλου πάχους καλουπιού θα είναι M10 και κατηγορίας 8.8 που είναι και μια συνηθισμένη λύση για τέτοιες εφαρμογές. Δεν απαιτούνται πολύ υψηλής αντοχής υλικά ως προς την σύνδεση καθώς θα έπρεπε να συμβαδίζει η αντοχή και με το συνδεόμενο υλικό που στην προκειμένη περίπτωση είναι αλουμίνιο.

Έτσι μια μεγάλη διαφορά στην αντοχή τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα για την επιλογή κατάλληλου αριθμού κοχλιών πράγμα που θα μπορούσε να οδηγήσει και στον τραυματισμό του καλουπιού. Έτσι λοιπόν όσο αναφορά το κεντρικό καλούπι η πρώτη ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν 12 κοχλίες.



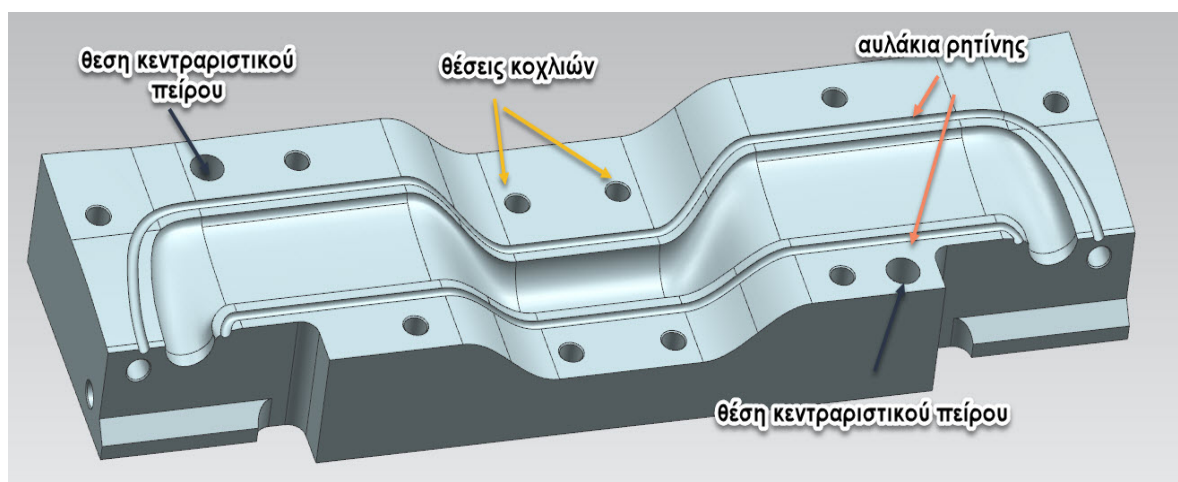
Εικόνα 124 3^ο κεντρικό καλούπι οδεύοντας προς την τελική του μορφή

Οι δυνάμεις αντίδρασης και υπόλοιπα στατικά φορτία δεν καταγράφονται γιατί έχουν τιμές πολύ χαμηλότερες του ορίου. Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα ήταν ότι ακριβώς στο κέντρο όπου είναι και ένα από τα σημαντικότερα σημεία του καλουπιού δεν υπήρχε συγκράτηση, βέβαια υπήρχε σε κοντινή απόσταση από αυτό εκατέρωθεν, αλλά για λόγους πιθανής δημιουργίας έστω και πολύ μικρού βέλους κάμψης απορρίφθηκε αυτή η λύση.

Ο λόγος είναι ότι ακριβώς στο κέντρο όπου πιάνει ο λαιμός θέλουμε την μέγιστη δυνατή κυλινδρική και ακρίβεια. Με αυτόν το τρόπο προσπαθούμε να πετύχουμε την μέγιστη δυνατή επαφή μεταξύ τιμονιού και λαιμού και οποιαδήποτε ανωμαλία σε αυτό το σημείο θα μπορούσε να οδηγήσει σε ελλιπή σύσφιξη ή σε τραυματισμό της επιφάνειας του τιμονιού. Άλλο ένα σημείο το οποίο στην αρχή δεν δόθηκε απαραίτητη προσοχή ήταν η απόσταση των κοχλιών από την κοιλότητα έτσι ώστε να μην δημιουργείται μεγάλο βέλος κάμψης με σκοπό τη μη δημιουργία κενού ανάμεσα στα δύο μέρη του καλουπιού. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την διαφυγή υλικού προς αυτή την κατεύθυνση καθώς επίσης και αποτυχία συνέχειας της διαδικασίας λόγω αστοχίας της σακούλας πίεσης, από επαφή με αιχμηρό σημείο της παράπλευρης επιφάνειας.

5.4 3^η σχεδιαστική λύση κεντρικού καλουπιού, υπολογισμός δυνάμεων, ροπών σύσφιξης και λοιπών χαρακτηριστικών

Συνεπώς λοιπόν στην τρίτη δοκιμή το κεντρικό καλούπι θα είχε 10 κοχλίες. Επίσης οι δύο κοχλίες παραπάνω, κατά την αποσυναρμολόγηση του καλουπιού απαιτούν κάποιο χρόνο επιπλέον προκειμένου να αποσυνδεθούν πράγμα που είναι μη επιθυμητό, καθώς η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης πρέπει να είναι η ταχύτερη δυνατή, διότι λόγω μεγάλου ρυθμού απόψυξης του καλουπιού, υπάρχει κίνδυνος το τεμάχιο που βρίσκεται μέσα να εγκλωβιστεί - σφηνώσει και να βγαίνει με δυσκολία ή ακόμα και να υποστεί ζημία λόγω ταχύτερης συστολής του καλουπιού από το ίδιο. Παρακάτω λοιπόν παραθέτουμε άλλη μια εικόνα για να γίνουν τα πράγματα πιο ξεκάθαρα.



Εικόνα 125 3^ο κεντρικό καλούπι στην του τελική του μορφή

Σε ότι αφορά τους κοχλίες η δύναμη που θα κληθεί να φέρει ο καθένας είναι $26.613/10 = F=2661N$. Βάση του προηγούμενου πίνακα η φορτιζόμενη επιφάνεια είναι $A=57 \text{ mm}^2$. Επομένως η πίεση που ασκείται είναι $P = F/A = 2661N/57\text{mm}^2 = 46 \text{ MPa}$. Η τιμή αυτή είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους κάτω και από το όριο διαρροής και του ατσαλιού του κοχλία αλλά και του αλουμινίου. Στο ατσάλι μας ενδιαφέρει αυτό λόγω της επιμήκυνσης που θα έχει ο κοχλίας και στο αλουμίνιο έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε ότι ο κοχλίας δεν θα τραυματίσει το σπείρωμα του καλουπιού. Επομένως αυτό που συστήνεται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η σύσφιξη τουλάχιστον ίση και λίγο μεγαλύτερη με την δύναμη που έχουμε υπολογίσει ότι θα φορτιστεί ο κάθε κοχλίας. Δηλαδή δημιουργούμε μια προένταση τέτοια ώστε η συνισταμένη δύναμη λόγω κοχλιών και εσωτερικής πίεσης να είναι 0 ή ακόμα καλύτερα και λίγο αρνητική δηλαδή το καλούπι ακόμα και με εσωτερική πίεση να βρίσκεται υπό ένταση με κατεύθυνση προς τα μέσα και όχι προς τα έξω. Ο λόγος είναι ότι δεν θέλουμε να αποχωριστούν τα καλούπια και να δημιουργηθεί διάκενο καθώς αυτό θα σήμαινε πολύ πιθανή αστοχία της διαδικασίας.

ΥΛΙΚΟ		ΛΙΠΑΝΣΗ		
ΚΟΧΛΙΑ	ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟΥ	ΧΩΡΙΣ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΛΙΠΑΝΣΗ ΜΕ ΛΑΔΙ	ΣΚΟΝΗ MoS ₂
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ				
Mn - Ph	ΧΩΡΙΣ	0.14 έως 0.18	0.14 έως 0.15	0.10 έως 0.11
Zn - Ph	ΧΩΡΙΣ	0.14 έως 0.21	0.14 έως 0.17	0.10 έως 0.12
Zn	ΧΩΡΙΣ	0.125 έως 0.18	0.125 έως 0.17	-
Cd	ΧΩΡΙΣ	0.08 έως 0.12	0.08 έως 0.11	-
Zn	Zn	0.125 έως 0.17	0.14 έως 0.19	-
Cd	Cd	0.08 έως 0.12	0.14 έως 0.15	-

Πίνακας 30 Συντελεστής τριβής κοχλία περικοχλίου, [A6]

Για να βρούμε την ροπή σύσφιξης που χρειάζεται για να δημιουργήσουμε αυτή την προένταση λειτουργούμε ως εξής. Από τον τύπο:

$$M_{ολ} = F * [\tan(\rho' + \alpha) * d_2/2 + \mu_{\pi} * d_m/2]$$

βρίσκουμε - γνωρίζουμε όλα τα μεγέθη του 2^{ου} μέλους οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε και την απαιτούμενη ροπή. Για την δική μας περίπτωση έχουμε λοιπόν:

$$F = 2661N, \mu = \tan \rho$$

θεωρώντας ότι:

$$\mu = \tan \rho = 0,17 \text{ (συντελεστής τριβής)}$$

επειδή όμως δεν έχουμε τετραγωνικό αλλά μετρικό σπείρωμα ο τύπος λαμβάνει υπόψη του το ρ' για το οποίο ισχύει ότι:

$$\tan \rho' = \tan \rho / \cos \theta_v = \tan \rho / \cos(\beta/2)$$

όπου για μετρικό σπείρωμα ισχύει ότι:

$$\beta = 60^\circ \text{ οπότε } \rho' = \tan^{-1}(\tan \rho / \cos(\beta/2))$$

αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$\rho' = 11,11^\circ ,$$

$$\alpha = \tan^{-1}(p/\pi * d_2)$$

όπου p είναι το βήμα του σπειρώματος που στην προκειμένη περίπτωση για M10 είναι

$$p = 1,5 \text{ mm}, d_2 = 9,026 \text{ mm}.$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$\alpha = 3,03^\circ$$

μ_π είναι ο συντελεστής τριβής του κοχλίου με το καλούπι

$$\mu_\pi = 0,40 \text{ (θεωρώντας ότι υπάρχει και λίπανση)}$$

και για $d_m = 15 \text{ mm}$ (μέση διάμετρος βαρέως τύπου).

Αντικαθιστώντας όλους αυτούς τους τύπους στην σχέση προκύπτει ότι :

$$M_{ολ} = 11,01 \text{ Nm}$$

Η Ροπή λοιπόν αυτή είναι αυτή που απαιτείται για την προένταση που θέλουμε να πετύχουμε έτσι ώστε οι δύο πλάκες του καλουπιού να βρίσκονται πάντα υπό τάση μεταξύ τους, κάτι που χωρίς την προένταση δεν θα συνέβαινε.

Η ροπή αποσύσφιξης κανονικά θα πρέπει να είναι μικρότερη καθώς ο τύπος είναι:

$$M_{ολ} = F * [\tan(\rho' - \alpha) * d_2/2 + \mu_p * d_m/2]$$

όμως επειδή η θερμοκρασία όταν βγαίνει το καλούπι από το φούρνο είναι περίπου στους 120° C γίνεται κατανοητό ότι η πραγματική ροπή που απαιτείται είναι αρκετά μεγαλύτερη λόγω διαφορετικών συντελεστών θερμικής διαστολής των δύο υλικών καθώς επίσης επηρεάζονται και οι συντελεστές τριβής.

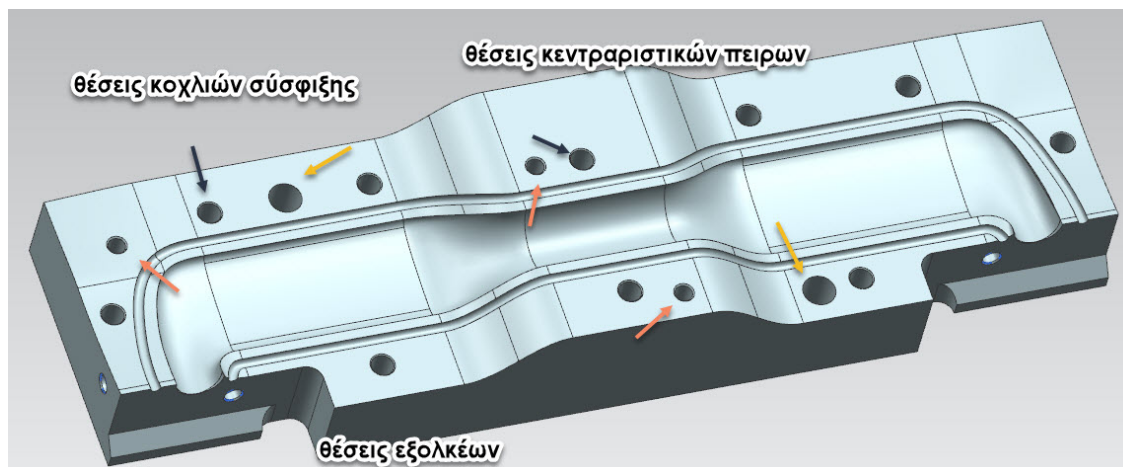
Πίνακας συντελεστών τριβής

	μ_s	μ_k
Λάστιχο με μπετόν	1.0	0.8
Χάλυβας με χάλυβα	0.74	0.57
Αλουμίνιο με χάλυβα	0.61	0.47
Γυαλί με γυαλί	0.94	0.4
Χαλκός με χάλυβα	0.53	0.36
Ξύλο με ξύλο	0.25–0.5	0.2
Κερωμένο ξύλο με υγρό χιόνι	0.14	0.1
Κερωμένο ξύλο με ξηρό χιόνι	—	0.04
Μέταλλο με μέταλλο (που έχει λιπαντικό)	0.15	0.06
Τεφλόν με τεφλόν	0.04	0.04
Πάγος με πάγο	0.1	0.03
Ανθρώπινες αρθρώσεις	0.01	0.003

Σημείωση: Όλες οι τιμές είναι προσεγγιστικές. Σε μερικές περιπτώσεις, ο συντελεστής τριβής είναι μεγαλύτερος από 1.0.

Πίνακας 31 Συντελεστές τριβής διαφόρων υλικών, [Α6]

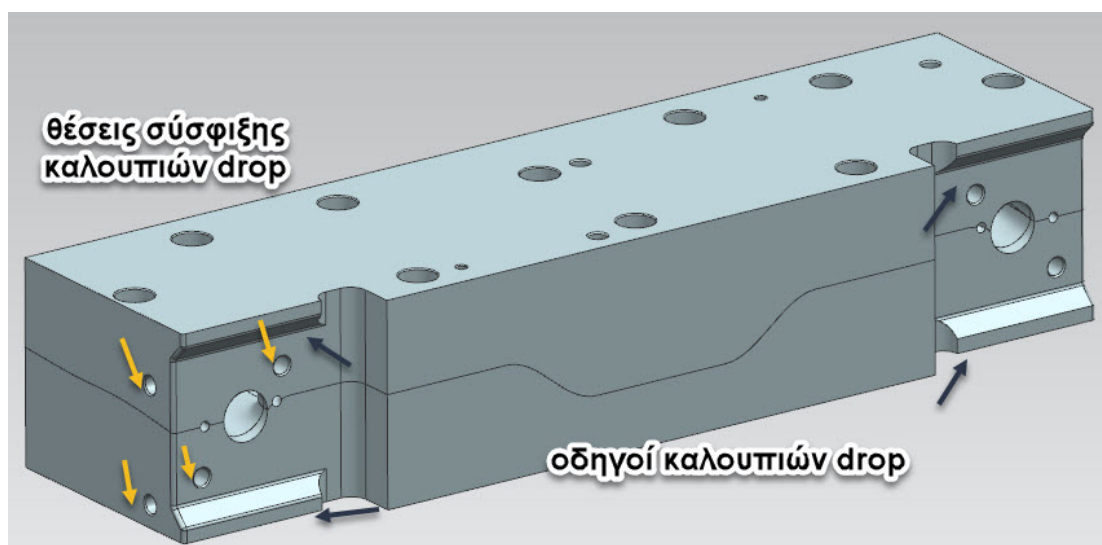
Έτσι λοιπόν μπορούμε να παρουσιάσουμε το τελικό κεντρικό καλούπι με όλες τις διορθώσεις και τις βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν. Συνεπώς λοιπόν, αυτό θα αποτελείται από 10 θέσεις υποδοχής κοχλιών δύο θέσεις κεντραριστικών πειρών και 3 θέσεις εξολκέων. Επιπλέον έχει σχεδιαστεί με πολύ προσοχή ένα κανάλι φ5 mm σε απόσταση 5 mm από την άκρη της κοιλότητας και από τις δύο πλευρές με σκοπό την περισυλλογή της όποιας ρητίνης μπορεί να αποβληθεί λόγω πίεσης και να οδηγηθεί μέσα από την διεπιφάνεια σε αυτή.



Εικόνα 126 3^ο κεντρικό καλούπι τελικό σχέδιο εσωτερικό (πάνω μέρος)

Επίσης σχεδιάστηκαν ειδικές διαμορφώσεις - οδηγοί και στα δύο τμήματα (4 στον αριθμό) με σκοπό το ευκολότερο κεντράρισμα των καλουπιών των drop και την εφαρμογή αυτών πάνω στο κεντρικό καλούπι. Αυτό βοηθάει στο να μπορούν τα κατακόρυφα καλούπια να μπουν κατευθείαν σε σωστή θέση περιορίζοντας έναν βαθμό ελευθερίας, οπότε και οι τεχνίτες διευκολύνονται κατά τη συναρμολόγηση και δεν χάνεται πολύτιμος χρόνος.

Ακόμη διακρίνονται και οι θέσεις με τις οποίες συγκρατούνται τα καλούπια των drop πάνω στο κεντρικό καλούπι. Για την συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν να είναι 4 οι θέσεις, δύο σε κάθε τμήμα του καλουπιού με την μία κάθετη σε διεύθυνση με την άλλη για κάθε ζεύγος, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ισορροπημένη σύσφιξη. Αυτή η διαδικασία όπως θα φανεί στη συνέχεια ήταν επίπονη καθώς απαιτούσε πολλές δοκιμές καθώς οι θέσεις τους εξαρτιόνταν και από το καλούπι των drop το οποίο είχε και αυτό πολλούς περιορισμούς. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οποιεσδήποτε ομαλοποιήσεις – fillet έχουν γίνει σε όλες τις επιφάνειες ούτως ώστε το καλούπι να είναι πλήρως κατασκευάσιμο και χωρίς πολλές εναλλαγές κοπτικού εργαλείου στην μηχανή CNC.

