

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Τεχνολογίας των Κατεργασιών

Σχεδιασμός και κατασκευή ανθρακονημάτινου τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου

Design and construction of a carbon fiber handlebar for racing bicycle

Μάρκος Κατσίπης

Επιβλέπων Καθηγητής Ε.Μ.Π. Κος Δημ. Μανωλάκος



Περιεχόμενα

1. Περίληψη	4
Summary	5
2. Εισαγωγή - Θεωρητικό μέρος.....	6
Ποδήλατο	6
Ιστορική αναδρομή	6
Υλικά κατασκευής ποδηλάτου και των εξαρτημάτων του	10
Σχεδιασμός με την βοήθεια υπολογιστή (Computer-Aided-Design)	20
Έλεγχος μηχανών με την βοήθεια υπολογιστή (ComputerNumericalControl)	21
Κατασκευή με την βοήθεια υπολογιστή (ComputerAidedManufacturing).....	22
3. Δημιουργία σχεδίων.....	23
Χρήσιμες πληροφορίες	23
Τιμόνια.....	27
4. Έλεγχος σχεδίων σε αντοχή.....	32
Ευρωπαϊκός κανονισμός.....	32
Επιλογή κριτηρίων από τον EN 14781	42
Προσομοιώσεις στον υπολογιστή	43
Συγκέντρωση αποτελεσμάτων και σχολιασμός τους.....	59
5. Εκλογή του καταλληλότερου σχεδίου, επανασχεδιασμός και μοντελοποίησή του ως ανθρακονημάτινο	61
Εκλογή σχεδίου.....	61
Επανασχεδιασμός	64
Μοντελοποίηση του τιμονιού ως ανθρακονημάτινο	67
6. Σχεδιασμός καλουπιού.....	89
7. Διαδικασία παραγωγής	100
Κατασκευές με προεμποτισμένα	100
Σημαντικές παράμετροι της διαδικασίας σκλήρυνσης της ρητίνης των προεμποτισμένων υφασμάτων	103
Προβλήματα της παραγωγής του τιμονιού	112
Επίλογος.....	113

1. Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ανθρακονημάτινου τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου. Ο σχεδιασμός (design) θα γίνει με την βοήθεια του προγράμματος SolidWorks της εταιρίας Dassault Systèmes SolidWorks Corp. . Ο γεωμετρικός σχεδιασμός θα αρχίσει με βάση πέντε υπάρχοντα τιμόνια αγωνιστικών ποδηλάτων δρόμου που έχουν μεγάλη εμπορική επιτυχία. Τα μοντέλα των τιμονιών αυτών θα δημιουργηθούν στο SolidWorks και θα υποστούν καταπονήσεις που καθορίζονται από τον EN 14781 (EUROPEANSTANDARD November 2005) προκειμένου να διαπιστωθούν οι αδυναμίες κατασκευής τους. Από τη συμπεριφορά των τιμονιών στις προαναφερθέντες καταπονήσεις και από τα εργονομικά χαρακτηριστικά τους θα επιλεγεί ένα μοντέλο. Στο τελευταίο θα γίνει επανασχεδιασμός με σκοπό τη μερική βελτιστοποίησή του και στη συνέχεια θα γίνει μοντελοποίησή του ως ανθρακονημάτινο τιμόνι (αρχικό υλικό: Αλουμίνιο 7075 T6, τελικό υλικό: ανθρακόνημα T300 πλεκτό και M40J μονοδιευθυντικό). Αρχικά θα γίνει ο σχεδιασμός του καλουπιού του βελτιωμένου τιμονιού και στη συνέχεια θα υπολογιστούν οι θερμικές διαστολές του και η παραμορφωσιακή του κατάσταση υπό 8bar πίεση και 120°C θερμοκρασία. Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του καλουπιού θα παραγγελθεί μηχανουργείο και θα κοπεί σε τριαξονική CNC φρέζα. Έπειτα θα επιλεγούν τα απαραίτητα στοιχεία για το σωστό κλείσιμο του καλουπιού (πείροι, κοχλίες, εξολκείς) καθώς και τα μέρη του κυκλώματος πίεσης. Το τελευταίο στάδιο πριν την παραγωγή του τιμονιού θα είναι η δημιουργία του κυκλώματος πίεσης, η προετοιμασία του καλουπιού για τη διαστρωμάτωση και το ψήσιμο του ανθρακονημάτινου και ο προγραμματισμός του PLC του φούρνου. Θα παραχθεί το τιμόνι με προεμποτισμένο ανθρακόνημα αφού ψηθεί για μία ώρα υπό πίεση 8 bar και θερμοκρασία 120°C. Θα περιγραφεί η διαδικασία της παραγωγής του τιμονιού, τα χαρακτηριστικά του ανθρακονημάτινου και της ρητίνης του, καθώς και οι υπάρχουσες εναλλακτικές τεχνικές παραγωγής ανθρακονημάτινων προϊόντων. Στη συνέχεια θα γίνει ο σχολιασμός του τελικού προϊόντος, των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την παραγωγή και των λαθών που έγιναν κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή του.

Summary

The goal of this diplomatic essay is the design and construction of a carbon handlebar of a racing road bicycle. The design will be accomplished with the use of SolidWorks, a program of DassaultSystèmesSolidWorks Corp.company. The design will begin with the selection of five existing handlebars of racing road bicycles of wide commercial success. The models of these handlebars will be created in SolidWorks and will follow the instructions that are specified by EN 14781 (EUROPEAN STANDARD November 2005) in order to illustrate the failings in their construction. According to the results of the tests of the European standard and according to the ergonomic characteristics of the handlebars one model will be singled out. This model will be redesigned first as an aluminum handlebar in order to be partly improved and then as a carbon handlebar (previous material: Aluminum alloy 7075 T6, final material: carbon T300 woven and M40J unidirectional). Then the mold of the improved handlebar will be designed, followed by the calculation of its thermal expansion and its deformed shape under 8bar pressure and temperature of 120°C. After the design of the mold is complete, it will be ordered and cut in a CNC milling machine . Afterwards, the elements necessary for the proper shut of the mold (locating units, screw, pullers) will be selected, as well as the parts of the pressure circuit. The final stage before the manufacturing of the handlebar will be the development of a pressure circuit, the preparation of the mold for the lay-up and the cure process and the programming of the oven's PLC. The handlebar will be manufactured with prepreg carbon, after being cured for one hour under 8bar pressure and temperature of 120°C. The process of the handlebar's manufacturing will be described, as well as the characteristics of carbon and its resin, along with the existing alternative techniques of manufacturing carbon products. These will be followed by a report of the final product, the problems that emerged during the manufacturing and the errors that occurred during the design and construction process.

2. Εισαγωγή - Θεωρητικό μέρος

Ποδήλατο

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

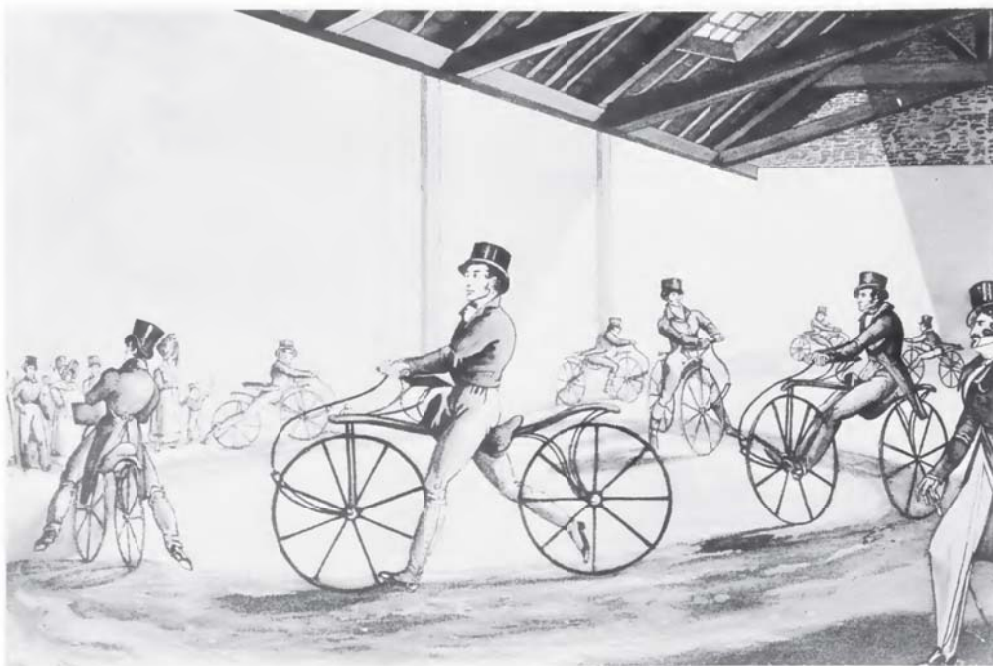
Αγωνιστικό ποδήλατο: ποδήλατο που έχει τιμόνι με πολλές λαβές, (ώστε να επιτρέπεται και μια αεροδυναμική θέση στον αναβάτη), σύστημα μετάδοσης πολλών ταχυτήτων, λάστιχο με πάχος μικρότερο των 28mm και βάρος μικρότερο από 12kg για πλήρως συναρμολογημένο ποδήλατο

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

Οι ορισμοί αυτοί δόθηκαν στον 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.

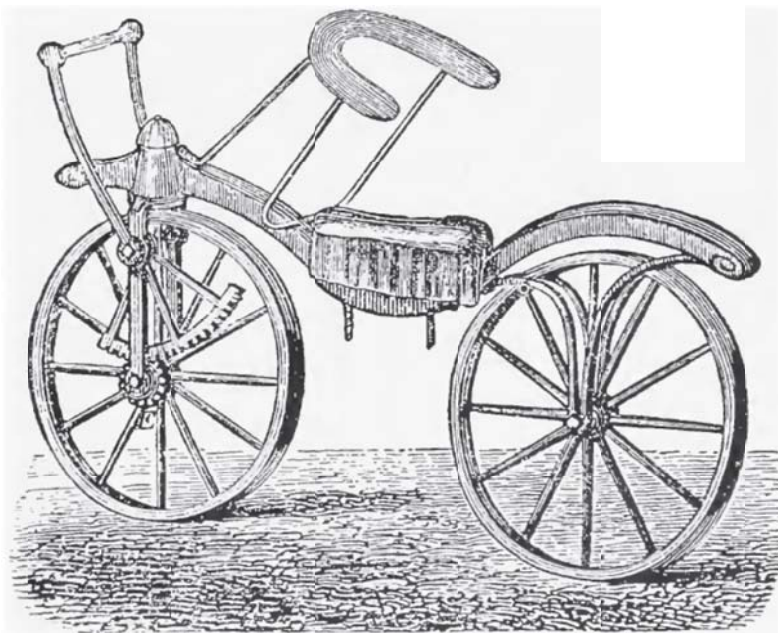
Ιστορική αναδρομή

Ο πρώτος πρόγονος του ποδηλάτου εμφανίστηκε το 1791 στη Γαλλία και ονομαζόταν *celerifere*. Η κατασκευή αυτή είχε δύο τροχούς χωρίς δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης και για να κινηθεί έπρεπε ο αναβάτης να σπρώχνει με τα πόδια του το έδαφος. Το 1793 η κατασκευή μετονομάστηκε σε *velocifere* και έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής στο Παρίσι. Κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας του 19ου αιώνα το *velocifere* έπαψε να είναι τόσο δημοφιλές. Το 1816 ο Nicephore Niepce παρουσίασε μια βελτιωμένη έκδοση του *velocifere*, ακόμα χωρίς δυνατότητα αλλαγής διεύθυνσης αλλά ελαφρύτερη, ταχύτερη και πιο άνετη στην οδήγηση επειδή είχε μεγαλύτερους τροχούς. Ένα χρόνο αργότερα ο Baron von Drais μετέτρεψε το *velocifere* ώστε να μπορεί να αλλάζει κατεύθυνση και ονόμασε την κατασκευή του *velocipede*, όρος που διατηρήθηκε μέχρι το 1869 που άρχισε να χρησιμοποιείται ο όρος bicycle. Το *velocipede* χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Γαλλία και στην Αγγλία όπου ο Denis Johnson του πρόσθεσε βελτιώσεις. Τα *velocipede* έγινα πολύ γρήγορα δημοφιλή αλλά για σύντομο χρονικό διάστημα, αφού στη δεκαετία του 1820 σπάνιζαν.



Εικόνα1. 1819 "Johnson's Pedestrian Hobby Horse Riding School in London"

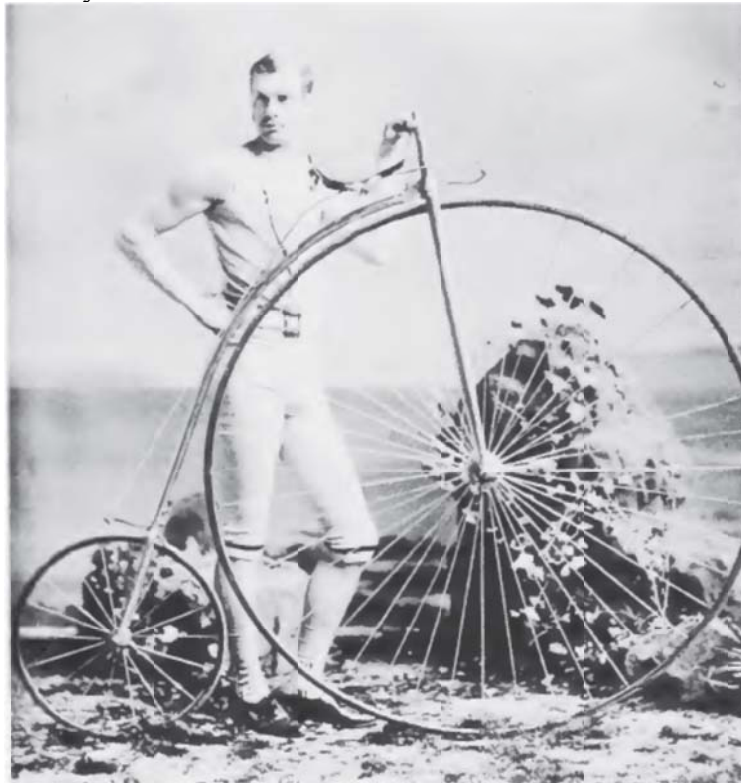
Περί το 1819 έγιναν απόπειρες για μηχανικές κατασκευές που βοηθούσαν τον αναβάτη να προωθήσει το *velocipede* αλλά χωρίς επιτυχία έως ότου ο Lewis Gompertz από το Surrey της Αγγλίας το 1821 ανέπτυξε έναν μηχανισμό μετάδοσης κίνησης. Ο μηχανισμός είχε έναν μοχλό πακτωμένο σε ένα τμήμα οδοντωτού τροχού ο οποίος συνεργαζόταν με έναν μικρότερο που έδινε κίνηση στην μπροστινή ρόδα όταν περιστρεφόταν προς μία κατεύθυνση και ήταν ελεύθερος προς την άλλη (καστάνια).



Εικόνα 2: χειροκίνητο velocipede σχεδιασμένο το 1821 από τον Gompertz στην Αγγλία

Η επόμενη σημαντική αλλαγή στην ιστορία του ποδηλάτου ήταν η εφεύρεση του Σκωτσέζου Kirkpatrick Macmillan το 1839 που είχε μετάδοση κίνησης στον πίσω τροχό μέσω μοχλών που κινούσε ο αναβάτης με τα πετάλια. Το νέο *velocipede* κινούνταν με ταχύτητες 16-22 km/h αλλά παρόλα αυτά δεν είναι γνωστό να πουλήθηκε κάποιο. Η δουλειά του αντιγράφηκε σε μικρό βαθμό με μικρές βελτιώσεις

μέχρι το 1863 που στο Παρίσι ο Pierre Michaux ή ο Pierre Lallement τοποθέτησε τα πετάλια στον άξονα του μπροστινού τροχού. Το 1868 οι αδερφοί Hanlon μετέτρεψαν το *velocipede* ώστε να μπορούν να προσαρμίζονται τα πετάλια και η σέλα. Επίσης πρότειναν να χρησιμοποιούνται λαστιχένιοι δακτύλιοι (τα πρώτα ελαστικά) για να γίνονται τα ποδήλατα αθόρυβα και να αποφεύγεται η ολίσθηση των τροχών. Η μετατροπή αυτή βοήθησε στην διάδοση των *velocipede* στην Αμερική όπου δεν διήρκησε πολύ λόγω του βάρους τους, της άβολης θέσης οδήγησης και τους δρόμους της εποχής. Στην Ευρώπη η εξέλιξη του πρόγονου του ποδηλάτου συνεχίστηκε και έκαναν την εμφάνισή τους εφαρμογές που επηρέασαν ριζικά την μορφή του *velocipede*, όπως: τροχοί με συρμάτινες ακτίνες, συμπαγή ελαστικά, πλαίσια από σωλήνες, φρένα στην μπροστινή ρόδα, λασπωτήρες, μετάδοση κίνησης με αλυσοτροχούς (1869, Γαλλία) και κάποιες μορφές εναλλακτών ταχυτήτων. Ο Άγγλος James Starley ήταν ένας από τους πρωτοπόρους στον τομέα του ποδηλάτου, μέχρι το θάνατό του το 1881, ο πατέρας για πολλές νέες και έξυπνες λειτουργίες που αφορούν την ποδηλασία, κερδίζοντας επάξια τον τίτλο του «πατέρα της βιομηχανίας του ποδηλάτου». Το περίφημο ποδήλατό του, Ariel, παράχθηκε το 1871, με ακτίνες από σύρμα και πολύ μεγάλη μπροστινή ρόδα. Το Ariel αντιγράφηκε επί δύο δεκαετίες λόγω του καινοτομικού, για την εποχή, σχεδιασμού του. Ο σχεδιασμός του προσέφερε μεγαλύτερη ταχύτητα, εξαιτίας της μεγαλύτερης περιμέτρου του μπροστά τροχού, τοποθετώντας τον αναβάτη πάνω από τα πετάλια. Αυτός ο τύπος ποδηλάτου, γρήγορα βελτιώθηκε από τον Starley και άλλους μέχρι που έγινε, σε σύγκριση με το παλιό, ένα άνετο, ελαφρύ μηχανήμα, που κέρδισε γρήγορα δημοτικότητα και τελικά έγινε γνωστό ως «Ordinary».



Εικόνα 3: M. W. Wright, διάσημος Άγγλος ποδηλάτης του 1870, με το Ordinary

Το Ordinary ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνο, αφού το κέντρο βάρους του αναβάτη ήταν ελαφρώς πίσω από το μεγάλο μπροστινό τροχό και ο αναβάτης εύκολα εκτινασσόταν πάνω από αυτόν ή χτυπούσε το κεφάλι του σε αυτόν. Το ατύχημα αυτό συνέβαινε όταν ο εμπρόσθιος τροχός χτυπούσε ένα εμπόδιο στο δρόμο, ή όταν ο αναβάτης

πατούσε το φρένο πολύ γρήγορα. Λόγω του μεγάλου κινδύνου του Ordinary έγιναν προσπάθειες για να σχεδιαστεί ένα ασφαλέστερο ποδήλατο. Το αποτέλεσμα των προσπαθειών αυτών ήταν ο σχεδιασμός του Safety και άλλων ποδηλάτων που προσπαθούσαν να φέρουν τον αναβάτη πιο κοντά στο έδαφος. Το 1878 ο Pope έγινε ο πρώτος κατασκευαστής ποδηλάτων στην Αμερική. Ένα χρόνο μετά στην Αγγλία ο Lawson παρήγαγε το Bicyclette, ένα ποδήλατο μη θελκτικό και πολύ εξειδικευμένο για την εποχή του που απέτυχε εμπορικά. Είχε μετάδοση με αλυσοτροχούς στην πίσω ρόδα και ήταν σχεδιασμένο με το κέντρο βάρους του χαμηλότερα από ότι συνήθως. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1880, ένας αριθμός Βρετανών κατασκευαστών παράγουν διάφορους τύπους ποδηλάτων ασφαλείας. Την ίδια εποχή κάνουν την εμφάνισή τους και τα ρουλεμάν στα ποδήλατα. Οι πιο επιτυχημένες προσπάθειες ήταν του John Kemp Starley (ανιψιός του James Starley) του οποίου το μοντέλο Rover του 1885, με μετάδοση με αλυσοτροχούς και χαμηλούς τροχούς, επηρέασε τον σχεδιασμό ποδηλάτων μέχρι σήμερα. Το 1888 και 1889, ο John Boyd Dunlop από το Μπέλφαστ της Ιρλανδίας κατοχύρωσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για πνευματικά ελαστικά στην Αγγλία και ένα χρόνο μετά στις Ηνωμένες Πολιτείες. Παρόλη την κριτική που ασκήθηκε για την ευρεσιτεχνία αυτή, έγινε κοινώς αποδεκτή η αξία της αφού μείωσε σημαντικά του κραδασμούς και βελτίωσε την ταχύτητα του ποδηλάτου. Τα ποδήλατα συχνά ήταν εξοπλισμένα και με μηχανισμούς πέδησης που λειτουργούσαν όταν γύριζαν τα πετάλια αντίστροφα της φοράς που θα προωθούσε το ποδήλατο. Όμως οι μηχανισμοί αυτοί δεν περιλάμβαναν ελεύθερο έως το 1898. Την εποχή εκείνη εμφανίστηκαν και οι πρώτοι εναλλάκτες ταχυτήτων αλλά δεν έγιναν δημοφιλείς λόγω κόστους. Στη διάρκεια των εξήντα επόμενων χρόνων το ποδήλατο έπαψε να είναι δημοφιλές στους ενήλικες. Στη δεκαετία του 1970 όμως η ποδηλασία άνθισε ως άθλημα με αποτέλεσμα την αρχή καινούργιων εξελίξεων στο ποδήλατο. Με τους αγώνες δημιουργήθηκε σταδιακά μεγάλος ανταγωνισμός στην ποδηλατική βιομηχανία, με αποτέλεσμα να γίνονται μελέτες για την γεωμετρία, τα υλικά κατασκευής, και τις αεροδυναμικές αντιστάσεις των ποδηλάτων και των εξαρτημάτων τους. Η παράλληλη ανάπτυξη της βιομηχανίας αυτοκινήτων, μοτοσικλετών, αεροσκαφών και διαστημοπλοίων οδήγησε στην βελτίωση του σχεδιασμού των ποδηλάτων έτσι ώστε να γίνουν ελαφρύτερα, ανθεκτικότερα, αεροδυναμικότερα και αποδοτικότερα.

Υλικά κατασκευής ποδηλάτου και των εξαρτημάτων του

Η πρώτη μεγάλη εξέλιξη στον σκελετό του ποδηλάτου ήταν η μετάβαση από σιδερένιους σωλήνες σε αλουμινένιους. Το αλουμίνιο είναι πολύ πιο ελαφρύ υλικό από τον σίδηρο αλλά είναι εύκολα παραμορφώσιμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον σχεδιασμό ελαφρύτερων σκελετών ποδηλάτων με μεγαλύτερες διατομές στις σωλήνες τους για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακαμψία του σκελετού. Το αλουμίνιο και το τιτάνιο χρησιμοποιούνται και για μικρά εξαρτήματα του ποδηλάτου όπως βίδες (αλουμίνιο), άξονες μεσαίας τριβής (τιτάνιο), πετάλια (και τα δύο υλικά) κ.α.



Εικόνα 4: Αλουμινένιος σκελετός ποδηλάτου, γνωστής αμερικανικής εταιρίας, Μοντέλο του 2011



Εικόνα 5: Πετάλια τιτανίου (Speedplay X1 Titanium Pedals)

Η επόμενη μεγάλη αλλαγή για την δημιουργία ποδηλατικών σκελετών και εξαρτημάτων είναι η χρήση συνθέτων υλικών. Το υλικό που χρησιμοποιείται πλέον κατά κόρον είναι το ανθρακόνημα.

Σύνθετα υλικά

Ο όρος "σύνθετο" υλικό είναι ο γενικός όρος ενός υλικού κατασκευασμένο από μία μήτρα, συνήθως πολυμερούς, ενισχυμένο με ίνες. Συνήθως κατατάσσουμε τα υλικά σε μεταλλικά, κεραμικά και οργανικά. Η χημική σύσταση, η δομή και οι χημικές και μηχανικές ιδιότητες των κατηγοριών αυτών είναι διακριτές. Αν θεωρήσουμε ότι οι τρεις κλασικές κατηγορίες υλικών καταλαμβάνουν τις κορυφές του τριπόλου εξέλιξης των υλικών, ο συνδυασμός ανά δύο των υλικών οδηγεί σε οικογένειες νέων υλικών.



Οικογένειες σύνθετων υλικών

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 του ενός να μην είναι πολύ μικρή (> 10 %).

Το ένα από τα συστατικά μέρη χαρακτηρίζεται ως συστατικό ενίσχυσης και προσδίδει στο σύνθετο βελτιωμένες μηχανικές, κυρίως, ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό καλείται μήτρα, είναι συνήθως χαμηλής πυκνότητας και η συμμετοχή του στο σύνθετο εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης.

Ανάλογα με τη μορφή του συστατικού ενίσχυσης, τα σύνθετα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- 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.

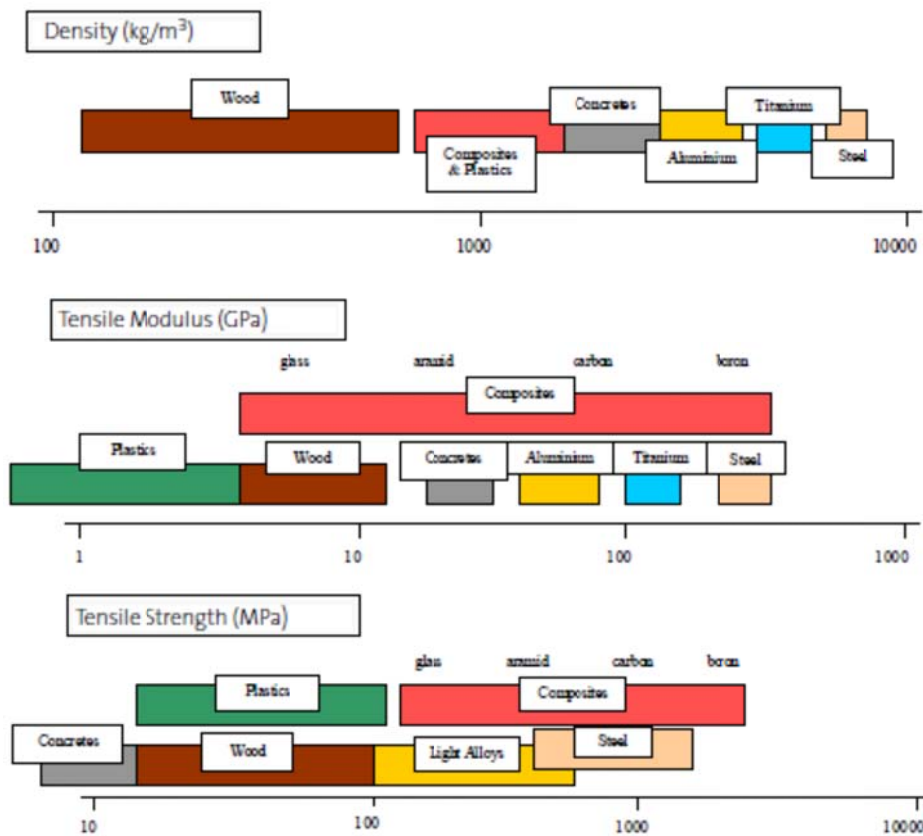
Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περαιτέρω ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη διάταξη των ινών μέσα στη μήτρα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή τα ινώδη σύνθετα διακρίνονται σε:

- Μονοδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.
- Πολυδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία, οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις.

Πλεονεκτήματα σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά προσφέρουν 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 κατασκευαστούν 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 κατασκευής πολύπλοκων σχημάτων.
- Πολύ χαμηλή θερμική διαστολή.
- Πολύ καλή αντοχή σε κόπωση.
- Δυνατότητα χρήσης σε κατασκευές ασφαλείας απορρόφησης ενέργειας.
- Φθαρμένες κατασκευές μπορούν να επισκευασθούν ευκολότερα.



Εικόνα 6: Κατηγοριοποίηση των υλικών με κριτήριο την πυκνότητα, το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή σε εφελκυσμό

Μήτρες

Σε ένα σύνθετο υλικό η μήτρα υποστηρίζει και συνδέει τις ίνες μεταφέροντας τα φορτία - τάσεις και προστατεύοντας τις ίνες από ζημιά. Η μήτρα επίσης καθορίζει την μέγιστη θερμοκρασία χρήσης του σύνθετου υλικού. Παρακάτω περιγράφονται μερικά συνήθη είδη thermosetting ρητινών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες στα σύνθετα.

1 Εποξική ρητίνη

Η εποξική ρητίνη βρίσκεται σε πολλές μορφές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες τεχνικές. Προσφέρει τέλειες μηχανικές ιδιότητες, υψηλή αντοχή και καλή προστασία από το περιβάλλον.

2 Φαινολική ρητίνη

Φαινολικές ρητίνες χρησιμοποιούνται όταν η αντοχή σε πυρκαγιά, καπνό και αντοχή σε τοξικό περιβάλλον υπερτερούν των υπολοίπων κριτηρίων. Οι ρητίνες αυτές είναι σχετικά φθηνές αλλά είναι δύσκολες στον χειρισμό τους σε σχέση με την εποξική και έχουν χαμηλές μηχανικές ιδιότητες.

3 Διαμιδική ρητίνη (Bismaleimide)

Αυτές είναι σχετικά ακριβές μήτρες αλλά έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι ρητίνες αυτές είναι δύσκολες στην διαχείριση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ψησίματος και το χαμηλό ιξώδες τους.