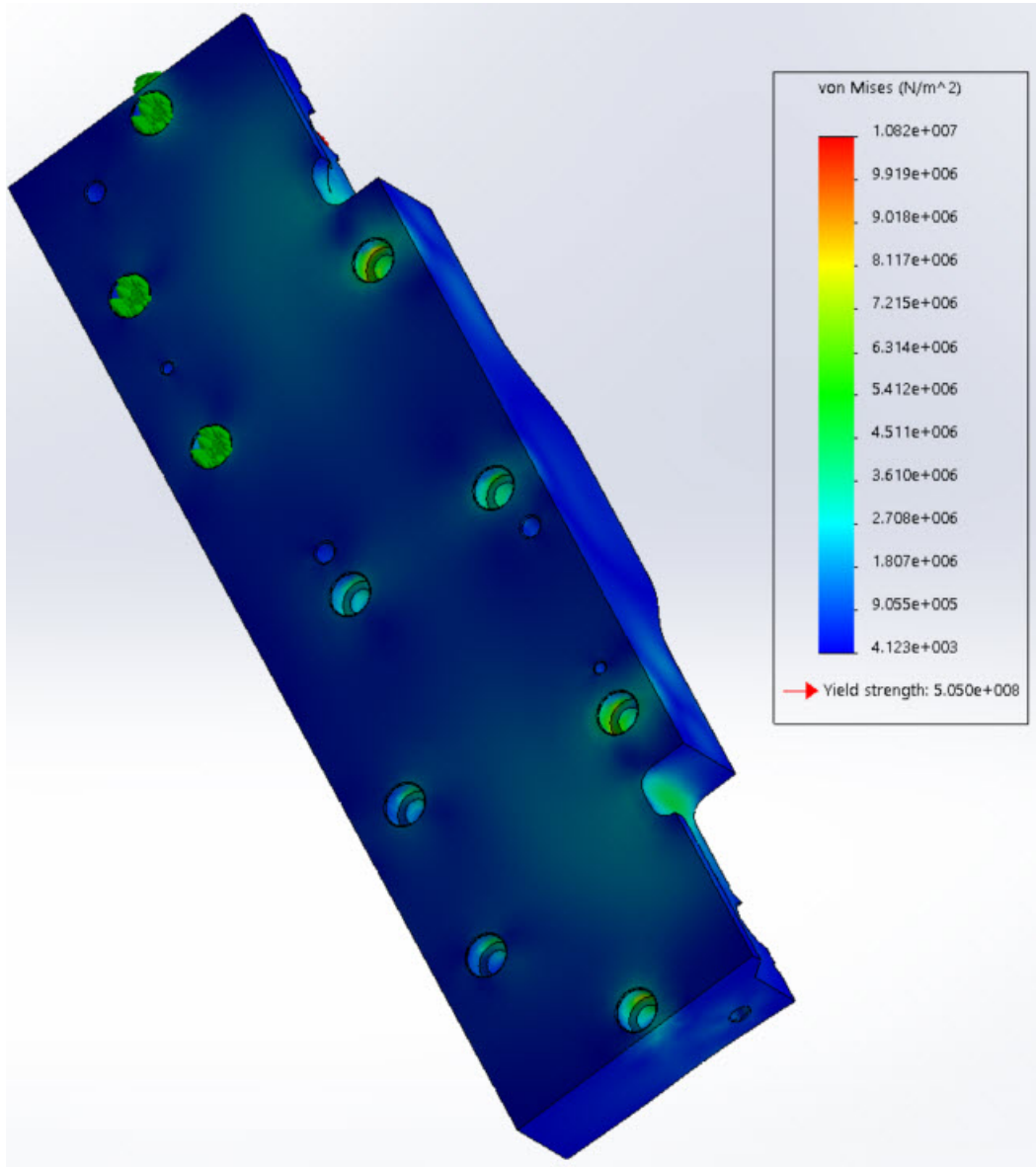


Εικόνα 127 3^ο κεντρικό καλούπι τελικό σχέδιο (πάνω και κάτω μέρος)

5.5 Ανάλυση κεντρικού καλουπιού με πεπερασμένα στοιχεία

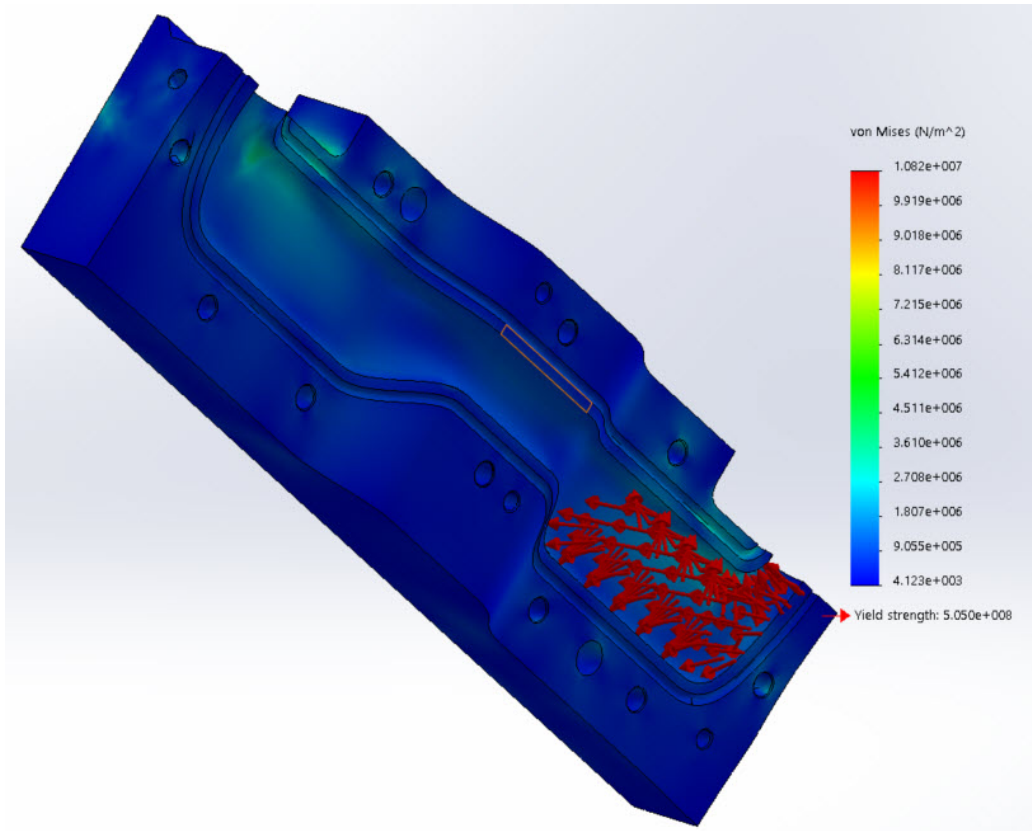
Για να είμαστε όμως σίγουροι για την εν λόγω σχεδίαση το κεντρικό καλούπι μελετήθηκε με την βοήθεια του Solidworks με πεπερασμένα στοιχεία έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη οπτική και να υπάρχει σιγουριά για τον σχεδιασμό. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε τα σημεία τα οποία για την ανάλυση μας τα θεωρούμε πακτωμένα. Τα σημεία αυτά, είναι οι άνω επιφάνειες όπου πατάνε τα κεφάλια των κοχλιών στο πάνω τμήμα του κεντρικού καλουπιού. Αυτά τα σημεία- περιοχές λοιπόν τα θεωρούμε πακτωμένα για την ανάλυση μας και εσωτερικά της κοιλότητας ασκούμε μία ομοιόμορφη πίεση 8 bar σε όλη την επιφάνεια αυτής, ρυθμίζουμε το πλέγμα σε όσο το δυνατόν πιο πυκνό γίνεται από τις δυνατότητες που μας δίνει το πρόγραμμα και έτσι προκύπτουν κάποια χρήσιμα στοιχεία. Προφανώς η πίεση των **8 bar = 0,8 MPa** είναι πολύ μικρή προκειμένου να καταπονήσει το καλούπι. Έτσι και οι τάσεις που αναπτύσσονται σε αυτό το καλούπι είναι στο μέγιστο ίσες με **10 MPa** που εμφανίζονται τοπικά κυρίως λόγω συγκέντρωσης τάσεων.

Βέβαια ως προς το μέγιστο μέγεθος, υπάρχει και η πιθανότητα του σφάλματος καθώς το πρόγραμμα δεν δίνει πολλές δυνατότητες ως προς την παραμετροποίηση του πλέγματος, με αποτέλεσμα σε κάποια σημεία που υπάρχει αρκετή γεωμετρική πληροφορία, να μην υπάρχει το ανάλογο μέγεθος πλέγματος έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη πληροφόρηση. Παρόλα αυτά βλέπουμε σε μεγαλύτερες περιοχές ότι οι τάσεις δύσκολα ξεπερνάνε τα **5-6 MPa**



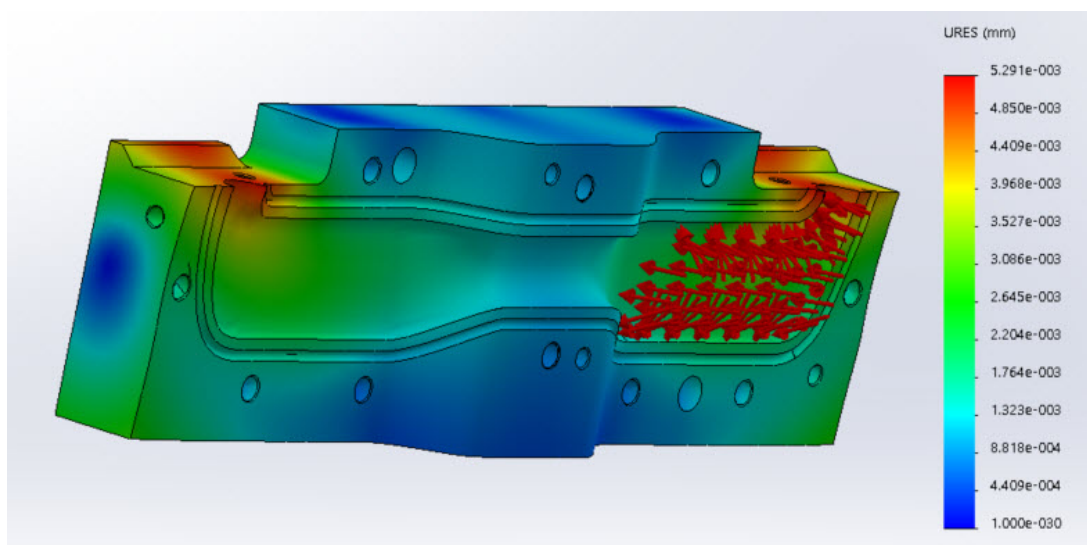
Εικόνα 128 Αναπτυσσόμενες τάσεις στην εξωτερική επιφάνεια (πάνω μέρος)

Φυσικά λοιπόν η ανάλυση αυτή δεν γίνεται τόσο για την κατανομή των τάσεων αλλά για τις μετατοπίσεις που μπορεί να υπάρχουν στο καλούπι λόγω της εφαρμοζόμενης πίεσης. Παρόλα αυτά παρουσιάζεται και άλλη μια εικόνα από την κατανομή των τάσεων στην εσωτερική επιφάνεια (τα κόκκινα βέλη συμβολίζουν την εφαρμογή πίεσης).



Εικόνα 129 Αναπτυσσόμενες τάσεις στην εσωτερική επιφάνεια (πάνω μέρος)

Ο λόγος που μας ενδιαφέρουν κυρίως οι μετατοπίσεις είναι για να δούμε πως θα συμπεριφερόταν το καλούπι σε περίπτωση όπου οι βίδες δεν είχαν καθόλου προένταση αλλά θα ήταν και παράλληλα απαραμόρφωτες. Και αυτό για να γνωρίσουμε κατά πόσο υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθεί μεγάλο διάκενο μεταξύ των δύο τμημάτων των καλουπιών, τέτοιο που να δικαιολογεί εισχώρηση υλικού στην παράπλευρη επιφάνεια τους, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει και σε αστοχία της διαδικασίας όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω.

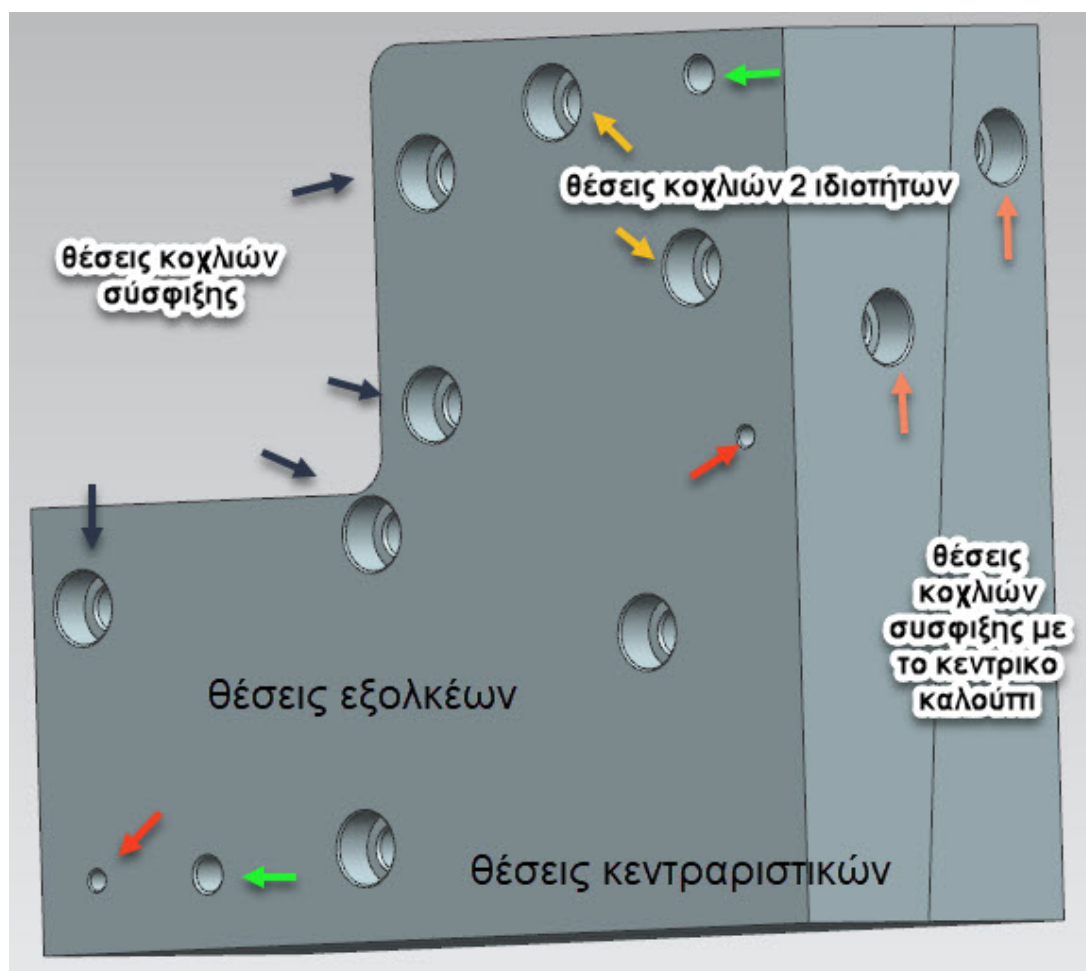


Εικόνα 130 Μετατοπίσεις (mm) στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού (πάνω μέρος)

Από την ανωτέρω εικόνα παρατηρούμε ότι η μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στις άκρες των hood εκεί δηλαδή που ξεκινούν τα drop με τιμή στα **5 μm** και μία μέση τιμή γύρω στα **2,5 μm**. Άρα θεωρώντας ότι θα είχαμε την ίδια μέγιστη μετατόπιση και στο κάτω τμήμα πρόκειται προφανώς για μία συνολική μετατόπιση της τάξης των **10 μm** που είναι υπερανεκτή. Και φυσικά στην πραγματικότητα θα είναι ακόμα μικρότερη καθώς στην ανάλυση που κάναμε δεν συμπεριλήφθηκαν οι 4 θέσεις υποδοχής κοχλιών που συσφίγγουν το κεντρικό καλούπι με τα καλούπια των drop κάτι που κάνει ακόμα πιο στιβαρή την κατασκευή, καθώς επίσης ούτε η προένταση που έχει δοθεί στους 10 κατακόρυφους κοχλίες σύσφιξης. Επομένως η συνολική μετατόπιση υπολογίζεται εμπειρικά ότι θα είναι γύρω στα **3 μm** μικρότερη από τα 10 μm φτάνοντας στα **7 μm** κάτι που είναι ακόμα πιο θετικό για την περίπτωση μας.