4 Μήτρα κυανούχου εστέρα

Μπορούν να διατηρήσουν τις μηχανικές τους ιδιότητες σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες (έως 350 °C) αλλά είναι επίσης ακριβές. Οι ρητίνες αυτές μπορούν να απορροφήσουν νερό που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα φυσαλίδων. Η διαδικασία χρήσης τους είναι παρόμοια με αυτή των εποξικών ρητινών.

5 Πολυεστέρα

Τέτοιες ρητίνες είναι χαμηλού κόστους αλλά υστερούν σε ιδιότητες σε σχέση με τις εποξικές ρητίνες. Χρησιμοποιούνται όπου χρειάζονται απλές μηχανικές ιδιότητες και χαμηλή αντοχή σε θερμοκρασία. Προεμποτισμένα υφάσματα με μήτρα πολυεστέρα μπορούν να διαμορφωθούν χωρίς στυρένιο και έτσι δεν προκαλούνται προβλήματα υγείας, όπως από τις αντίστοιχες υγρές διαστρωματώσεις.

6 Μήτρα βινυλικού εστέρα

Προσφέρει ισορροπία ανάμεσα στις εποξικές και στον πολυεστέρα σε ιδιότητες και κόστος. Το προεμποτισμένο γενικά δεν περιέχει στυρένιο.

Ενισχύσεις ινών

Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ίνες είναι το γυαλί, ο άνθρακας και το αραμίδιο. Υπάρχουν, όμως, και άλλων ειδών ίνες (οι ίνες είναι στη μορφή συνεχών νημάτων). Αυτές μπορεί να είναι πλεγμένες ή ραμμένες μεταξύ τους για να παραχθεί το ύφασμα. Ή θα μπορούσαν να είναι μονοδιευθυντικές, όπως παράγονται άλλωστε.

1 Συνήθη είδη ινών

1.1 Ανθρακονήματα

Οι ίνες ανθρακονήματος χωρίζονται σε κατηγορίες υψηλής αντοχής, μεσαίου μέτρου ελαστικότητας, υψηλού μέτρου ελαστικότητας και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές υψηλής αντοχής και στιβαρότητας όπου τα πλεονεκτήματα του χαμηλού βάρους υπερκαλύπτουν το επιπλέον κόστος υλικού.

1.2 Υαλονήματα

Τα πλέον χρησιμοποιούμενα είναι τα E-glass, S- glass και Quartz. Χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές όπως η βαλλιστική, όπου οι διηλεκτρικές ιδιότητες είναι κρίσιμες. Το υαλόνημα είναι χαμηλότερου κόστους του ανθρακονήματος αλλά βαρύτερο και φτωχότερο μηχανικών ιδιοτήτων σε αντοχή και στιβαρότητα.

1.3 Αραμίδιο

Γνωστό από τα εμπορικά ονόματα Kevlar, Tecpora ή Twaron το αραμίδιο συνήθως χρησιμοποιείται όπου αναμένεται ζημιά από κρούση. Το αραμίδιο έχει την ιδιότητα να απορροφά και να διαχέει ενέργεια όπως επίσης και την ιδιότητα να αντιστέκεται στην απόξεση αλλά υποφέρει από μικρή αντοχή σε θλίψη.

1.4 Dyneema

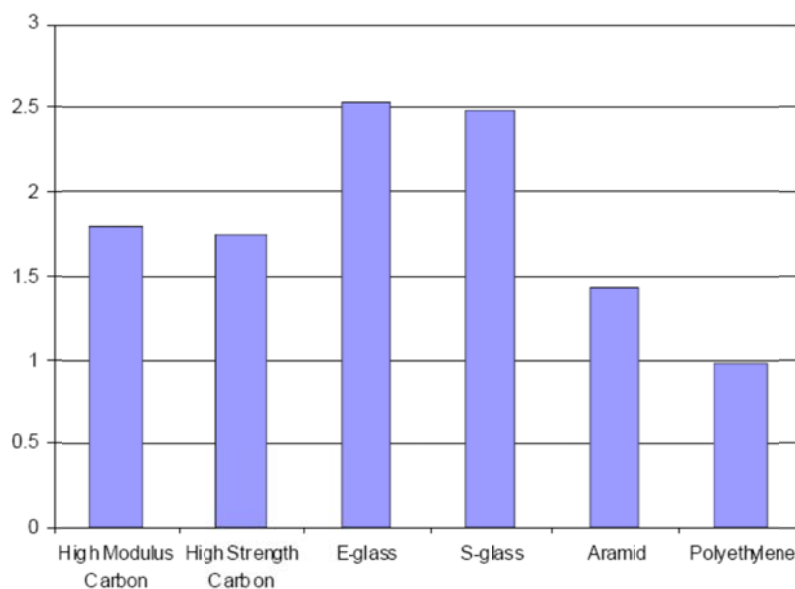
Dyneema είναι ένα πολύ υψηλού μοριακού βάρους πολυεθυλένιο. Χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή και χαμηλή πυκνότητα. Παρόλα αυτά έχει μικρή αντοχή στην θερμοκρασία και όπως το αραμίδιο μικρή αντοχή σε θλίψη.

1.5 Zylon

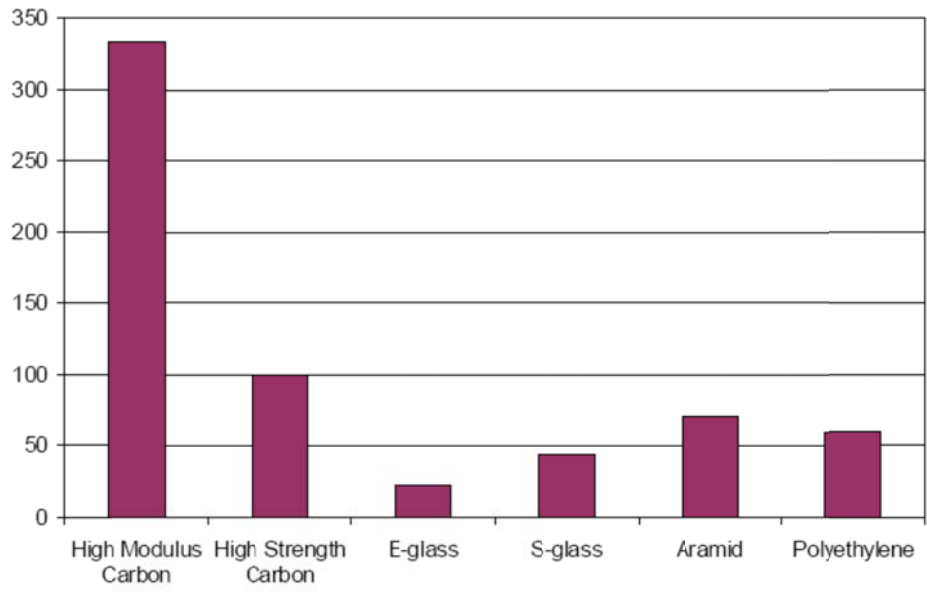
Zylon ίνες έχουν ανώτερη αντοχή σε εφελκυσμό από τις ίνες αραμιδίου. Έχουν επίσης εξαιρετική αντοχή σε κρούση και υψηλή αντοχή στην θερμοκρασία. Οι αδυναμίες τους περιλαμβάνουν φτωχή αντοχή σε θλίψη και φτωχή αντοχή σε υπέρυθη ακτινοβολία.

2 Κριτήρια επιλογής ίνας

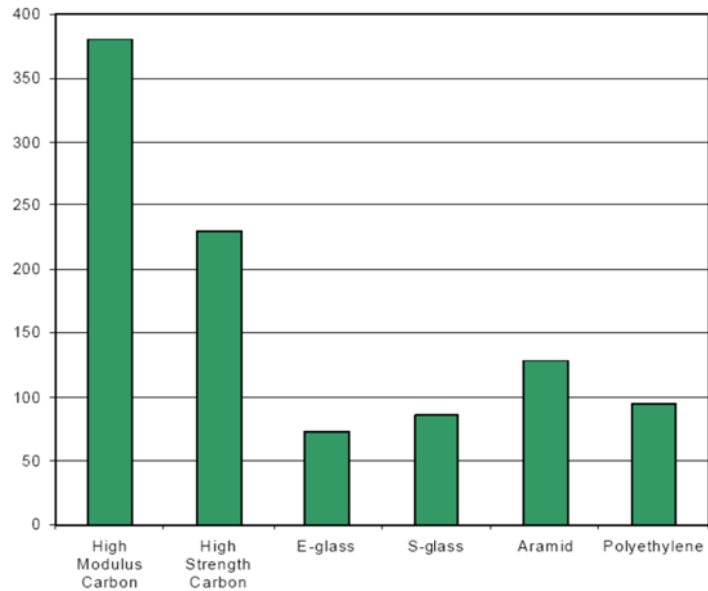
Οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή ίνας είναι: πυκνότητα, κόστος, αντοχή και ελαστικότητα. Στα επόμενα διαγράμματα συγκρίνονται οι διάφορες ίνες ανά παράγοντα.



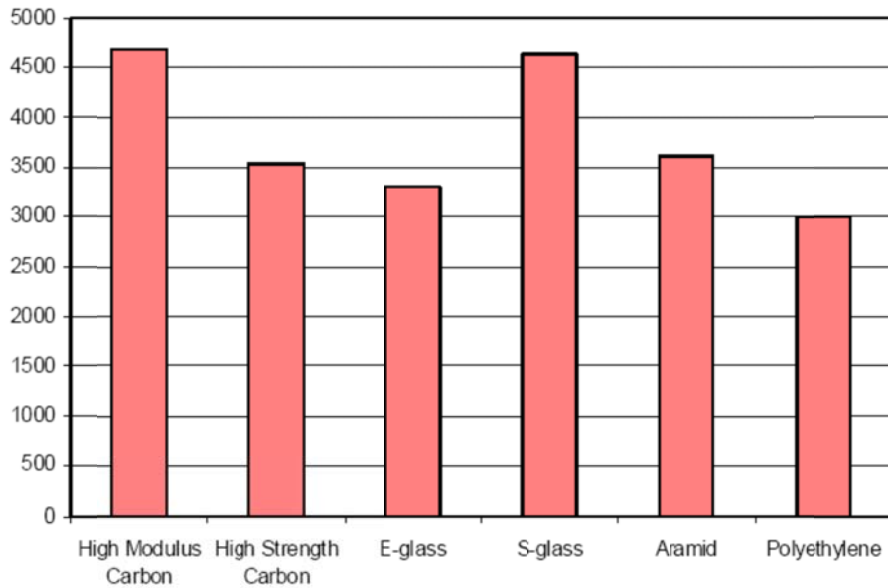
Εικόνα 7: Σχέση πυκνότητας ινών



Εικόνα 8: Σχέση κόστους ινών



Εικόνα 9: Σχέση μέτρου ελαστικότητας ινών



Εικόνα 10: Σχέση ορίου αντοχής σε εφελκυσμό των ινών

Εφαρμογές ανθρακονήματος

Το ανθρακόνημα χρησιμοποιείται σήμερα για την κατασκευή μερών ποδηλάτων, μοτοσικλετών, 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 που 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. Επίσης η ευχέρεια που προσφέρει η αρχική μορφή του ανθρακονήματος δίνει την δυνατότητα δημιουργίας έξυπνων κατασκευών. Τέτοιες κατασκευές 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 11: Zephyr ανθρακονημάτινο αεροσκάφος που κινείται με ηλιακή ενέργεια



Εικόνα 12: Καταμαράν με ανθρακονημάτινο πανί που του επιτρέπει ταχύτητες των 59 km/h



Εικόνα 13: Specialized-McLaren Venge, το ποδήλατο αυτό δημιουργήθηκε από την συνεργασία της Specialized με την McLaren

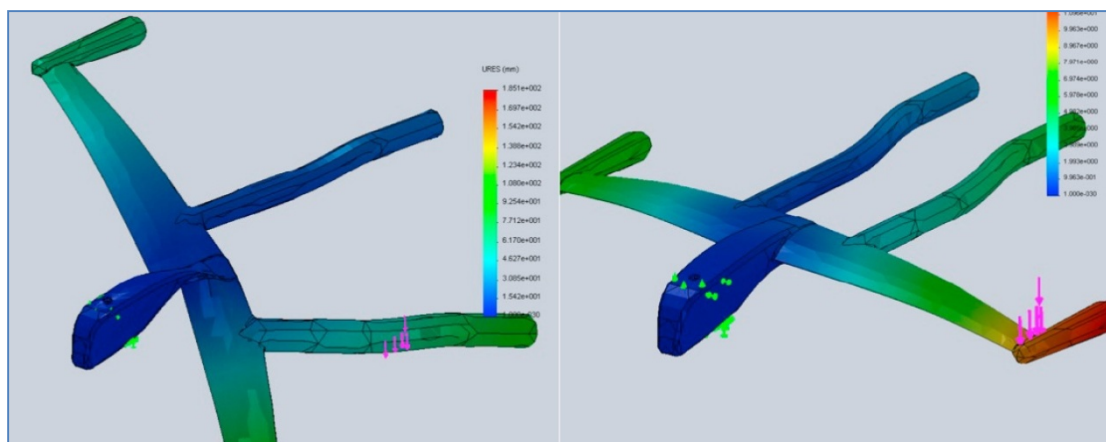
Εκτός από την εξέλιξη στην τεχνολογία των υλικών, η εξέλιξη των υπολογιστών και των προγραμμάτων σχεδίασης άλλαξε ριζικά την μορφή όλων των κατασκευών και τις διαδικασίες παραγωγής τους.

Σχεδιασμός με την βοήθεια υπολογιστή(Computer-Aided-Design)

Ο σχεδιασμός προϊόντος με την βοήθεια υπολογιστή(Computer-Aided-Design), έφερε επανάσταση στη μηχανολογία. Με την βοήθεια λογισμικών Cad μπορεί κανείς να σχεδιάσει το προϊόν του, να το ελέγξει ως προς την αντοχή του στις αναμενόμενες καταπονήσεις, να κάνει κάποια βελτιστοποίηση και να παράγει τα απαραίτητα σχέδια για την κατασκευή του. Πλέον τα λογισμικά Cad πληθαίνουν, όπως το Autocad, το SolidWorks, το Parasolid κ.α. Η τάση που εδραιώθηκε τα τελευταία χρόνια είναι ο τρισδιάστατος σχεδιασμός τουζητούμενου τελικού μοντέλου ώστε να γίνουν κάποιοι πρώτοι θεωρητικοί έλεγχοι σε αυτό. Οι έλεγχοι αυτοί θα επιτευχθούν μέσω προσομοιώσεων και θα γλιτώσουν χρόνο και χρήμα από τον επίδοξο κατασκευαστή του συγκεκριμένου προϊόντος, επειδή όσο πιο ακριβές είναι το μοντέλο, τόσο λιγότερα προβλήματα θα παρουσιάσει το προϊόν, και θα γίνουν λιγότερες αλλαγές στην παραγωγή. Αυτό προκαλεί δραστική μείωση του κόστους ανάπτυξης της παραγωγής του προϊόντος.



Εικόνα 14: Τιμόνι χρονομέτρου σχεδιασμένο για αεροδυναμική θέση αναβάτη



Εικόνα 15: Το μοντέλο του παραπάνω τιμονιού στο SolidWorks σε δύο διαφορετικές καταπονήσεις

Όπως έχει αναφερθεί, το τιμόνι που θα κατασκευαστεί σε αυτήν την εργασία θα σχεδιαστεί στο SolidWorks, όπως και το καλούπι του που θα είναι από αλουμίνιο 7075 T651.

Έλεγχος μηχανών με την βοήθεια υπολογιστή(Computer Numerical Control)

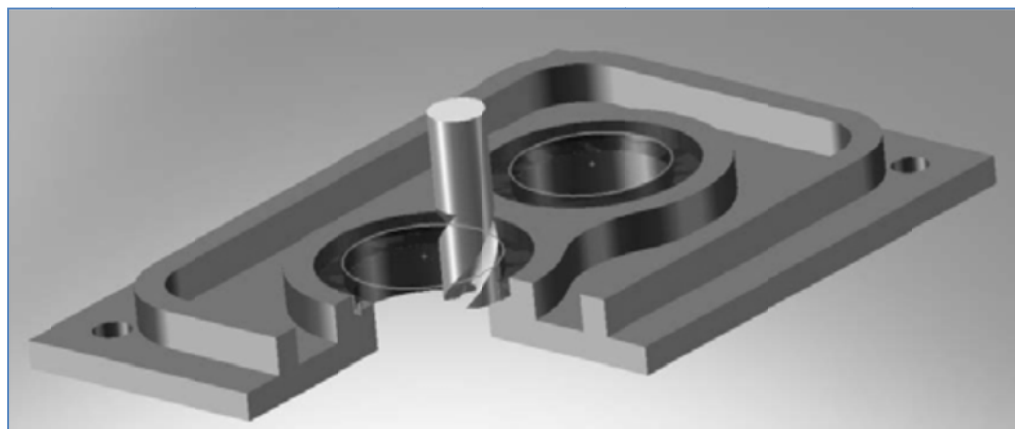
Μία εργαλειομηχανή για να θεωρείται CNC πρέπει να έχει ένα σερβο-σύστημα που την ελέγχει. Το σερβο-σύστημα αποτελείται από τους επενεργητές, τα σερβο-μοτέρ δηλαδή, τους αισθητήρες που δίνουν αναφορά κατάστασης (π.χ. θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση του ελεγχόμενου σημείου), την μονάδα ελέγχου και το λογισμικό. Η βασική αρχή κάθε σερβο-συστήματος 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. 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.

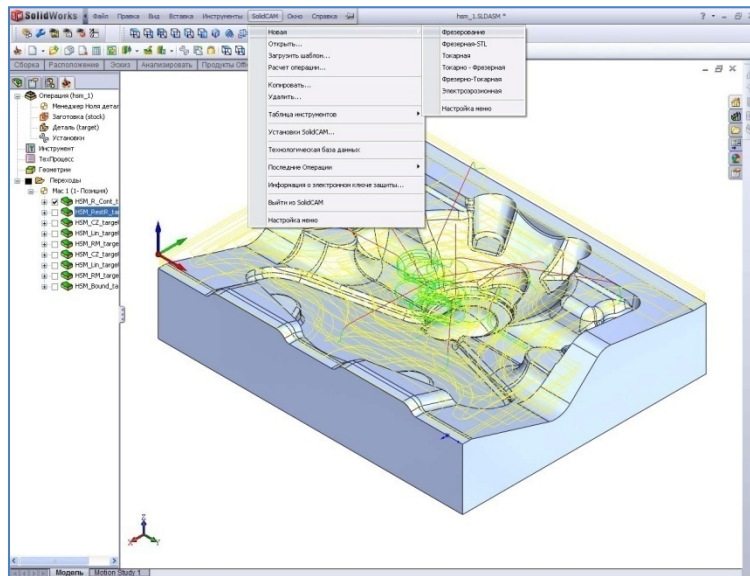


Εικόνα 16: Προσομοίωση κοπής σε τρισδιάστατο γραφικό περιβάλλον

Κατασκευή με την βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing)

Ουσιαστικά έχει ήδη περιγραφεί η έννοια του προγραμματισμού CNC με την βοήθεια υπολογιστή αλλά το CAM (Computer Aided Manufacturing) περιλαμβάνει πολλά άλλα όπως προγραμματισμό PLC, συσκευών ελέγχου ποιότητας κ.α.

Ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι το SolidCam που το παρέχει η ίδια εταιρία του σχεδιαστικού προγράμματος που θα χρησιμοποιηθεί στην διπλωματική.



Εικόνα 17: Γραφικό περιβάλλον SolidCam της Solidworks Corp

3. Δημιουργία σχεδίων

Όπως προαναφέρθηκε στην περίληψη, επιλέχθηκαν πέντε τιμόνια επιτυχημένα εμπορικά και σχεδιάστηκαν στο SolidWorks με μικρές διαφορές λόγω του ότι δεν υπήρχαν τα σχέδιά τους. Τα τιμόνια που επιλέχθηκαν καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των ειδών τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου. Επιγραμματικά τα τιμόνια είναι τα εξής:

C. τιμόνι δύο (κυκλικών) διατομών κέντρου 25.9mm

E. εργονομικό τιμόνι δύο (κυκλικών) διατομών κέντρου 25.9mm

A. αεροδυναμικό τιμόνι πολλών διαφορετικών διατομών (UCI legal) με υπερδιαστασιολογημένο κέντρο 31.8mm

O. εργονομικό τιμόνι πολλών διαφορετικών διατομών με υποδοχή για καλώδιο και υπερδιαστασιολογημένο κέντρο 31.8mm

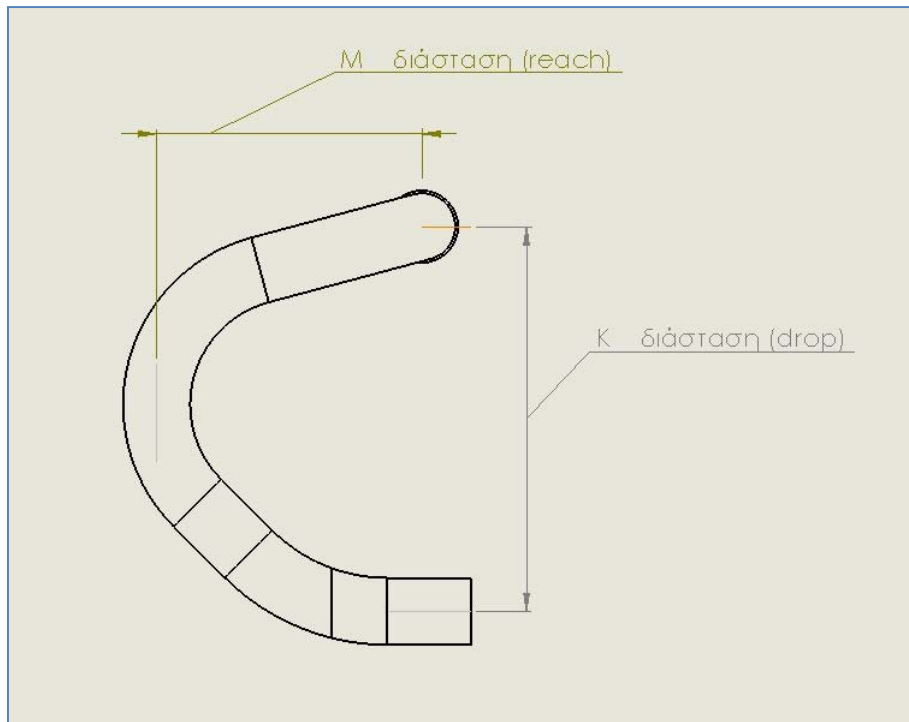
P. εργονομικό τιμόνι δύο διατομών με υποδοχή για καλώδιο και υπερδιαστασιολογημένο κέντρο 31.8mm

Όλα τα τιμόνια θα σχεδιαστούν ως αλουμινένια (7075 T6) πάχους 1mm.

Χρήσιμες πληροφορίες

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 $\Phi 24$ και στο σημείο στήριξης του φρένου πρέπει να είναι κυκλική και $\Phi 24$. Αυτό οφείλεται στο ότι το φρένο στηρίζεται σε σωλήνα της παραπάνω διατομής και μπαίνει στο τελικό σημείο περαστό από την άκρη του τιμονιού. Στο κέντρο το τιμόνι πρέπει να έχει κυκλική διατομή για περίπου 40mm και να έχει διάσταση είτε 25.9mm είτε 31.8mm, λόγω του ότι οι λαιμοί που συγκρατούν το τιμόνι είναι τυποποιημένοι σε αυτές τις δύο διαστάσεις. Εκτός από τους παραπάνω και των περιορισμών του EN14781 δεν υπάρχουν άλλοι περιορισμοί.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τιμονιού είναι το μέγεθος, που είναι η εξωτερική διάσταση του όπως παρατηρείται από πάνω, η απόσταση της πάνω από την μπροστά θέση (reach) και η απόσταση της πάνω από την κάτω θέση (drop). Οι τελευταίες δύο αποστάσεις αυτές φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

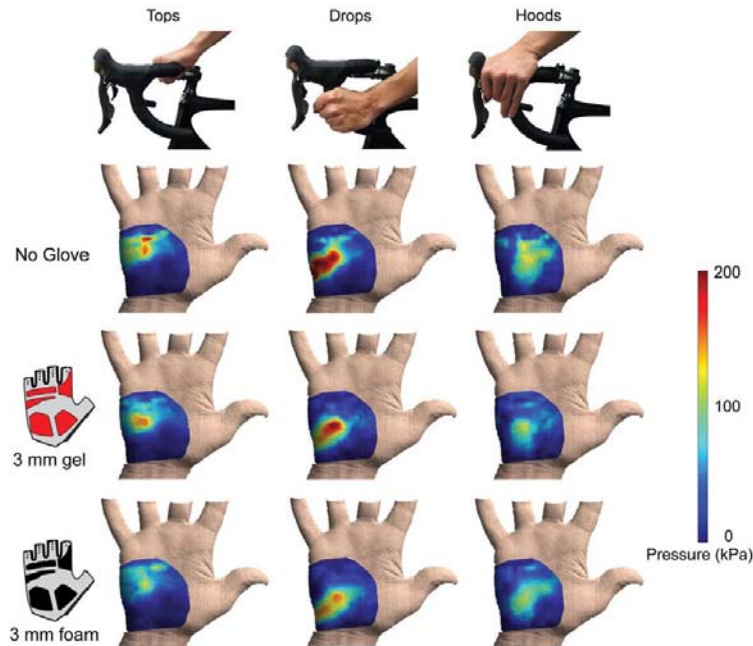


Εικόνα 18: Διαστάσεις τιμονιού

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%, ενώ τα γάντια που έχουν αφρό αποσβένουν περισσότερο. 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 υπαισθησία 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.

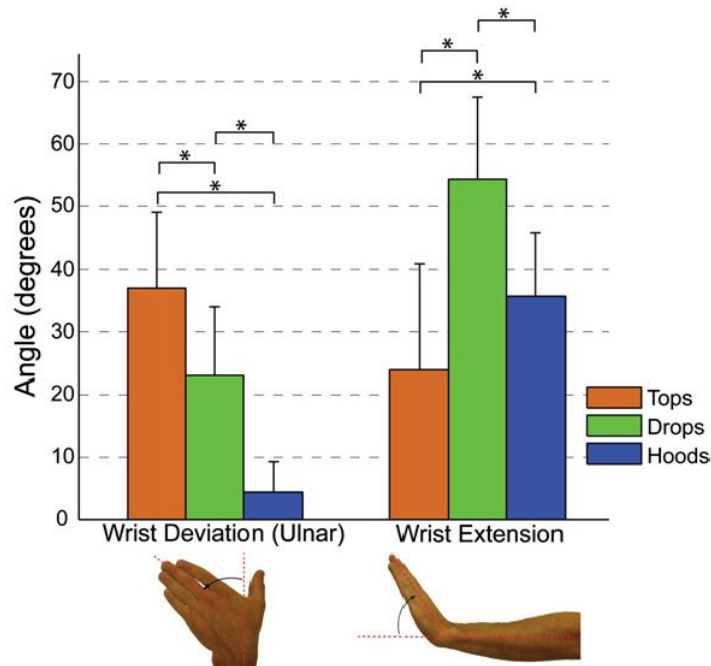
Δύο νεύρα ελέγχουν την παλάμη του χεριού, το μεσαίο (median) και το ωλενικό (ulnar). Το ωλενικό νεύρο έχει δύο κλάδους: τον επιφανειακό και τον εσώτερο. Ο επιφανειακός κλάδος δίνει την αίσθηση του μισού τέταρτου και του πέμπτου δακτύλου, ενώ ο εσώτερος κλάδος δίνει κίνηση στους αντιθέναρ (hypothenar) 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 ακριβή μέτρα πρόληψής της δεν έχουν καθοριστεί. Εκτός της απευθείας πίεσης στην αντιθέναρ περιοχή, η διατήρηση δυσμενής 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.



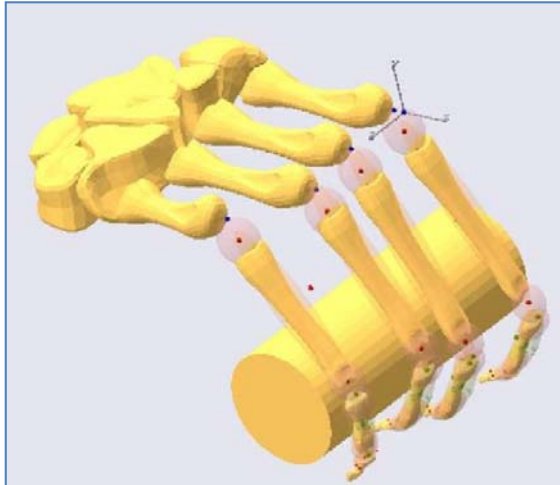
Εικόνα 19: Καταπόνηση παλάμης στις διάφορες θέσεις οδήγησης

Η έκταση του καρπού (Wrist Extension), όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, 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.



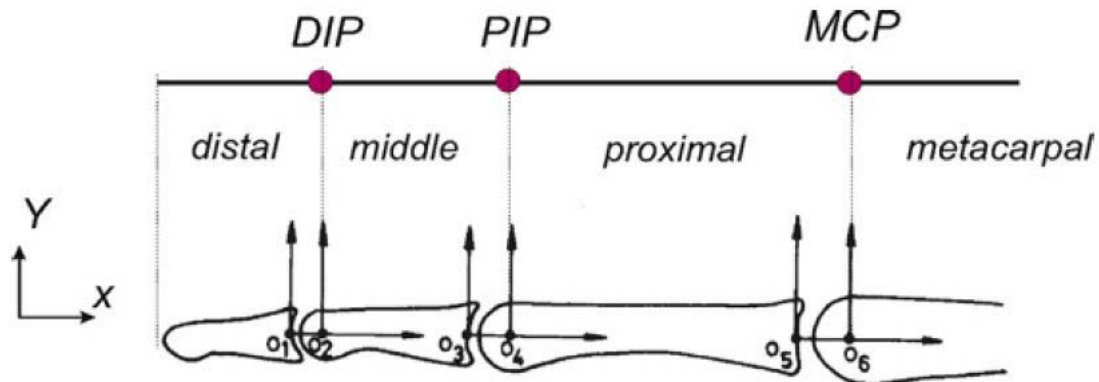
Εικόνα 20: Έκταση και απόκλιση καρπού

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αν η πίεση που ασκείται στο χέρι του ποδηλάτη είναι περίπου 160kPa (αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 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.