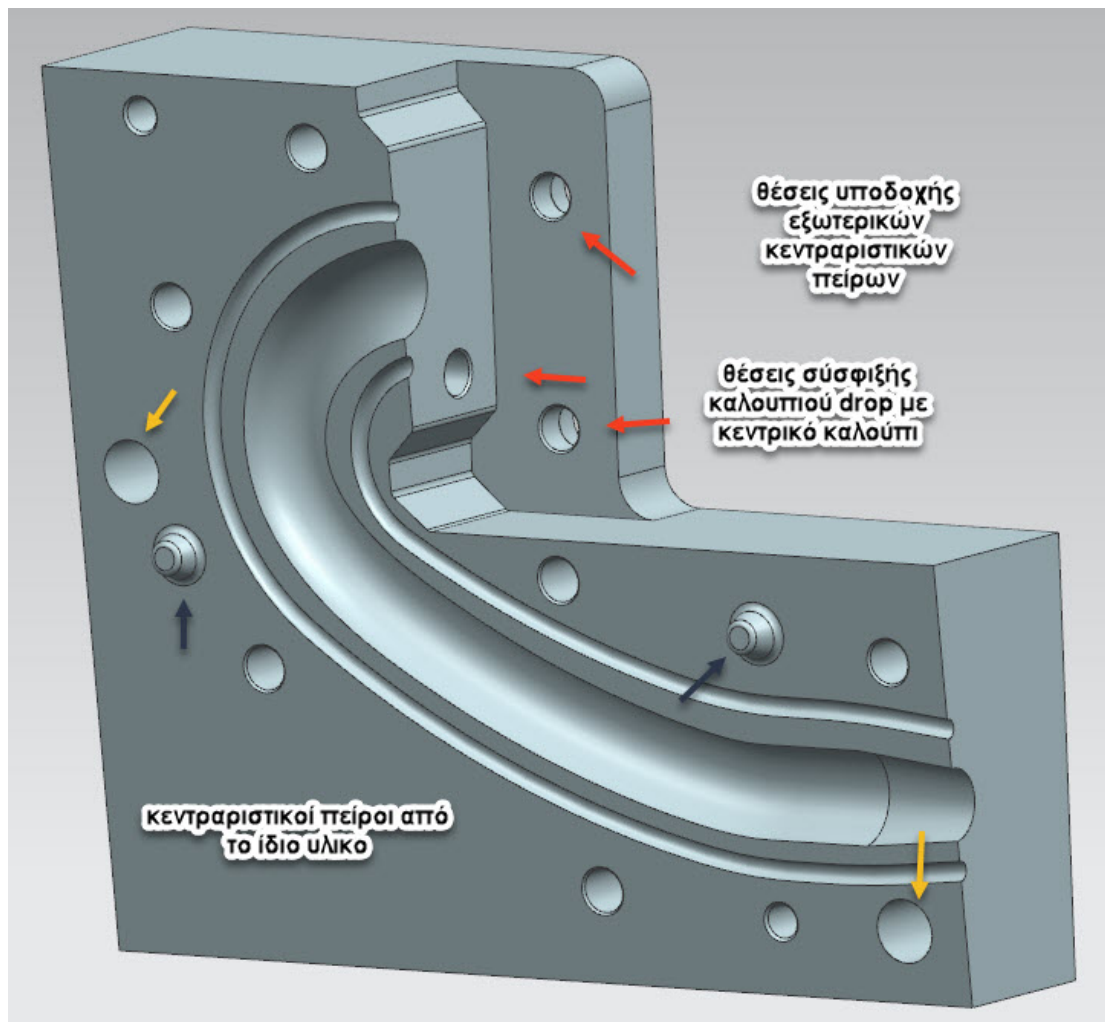
5.6 Σχεδίαση καλουπιών drop

Συνεπώς τώρα μπορούμε να ασχοληθούμε και με τα καλούπια των drop που είχαν και αυτά κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς την σχεδιάσή τους. Έχοντας αναφέρει κάποια στοιχεία για την αρχική σχεδιάσή τους και παραπάνω, εφόσον έχει φτάσει και το κεντρικό καλούπι στην τελική του μορφή, κατόπιν από κάποιες ενδιάμεσες δοκιμές καταλήξαμε στο ακόλουθο καλούπι (Εικόνα 131).



Εικόνα 131 Καλούπι drop εξωτερική πλευρά

Το καλούπι αυτό αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο πρόβλημα με αυτό, ήταν ο τρόπος με τον οποίο θα σχεδιαζόταν οι εξωτερικές πλευρές του έτσι ώστε να μπορεί να συγκρατηθεί στην μέγγενη της μηχανής CNC, λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι επιθυμητό η επιφάνεια στην οποία θα βρίσκονται οι κεντραριστικοί πείροι να είναι οριζόντια και όχι κεκλιμένη. Ο λόγος είναι ότι έτσι θα μπορούσε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια κατά το κεντράρισμα. Επειδή όμως τα drag είχαν κλίση όπως έχει αναφερθεί η διεπιφάνεια των δύο τμημάτων του καλουπιού θα έπρεπε να είναι και αυτή κεκλιμένη έτσι ώστε να μην σχηματίζονται υποκοπές μεταξύ καλουπιού και τεμαχίου, κάτι που θα είχε ως συνέπεια την μη εξαγωγή του τεμαχίου. Συνεπώς η λύση που δόθηκε ήταν διπλή. Η πρώτη ήταν να σχεδιαστούν υποδοχές κεντραριστικών και στα δύο τμήματα πάνω στην κεκλιμένη επιφάνεια και η δεύτερη ήταν η κατεργασία των τεμαχίων με τέτοιο τρόπο που να αποτελεί το ίδιο το υλικό κεντραριστικό πείρο με όλες τις απαραίτητες διαμορφώσεις-fillet έτσι ώστε να είναι πλήρως κατασκευάσιμα (Εικόνα 132).



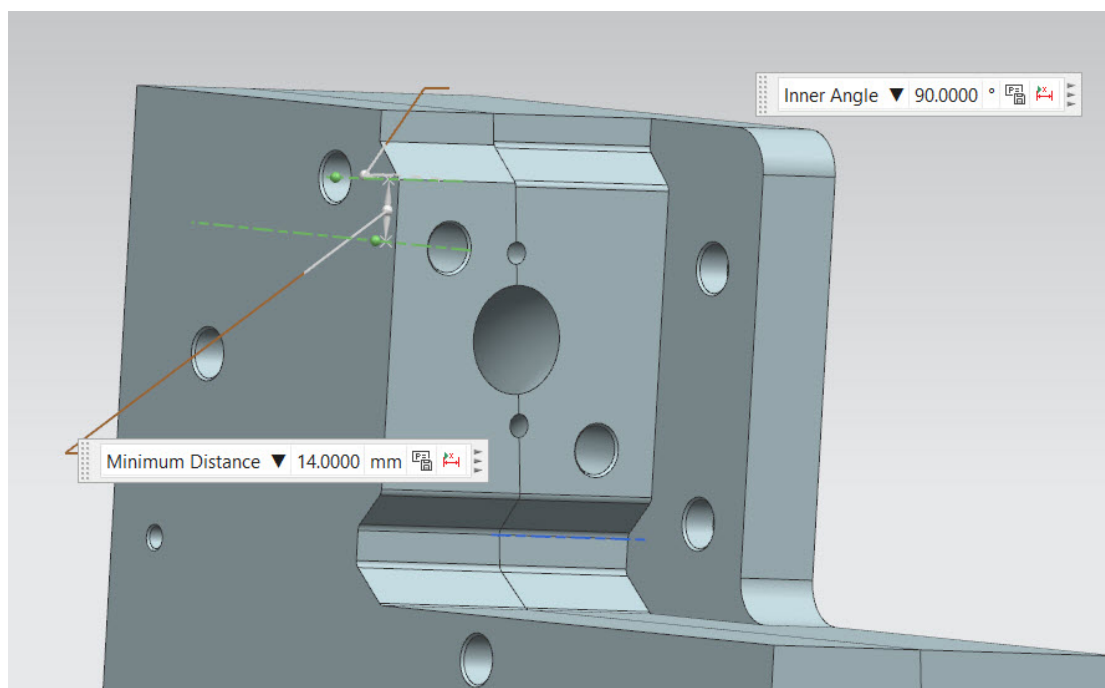
Εικόνα 132 Καλούπι drag εσωτερική πλευρά

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται και οι δύο κατασκευαστικές λύσεις και μέσω κατασκευής και δοκιμής θα προκριθεί η μία από τις δύο.

Η σχεδίαση της 2^{ης} λύσης έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ικανοποιητική κωνικότητα με κλίση 1/3 και αρχική διάμετρο **16 mm**. Η προσοχή που απαιτούνταν σε αυτό το σημείο, αφορούσε το ακριβές ύψος δηλαδή το πόσο θα προεξείχε το υλικό ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλη κοιλότητα και στο συμπληρωματικό καλούπι. Για να υπάρχει ασφάλεια κυρίως λόγω θερμικών διαστολών, κατά την ένωση των δύο τμημάτων σε αυτά τα σημεία, το κεφάλι του ενός με τον πάτο της κοιλότητας του άλλου είχαν ένα διάκενο της τάξης των **2 mm**.

Στην περίπτωση που χρειαστεί να μην χρησιμοποιηθεί η λύση του κεντραριστικού πείρου από το ίδιο υλικό τότε πολύ εύκολα ξαναεισάγεται το τεμάχιο στην μηχανή CNC και αφαιρείται ένα μέρος από το υλικό το οποίο προεξέχει.

Επίσης αυτό που φαίνεται από την παραπάνω εικόνα είναι ότι υπάρχουν και οι θέσεις σύσφιξης των καλουπιών του drop πάνω στο κεντρικό καλούπι. Επειδή και η γεωμετρία του τιμονιού και αντίστοιχα του καλουπιού είναι σύνθετες, υπήρξε ένας προβληματισμός ως προς την θέση τοποθέτησης των κοχλιών πάνω στα καλούπια. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται επαρκής απόσταση ανάμεσα τους, προκειμένου να υπάρχει αρκετό υλικό να φέρει-αντέξει τις τάσεις που αναπτύσσονται. Κάτι ακόμα το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται παράλληλα υπόψη είναι ο στόχος οι θέσεις σύσφιξης των κοχλιών των δύο τεμαχίων μεταξύ τους, να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην κοιλότητα ώστε να υπάρχει το λιγότερο βέλος κάμψης (αντίστοιχα με το κεντρικό καλούπι). Φυσικά και σε αυτά τα καλούπια έχουν σχεδιαστεί τα απαραίτητα αυλάκια ρητίνης σε απόσταση 5 mm από την άκρη της κοιλότητας με διατομή φ5 mm. Επομένως αυτή η διαδικασία ήταν κάπως επίπονη καθώς απαιτούσε πάρα πολλές δοκιμές μέχρι να βρεθεί μια αρκετά ικανοποιητική λύση.

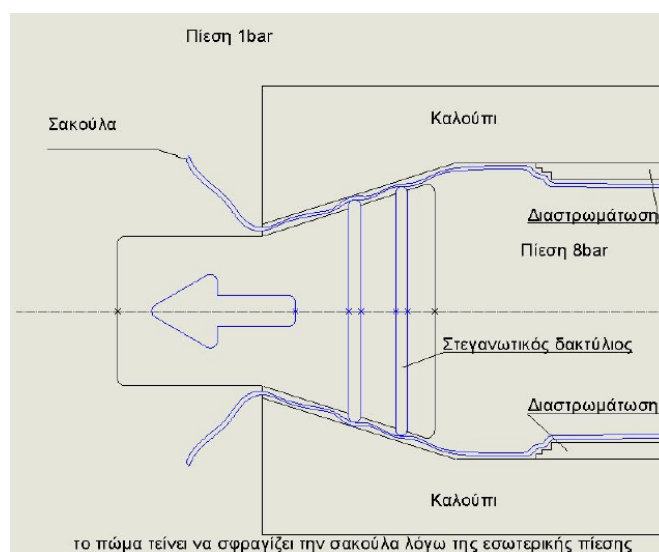


Εικόνα 133 Καλούπι drop και τα δύο τμήματα

Η πιο δυσμενής κατάσταση εμφανίζεται στην παραπάνω εικόνα όπου η απόσταση μεταξύ των δύο θέσεων είναι μόλις 14 mm (Εικόνα 133).

Παρόλα αυτά και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει επαρκές κενό ανάμεσα τους. Επίσης οι δυνάμεις κατά μέτρο δεν είναι ίσες, καθώς από την μία πλευρά υπάρχει μεγαλύτερη τάση καθώς είναι θέση κοχλία σύσφιξης του καλουπιού του drop και από την άλλη θέση στήριξης του καλουπιού του drop πάνω στο κεντρικό καλούπι.

Ακόμη, έχουν σχεδιαστεί οι κατάλληλες γεωμετρίες, με τις οποίες διευκολύνεται το κεντράρισμα των καλουπιών των drop πάνω στο κεντρικό καλούπι με στόχο την ταχύτερη σύνδεση των τμημάτων μεταξύ τους. Επιπλέον στο κάτω μέρος έχει σχεδιαστεί μία κοιλότητα η οποία αξιοποιείται για την εισαγωγή του κώνου του κυκλώματος πίεσης στο ένα drop και στο άλλο αντίστοιχα υπάρχει ένας τερματικός κώνος για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα. Η λογική σφραγίσματος της σακούλας φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



Εικόνα 134 Σχεδιάγραμμα μορφής της διαδικασίας συμπίεσης-απαρίθμηση εξαρτημάτων σε AutoCAD

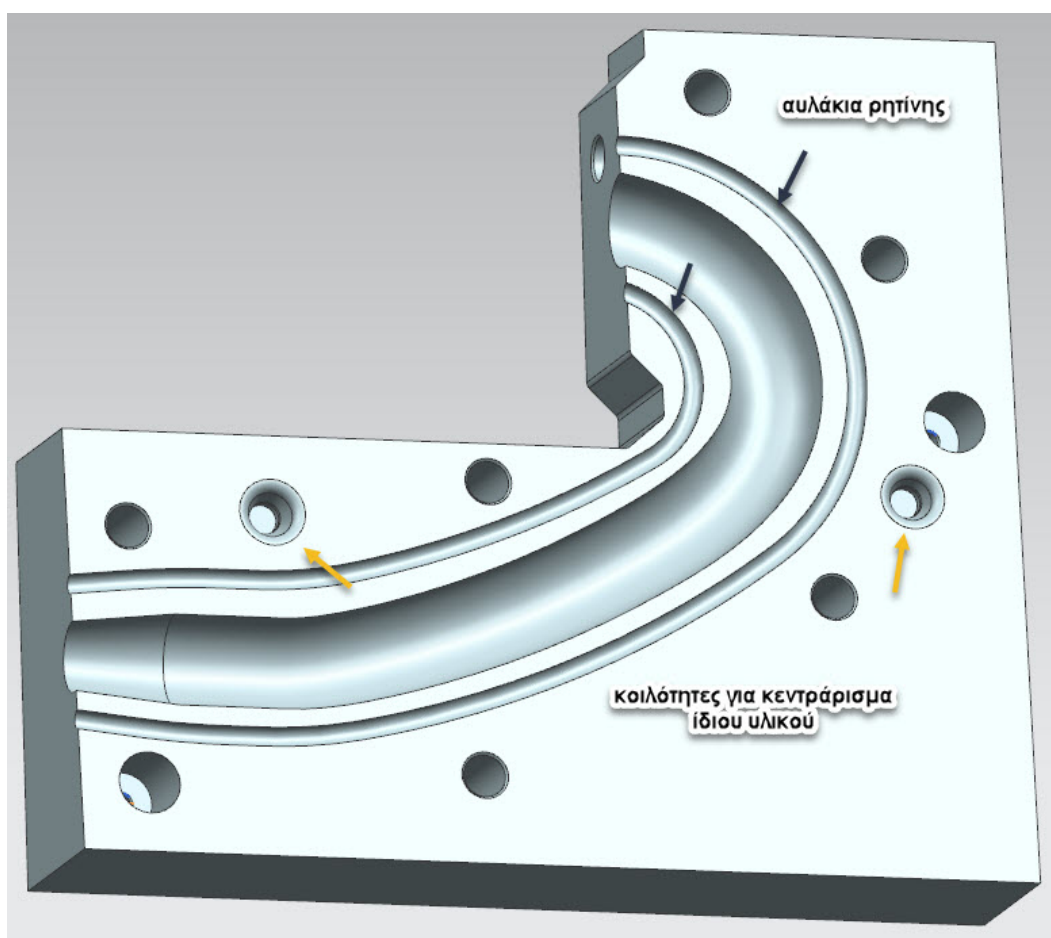
Η στεγάνωση της σακούλας γίνεται από τους στεγανωποιητικούς δακτυλίους σιλικόνης. Επιλέχθηκαν δακτύλιοι σιλικόνης για να αντέχουν στην θερμοκρασία. Αυτό αφορά τον τερματικό κώνο. Στον άλλο κώνο υπάρχει οπή και σπείρωμα για να βιδωθεί ο σύνδεσμος του κυκλώματος πίεσης ο οποίος έχει ακριβώς τις ίδιες αρχές λειτουργίας με του τερματικού στεγανοποιητικού κώνου . Αυτό παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 135).



Εικόνα 135 Κώνος με σπείρωμα για σύνδεση με αγωγό για παροχή πίεσης (ενδεικτική εικόνα)

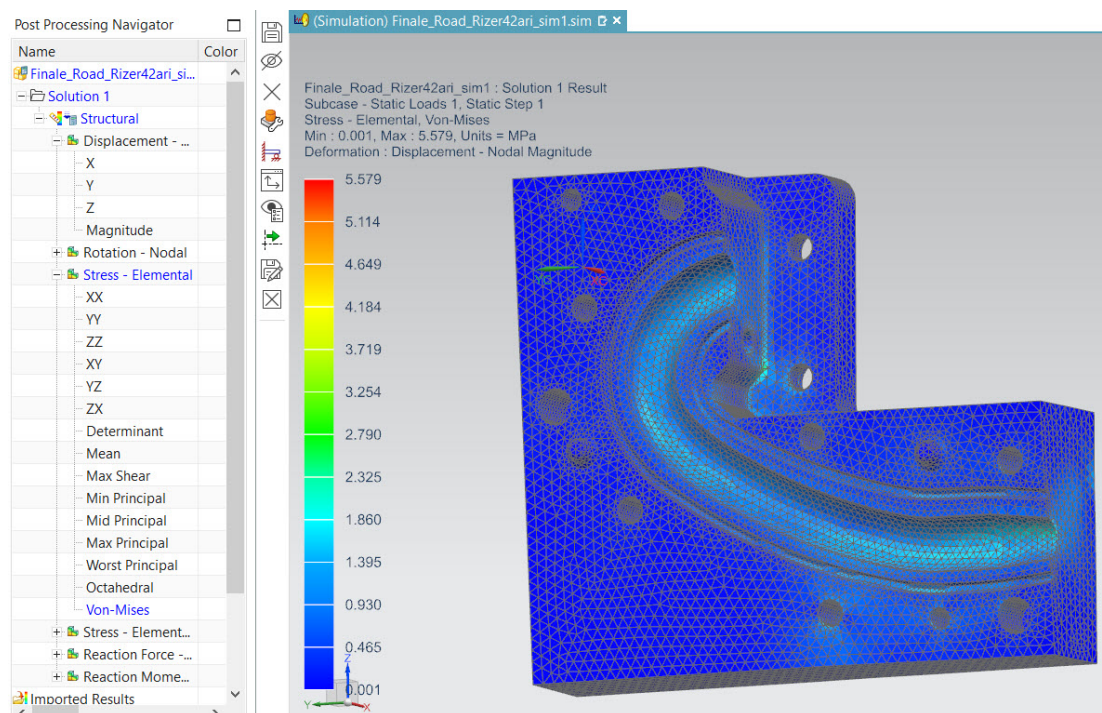
5.7 Ανάλυση καλουπιών drop με πεπερασμένα στοιχεία

Έτσι λοιπόν παρουσιάζεται και το δεύτερο τμήμα του καλουπιού του drop με όλες τις απαραίτητες κατασκευαστικές και γεωμετρικές πληροφορίες. Υπολογίζοντας τώρα την συνολική επιφάνεια της κοιλότητας προκύπτει ότι $A=9287+879= 10166 \text{ mm}^2$ για κάθε ένα από τα τμήματα του καλουπιού. Επομένως πολλαπλασιάζοντας την επί την μέγιστη πίεση των $8 \text{ bar} = 0.8\text{MPa}$ που ασκείται στην κοιλότητα προκύπτει μία δύναμη αποχωρισμού των δύο τμημάτων του καλουπιού ίση με $F= 8133\text{N}$. Η δύναμη αυτή φυσικά είναι η θεωρητική δύναμη που θα ασκούσαν στην επιφάνεια αν ήταν επίπεδη και όχι κοίλη. Παρόλα αυτά την χρησιμοποιούμε καθώς κάνει πιο δυσμενείς τις συνθήκες και μας επιτρέπει να έχουμε μεγαλύτερη βεβαιότητα για την κατασκευή μας και ακόμη πιο ασφαλή αποτελέσματα. Συγκρίνοντας αυτή τη δύναμη με την δύναμη αποχωρισμού του κεντρικού καλουπιού η οποία ήταν 26613 N , για την οποία χρησιμοποιήθηκαν 10 κοχλίες συγκράτησης, συμπεραίνουμε ότι την δύναμη αυτή θα μπορούσαν να την φέρουν θεωρητικά και 3 κοχλίες. Όμως τηρώντας και την αρχή-εμπειρική οδηγία ότι είναι επιθυμητό κάθε 100 mm να υπάρχει θέση κοχλίου, καθώς επίσης ότι ιδιαίτερα στα drop η διάμετρος που θέλουμε πρέπει να βρίσκεται σε πολύ στενά όρια, χρησιμοποιούμε τον διπλάσιο αριθμό κοχλιών έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα βέλη κάμψης που θα προκύψουν.