Εικόνα 21: Μυοσκελετικό μοντέλο χεριού

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



Εικόνα 22: Αρθρώσεις δακτύλου

Οι τριβές του χεριού με τον κύλινδρο 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.

Το τιμόνι ενός αγωνιστικού ποδηλάτου δρόμου συνδέεται με το υπόλοιπο ποδήλατο μέσω του λαιμού. Πάνω στο τιμόνι συνδέονται οι λεβιέδες των φρένων και μια ταινία από αφρό για να μειώνει την πίεση που δέχεται το χέρι.

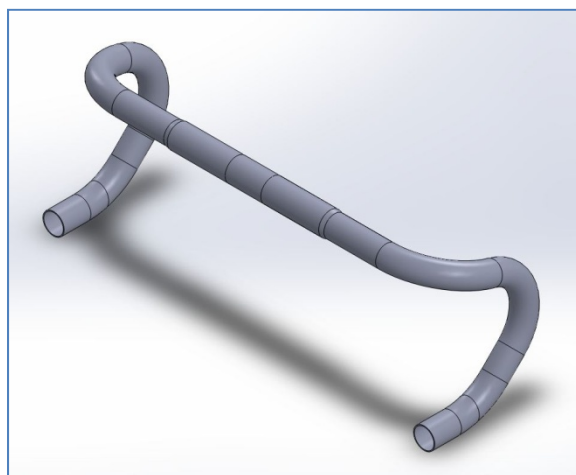
Τιμόνια

Όλα τα μοντέλα εκτός του Α είναι μοντελοποιημένα ως στερεά πάχους 1mm.

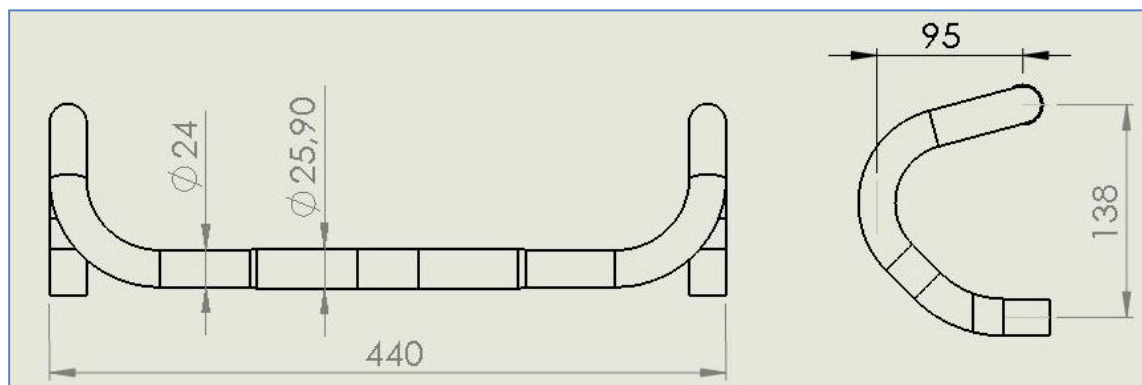
Ϟ

Μέγεθος: 440mm, Διάσταση Μ (reach): 95mm, Διάσταση Κ (drop): 138mm

Το απλούστερο τιμόνι από αυτά που θα παρουσιαστούν. Σχηματικά είναι ένας συνεχόμενος σωλήνας $\Phi 24$ μέχρι το κέντρο που αυξάνεται σε 25.9mm.



Εικόνα 23: Τιμόνι Ϟ



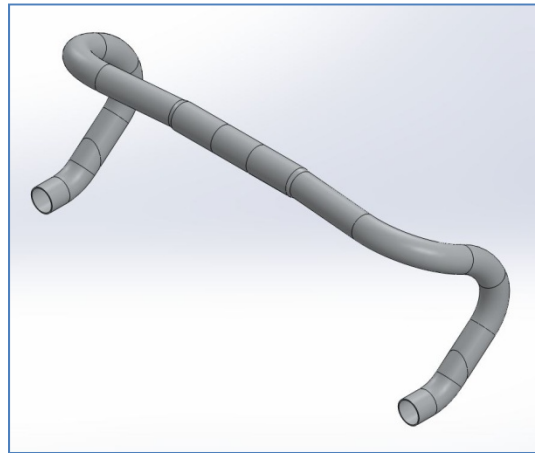
Εικόνα 24: Διαστάσεις τιμονιού Ϟ

Ϟ

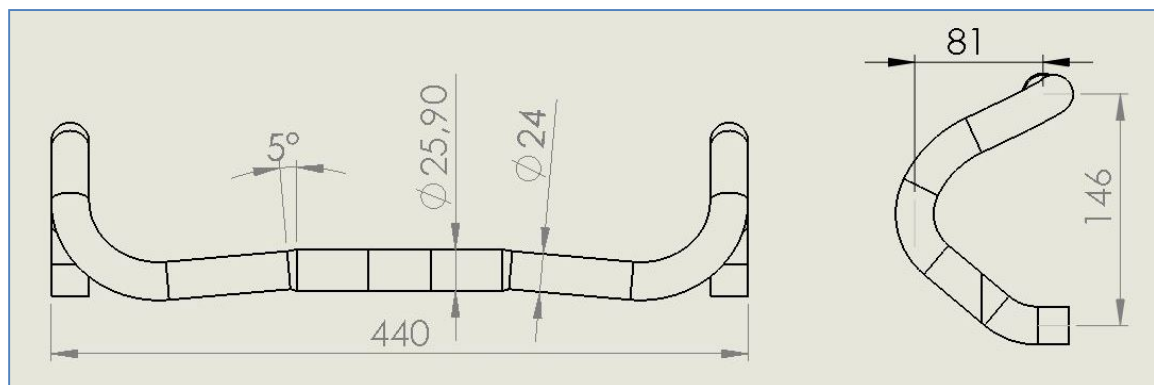
Μέγεθος: 440mm, Διάσταση Μ (reach): 81mm, Διάσταση Κ (drop): 138mm: 146mm

Αυτό είναι ένα εργονομικό μοντέλο-εξέλιξη του προηγούμενου. Η βασική διαφορά είναι το «σπάσιμο» που κάνει στο πάνω μέρος του το τιμόνι. Ουσιαστικά δεν συνεχίζει ίσια το τιμόνι από το κέντρο του αλλά κάνει μία γωνία για να κάθονται τα

χέρια σε φυσικότερη στάση. Οι γωνίες και οι καμπυλότητες του τιμονιού είναι αλλαγμένες αλλά με μικρές διαφορές.



Εικόνα 25: Τιμόνι E

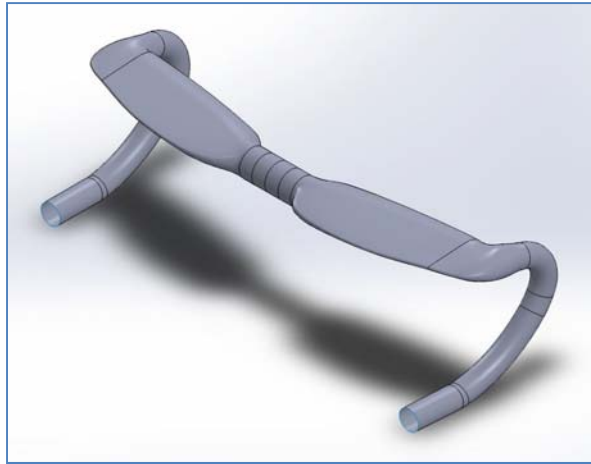


Εικόνα 26: Διαστάσεις τιμονιού E

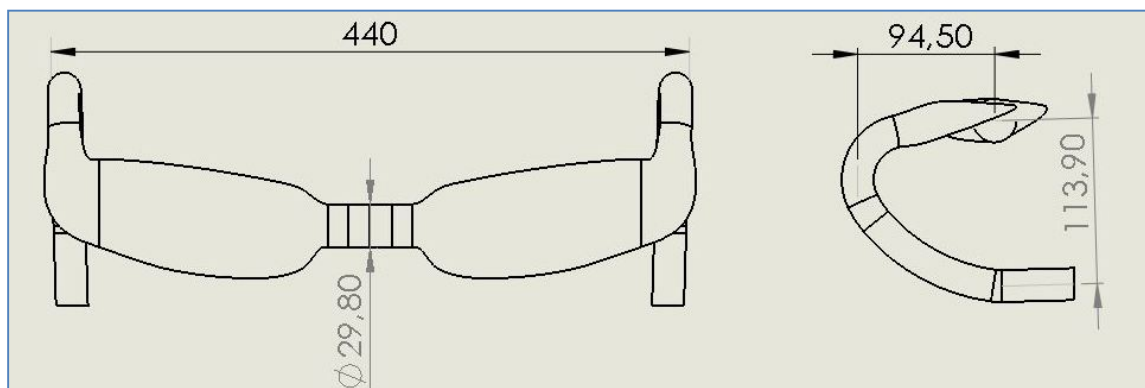
A

Μέγεθος: 440mm, Διάσταση M (reach): 94.5mm, Διάσταση K (drop): 112mm

Ένα μάλλον μη εργονομικό τιμόνι αεροδυναμικά σχεδιασμένο. Η διατομή του στην πάνω θέση είναι σε σχήμα σταγόνας και ο λόγος μήκους-πλάτους φτάνει το 3:1 που είναι και το όριο κατά UCI. Το κέντρο του είναι υπερδιαστασιοποιημένο (δηλαδή 31.8mm). Η πεπλατυσμένη πάνω πλευρά του είναι καλή για την ανάπαυση των χεριών, όμως το τιμόνι αυτό δεν έχει νόημα να οδηγηθεί στην πάνω θέση οδήγησης, αφού θα αχρηστευόταν το αεροδυναμικό του προτέρημα.



Εικόνα 27: Τιμόνι Α

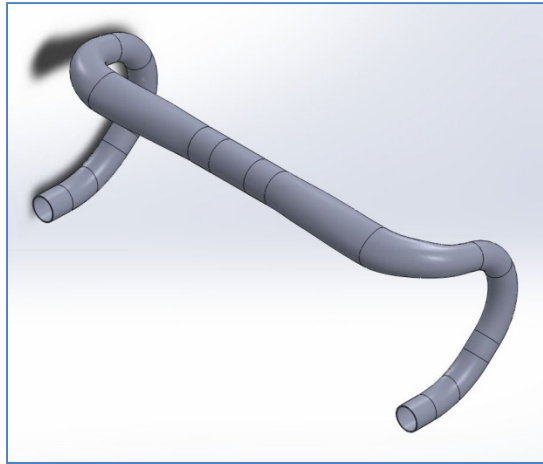


Εικόνα 28: Διαστάσεις τιμονιού Α

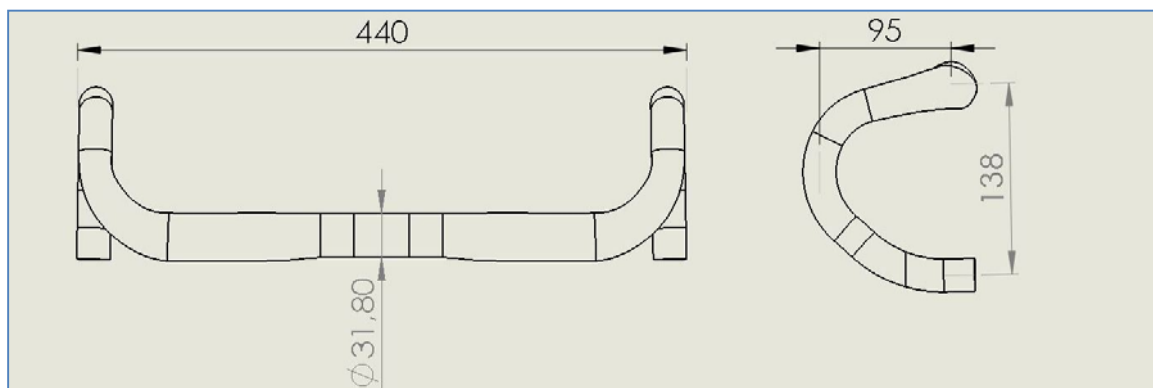
Παρατηρείστε ότι η διάσταση στο κέντρο είναι 29.8mm. Αυτό συμβαίνει γιατί λόγω προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια ελέγχου του τιμονιού σε αντοχή, έπρεπε να μοντελοποιηθεί η εσωτερική επιφάνεια του τιμονιού, η οποία είναι 1mm «μετατοπισμένη» σε σχέση με την εξωτερική. Το μοντέλο αυτό είναι σχεδιασμένο ως επιφάνεια και όχι ως στερεό.

Ω

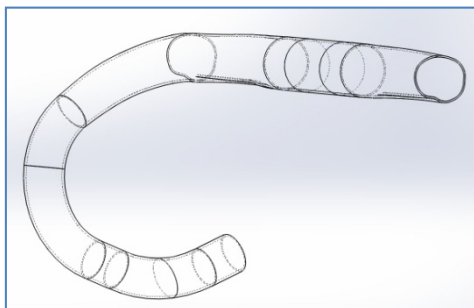
Το εργονομικότερο τιμόνι, εκτός από τα τμήματά του που υποχρεωτικά είναι κυκλικής διατομής, οι διατομές του είναι σύνθετες. Οι γενικά μεγάλες διατομές του είναι καλύτερες για το χέρι του αναβάτη γιατί είναι πολύ κοντά στον κύλινδρο των 31mm που αναφέρθηκε παραπάνω (ιδανική διάσταση λαβής) και γιατί οι επιφανειακές πιέσεις στο χέρι είναι μειωμένες. Στην κάτω θέση έχει μια μικρή αλλαγή καμπυλότητας ώστε να μην κουράζεται το ωλενικό νεύρο. Υπάρχουν ανάγλυφες διαμορφώσεις στο μπροστινό του μέρος για να υποδέχονται τα καλώδια των φρένων. Το κέντρο του είναι υπερδιαστασιοποιημένο (δηλαδή 31.8mm).



Εικόνα 29: Τιμόνι Ο



Εικόνα 30: Διαστάσεις τιμονιού Ο

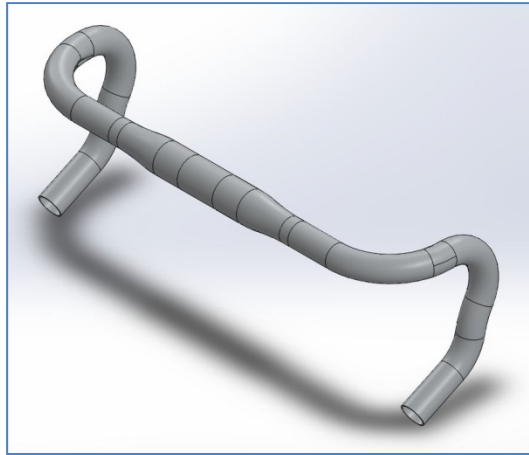


Εικόνα 31: Λεπτομέρεια τιμονιού Ο

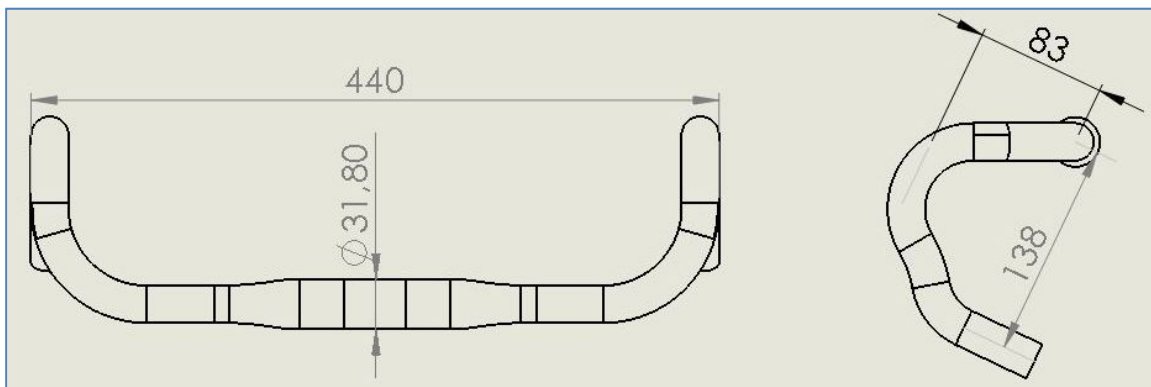
Παρατηρείστε ότι υπάρχει εσοχή για την τοποθέτηση του καλωδίου του φρένου.

P

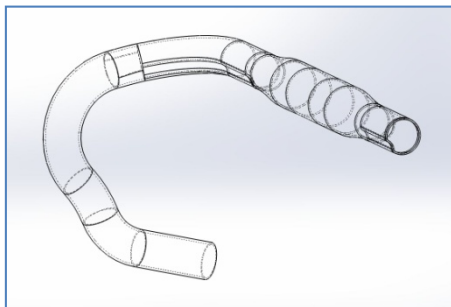
Το πάνω μέρος του είναι ίσιο ενώ στην κάτω θέση έχει μια αλλαγή καμπυλότητας ώστε να μην κουράζεται το ωλενικό νεύρο. Έχει επίσης υποδοχές για τα καλώδια των φρένων αλλά οι διατομές του είναι κυκλικές και $\Phi 24$ εκτός του κέντρου που είναι υπερδιαστασιοποιημένο (δηλαδή 31.8mm).



Εικόνα 32: Τιμόνι P



Εικόνα 33: Διαστάσεις τιμονιού P



Εικόνα 34: Λεπτομέρεια τιμονιού P

Παρατηρείστε ότι υπάρχει εσοχή για την τοποθέτηση του καλωδίου του φρένου.

Η έκταση και η απόκλιση του καρπού δεν σχολιάζεται πως αλλάζουν από τιμόνι σε τιμόνι γιατί αυτό ποικίλει από αναβάτη σε αναβάτη καθώς η θέση οδήγησης καθορίζεται από πολλές διαστάσεις του σώματος καθώς και τις προτιμήσεις του.

4. Έλεγχος σχεδίων σε αντοχή

Ευρωπαϊκός κανονισμός

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. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι έλεγχοι που απαιτεί ο κανονισμός όπως αναφέρονται στο πρωτότυπο (σελίδες 33-42 του EN14781, κεφάλαιο 4.7).

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, επικαλύψεις λαβών και πόματα στερέωσης των επικαλύψεων

2.1 Απαίτηση

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

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

2.2 Μέθοδος ελέγχου

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

3. Λαιμός ποδηλάτου - βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι

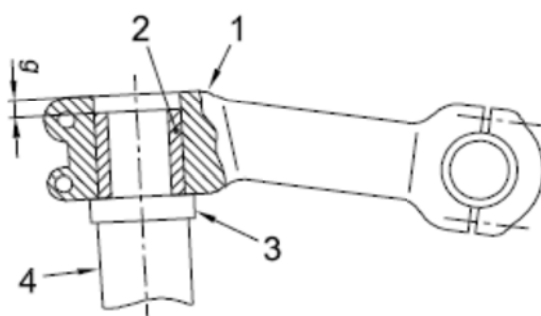
Το τιμόνι-λαιμός θα πρέπει να παρέχει έναν από τους δύο εναλλακτικούς τρόπους που ακολουθούν, ώστε να εξασφαλίζεται ένα ασφαλές βάθος διεϊσδυσης του λαιμού στο πιρούνι.

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

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

4. Λαιμός ποδηλάτου– σφικτήρας λαιμού με το πιρούνι

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



g απόσταση μεταξύ της πάνω επιφάνειας του λαιμού και τις πάνω επιφάνειας του πιρουνιού

- 1 σφικτήρας λαιμού
- 2 επέκταση πιρουνιού
- 3 αποστατικός δακτύλιος
- 4 σωλήνας κεφαλής ποδηλάτου

5. Σταθερότητα οδήγησης

Το τιμόνι θα πρέπει να είναι ελεύθερο να στρίψει 60° και προς τις δύο μεριές (συμμετρικά της μπροστινής θέσης) και δεν θα υπάρχουν σημεία που τα ρουλεμάν θα χαλαρώνουν ή θα αντιστέκονται στην κίνηση.

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

6. Τιμόνι και λαιμός– στατική αντοχή και έλεγχοι ασφαλείας

6.1 Λαιμός – έλεγχος πλευρικής κάμψης

6.1.1 Γενικά

Αυτός ο έλεγχος αφορά στην σύνδεση τιμονιού-λαιμού.

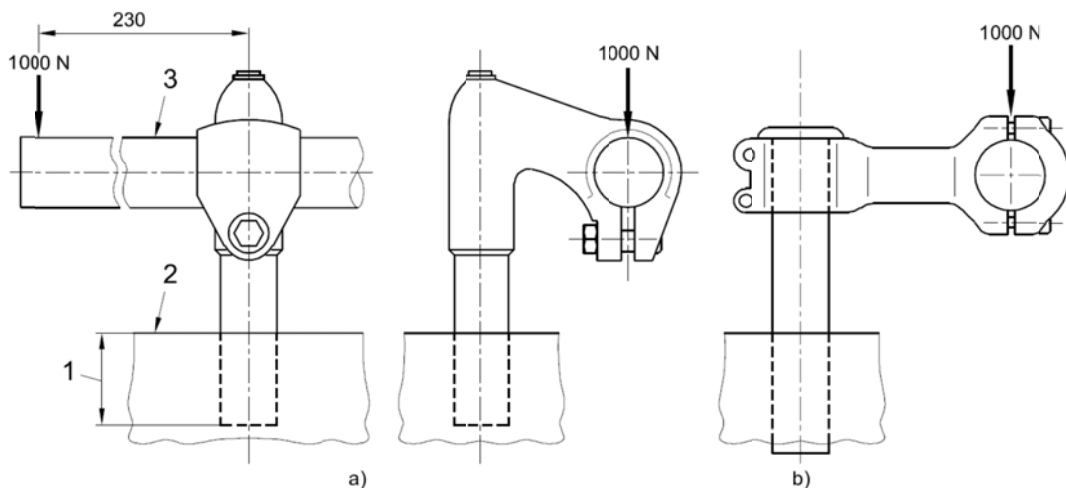
6.1.2 Απαίτηση

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



Εικόνα 36: Έλεγχος του λαιμού σε πλευρική κάμψη

- a) λαιμός που εισχωρεί στο πιρούνι
- b) λαιμός που το πιρούνι εισχωρεί σε αυτόν
- 1 ελάχιστο βάθος διείσδυσης
- 2 βάση συγκράτησης

6.2. Τιμόνι και λαιμός - έλεγχος σε πλευρική κάμψη

6.2.1 Γενικά

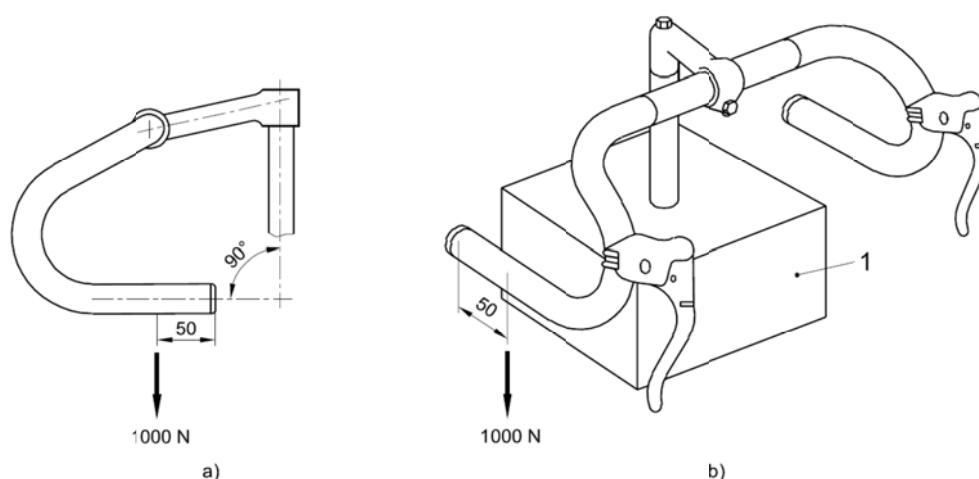
Αυτός ο έλεγχος χρησιμοποιείται για τιμόνια και το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό.

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

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



Εικόνα 37: Έλεγχος σε πλευρική κάμψη

a) Προσανατολισμός τιμονιού (αν δεν είναι μόνιμα συνδεδεμένο με τον λαιμό)

b) Θέση της ασκούμενης δύναμης

1 Βάση στήριξης

6.3 Λαιμός -έλεγχος σε κάμψη μπροστά

6.3.1 Γενικά

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

6.3.2 Απαίτηση για το πρώτο στάδιο

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

6.3.3 Μέθοδος ελέγχου για το πρώτο στάδιο

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

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

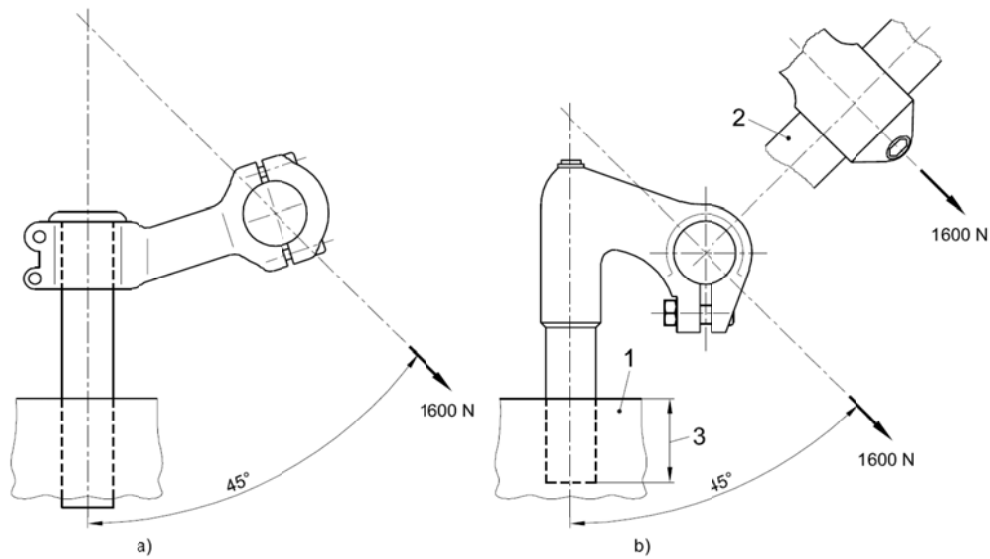
Εάν ο λαιμός καλύπτει την απαίτηση της 6.3.2 συνεχίστε στο δεύτερο στάδιο του ελέγχου.

6.3.4 Απαίτηση για το δεύτερο στάδιο

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

6.3.5 Μέθοδος ελέγχου για το δεύτερο στάδιο

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



Εικόνα 38: Έλεγχος του λαιμού σε κάμψη μπροστά

a) λαιμός που το πιρούνι εισχωρεί σε αυτόν

b) λαιμός που εισχωρεί στο πιρούνι

1 βάση στήριξης

2 συμπαγής ράβδος

3 ελάχιστο βάθος διείσδυσης

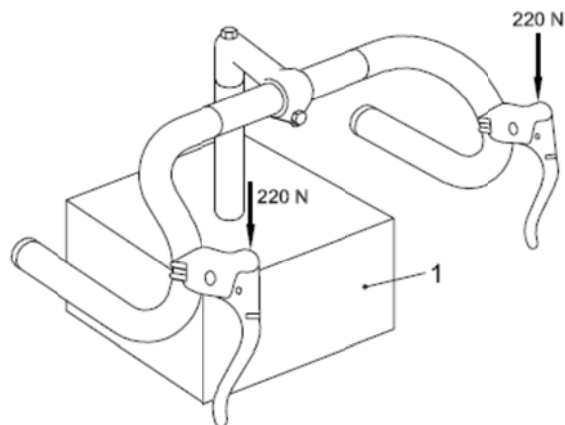
6.4 Λαιμός, έλεγχος ασφαλείας των ενώσεων σε στρέψη

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

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



Εικόνα 39: Έλεγχος σε στρέψη της ένωσης τιμονιού-λαιμού

1 Βάση στήριξης

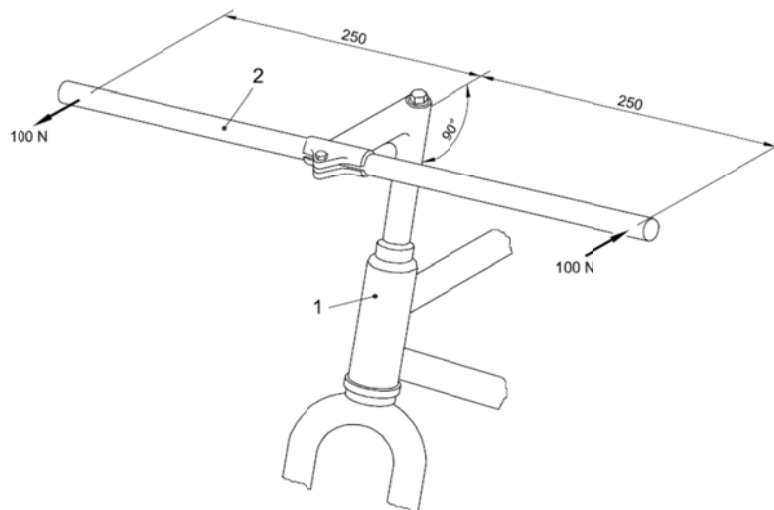
6.5 Λαιμός-πιρούνι - έλεγχος σε στρέψη

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

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



Εικόνα 40: Έλεγχος σε στρέψη του λαιμού με το πιρούνι

1 Συναρμολογημένο πλαίσιο ποδηλάτου με πιρούνι

2 Δοκιμαστικό τιμόνι (συμπαγής ασάλινη ράβδος)