Εικόνα 136 Καλούπι drop εσωτερικού τμήματος

Επομένως πιο πολύ για λόγους πληρότητας και ταυτοχρόνως εξάσκησης και με το κομμάτι των πεπερασμένων στοιχείων του NX που χρησιμοποιούν solver από το NASTRAN, έγινε μία μοντελοποίηση του ενός τμήματος από τα δύο, του drop, προκειμένου να επιβεβαιωθούν και όσα ήταν σε θεωρητικό επίπεδο. Έτσι λοιπόν, θεωρώντας παρόμοιες αρχικές συνθήκες (αντίστοιχες) με αυτές του κεντρικού καλουπιού παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από το τρέξιμο της διαδικασίας.



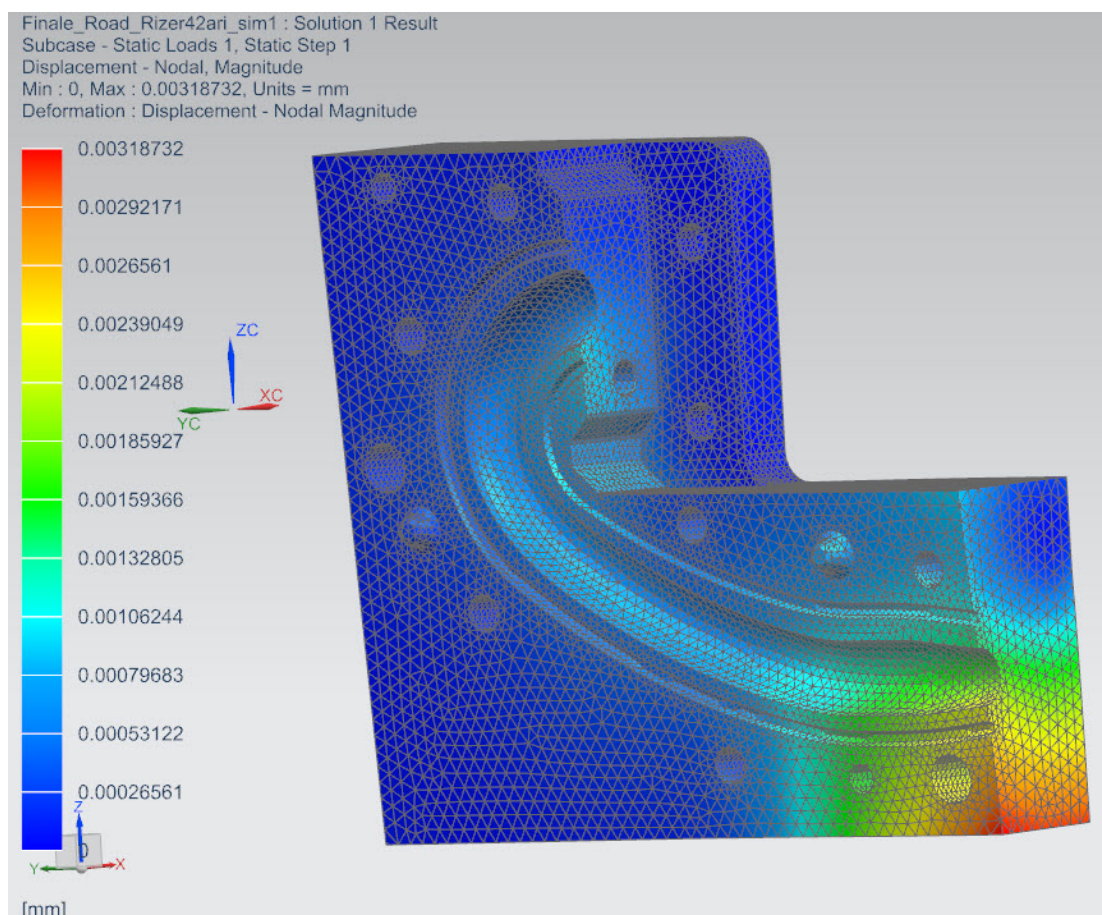
Εικόνα 137 Αναπτυσσόμενες τάσεις (MPa) στο καλούπι των drop

Όπως ήταν επόμενο οι τάσεις που αναπτύσσονται είναι γύρω στα **2,5 – 3 MPa** με μέγιστη εμφανιζόμενη τάση τα **5,5 MPa**, ακόμα μικρότερες από τις τάσεις που αναπτύσσονται στο κεντρικό καλούπι. Επομένως το κύριο ενδιαφέρον εστιάζεται στις μετατοπίσεις (Εικόνα 137).

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η μέση μετατόπιση είναι περίπου στα **1,3 μm** με μέγιστη τιμή τα **3,1 μm** (Εικόνα 138). Όμως η μέγιστη αυτή τιμή εμφανίζεται έξω από την περιοχή ενδιαφέροντος μας καθώς σε αυτό το σημείο δεν επηρεάζεται καθόλου η μετατόπιση της κοιλότητας η οποία και μας ενδιαφέρει. Θεωρώντας λοιπόν ότι και από το συμπληρωματικό τμήμα του καλουπιού θα λάβουμε παρόμοια αποτελέσματα, προκύπτει ότι το μέγιστο διάκενο που θα μπορεί να δημιουργηθεί είναι περίπου **3 μm**. Η τιμή αυτή είναι άκρως ικανοποιητική και μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή του διακένου του κεντρικού καλουπιού που είναι στα **7 μm**. Προφανώς λοιπόν η δύναμη αυτή των **8133 N** η οποία αντίστοιχα και με την περίπτωση του κεντρικού καλουπιού, αποτελεί την απαραίτητη δύναμη προέκτασης ώστε τα δύο τμήματα των καλουπιών να μην αποχωριστούν μεταξύ τους, θα ισομοιραστεί σε 6 κοχλίες που σημαίνει ότι κάθε ένας θα λάβει φορτίο **1356 N**.

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία για την εύρεση της απαραίτητης ροπής σύσφιξης, θεωρώντας τους ίδιους συντελεστές τριβής και άλλες λοιπές συνθήκες ίδιες προκύπτει μια $M_{ολ} = 5,6 \text{ Nm}$.

Φυσικά αυτά τα μεγέθη είναι ενδεικτικά καθώς δεν μπορούμε με ακρίβεια να διαπιστώσουμε αν οι συντελεστές τριβής είναι ακριβώς αυτοί καθώς, πάρθηκαν σύμφωνα με κάποιους πίνακες τυποποιημένων καταστάσεων και συνθηκών. Παρόλα αυτά είναι αρκετά χρήσιμα γιατί μας δείχνουν μία τάξη μεγέθους για το που περίπου θα κυμανθούν και οι πραγματικές τιμές κατά την συναρμολόγηση του καλούπιού.

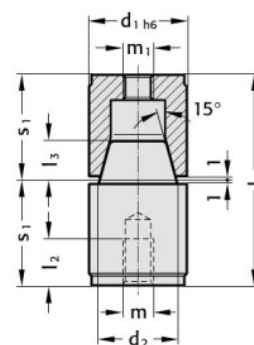
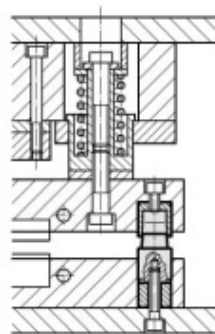


Εικόνα 138 Μετατοπίσεις (mm) στο καλούπι των drop

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω οι κοχλίες που θα χρησιμοποιηθούν είναι Allen A2 DIN912 M10 και αντοχής 8.8 . Προφανώς επειδή απαιτούνται για ειδική κατασκευή λόγω μεγάλου μήκους χρειάζονται ειδικό ψάξιμο. Τώρα σε ότι αφορά τους κεντραριστικούς πείρους εκεί τα πράγματα είναι ξεκάθαρα. Όπως προαναφέρθηκε επιλέχθηκαν να είναι κωνικοί και αυτό θα βοηθούσε στο να κλείσει εύκολα το καλούπι και δεν θα υπήρχε φόβος λόγω θερμικής διαστολής να σφηνώσει το αρσενικό με το θηλυκό μέρος (Εικόνα 139).



Mounting example 2442.12.



Εικόνα 139 Κεντραριστικοί πείροι, [A6]

2442.12. Centring unit

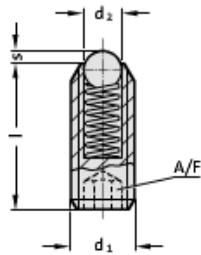
Order No	d_1	d_2	l_1	l_2	l_3	m	m_1	s_1
2442.12.012.034	12	8	34	6	4	4	4	17
2442.12.014.034	14	10	34	7.5	6	5	5	17
2442.12.016.034	16	10	34	7.5	6	5	5	17
2442.12.020.054	20	15	54	12	9	8	8	27
2442.12.025.054	25	20	54	12	10	8	8	27
2442.12.026.054	26	20	54	12	10	8	8	27
2442.12.030.072	30	25	72	15	14	10	10	36
2442.12.032.072	32	25	72	15	14	10	10	36
2442.12.042.092	42	35	92	15	18	10	10	46

Πίνακας 32 Διάφορες διαστάσεις κεντραριστικών πείρων για διάφορα μεγέθη, [A6]

Στην δική μας περίπτωση επιλέχθηκαν οι πείροι με κωδικό προϊόντος 2442.12.016.034. Οι δύο πρώτες ομάδες αριθμών συμβολίζουν την κατηγορία του προϊόντος, η τρίτη ομάδα την εξωτερική διάμετρο τους, ενώ η τελευταία το συνολικό μήκος που καταλαμβάνουν όταν είναι ενωμένοι (Πίνακας 32).

Οι εξολκείς που επιλέχθηκαν ήταν ουσιαστικά κοχλίες με μία σφαίρα στην κεφαλή τους η οποία συμπιέζει ένα ελατήριο (εσωτερικά του κοχλία) όταν οι εξολκείς χρησιμοποιούνται. Για την δική μας περίπτωση, προτιμήθηκαν οι 2471.03.006. Και εδώ η πρώτη ομάδα αριθμών προσδιορίζει την κατηγορία του προϊόντος, η δεύτερη μία κατασκευαστική αναλογία A/F και το μέγεθος του σπειρώματος.

2471.03.



2471.03. Spring plunger, with spring loaded ball, with hexagon socket, standard spring force

Order No	d ₁	d ₂	A/F	l	s	Spring force [N]	
						initial	final
2471.03.003	M3	1.5	1.5	8	0.4	3	4.5
2471.03.004	M4	2.5	2	12	0.8	8.5	14
2471.03.005	M5	3	2.5	14	0.9	8	14
2471.03.006	M6	3.5	3	15	1	11	18
2471.03.008	M8	4.5	4	18	1.5	18	31
2471.03.010	M10	6	5	23	2	24	45
2471.03.012	M12	8	6	26	2.5	26	49
2471.03.016	M16	10	8	33	3.5	41	86
2471.03.020	M20	12	10	43	4.5	56	111
2471.03.024	M24	15	12	48	5.5	81	151

Εικόνα 140 Εξολκείς σχέδιο και κατανομή μεγεθών, [A6]

Το πνευματικό κύκλωμα για το οποίο σχεδιάστηκε το καλούπι καταλήγει στο παρακάτω σύνδεσμο με τον σωλήνα που ακολουθεί (Εικόνα 141α και Εικόνα 141β).

FESTO

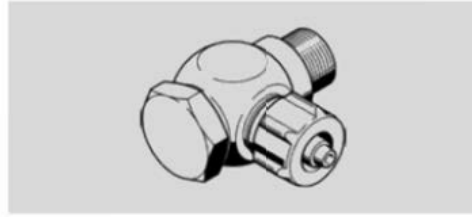
Function



Feature	values
Outside diameter	6 mm
Bending radius relevant for flow rate	50 mm
Inside diameter	4 mm
Min. bending radius	12 mm
Temperature dependent operating pressure	-0.95 ... 16 bar
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:-:-]
Fire class in accordance with UL 94	V0
Food-industry approval	FDA 2002/72/EG
Ambient temperature	-20 ... 150 °C
Authorisation	TÜV
Product weight according to length	0.034 kg/m
Colour	neutral
Shore hardness	D 60 +5
Materials note	Conforms to RoHS
Materials information for tubing	PFA

Εικόνα 141α. Αγωγός παροχής πίεσης

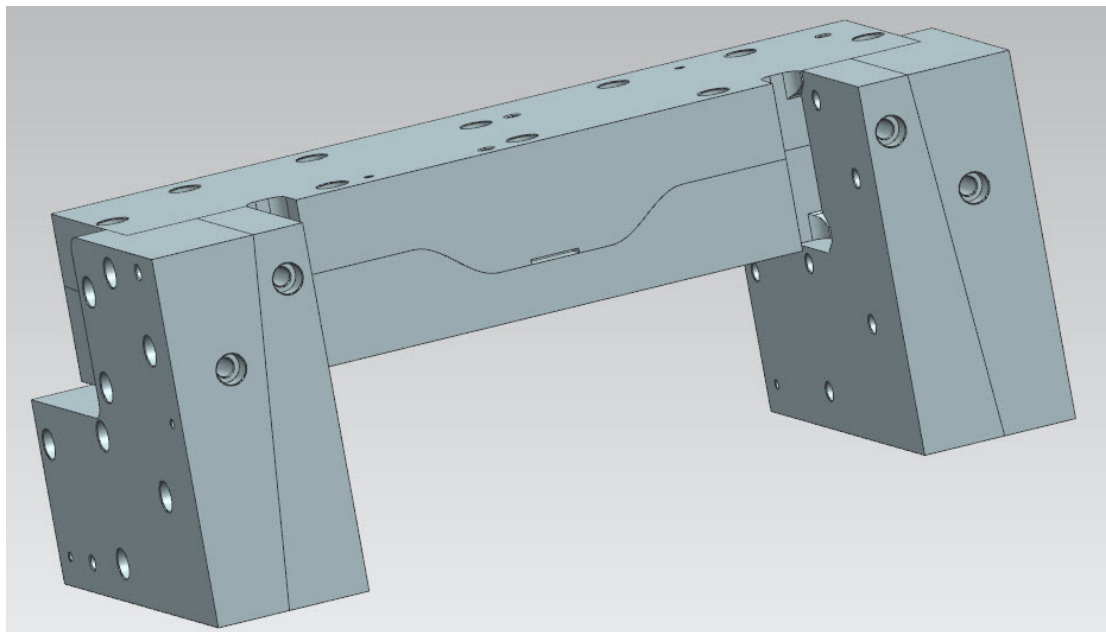
Function



Feature	values
Nominal size	2.9 mm
Type of seal on screw-in stud	Sealing ring
Assembly position	Any
Pneumatic connection	G1/8
Materials note	Free of copper and PTFE
Materials information, housing	Zinc die-casting

Εικόνα 141β Σύνδεσμος παροχής πίεσης

Συνεπώς τώρα μπορούμε να παρουσιάσουμε σε μία εικόνα το καλούπι ολοκληρωμένο με όλα του τα επιμέρους τμήματα και τις σχεδιαστικές πληροφορίες που απαιτούνται για την πλήρη λειτουργικότητα του καλουπιού (ακόμη και εσοχή για εισαγωγή ίσιου κατσαβιδιού για ευκολότερο ξεκαλούπωμα).



Εικόνα 142 Συνολικό καλούπι

Το καλούπι ζυγίζει $M = 2 \times 5,25 \text{ kg}$ (εξωτερικά τμήματα καλουπιού drop) + $2 \times 4,12 \text{ kg}$ (εσωτερικά τμήματα καλουπιών drop) + $8,36 \text{ kg}$ (άνω τμήμα κεντρικού καλουπιού) + $7,94 \text{ kg}$ (κάτω τμήμα κεντρικού καλουπιού) => **$M = 35 \text{ kg}$** . Παρατηρείται ότι η μάζα είναι αρκετά μεγάλη για να μπορέσει να εισαχθεί από ένα άτομο στο φούρνο ψησίματος οπότε η βοήθεια και ενός δεύτερου ατόμου κρίνεται απαραίτητη. Φυσικά θα μπορούσαν να σχεδιαστούν κάποια ελαφρώματα αλλά η μάζα δεν θα μπορούσε να μειωθεί πάνω από 10%. Επομένως και πάλι κρίνεται απαραίτητη η βοήθεια από 2^ο άτομο. Σε αυτό το σημείο η εργασία μας ολοκληρώθηκε.

Επίλογος

Συνοψίζοντας λοιπόν αυτή η εργασία περιελάμβανε αρκετούς τομείς με τους οποίους ασχοληθήκαμε και καταπιαστήκαμε. Στόχος της ήταν να υπάρξουν αρκετά αντικείμενα και πεδία τα οποία να δημιουργήσουν ανάγκη για αναζήτηση, προβληματισμό, σκέψη και εύρεση λύσεων. Επιπροσθέτως έγινε διεύρυνση των τεχνολογικών γνώσεών μας πάνω σε νέα αντικείμενα καθώς επίσης και καλύτερη κατανόηση κάποιων πεδίων που είχαν διδαχθεί μέσα στη σχολή κατά την διάρκεια των σπουδών.

Σε ότι αφορά τώρα την διαδικασία δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην συνεχόμενη βελτίωση των ικανοτήτων που αναπτύσσονταν και των δόκιμων αποτελεσμάτων που προέκυπταν με πολλές αναθεωρήσεις, καθώς η σχεδίαση και η μελέτη ενός προϊόντος αποτελεί ένα κύκλο. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά επίπονη και ολοκληρώνεται μετά από αρκετές επαναλήψεις έως ότου ικανοποιηθούν όλα τα κριτήρια που έχουν τεθεί.

Αυτά τα θέματα σχεδιασμού έχουν απεριόριστη αναζήτηση και ανάλυση, απαιτούν μεγάλη ποσότητα εργασίας για όλες τις εταιρίες προϋποθέτοντας χρόνο και γνώση. Στόχος λοιπόν ήταν να προσπαθήσουμε να αρχίσουμε να μπαίνουμε σε αυτή τη λογική και να εξελιχθούμε μέσα από αυτή.

Ένας απ' τους τομείς της εργασίας που θα μπορούσε να γίνει μεγαλύτερη εμβάθυνση μιας και ήταν και δικός μου στόχος, ήταν το σχεδιαστικό κομμάτι του προγράμματος NX. Το πρόγραμμα αυτό έχει πάρα πολλές δυνατότητες που για να εξερευνηθούν και εφαρμοσθούν απαιτούν πολύ χρόνο ,πειραματισμό, εκπαιδευτικό υλικό (δυσεύρετο) και καθοδήγηση. Για να μπορέσουν να γίνουν αντιληπτές και να εφαρμοστούν απαιτούνται διαφορετικά project πάνω στα οποία θα πρέπει να δουλέψει κάποιος.

Το ίδιο ισχύει και για το κομμάτι των πεπερασμένων στοιχείων όπου και εκεί υπάρχουν πάρα πολλές δυνατότητες και ακόμα περισσότερες σε ότι αφορά τα σύνθετα υλικά. Για παράδειγμα το κομμάτι των ταλαντώσεων και της κόπωσης ήταν κάτι το οποίο δεν μελετήθηκε σε μεγαλύτερο βάθος, καθώς επίσης και η ακριβής διαδικασία διαστρωμάτωσης, αλλά παρόλα αυτά η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε έδινε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ένα άλλο κομμάτι του προγράμματος που ασχολείται με την βελτιστοποίηση σχήματος αλλά και διαστρωμάτωσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ενισχυτικά. Αυτή η διαδικασία λοιπόν έγινε χειροκίνητα και με πολλές δοκιμές και όχι μέσω κάποιου κώδικα και παρόλα αυτά με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τέλος άλλο ένα κομμάτι που θα μπορούσε να μελετηθεί πιο βαθιά είναι αυτό του προγραμματισμού και της δημιουργίας G-Code μέσω του προγράμματος CAM που διαθέτει το ίδιο πρόγραμμα για την επεξεργασία του καλουπιού.

Σίγουρα λοιπόν οι βελτιώσεις σε τέτοια θέματα είναι πάρα πολλές και επιβεβλημένες. Παρόλα αυτά ο στόχος επιτεύχθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό έτσι ώστε σε ένα διάστημα 8 μηνών να υπάρξει ένα αξιοπρεπές, εύστοχο και ευπαρουσίαστο αποτέλεσμα, έχοντας πάντα ως οδηγό την συνεχή ενασχόληση και διερεύνηση με στόχο την βελτίωση των ικανοτήτων και τον εμπλουτισμό των γνώσεων μας στο άμεσο μέλλον.

Σας ευχαριστώ πολύ.

Παράρτημα Α

Στο παρόν τμήμα του παραρτήματος θα παραθέσουμε ενδιάμεσα βήματα προσέγγισης της επιθυμητής λύσης για τα μοντέλα STD,SL,STD-1 και SL-1. Τα STD-2 καθώς και το SL-2 έχουν προκύψει με την ίδια διαστρωμάτωση των STD-1 και SL-1 λαμβάνοντας υπόψιν την γεωμετρική μεταβολή του μοντέλου στην ένωση του κεντρικού τμήματος με το τμήμα της αεροτομής. Η αλλαγή αυτή δεν είναι μεγάλη για να αλλάξει δραματικά την εμφάνιση του τιμονιού (η οποία είναι βασική παράμετρος σχεδίασης για την επιτυχή εμπορική κατασκευή του τιμονιού), αλλά ικανή να μεταβάλει τις τάσεις στην συγκεκριμένη περιοχή, ακόμα και σε ποσοστό 25%, καθώς και την βύθιση. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν οι εντάσεις και οι παραμορφώσεις μόνο από την κατακόρυφη φόρτιση των 1000 N, η οποία είναι και δυσμενέστερη μιας και οι παρούσες δοκιμές δεν ικανοποιούν την λύση είτε από παραμόρφωση είτε από ένταση. Προφανώς δεν παρουσιάζονται όλες οι δοκιμές καθώς ήταν πάνω από 45 στο σύνολό τους και αυτό θα σήμαινε μεγάλο αριθμό εικόνων με παρόμοιες πληροφορίες, πράγμα που δεν προσφέρει πολλά παραπάνω στοιχεία.

Για το μοντέλο STD

Laminate Name					
Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :					
					9
Total Thickness :					
					1,980E+0 mm
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
8	8	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
6	6	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
4	4	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
2	2	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0

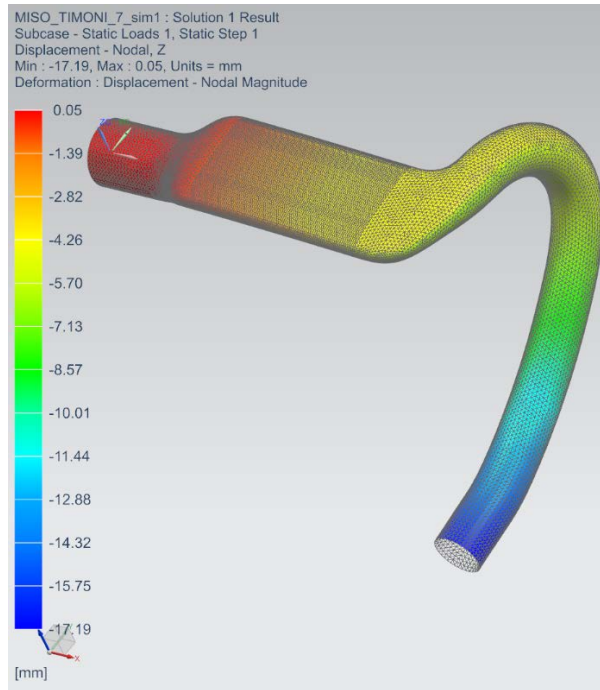
Πίνακας 33α Διαστρωμάτωση Laminate1 (drop)

Laminate Name	Laminate2				
Laminate Layup					
	Total Number of Plies :	12			
	Total Thickness :	2,640E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
12	12	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
11	11	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
10	10	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
8	8	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
6	6	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
4	4	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
2	2	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0

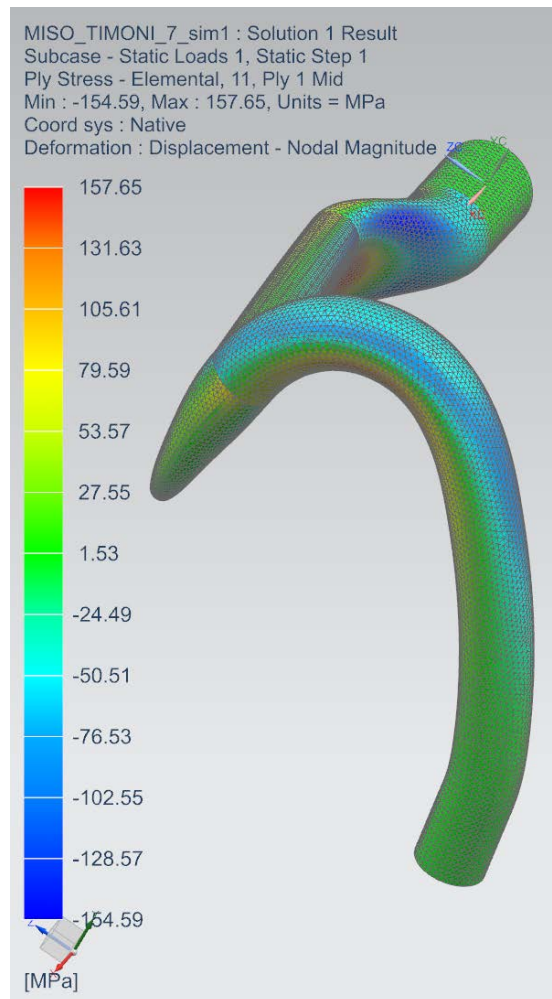
Πίνακας 33β Διαστρωμάτωση τμήματος αεροτομής .

Laminate Name	Laminate3				
Laminate Layup					
	Total Number of Plies :	15			
	Total Thickness :	3,300E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
15	15	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
14	14	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
13	13	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
12	12	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
11	11	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
10	10	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
8	8	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
7	7	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
6	6	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
4	4	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
3	3	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0
2	2	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 33γ Διαστρωμάτωση κεντρικού τμήματος τιμονιού



Εικόνα 143 Μετατοπίσεις στον άξονα Z του μοντέλου.



Εικόνα 144 Τάσεις στην στρώση 1 (ply1) S11.

	Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses						Maximum Shear(kPa)	
					Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)		
Min Stress 11	31352	15	Middle	Laminate3	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	
Max Stress 11	16244	9	Middle	Laminate2	-3,27E+05	-4,66E+04	0,00E+00	1,38E+04	-1,49E-11	-1,07E-12	1,41E+05	
Min Stress 22	29840	1	Middle	Laminate3	4,00E+04	3,97E+03	0,00E+00	-1,17E+03	1,22E+02	-5,78E+01	1,81E+04	
Max Stress 22	4963	1	Middle	Laminate1	-3,15E+04	-3,02E+05	0,00E+00	4,20E+02	-2,24E+03	-1,52E+03	1,35E+05	
Min Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	3,24E+04	3,37E+05	0,00E+00	-1,18E+04	3,27E+03	-3,53E+01	1,53E+05	
Max Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	2,12E+00	2,96E+02	0,00E+00	8,16E+01	6,15E+00	-5,40E+00	1,68E+02	
Min Stress 12	9848	8	Middle	Laminate1	2,12E+00	2,96E+02	0,00E+00	8,16E+01	6,15E+00	-5,40E+00	1,68E+02	
Max Stress 12	31183	14	Middle	Laminate3	2,98E+04	4,19E+04	0,00E+00	-1,66E+05	-1,02E+04	-2,93E+01	1,66E+05	
Min Stress 23	31183	7	Middle	Laminate3	-8,43E+04	-1,76E+05	0,00E+00	1,74E+05	-1,18E+04	-1,58E+03	1,80E+05	
Max Stress 23	29731	8	Middle	Laminate3	-1,64E+05	-7,18E+04	0,00E+00	1,96E+04	-4,94E+04	-6,59E+03	5,01E+04	
Min Stress 31	30867	7	Middle	Laminate3	3,59E+04	6,95E+04	0,00E+00	-9,02E+04	3,29E+04	7,00E+03	9,17E+04	
Max Stress 31	29069	8	Middle	Laminate3	-3,88E+04	-3,74E+04	0,00E+00	-1,64E+04	2,14E+04	-2,15E+04	1,65E+04	
Min Maximum Shear Stress	26157	1	Middle	Laminate3	3,40E+04	8,38E+04	0,00E+00	-5,07E+04	-1,07E+03	2,73E+04	5,65E+04	
Max Maximum Shear Stress	31126	15	Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
					-1,86E+05	3,42E+04	0,00E+00	1,56E+05	-1,41E-11	-3,91E-12	1,91E+05	

Πίνακας 34 Ακραίες κυρίες τάσεις σε στρώσεις και Laminates και αντίστοιχα στοιχεία που εμφανίζονται.

Στο παρόν μοντέλο δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε συνολική μετατόπιση.

Για το μοντέλο SL.

Laminate Name Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of Plies : 9					
Total Thickness : 1,800E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
9	9	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
6	6	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

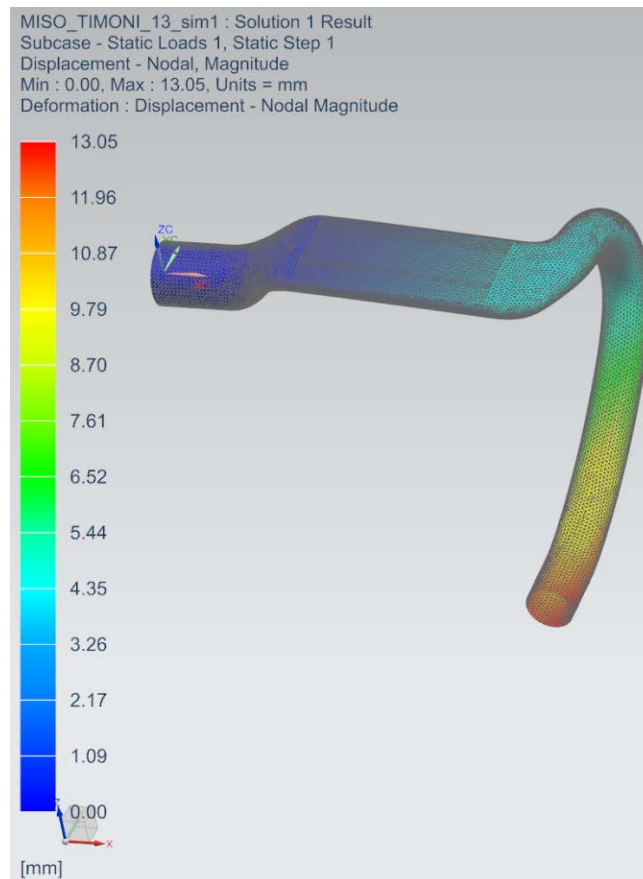
Πίνακας 35α Διαστρωμάτωση χειρολαβής (drop)

Laminate Name Laminate2					
Laminate Layup					
Total Number of Plies : 10					
Total Thickness : 1,960E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
10	10	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
9	9	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
8	8	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
6	6	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
5	5	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 35β Διαστρωμάτωση αεροτομής

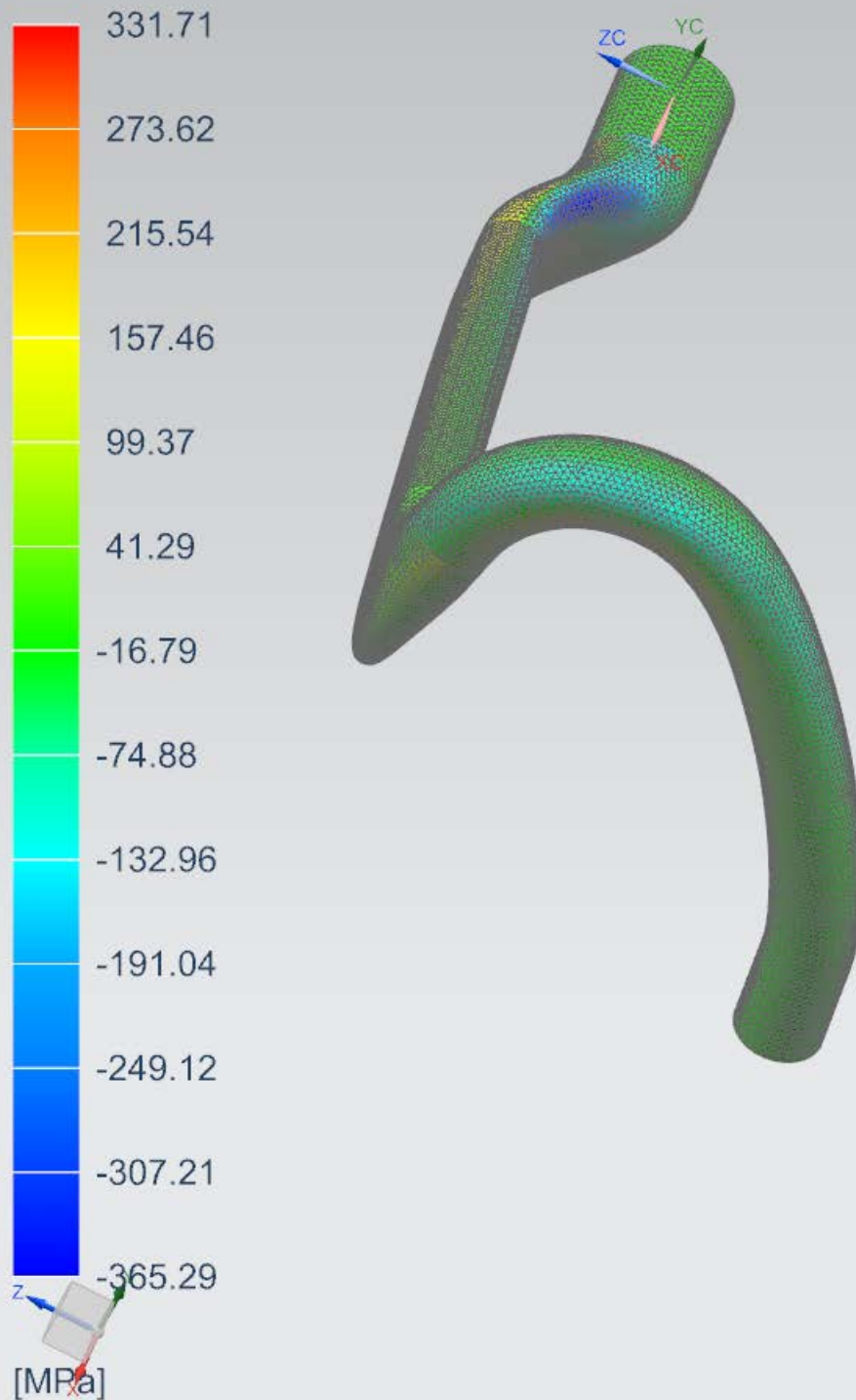
Laminate Name Laminate3					
Laminate Layup					
Total Number of Plies : 11					
Total Thickness : 2,120E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
11	11	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
10	10	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
9	9	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
6	6	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
5	5	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 35γ Διαστρωμάτωση κεντρικού τμήματος τιμονιού