6.6 Αεροδυναμικές επεκτάσεις τιμονιού - έλεγχος ασφαλείας

6.6.1 Γενικά

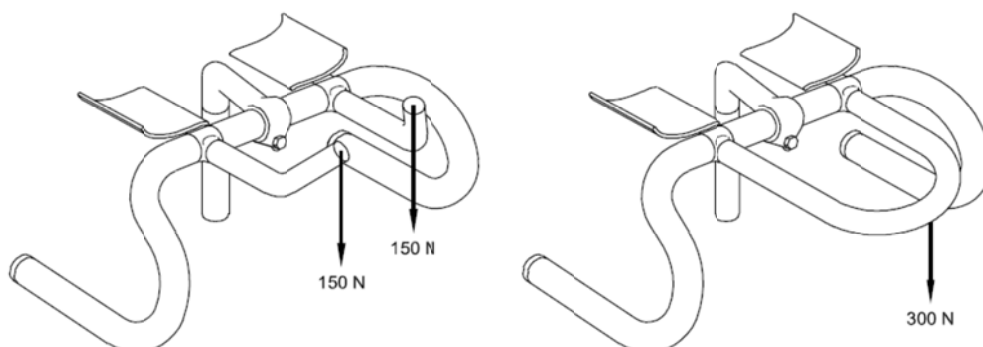
Όταν το τιμόνι είναι δυνατό να δεχθεί αεροδυναμικές επεκτάσεις (επεκτάσεις που επιτρέπουν στον αναβάτη μια αεροδυναμικότερη θέση οδήγησης) το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό και τις επεκτάσεις θα πρέπει να αντέχουν τους παρακάτω ελέγχους ασφαλείας.

6.6.2 Απαίτηση

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

6.6.3 Μέθοδος ελέγχου

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



Εικόνα 41: Έλεγχος αεροδυναμικών επεκτάσεων

7 Συναρμολογημένο τιμόνι με λαιμό - έλεγχος κόπωσης

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.

7.2 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.

7.3 Μέθοδος ελέγχου για το πρώτο στάδιο

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

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

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

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

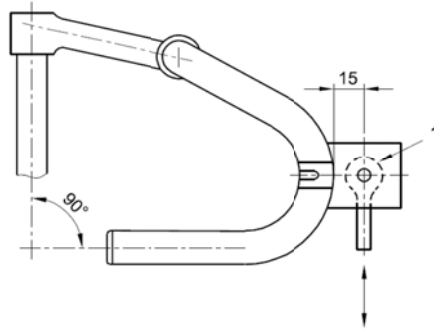
Αν το συναρμολογημένο τιμόνι με τον λαιμό και τους συνδέσμους καλύπτει τις απαιτήσεις της παραγράφου 7.7.2, συνεχίστε με το δεύτερο στάδιο ελέγχου στην ίδια κατασκευή.

7.4 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.

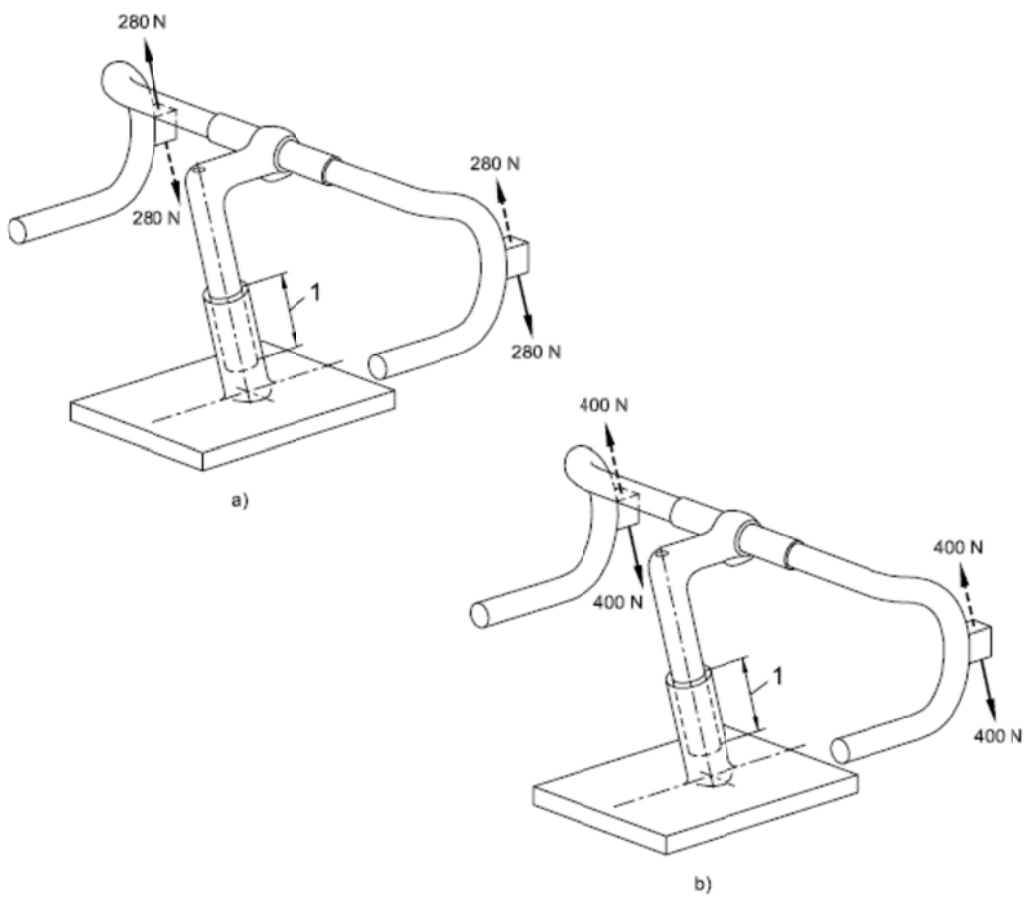
7.5 Μέθοδος ελέγχου για το δεύτερο στάδιο

Μέσω των σφαιρικών αρθρώσεων ασκείστε 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 25Hz.



Εικόνα 42: Μέθοδος ελέγχου τιμονιού σε κόπωση, σημείο εφαρμογής της δύναμης

1 σφαιρική άρθρωση



Εικόνα 43: Τα δύο στάδια ελέγχου του τιμονιού σε κόπωση

a) πρώτο στάδιο - αντίρροπες δυνάμεις

b) δεύτερο στάδιο - ομόρροπες δυνάμεις

1 ελάχιστο βάθος διείδυσης

Επιλογή κριτηρίων από τον EN 14781

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

1. Διαστάσεις τιμονιού

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

2. Περιοχές λαβής του τιμονιού, επικαλύψεις λαβών και πόματα στερέωσης των επικαλύψεων

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. Λαιμός ποδηλάτου - βάθος διείσδυσης του λαιμού στο πιρούνι-4. Λαιμός ποδηλάτου– σφικτήρας λαιμού με το πιρούνι

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

5. Σταθερότητα οδήγησης

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

6. Τιμόνι και λαιμός– στατική αντοχή και έλεγχοι ασφαλείας

6.1 Λαιμός – έλεγχος πλευρικής κάμψης

Αφορά τον έλεγχο αντοχής του λαιμού, δεν λαμβάνεται υπόψη.

6.2. Τιμόνι και λαιμός - έλεγχος σε πλευρική κάμψη

Λαμβάνεται υπόψη, στατικός έλεγχος του τιμονιού.

6.3 Λαιμός - έλεγχος σε κάμψη μπροστά

Δεν λαμβάνεται υπόψη, αφορά τον έλεγχο αντοχής του λαιμού.

6.4 Λαιμός, έλεγχος ασφαλείας των ενώσεων σε στρέψη

Δεν λαμβάνεται υπόψη, αφορά την τριβή μεταξύ του λαιμού 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 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. Είναι δυναμικός έλεγχος του τιμονιού σε δύο στάδια.

Προσομοιώσεις στον υπολογιστή

Αυτοί οι έλεγχοι έγιναν πακτώνοντας στο κέντρο το τιμόνι. Αυτό δεν είναι αληθοφανές γιατί ο λαιμός που θα έσφιγγε στο κέντρο του τιμονιού θα άφηνε να παραμορφωθεί το τελευταίο και δεν θα δημιουργούσε τόσο μεγάλη συσσώρευση τάσεων ακριβώς έξω από την περιοχή που είναι πακτωμένο. Κατ' επέκταση το αληθοφανές σενάριο θα ήταν λιγότερο επιβαρυντικό για το τιμόνι. Λόγω της απλοποίησης και του περιθωρίου ασφαλείας που προσφέρει αυτή η μοντελοποίηση, θα χρησιμοποιηθεί σε όλα τα σενάρια καταπονήσεων όλων των τιμονιών.

Επειδή η μοντελοποίηση των τιμονιών ως στερεά από αλουμίνιο 7075 T6 πάχους 1mm έγινε αυθαίρετα (δεν υπάρχει λόγος που το πάχος είναι 1 mm και όχι 0.5mm και η επιλογή του υλικού έγινε επειδή έχει καλές μηχανικές ιδιότητες και χαμηλό βάρος), δεν θα εξαχθούν συμπεράσματα με λογική απόρριψης, αλλά με τη λογική σύγκρισης των τιμονιών. Τα όρια που θέτει ο ευρωπαϊκός κανονισμός, λοιπόν δεν θα χρησιμοποιηθούν παρά μόνο ενδεικτικά και μεγαλύτερο βάρος θα δοθεί στην σχέση των τιμονιών.

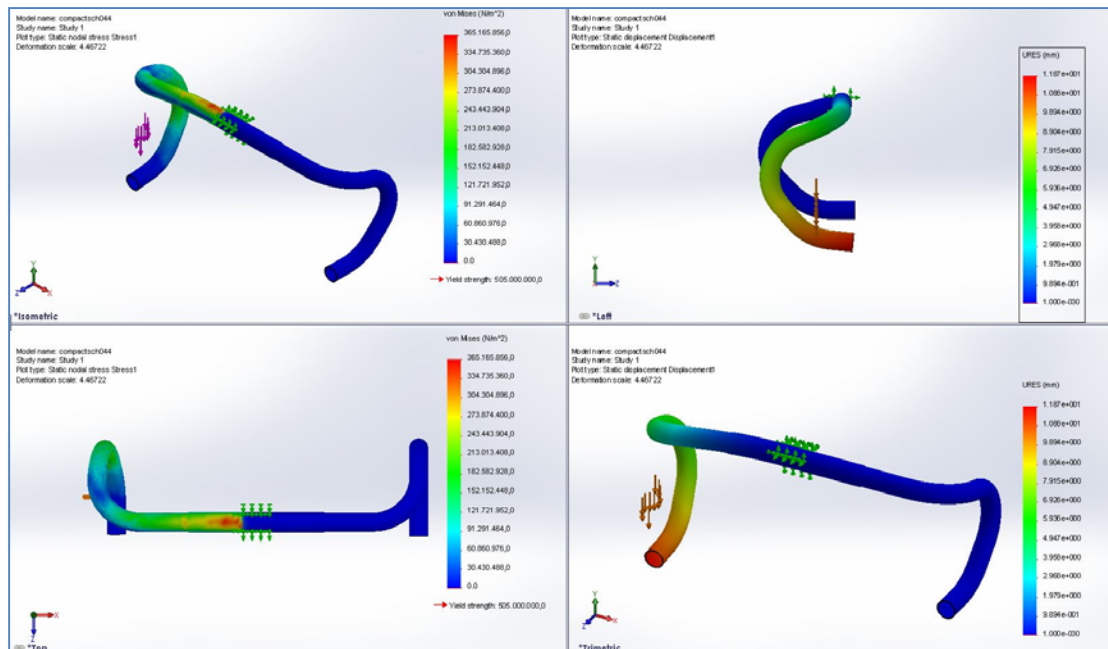
Ακολουθούν τα αναλυτικά αποτελέσματα ανά τιμόνι και έπειτα οι συγκεντρωτικοί πίνακες σύγκρισης των τιμονιών με τον σχολιασμό τους.

Οι τάσεις που αναγράφονται για κάθε τιμόνι είναι οι ισοδύναμες τάσεις κατά von Mises.

C

4.7.6.2

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πως παραμορφώθηκε το πρώτο τιμόνι όταν του υποβλήθηκε δύναμη 1000N μονόπλευρα στην κάτω θέση οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $365 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο διαρροής του υλικού είναι $505 \times 10^6 \text{N/m}^2$) και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του. Υπάρχει επίσης μια συγκέντρωση τάσεων στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης αλλά σε μικρότερο βαθμό ($250 \times 10^6 \text{N/m}^2$). Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 9.9mm.



Εικόνα 44: Έλεγχος 4.7.6.2 του τιμονιού C

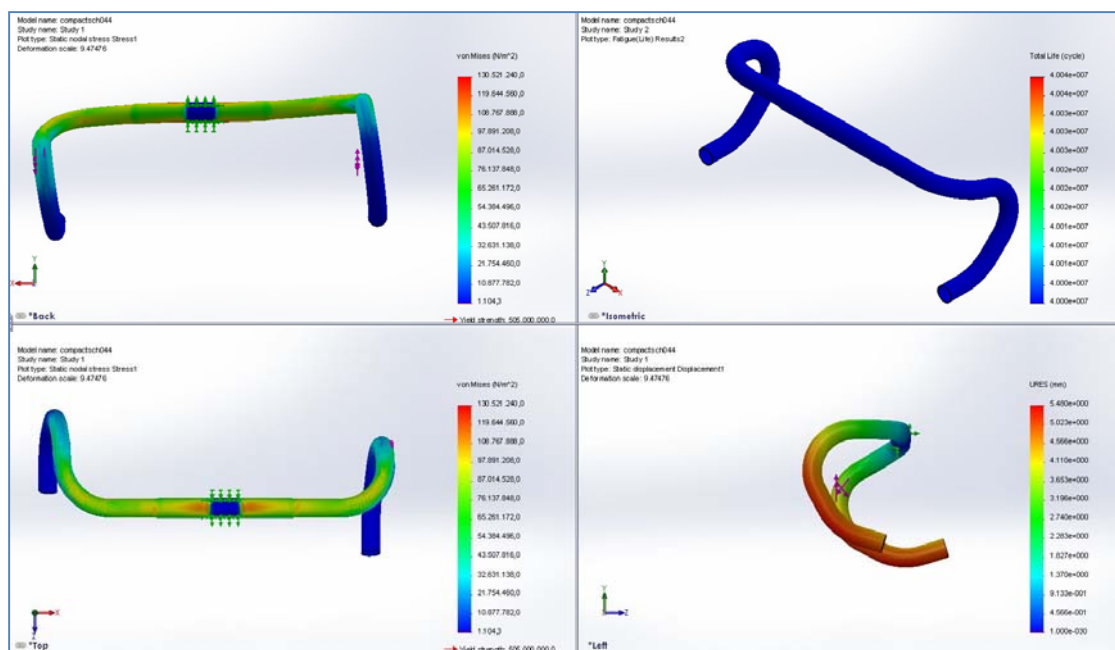
Τα ροζ ή πορτοκαλί βέλη στις εικόνες είναι αυτά των δυνάμεων ή/και των ροπών και τα πράσινα της πάκτωσης.