Εικόνα 145 Μετατοπίσεις μοντέλου με κατακόρυφη φόρτιση 1000N

MISO_TIMONI_13_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Ply Stress - Elemental, 11, Ply 1 Mid
Min : -365.29, Max : 331.71, Units = MPa
Coord sys : Native
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Εικόνα 146 Τάσεις στην στρώση 1 (ply1) S11

Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses							Maximum Shear (kPa)
				Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)		
				mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Min Stress 11	31242	10 Middle	Laminate3	-7,28E+05	-1,21E+04	0,00E+00	6,14E+03	-2,40E+04	-2,33E+03	3,58E+05	
Max Stress 11	29757	10 Middle	Laminate3	4,73E+05	1,20E+04	0,00E+00	-6,01E+03	1,96E+04	4,97E+03	2,31E+05	
Min Stress 22	30518	1 Middle	Laminate3	-1,24E+05	-8,06E+05	0,00E+00	-7,21E+04	-7,84E+03	-1,87E+02	3,48E+05	
Max Stress 22	9971	1 Middle	Laminate1	5,11E+04	5,48E+05	0,00E+00	-9,19E+03	-4,07E+03	2,44E+02	2,48E+05	
Min Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	-1,00E+01	5,99E+02	0,00E+00	7,47E+01	1,02E+01	-6,20E+00	3,14E+02	
Max Stress 33	1	1 Middle	Laminate1	-1,00E+01	5,99E+02	0,00E+00	7,47E+01	1,02E+01	-6,20E+00	3,14E+02	
Min Stress 12	29834	3 Middle	Laminate3	-3,31E+05	-1,26E+05	0,00E+00	-1,80E+05	1,36E+04	1,35E+03	2,07E+05	
Max Stress 12	30501	11 Middle	Laminate3	6,43E+04	-2,86E+05	0,00E+00	1,90E+05	1,26E-11	1,28E-11	2,59E+05	
Min Stress 23	31183	5 Middle	Laminate3	-3,44E+05	-1,40E+05	0,00E+00	3,78E+04	-6,03E+04	-8,88E+03	1,09E+05	
Max Stress 23	29739	5 Middle	Laminate3	2,05E+05	-1,54E+05	0,00E+00	-8,56E+04	4,25E+04	1,80E+04	1,99E+05	
Min Stress 31	30572	5 Middle	Laminate3	-8,75E+04	-1,32E+05	0,00E+00	-3,74E+04	2,92E+04	-2,69E+04	4,35E+04	
Max Stress 31	28618	5 Middle	Laminate3	2,07E+05	4,89E+04	0,00E+00	-1,75E+04	-3,78E+02	4,19E+04	8,12E+04	
Min Maximum Shear Stress	26157	1 Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Max Maximum Shear Stress	29834	1 Middle	Laminate3	1,31E+03	-7,49E+05	0,00E+00	-8,63E+04	8,98E+03	6,10E+02	3,85E+05	

Πίνακας 36 Πίνακας Ακραίες κυρίες τάσεις σε στρώσεις και Laminates και αντίστοιχα στοιχεία που εμφανίζονται

Στο παρόν μοντέλο δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε συνολική μετατόπιση .

Για το μοντέλο STD-1 .

Laminate Name Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		11			
Total Thickness :		2,000E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
11	11	T700_UD_new	Orthotropic	0,22	0
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
7	7	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
3	3	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45

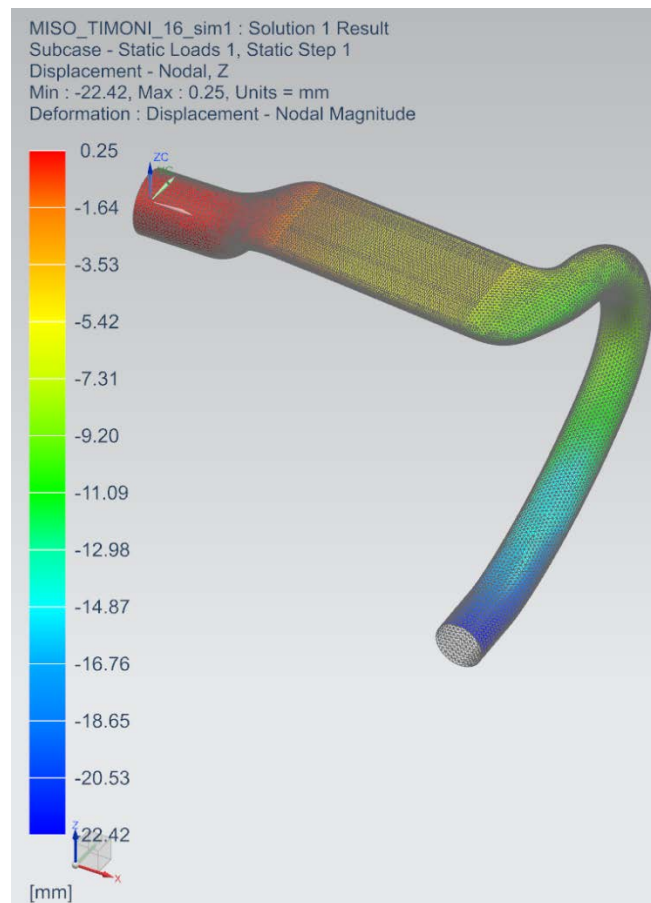
Πίνακας 37α Διαστρωμάτωση χειρολαβής (drop)

Laminate Name Laminate2					
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		10			
Total Thickness :		1,960E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation
				mm	deg
10	10	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
9	9	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
8	8	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
7	7	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
6	6	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
5	5	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
3	3	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	45
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
1	1	M40J_Woven	Orthotropic	0,22	0

Πίνακας 37β Διαστρωμάτωση αεροτομής

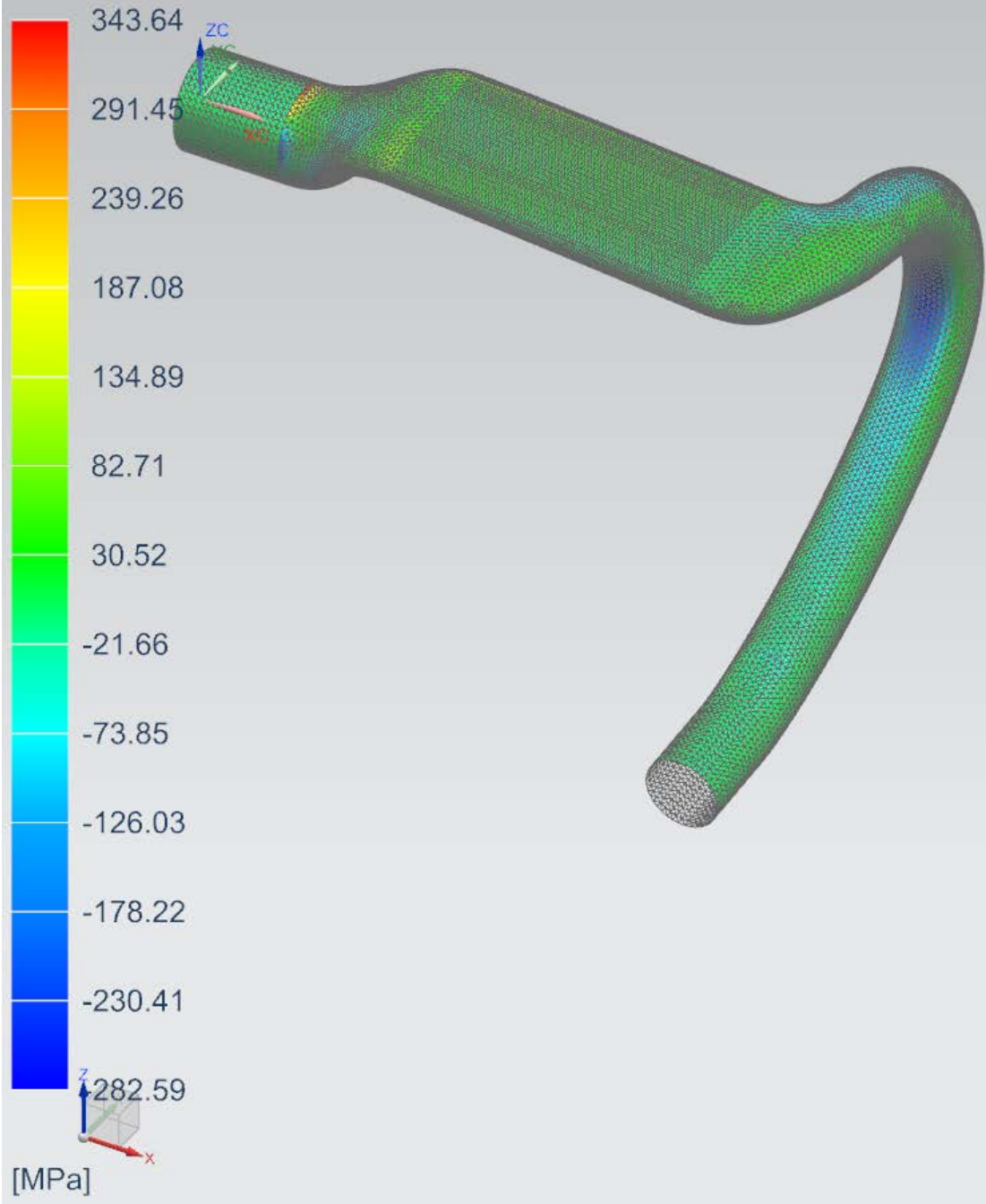
Laminate Name		Laminate3			
Laminate Layup					
Total Number of Plies :		11			
Total Thickness :		1,940E+0 mm			
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
11	11	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
10	10	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
9	9	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
8	8	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
7	7	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
6	6	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
5	5	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45
4	4	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	90
3	3	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
2	2	T700_UD_new	Orthotropic	0,16	0
1	1	T300_woven-C200T	Orthotropic	0,22	45

Πίνακας 37γ Διαστρωμάτωση κεντρικού τμήματος τιμονιού



Εικόνα 147 Μετατοπίσεις μοντέλου με κατακόρυφη φόρτιση 1000N

MISO_TIMONI_16_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Ply Stress - Elemental, XX, Ply 1 Mid
Min : -282.59, Max : 343.64, Units = MPa
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Εικόνα 148 :Τάσεις στην στρώση 1 (ply1) S11

	Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses						Maximum Shear (kPa)
					Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	
Min Stress 11	31352	11	Middle	Laminate3	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²	mN/mm ²
Max Stress 11	8638	1	Middle	Laminate1	-1,28E+06	-7,95E+04	0,00E+00	-2,50E+03	4,23E-12	2,96E-12	6,01E+05
Min Stress 22	22533	1	Middle	Laminate2	4,00E+04	1,69E+05	0,00E+00	4,32E+04	-1,26E+04	5,00E+02	7,79E+04
Max Stress 22	31587	1	Middle	Laminate3	-1,54E+05	-4,88E+05	0,00E+00	-2,21E+05	-1,91E+04	3,25E+02	2,77E+05
Min Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	3,11E+04	3,25E+05	0,00E+00	8,82E+04	4,37E+03	6,30E+03	1,71E+05
Max Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	5,80E+02	3,99E+02	0,00E+00	5,46E+02	1,57E+01	-3,50E+00	5,54E+02
Min Stress 12	29837	1	Middle	Laminate3	5,80E+02	3,99E+02	0,00E+00	5,46E+02	1,57E+01	-3,50E+00	5,54E+02
Max Stress 12	22532	9	Middle	Laminate2	-4,49E+05	-3,03E+05	0,00E+00	-3,75E+05	-2,90E+03	-4,20E+03	3,82E+05
Min Stress 23	31183	5	Middle	Laminate3	-3,70E+04	-8,46E+04	0,00E+00	2,33E+05	-6,12E+03	1,37E+04	2,34E+05
Max Stress 23	29739	5	Middle	Laminate3	-9,81E+04	-2,72E+05	0,00E+00	6,38E+04	-7,38E+04	-5,40E+03	1,08E+05
Min Stress 31	27962	6	Middle	Laminate3	-1,15E+05	1,75E+05	0,00E+00	-1,30E+05	5,32E+04	1,87E+04	1,94E+05
Max Stress 31	29069	5	Middle	Laminate3	-1,52E+05	-3,65E+03	0,00E+00	-1,20E+04	1,08E+03	-4,67E+04	7,53E+04
Min Maximum Shear Stress	26157	1	Middle	Laminate3	3,55E+04	1,84E+05	0,00E+00	-9,37E+04	-8,44E+02	6,86E+04	1,20E+05
Max Maximum Shear Stress	31352	11	Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
					-1,28E+06	-7,95E+04	0,00E+00	-2,50E+03	4,23E-12	2,96E-12	6,01E+05

Πίνακας 38 Ακραίες κυρίες τάσεις σε στρώσεις και Laminates και αντίστοιχα στοιχεία που εμφανίζονται

Στο παρόν μοντέλο δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε συνολική μετατόπιση .

Για το μοντέλο SL-1 .

Laminate Name Laminate1					
Laminate Layup					
Total Number of P 11					
Total Thickness : 1,760E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
11	11	HR40_UD	Orthotropic	0,16	-45
10	10	HR40_UD	Orthotropic	0,16	45
9	9	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	90
7	7	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
6	6	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	90
3	3	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	-45
1	1	HR40_UD	Orthotropic	0,16	45

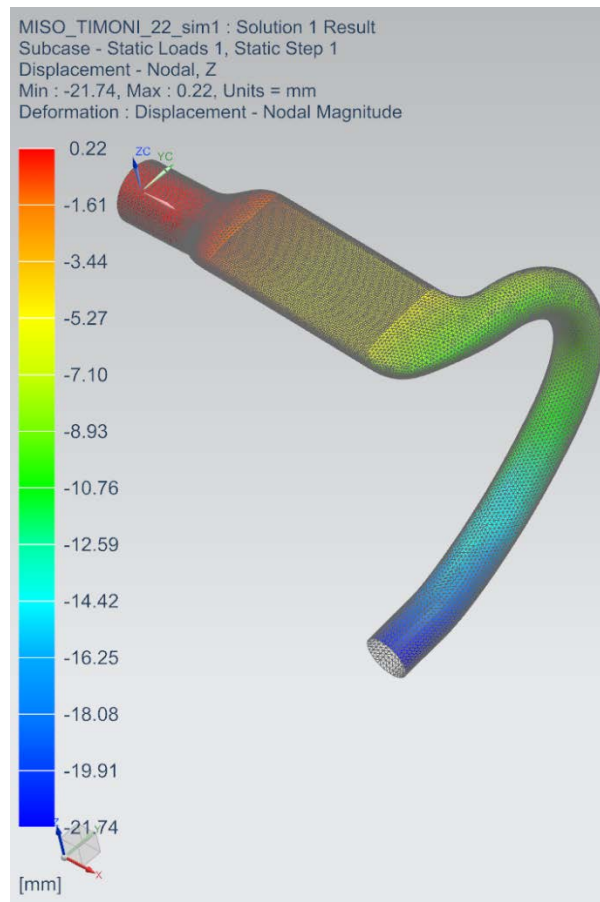
Πίνακας 39α Διαστρωμάτωση χειρολαβής (drop)

Laminate Name Laminate2					
Laminate Layup					
Total Number of P 11					
Total Thickness : 1,760E+0 mm					
Ply Descriptions					
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness mm	Orientation deg
11	11	HR40_UD	Orthotropic	0,16	-45
10	10	HR40_UD	Orthotropic	0,16	45
9	9	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	90
7	7	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
6	6	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	90
3	3	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	-45
1	1	HR40_UD	Orthotropic	0,16	45

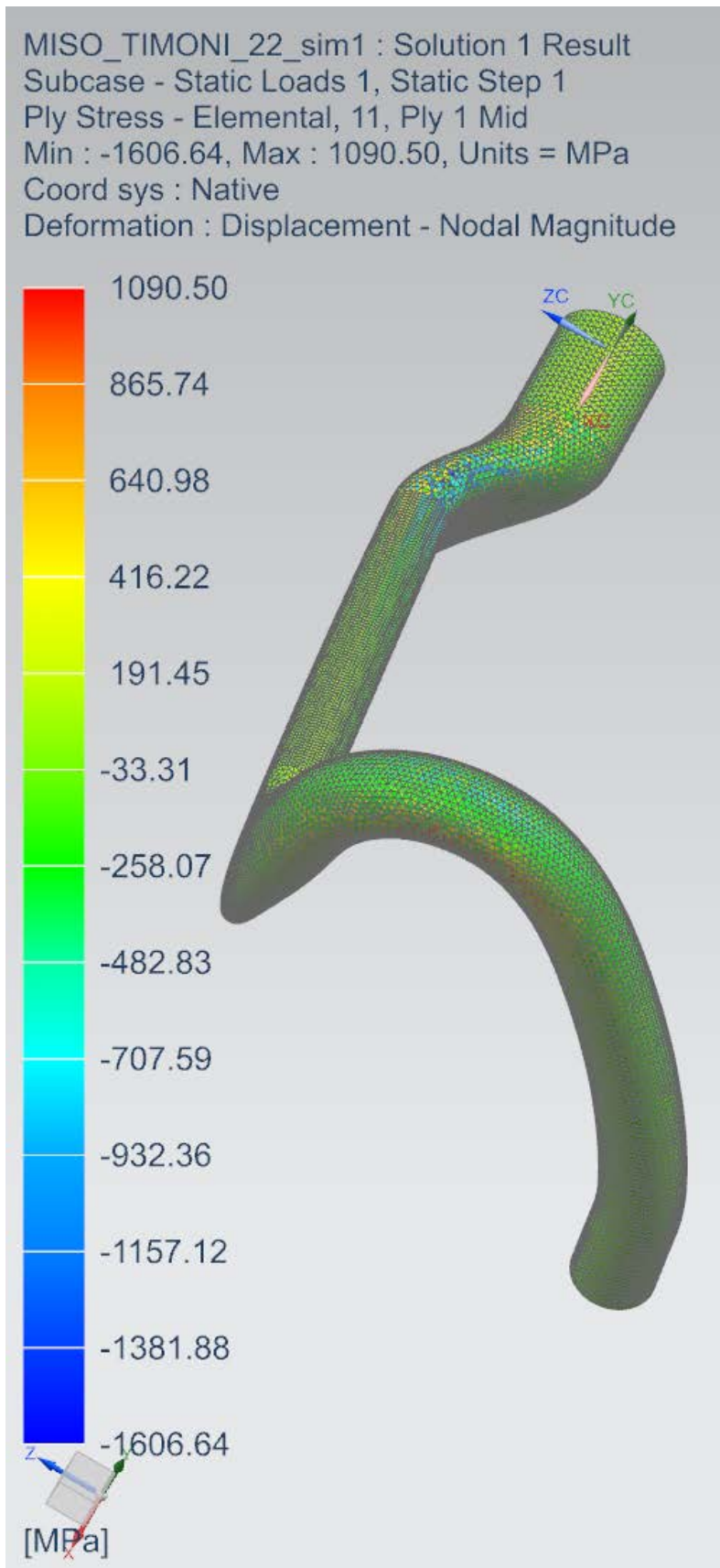
Πίνακας 39β Διαστρωμάτωση αεροτομής

Laminate Nam						
Laminate2						
Laminate Layup						
Total Number of F 11						
Total Thickness : 1,760E+0 mm						
Ply Descriptions						
Layer	Ply Id	Mat. Name	Mat. Type	Thickness	Orientation	
				mm	deg	
11	11	HR40_UD	Orthotropic	0,16	-45	
10	10	HR40_UD	Orthotropic	0,16	45	
9	9	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0	
8	8	HR40_UD	Orthotropic	0,16	90	
7	7	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0	
6	6	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0	
5	5	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0	
4	4	HR40_UD	Orthotropic	0,16	90	
3	3	HR40_UD	Orthotropic	0,16	0	
2	2	HR40_UD	Orthotropic	0,16	-45	
1	1	HR40_UD	Orthotropic	0,16	45	

Πίνακας 39γ Διαστρωμάτωση κεντρικού τμήματος τιμονιού



Εικόνα 149 Μετατοπίσεις μοντέλου με κατακόρυφη φόρτιση 1000N



Εικόνα 150 Τάσεις στην στρώση 1 (ply1) S11

	Element Id	Ply Id	Computation Location	Laminate Name	Stresses						Maximum Shear(kPa)
					Stress11 (kPa)	Stress22 (kPa)	Stress33 (kPa)	Stress12 (kPa)	Stress23 (kPa)	Stress31 (kPa)	
Min Stress 11	29418	12	Middle	Laminate3	-1,78E+06	-1,89E+04	0,00E+00	1,68E+04	3,95E-11	-6,61E-11	8,81E+05
Max Stress 11	6463	3	Middle	Laminate1	4,00E+04	-6,15E+02	0,00E+00	-3,00E+03	2,04E+02	1,11E+02	2,05E+04
Min Stress 22	28674	1	Middle	Laminate3	-5,31E+05	-7,67E+04	0,00E+00	-3,42E+04	-6,67E+03	2,41E+03	2,30E+05
Max Stress 22	27905	11	Middle	Laminate3	-1,73E+03	5,30E+04	0,00E+00	-3,08E+03	1,11E+04	7,41E+03	2,75E+04
Min Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	-6,45E+01	3,14E+01	0,00E+00	-2,91E+01	3,83E+00	3,92E+00	5,61E+01
Max Stress 33	1	1	Middle	Laminate1	-6,45E+01	3,14E+01	0,00E+00	-2,91E+01	3,83E+00	3,92E+00	5,61E+01
Min Stress 12	28006	1	Middle	Laminate3	-6,00E+05	-5,26E+04	0,00E+00	-6,01E+04	6,18E+03	-6,87E+02	2,80E+05
Max Stress 12	29290	10	Middle	Laminate3	-3,55E+05	-3,44E+04	0,00E+00	5,63E+04	-2,41E+04	-1,72E+04	1,70E+05
Min Stress 23	28672	6	Middle	Laminate3	-8,30E+05	-1,28E+04	0,00E+00	-7,22E+03	-7,26E+04	1,67E+04	4,09E+05
Max Stress 23	28662	6	Middle	Laminate3	-7,48E+05	-1,93E+04	0,00E+00	1,72E+03	6,25E+04	-1,80E+04	3,64E+05
Min Stress 31	28668	6	Middle	Laminate3	2,96E+03	-4,57E+04	0,00E+00	-8,56E+03	6,49E+03	-7,30E+04	2,58E+04
Max Stress 31	29284	6	Middle	Laminate3	-1,42E+05	-3,72E+04	0,00E+00	-8,71E+03	-1,75E+04	7,49E+04	5,33E+04
Min Maximum Shear Stress	29943	1	Middle	Laminate3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Max Maximum Shear Stress	29353	12	Middle	Laminate3	-1,77E+06	-6,61E+03	0,00E+00	1,90E+04	-4,67E-11	7,18E-11	8,83E+05

Πίνακας 40 Πίνακας Ακραίες κυρίες τάσεις σε στρώσεις και Laminates και αντίστοιχα στοιχεία που εμφανίζονται

Στο παρόν μοντέλο δεν ικανοποιούνται τόσο οι απαιτήσεις σε συνολική μετατόπιση αλλά και οι αναπτυσσόμενες τάσεις.

Παράρτημα Β

Ιδιότητες ινών από την Torayca [B1]

TECHNICAL
DATA SHEET
No. CFA-001

TORAYCA® T300 DATA SHEET

Baseline carbon fiber used in aerospace applications. Has 30 year production history and is known for its balanced composite properties, high quality, consistency, reliability and supplyability.

F I B E R P R O P E R T I E S

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		512 ksi	3,530 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		33.4 Msi	230 GPa	TY-030B-01
Strain		1.5 %	1.5 %	TY-030B-01
Density		0.064 lbs/in ³	1.76 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.8E-04 in.	7 μm	
Yield	1K	22,568 ft/lbs	66 g/1000m	TY-030B-03
	3K	7,523 ft/lbs	198 g/1000m	TY-030B-03
	6K	3,761 ft/lbs	396 g/1000m	TY-030B-03
	12K	1,862 ft/lbs	800 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type	40A, 40B		1.0 %	TY-030B-05
& Amount	40D		0.7 %	TY-030B-05
	50A, 50B		1.0 %	TY-030B-05
	Twist	Twisted, Untwisted, or Never twisted		

F U N C T I O N A L P R O P E R T I E S

CTE	-0.41 α·10 ⁻⁶ /°C
Specific Heat	0.19 Cal/g·°C
Thermal Conductivity	0.025 Cal/cm·s·°C
Electric Resistivity	1.7 x 10 ⁻³ Ω·cm
Chemical Composition: Carbon	93 %
Na + K	<50 ppm

C O M P O S I T E P R O P E R T I E S *

Tensile Strength	270 ksi	1,860 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	20.0 Msi	135 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.3 %	1.3 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	215 ksi	1,470 MPa	ASTM D-695
Flexural Strength	260 ksi	1,810 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus	18.0 Msi	125 GPa	ASTM D-790
ILSS	14 ksi	10 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	11.0 ksi	76 MPa	ASTM D-3039

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

T O R A Y C A R B O N F I B E R S A M E R I C A , I N C .

TORAYCA® T700S DATA SHEET

Highest strength, standard modulus fiber available with excellent processing characteristics for filament winding and prepreg. This never twisted fiber is used in high tensile applications like pressure vessels, recreational, and industrial.

FIBER PROPERTIES

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		711 ksi	4,900 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		33.4 Msi	230 GPa	TY-030B-01
Strain		2.1 %	2.1 %	TY-030B-01
Density		0.065 lbs/in ³	1.80 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.8E-04 in.	7 μm	
Yield	6K	3,724 ft/lbs	400 g/1000m	TY-030B-03
	12K	1,862 ft/lbs	800 g/1000m	TY-030B-03
	24K	903 ft/lbs	1,650 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type	50C		1.0 %	TY-030B-05
& Amount	60E		0.3 %	TY-030B-05
	F0E		0.7 %	TY-030B-05
	Twist	Never twisted		

FUNCTIONAL PROPERTIES

CTE	-0.38 $\alpha \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Specific Heat	0.18 Cal/g $\cdot^{\circ}\text{C}$
Thermal Conductivity	0.0224 Cal/cm $\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$
Electric Resistivity	$1.6 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$
Chemical Composition: Carbon	93 %
Na + K	<50 ppm

COMPOSITE PROPERTIES *

Tensile Strength	370 ksi	2,550 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	20.0 Msi	135 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.7 %	1.7 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	215 ksi	1,470 MPa	ASTM D-695
Flexural Strength	245 ksi	1,670 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus	17.5 Msi	120 GPa	ASTM D-790
ILSS	13 ksi	9 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	10.0 ksi	69 MPa	ASTM D-3039

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

TORAY CARBON FIBERS AMERICA, INC.

TORAYCA® M46J 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.

F I B E R P R O P E R T I E S

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		611 ksi	4,210 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		63.3 Msi	436 GPa	TY-030B-01
Strain		1.0 %	1.0 %	TY-030B-01
Density		0.066 lbs/in ³	1.84 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.0E-04 in.	5 μm	
Yield	6K	6,679 ft/lbs	223 g/1000m	TY-030B-03
	12K	3,347 ft/lbs	445 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type & Amount	50A, 50B		1.0 %	TY-030B-05
	Twist	Twisted, Untwisted		

F U N C T I O N A L P R O P E R T I E S

CTE	-0.9 $\alpha \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Specific Heat	0.17 Cal/g $\cdot^{\circ}\text{C}$
Thermal Conductivity	0.202 Cal/cm $\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$
Electric Resistivity	$0.9 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$
Chemical Composition: Carbon	>99 %
Na + K	<50 ppm

C O M P O S I T E P R O P E R T I E S *

Tensile Strength	320 ksi	2,210 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	38.5 Msi	265 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	0.8 %	0.8 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	155 ksi	1,080 MPa	ASTM D-695
Flexural Strength	210 ksi	1,420 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus	32.0 Msi	220 GPa	ASTM D-790
ILSS	11.5 ksi	8 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	7.0 ksi	47 MPa	ASTM D-3039

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

T O R A Y C A R B O N F I B E R S A M E R I C A , I N C .

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.

F I B E R P R O P E R T I E S

	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	

F U N C T I O N A L P R O P E R T I E S

CTE	-0.83 $\mu\text{-}10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Specific Heat	0.17 Cal/g $^{\circ}\text{C}$
Thermal Conductivity	0.164 Cal/cm \cdot s $^{\circ}\text{C}$
Electric Resistivity	$1.0 \times 10^{13} \Omega\cdot\text{cm}$
Chemical Composition: Carbon	>99 %
Na + K	<50 ppm

C O M P O S I T E P R O P E R T I E S *

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.

T O R A Y C A R B O N F I B E R S A M E R I C A , I N C .

Ιδιότητες για το HR40 [B2], [B4]

PYROFIL™

	Type	Number of Filaments	Filament Diameter	Yield	Tensile Strength			Tensile Modulus			Elongation	Density
			μ m		mg/m	kg/mm ²	Mpa	Ksi	ton/mm ²	GPa		
HT Series	TR 30S 3L	3,000	7	200	420	4,120	600	24.0	234	34	1.8	1.79
	TR 50S 6L	6,000	7	400	500	4,900	710	24.5	240	35	2.0	1.82
	TR 50S12L	12,000	7	800								
	TR 50S15L	15,000	7	1,000								
	TR 50D12L	12,000	7	800	510	5,000	720	24.5	240	35	2.1	1.82
	TRH50 18M	18,000	6	1000	540	5,300	770	25.5	250	36	2.1	1.82
	TRH50 60M	60,000	6	3,200	490	4,830	700	25.5	250	36	1.9	1.81
	TRW40 50L	50,000	8	3,750	420	4,120	600	24.5	240	35	1.7	1.80
IM Series	MR 60H 24P	24,000	5	960	580	5,680	820	29.5	290	42	1.9	1.81
HM Series	MS 40 12M	12,000	6	600	450	4,410	640	35.0	345	50	1.3	1.77
	HR 40 12M	12,000	6	600	450	4,410	640	40.0	395	57	1.1	1.82
	HS 40 12P	12,000	5	430	470	4,610	670	46.0	455	65	1.0	1.85

GRAFIL™

	Type	Number of Filaments	Filament Diameter	Yield	Tensile Strength			Tensile Modulus			Elongation	Density
			μ m		mg/m	kg/mm ²	Mpa	Ksi	ton/mm ²	GPa		
HT Series	34-700	12,000	7	800	490	4,830	700	24.0	234	34	2.0	1.80
		24,000	7	1,600								
	37-800	30,000	6	1,675	560	5,520	800	26.0	255	37	2.1	1.81



PYROFIL™ HR40

Typical Fiber Properties

Tow Tensile	Strength	670 4610	ksi MPa	JISR 7601
	Modulus	57 390	msi GPa	
Typical Density		0.066 1.82	lb.in. ³ g/cm ³	JISR 7601
Typical Yield	12K	825 600	yds/lb mg/m	JISR 7601

Typical Mechanical Properties

Tensile Properties	0°	Strength	423 2920	ksi MPa	ASTM D3039 / 0°8ply
		Modulus	33.1 228	msi GPa	ASTM D3039 / 0°8ply
	90°	Strength	8.7 60	ksi MPa	ASTM D3039 / 0°16ply
		Modulus	1.04 7.2	msi GPa	ASTM D3039 / 0°16ply
Compressive Properties	0°	Strength	194 1340	ksi MPa	ASTM D3039 / 0°16ply
		Modulus	28.5 197	msi GPa	ASTM D3039 / 0°16ply
	90°	Strength	24.5 169	ksi MPa	ASTM D3410 / 0°20ply
		Modulus	1.16 8.0	msi GPa	ASTM D3410 / 0°20ply
Flexural Properties	0°	Strength*	278 1920	ksi MPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=32, Vf=61%
		Modulus*	29.6 204	msi GPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=32, Vf=61%
	90°	Strength	16 110	ksi MPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=16, Vf=61%
		Modulus	1.1 7.0	msi GPa	ASTM D790 / 0°16ply, L/D=16, Vf=61%
ILSS	Strength	12 83	ksi MPa	ASTM D2344 / 0°16ply, L/D=4, Vf=59%	

- 250F Epoxy Prepregs
- Resin: Mitsubishi Rayon #350 resin system
- Tensile and compressive properties are normalized to 60% fiber volume

5900 88th Street
 Sacramento, CA
 95828, USA
 Tel: 916.386.1733
 Fax: 916.383.7668
 Web: www.grafil.com





PERFORMANCE
COMPOSITES

CARBON
FIBRE TUBES

FIBRE
TYPES

FIBRE
ANGLES

CARBON
FIBRE
PROFILES

EXAMPLE
PROFILES

MECHANICAL
PROPERTIES

MATERIALS &
EQUIPMENT
SUPPLIES

CONTACT

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 S97	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	v12		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



High-performance carbon fiber Torayca®



Torayca® prepreg



Torayca® prepreg is a sheet made by aligning many high-performance carbon fiber Torayca® yarns horizontally.

It is a sheet-shaped material, or formed material made by impregnating thermosetting resin (matrix resin: primarily epoxy) containing curing agent in Torayca® textile, with the former called "Torayca® unidirectional prepreg (UD prepreg)" and the latter, "Torayca® textile prepreg."

The product type can be selected based on the conditions below, depending on the characteristics, formability, etc., required of the formed product:

- Type of Torayca® yarn used, and fiber weight per unit area
- Type of matrix resin used, and content of resin to prepreg
- Product shape of prepreg, etc.

In addition to Torayca® prepreg, Toray also offers aramid fiber "kevlar" and glass fiber prepreg products, as well as hybrid prepreg products combining different fibers.

1. Features/applications of matrix resins

Resin No.	Resin	Curing temperature (°C)	Features/applications
#2500	Epoxy	130	General purpose, general industry, sporting equipment
#2580-14	Epoxy	130	Self-adhesive, flame retardant
#2510	Epoxy	135	OoA*, aircraft
#2511	Epoxy	135	OoA* low void content, aircraft
#2573	Epoxy	130	Impact resistant, general industry, sporting equipment
#2574	Epoxy	130	High compression, general industry, sporting equipment
#2592	Epoxy	130	General purpose, heat-resistant tough resin
#3631-2	Epoxy	180	Heat resistant, aircraft
#3633	Epoxy	180	Heat resistant, quasi impact resistant, aircraft
#3900-2B	Epoxy	180	Heat resistant, impact resistant, aircraft

*OoA: Out-of-autoclave

2. Physical property table of Torayca® prepreg

Product type	Resin	Yarn weight per area	Carbon fiber Content Wt(%)	Resin content RC(%)	prepreg weight per area PPAW(g)	Thickness (mm)	Pre-ply	Carbon fiber used
P3051S-5	2500	55	63	37	87	0.06	H5	T700SC Tensile strength : 500kgf / ml Modulus of elongation : 23.5tf / ml Density : 1.80
P3051S-7	2500	75	63	37	119	0.08	H7	
P3252S-10	2592	100	67	33	149	0.10		
P3252S-12	2592	125	67	33	187	0.12		
P3252S-15	2592	150	67	33	224	0.14		
P3252S-17	2592	175	67	33	261	0.17		
P3252S-20	2592	200	67	33	299	0.19		
P3252S-25	2592	250	67	33	373	0.24		
P3255S-10	2592	100	76	24	132	0.08		
P3255S-12	2592	125	76	24	164	0.10		
P3255S-15	2592	150	76	24	197	0.12		
P3255S-17	2592	175	76	24	230	0.14		
P3255S-20	2592	200	76	24	263	0.16		
P3255S-25	2592	250	76	24	329	0.20		
P8051S-5	2500	55	63	37	87	0.06	M5	
P8051S-7	2500	75	63	37	119	0.08	M7	
P8253S-5	2592	55	70	30	79	0.05		
P8253S-7	2592	75	70	30	107	0.07		
P2255S-10	2592	100	76	24	132	0.08		T800SC Tensile strength : 600kgf / ml Modulus of elongation : 30tf / ml Density : 1.80
P2255S-12	2592	125	76	24	164	0.10		
P2255S-15	2592	150	76	24	197	0.12		
P2255S-17	2592	175	76	24	230	0.14		
P2255S-20	2592	200	76	24	263	0.16		
P2255S-25	2592	250	76	24	329	0.20		
P2205S-10	2573	100	76	24	132	0.08		
P17043G-10	2574	100	70	30	143	0.09		T1100GC Tensile strength : 715kgf / ml Modulus of elongation : 33tf / ml Density : 1.79
P17045G-10	2574	100	76	24	132	0.08		
P17045G-12	2574	125	76	24	164	0.10		
P10255F-10	2500	100	76	24	132	0.08		M35JB Tensile strength : 480kgf / ml Modulus of elongation : 35tf / ml Density : 1.75
P10255F-12	2500	125	76	24	164	0.10		
P10255F-15	2500	150	76	24	197	0.12		
P9052F-7	2500	69	67	33	103	0.07		M40JB Tensile strength : 450kgf / ml Modulus of elongation : 38.5tf / ml Density : 1.77
P9052F-10	2500	92	67	33	137	0.09		
P9052F-12	2500	116	67	33	173	0.11		
P9052F-15	2500	139	67	33	207	0.13		
P9052F-17	2500	161	67	33	240	0.16		
P9255F-11	2592	100	76	24	132	0.08		
P9255F-12	2592	116	76	24	153	0.10		
P9255F-13	2592	125	76	24	164	0.10		
P9255F-16	2592	150	76	24	197	0.12		

P2255S-10	2592	100	76	24	132	0.08	T800SC Tensile strength : 600kgf / m ² Modulus of elongation : 30tf / m ² Density : 1.80
P2255S-12	2592	125	76	24	164	0.10	
P2255S-15	2592	150	76	24	197	0.12	
P2255S-17	2592	175	76	24	230	0.14	
P2255S-20	2592	200	76	24	263	0.16	
P2255S-25	2592	250	76	24	329	0.20	
P2205S-10	2573	100	76	24	132	0.08	T1100GC Tensile strength : 715kgf / m ² Modulus of elongation : 33tf / m ² Density : 1.79
P17043G-10	2574	100	70	30	143	0.09	
P17045G-10	2574	100	76	24	132	0.08	
P17045G-12	2574	125	76	24	164	0.10	M35JB Tensile strength : 480kgf / m ² Modulus of elongation : 35tf / m ² Density : 1.75
P10255F-10	2500	100	76	24	132	0.08	
P10255F-12	2500	125	76	24	164	0.10	
P10255F-15	2500	150	76	24	197	0.12	M40JB Tensile strength : 450kgf / m ² Modulus of elongation : 38.5tf / m ² Density : 1.77
P9052F-7	2500	69	67	33	103	0.07	
P9052F-10	2500	92	67	33	137	0.09	
P9052F-12	2500	116	67	33	173	0.11	
P9052F-15	2500	139	67	33	207	0.13	
P9052F-17	2500	161	67	33	240	0.16	
P9255F-11	2592	100	76	24	132	0.08	
P9255F-12	2592	116	76	24	153	0.10	
P9255F-13	2592	125	76	24	164	0.10	
P9255F-16	2592	150	76	24	197	0.12	
P6055F-11	2500	100	76	24	132	0.08	M46JB Tensile strength : 430kgf / m ² Modulus of elongation : 44.5tf / m ² Density : 1.84
P6055F-13	2500	125	76	24	164	0.10	
P6055F-16	2500	150	76	24	197	0.12	
P11255F-11	2592	100	76	24	132	0.08	M50JB Tensile strength : 420kgf / m ² Modulus of elongation : 48.5tf / m ² Density : 1.88
P11056F-11	2500	100	80	20	125	0.07	
P11056F-13	2500	125	80	20	156	0.09	
P11056F-16	2500	150	80	20	188	0.11	
P12056F-13	2500	125	80	20	156	0.09	M55JB Tensile strength : 410kgf / m ² Modulus of elongation : 55tf / m ² Density : 1.91
P12056F-16	2500	150	80	20	188	0.11	
P13056F-13	2500	125	80	20	156	0.09	M60JB Tensile strength : 390kgf / m ² Modulus of elongation : 60tf / m ² Density : 1.93
P13056F-16	2500	150	80	20	188	0.11	
F6142-05K	2500	119	60	40		0.13	T300 Tensile strength : 360kgf / m ² Modulus of elongation : 23.5tf / m ² Density : 1.76
F6343B-05P	2500	198	56	44		0.24	
F6347B-05P	2500	198	56	44		0.24	

- * The "thickness" values are provided for reference.
- * Consult us on other specifications.
- * These are representative values and not guaranteed.

3. Specifications of Torayca® prepreg products

Standard length	<ul style="list-style-type: none"> ● Unidirectional prepreg: 100 m ● Woven prepreg: 50 or 100 m 		
Packing form	The prepreg is rolled around a paper tube together with a silicon-coated separation paper, and the roll is packed in a sealed polyethylene bag to prevent moisture absorption. <ul style="list-style-type: none"> ● Diameter of paper tube for unidirectional prepreg: 300 mm in inner diameter ● Diameter of paper tube for woven prepreg: 76 or 300 mm in inner diameter 		
Storage life	Storage temperature	130°C curing type	180°C curing type
	-18°C or less	6 months	6 months
	5°C or less	3 months	2 months
	20°C or less	1.5 months	14 days
Product shipment	The 180°C curing type is shipped refrigerated (-18°C or less). The 130°C curing type is shipped on regular trucks unless otherwise requested.		
Handling precautions	<ol style="list-style-type: none"> 1. Store the received prepreg in a freezer or refrigerator without delay. 2. Torayca® prepreg has been adjusted to have the best tackiness at room temperature (24 ± 3°C). 3. Mixing-in of impurities into the prepreg may cause curing problems or defective product. 4. Implement safety measures when handling the prepreg. <ul style="list-style-type: none"> ● Epoxy resin may cause inflammation to some people. ● Ventilate the work room well to prevent resin volatile matter from staying indoors. ● Torayca® is a good conductor. Give consideration to electrical apparatuses. ● Do not incinerate waste carbon fiber materials and carbon fiber induced products, but dispose of them correctly as industrial waste. 		

4. Handling precautions for carbon fiber

- Carbon fiber is conductive. Implement dust-proof measures to prevent electrical equipment from shorting, malfunctioning, etc., due to fibers scattering and flying around in the work area.
- No cases of health problems due to carbon fiber have been reported, but short fibers may attach to the skin or viscous membrane to cause itchiness or inflammation. When handling carbon fiber, wear a mask, gloves and other protective equipment to prevent carbon fiber from being inhaled or attaching to the skin.
- Incinerating waste material of carbon fiber or carbon fiber composite material may cause fibers to scatter and fly around and cause electrical failures. It is appropriate to bury such material as industrial waste.

Cautions

1. This product documentation does not guarantee the result or product safety/compliance achieved by applying the information provided herein. When using the product, confirm its safety/compliance according to the purpose of use.
 2. Our carbon fiber Torayca® products or technologies relating to the design, manufacturing or use thereof may be classified as the goods specified in 1 to 15 of Appended Table 1 of the Export Trade Control Order, or as the technologies specified in 1 to 15 of Appended Table 1 of the Foreign Exchange Order, or as other goods/technologies that may be specified by the government as being subject to export control for national security reasons. When exporting or providing to a non-resident any such Torayca® product or any such technology relating to the design, manufacture or use of Torayca® product, an export permission or service transaction permission must be obtained from the Minister of Economy, Trade and Industry or other necessary procedure must be taken according to the Foreign Exchange and Foreign Trade Act or other relevant law, notice, etc.
- Torayca® is a registered trademark of Toray's high-performance carbon fiber.

Στοιχεία για διάφορα υλικά από την εταιρία Markforged [B7]

MATERIAL DATASHEET



Composites

Plastic Matrix	Test (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Nylon W
Tensile Modulus (GPa)	D638	1.4	1.3	1.7
Tensile Stress at Yield (MPa)	D638	36	29	51
Tensile Strain at Yield (%)	D638	25	33	4.5
Tensile Stress at Break (MPa)	D638	30	31	36
Tensile Strain at Break (%)	D638	58	58	150
Flexural Strength (MPa)	D790 ¹	81	79	50
Flexural Modulus (GPa)	D790 ¹	3.6	4.0	1.4
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	145	145	41
Flame Resistance	UL94	—	V-0 ²	—
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	330	—	110
Density (g/cm ³)	—	1.2	1.2	1.1

Fiber Reinforcement	Test (ASTM)	Carbon	Kevlar®	Fiberglass	HSHT FG
Tensile Strength (MPa)	D3039	800	610	590	600
Tensile Modulus (GPa)	D3039	60	27	21	21
Tensile Strain at Break (%)	D3039	1.5	2.7	3.8	3.9
Flexural Strength (MPa)	D790 ¹	540	240	200	420
Flexural Modulus (GPa)	D790 ¹	51	26	22	21
Flexural Strain at Break (%)	D790 ¹	1.2	2.1	1.1	2.2
Compressive Strength (MPa)	D6641	320	97	140	192
Compressive Modulus (MPa)	D6641	54	28	21	21
Compressive Strain at Break (%)	D6641	0.7	1.5	—	—
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	105	105	105	150
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	960	2000	2600	3100
Density (g/cm ³)	—	1.4	1.2	1.5	1.5

Dimensions and Construction of Plastic Test Specimens:

- Tensile test specimens: ASTM D638 type IV beams
- Flexural test specimens: 3-pt. Bending, 4.5 in (L) x 0.4 in (W) x 0.12 in (H)
- Heat-deflection temperature at 0.45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 Method B)

All Markforged composite machines are equipped to print Onyx. Nylon White is available on the Mark Two and X7. Onyx FR is available on X3, X5, and X7.

Markforged parts are primarily composed of plastic matrix. Users may add one type of fiber reinforcement in each part, enhancing its material properties.

1. Measured by a method similar to ASTM D790. Thermoplastic-only parts do not break before end of flexural test.

2. Onyx FR is UL 94 V-0 Blue Card certified down to a thickness of 3mm.

Dimensions and Construction of Fiber Composite Test Specimens:

- Test plaques used in these data are fiber reinforced unidirectionally (0° Plies)
- Tensile test specimens: 9.8 in (L) x 0.5 in (H) x 0.048 in (W) (CF composites), 9.8 in (L) x 0.5 in (H) x 0.08 in (W) (GF and Kevlar® composites)
- Compressive test specimens: 5.5 in (L) x 0.5 in (H) x 0.085 in (W) (CF composites), 5.5 in (L) x 0.5 in (H) x 0.12 in (W) (Kevlar® and FG composites)
- Flexural test specimens: 3-pt. Bending, 4.5 in (L) x 0.4 in (W) x 0.12 in (H)
- Heat-deflection temperature at 0.45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 Method B)

Tensile, Compressive, Strain at Break, and Heat

Deflection Temperature data were provided by an accredited 3rd party test facility. Flexural data was prepared by Markforged, Inc. These represent typical values.

Markforged tests plaques are uniquely designed to maximize test performance. Fiber test plaques are fully filled with unidirectional fiber and printed without walls. Plastic test plaques are printed with full infill. To learn more about specific testing conditions or to request test parts for internal testing, contact a Markforged representative. All customer parts should be tested in accordance to customer's specifications.

Part and material performance will vary by fiber layout design, part design, specific load conditions, test conditions, build conditions, and the like.

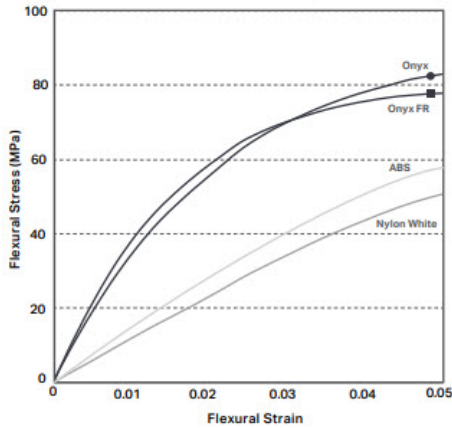
This representative data were tested, measured, or calculated using standard methods and are subject to change without notice. Markforged makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranties of merchantability, fitness for a particular use, or warranty against patent infringement; and assumes no liability in connection with the use of this information. The data listed here should not be used to establish design, quality control, or specification limits, and are not intended to substitute for your own testing to determine suitability for your particular application. Nothing in this sheet is to be construed as a license to operate under or a recommendation to infringe upon any intellectual property right.

Composites

Markforged composite printers use a base plastic matrix reinforced with continuous fibers. Combining the materials during printing yields composite parts far stronger, stiffer, and more robust than conventional 3D printed plastics.

Plastic Matrix

In Fused Filament Fabrication (FFF), a printer heats thermoplastic filament to near melting point and extrudes it through its nozzle, building a plastic matrix layer by layer. Plastics can be reinforced by any one type of fiber.



● **Onyx** Flexural Strength: 81 MPa

Onyx is a chopped carbon fiber reinforced nylon. It's 1.4 times stronger and stiffer than ABS and can be reinforced with any continuous fiber. Onyx sets the bar for surface finish, chemical resistivity, and heat tolerance.

■ **Onyx FR** Flexural Strength: 79 MPa

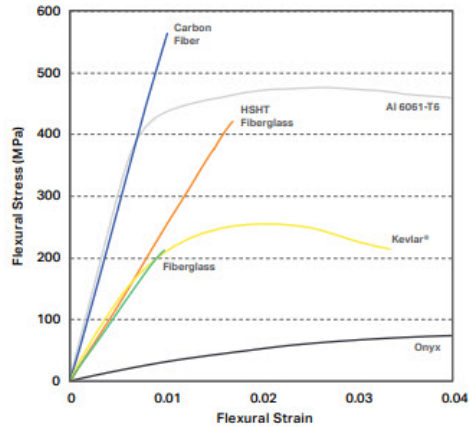
Onyx FR is a Blue Card certified UL94 V-0 material that possesses similar mechanical properties to Onyx. It's best for applications in which flame retardancy, light weight, and strength are required.

● **Nylon White** Flexural Strength: 50 MPa

Nylon White parts are smooth, non-abrasive, and easily painted. They can be reinforced with any continuous fiber and work best for non-marring work holding, repeated handling, and cosmetic parts.

Fiber Reinforcement

Continuous Filament Fabrication (CFF) is proprietary technology that reinforces plastic printed parts with continuous fibers on each layer of a part. Users can control the layers reinforced, amount, orientation, and type of reinforcing fiber.



● **Carbon Fiber** Flexural Strength: 540 MPa

Carbon Fiber has the highest strength-to-weight ratio of our reinforcing fibers. Six times stronger and eighteen times stiffer than Onyx, Carbon Fiber reinforcement is commonly used for parts that replace machined aluminum.

● **Fiberglass** Flexural Strength: 200 MPa

Fiberglass is our entry level continuous fiber, providing high strength at an accessible price. 2.5 times stronger and eight times stiffer than Onyx, Fiberglass reinforcement results in strong, robust tools.

● **Kevlar®** Flexural Strength: 240 MPa

Kevlar® possesses excellent durability, making it optimal for parts that experience repeated and sudden loading. As stiff as fiberglass and much more ductile, it can be used for a wide variety of applications.

● **HSHT Fiberglass** Flexural Strength: 420 MPa

High Strength High Temperature (HSHT) Fiberglass exhibits aluminum strength and high heat tolerance. Five times as strong and seven times as stiff as Onyx, it's best used for parts loaded in high operating temperatures.

Βιβλιογραφία

- [A1] Δημήτριος Ε. Μανωλάκος, ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΙΙ, Πρόχειρες σημειώσεις. Αθήνα, 2011
- [A2] Δημήτριος Ε. Μανωλάκος, ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ, Πρόχειρες Σημειώσεις, Αθήνα, 2011
- [A3] Δημήτρης Ι. Παντελής, ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, 2^η Αναθεωρημένη Έκδοση, ΑΘΗΝΑ, 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [A4] Κωνσταντίνος Γ. Μπέλτσιος, Επιστήμη και Τεχνολογία των Συνθέτων Υλικών, Ιωάννινα, 2009, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- [A5] ΛΑΜΠΡΟΣ ΛΑΪΟΣ, ΜΑΡΙΑ ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ ΣΙΟΥΤΑΡΗ, ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΡΓΟΝΟΜΙΑ, Ε΄ ΕΚΔΟΣΗ, 2003, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Παπασωτηρίου
- [A6] ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ, 2^η έκδοση, 2015, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
- [A7] Χριστόφορος Γ. Προβατίδης, Πεπερασμένα Στοιχεία στην Ανάλυση Μηχανολογικών Κατασκευών, 2016, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
- [A8] KARL T. URLICH, STEVE D. EPPINGER, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ, 5^η Έκδοση, 2015, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
- [A9] WILLIAM D. CALLISTER JR. ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, 5^η ΕΚΔΟΣΗ, 2008, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
- [A10] A. P. Vassilopoulos and T. Keller, Fatigue of Fiber-reinforced Composites, Engineering Materials and Processes, publisher Springer-Verlag London Limited 2011
- [A11] Isaac M. Daniel – Ori Ishai, Engineering Mechanics of Composite Materials, publisher Oxford University Press, New York 2006, 2nd edition.
- [A12] Daniel Gay – Suong V. Hoa - Stephen W. Tsai, Composite Materials Design and Applications, publisher CRC PRESS, New York Washington D.C., 2003
- [A13] NX Laminate Composites Students Guide October, 2011 MT15029 – s nx8

Ιστοσελίδες

- [B1] <http://www.torayca.com>
- [B2] <http://www.carbonfiber.gr.jp>
- [B3] <http://www.bikefitting.com/>
- [B4] <http://www.advanced-composites.co.uk/>
- [B5] <http://www.ibike.org/library/history-timeline.htm>
- [B6] <http://www.theverge.com/tldr/2015/9/18/9351763/worlds-fastest-bike-human-powered>
- [B7] <http://www.johnnybroccoli.com/geeky-cool-history-bike/>
- [B8] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6>
- [B9] <https://markforged.com/>
- [B10] <https://www.bike-discount.de/>
- [B11] <https://www.gramcarbon.com/>
- [B12] <https://www.lookcycle.com/gr-en/>
- [B13] <https://www.specialized.com/gr/en>
- [B14] <https://www.thm.bike/en/>
- [B15] <https://shop.lightweight.info/en/home/>
- [B16] <https://www.mcfk.de/en/>
- [B17] <https://ax-lightness.de/>
- [B18] https://www.trekbikes.com/us/en_US/bontrager/
- [B19] https://eu.ritcheylogic.com/eu_en/
- [B20] <https://eastoncycling.com/>
- [B21] <https://www.cannondale.com/>
- [B22] <https://www.3t.bike/en/>
- [B23] <https://www.visiontechusa.com/>
- [B24] <https://www.syncros.com/global/en>
- [B25] https://www.syntace.com/en_GB/
- [B26] <https://www.zipp.com/>
- [B27] <https://www.fullspeedahead.com/>

- [B28] <https://www.researchgate.net/publication/50987137>
- [B29] <https://dromeasbikes.com/>
- [B30] <https://www.iso.org/home.html>
- [B31] <https://www.cen.eu/work/products/ens/pages/default.aspx>
- [B32] <https://www.mchemical.co.jp/en>
- [B33] <http://www.performancecomposites.com/>
- [B34] <https://www.bmwblog.com/>