4.7.7

πρώτο στάδιο

Εδώ φαίνεται πως παραμορφώθηκε το τιμόνι όταν υποβλήθηκε σε αντίρροπες δυνάμεις 280N στα πιο απομακρυσμένα σημεία (από τον κεντρικό σωλήνα) της κάτω θέσης οδήγησης. Στον κανονισμό περιγράφεται μία κατασκευή με συνδέσμους και αρθρώσεις. Στο μοντέλο αυτό έγινε αντικατάσταση των δυνάμεων που ασκούνται στους συνδέσμους με δυνάμεις και ροπές κατευθείαν στο τιμόνι. Οι εικόνες στα

αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού (αν οι δυνάμεις αυτές αντέστρεφαν συνεχώς το πρόσημό τους η ζωή του τιμονιού δείχνει πόσους κύκλους αντιστροφής αντέχει το τιμόνι) και στις μετατοπίσεις, πάνω και κάτω αντίστοιχα. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $130 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του και στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 5.5mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι πάνω από 400×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5), δηλαδή εκτός διαγράμματος κόπωσης του υλικού (7075 T6) στην βιβλιοθήκη του Solidworks.

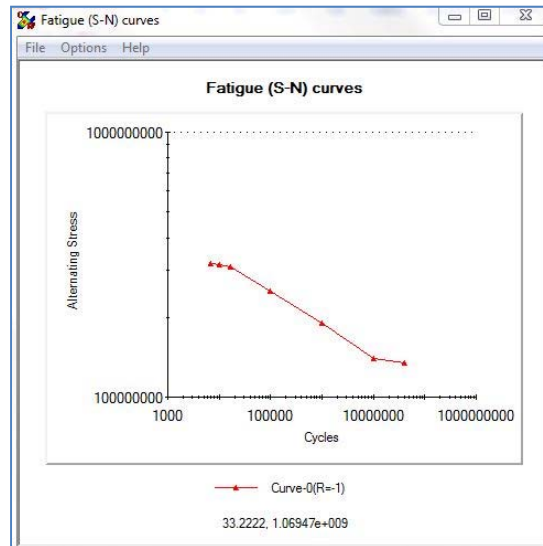


Εικόνα 45: Έλεγχος 4.7.7.1 του τιμονιού C

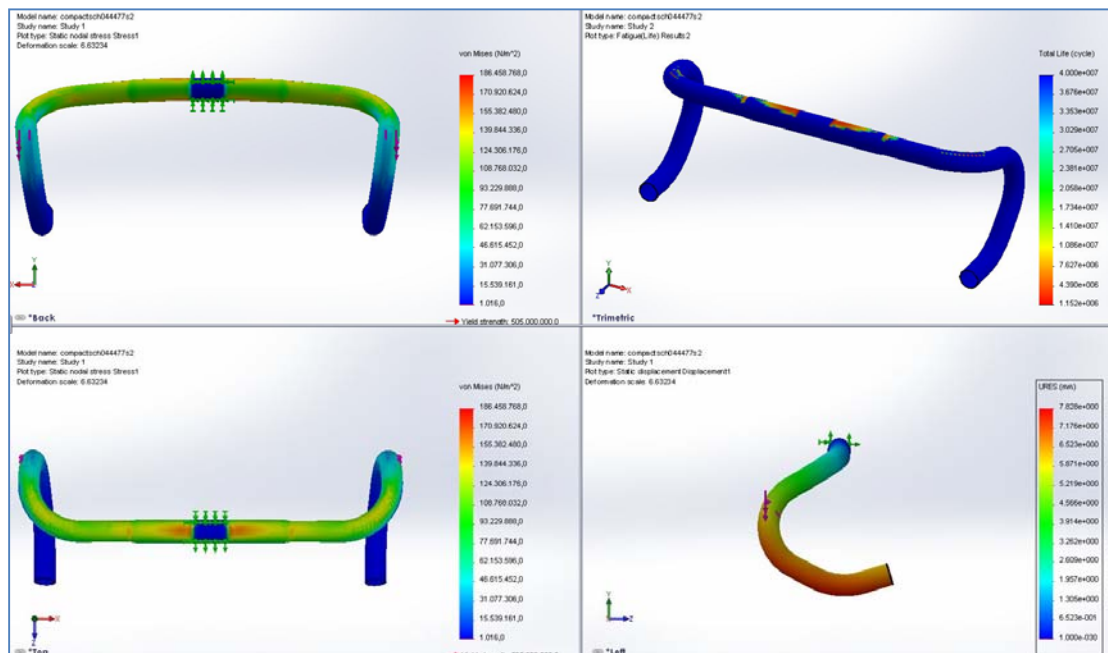
δεύτερο στάδιο

Εδώ φαίνεται πως παραμορφώθηκε το τιμόνι όταν του υποβλήθηκε σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Στον κανονισμό περιγράφεται μία κατασκευή με συνδέσμους και αρθρώσεις. Στο μοντέλο αυτό έγινε αντικατάσταση των δυνάμεων που ασκούνται στους συνδέσμους με δυνάμεις και ροπές κατευθείαν στο τιμόνι. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού και στις μετατοπίσεις, πάνω και κάτω αντίστοιχα. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $186 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του και στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 6.5mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές

είναι 11.52×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5). Παρατηρείστε πόσο άλλαξε η ζωή του τιμονιού από το ένα στάδιο ελέγχου στο άλλο. Ενώ η τάση αυξάνεται κατά 43% η ζωή μειώνεται κατά 97%. Ενδεικτικά παρατίθεται το διάγραμμα τάσης - κύκλων ζωής από την βιβλιοθήκη του Solidworks. Παρατηρείστε ότι δεν σχετίζεται με την συχνότητα αντιστροφής τάσης (το ανώτατο όριο του κανονισμού είναι 25Hz).



Εικόνα 46: Διάγραμμα κόπωσης του 7075 T6

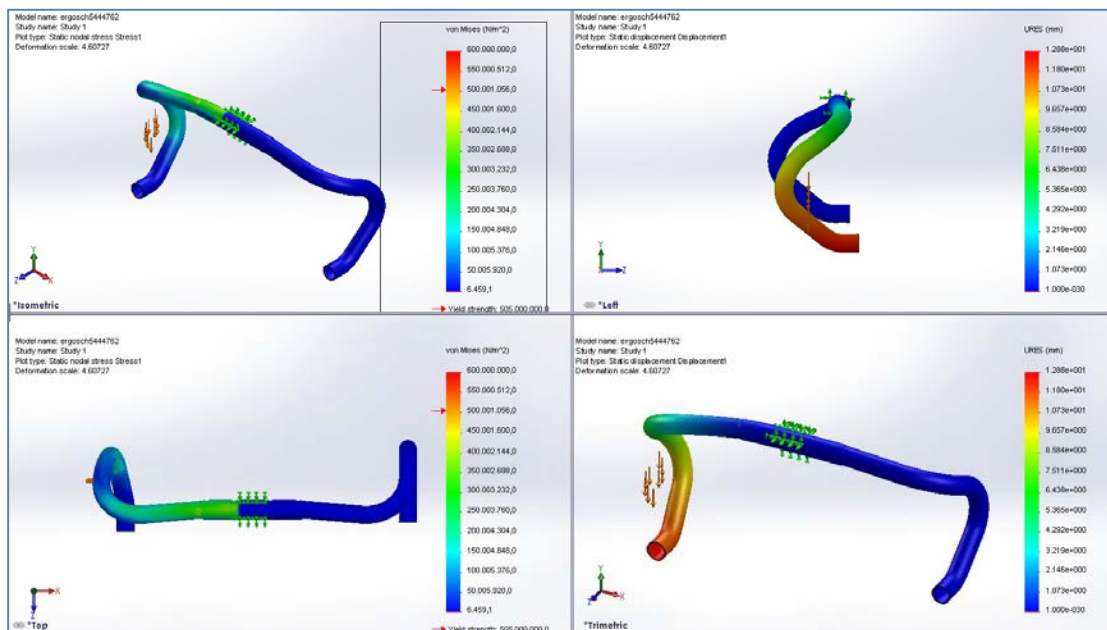


Εικόνα 47: Έλεγχος 4.7.7.2 του τιμονιού C

E

4.7.6.2

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται στο τιμόνι δύναμη 1000N μονόπλευρα στην κάτω θέση οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $600 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο διαρροής του υλικού είναι $505 \times 10^6 \text{N/m}^2$) και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του. Υπάρχει επίσης μια συγκέντρωση τάσεων στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης αλλά σε μικρότερο βαθμό ($230 \times 10^6 \text{N/m}^2$). Το σημείο στο οποίο έχουμε δραματική αύξηση τάσεων είναι το σημείο που ενώνεται το τμήμα του κεντρικού σωλήνα ($\Phi 25.9$) με το υπό κλίση τμήμα του ($\Phi 24$). Πιθανώς αν στην μοντελοποίησή του δεν είχε γωνία εκεί και είχε γίνει κάποιο ράδιο να μην υπήρχαν τόσο μεγάλες τάσεις. Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 10.7mm.



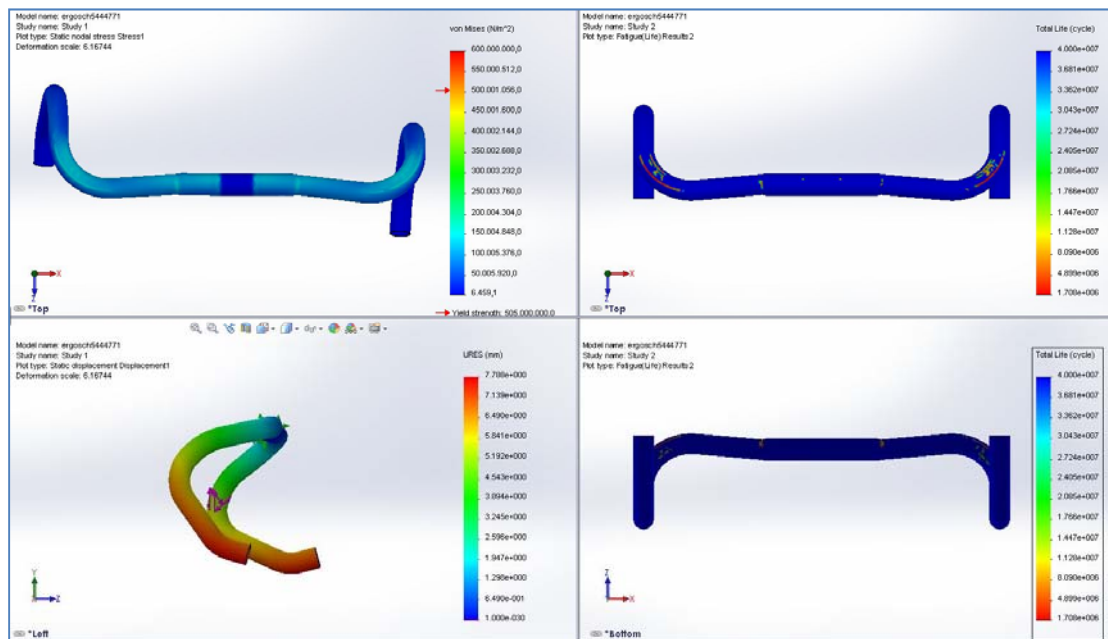
Εικόνα 48: Έλεγχος 4.7.6.2 του τιμονιού E

4.7.7

πρώτο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε αντίρροπες δυνάμεις 280N στα πιο απομακρυσμένα σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις και στις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν, πάνω και κάτω αντίστοιχα, και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν

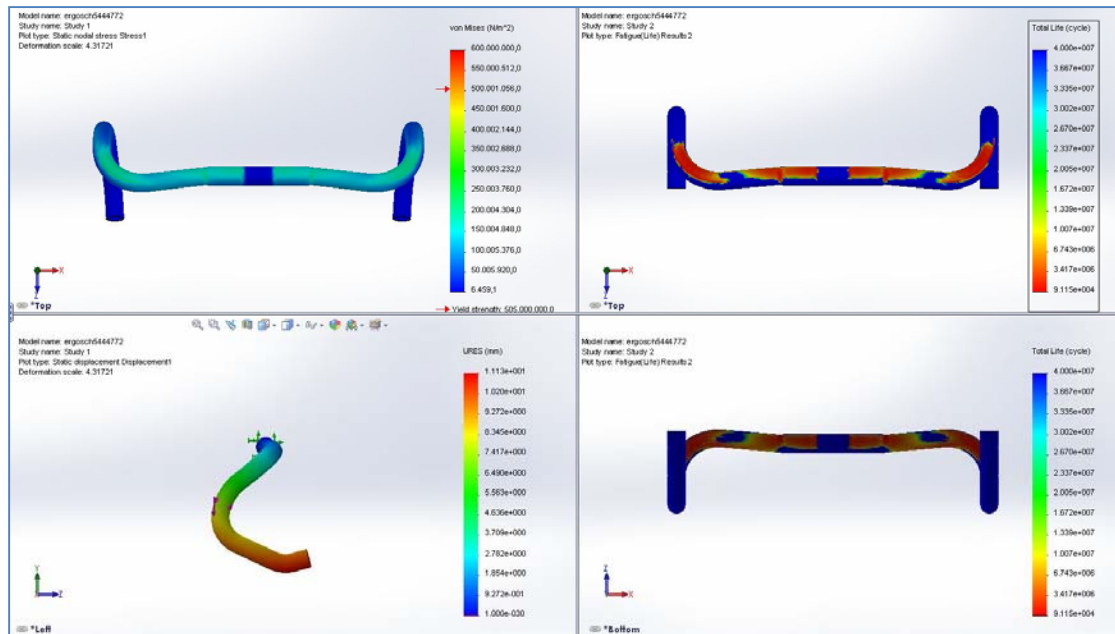
στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $600 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του και στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 6mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 17.08×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5).



Εικόνα 49: Έλεγχος 4.7.7.1 του τιμονιού E

δεύτερο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα (προς τα μπροστά) σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις και στις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν, πάνω και κάτω αντίστοιχα, και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $600 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του, στην ένωση του κεντρικού τμήματος του σωλήνα με αυτόν που είναι υπό κλίση και στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 9.2mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 0.912×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτείται από τον κανονισμό είναι 10^5).



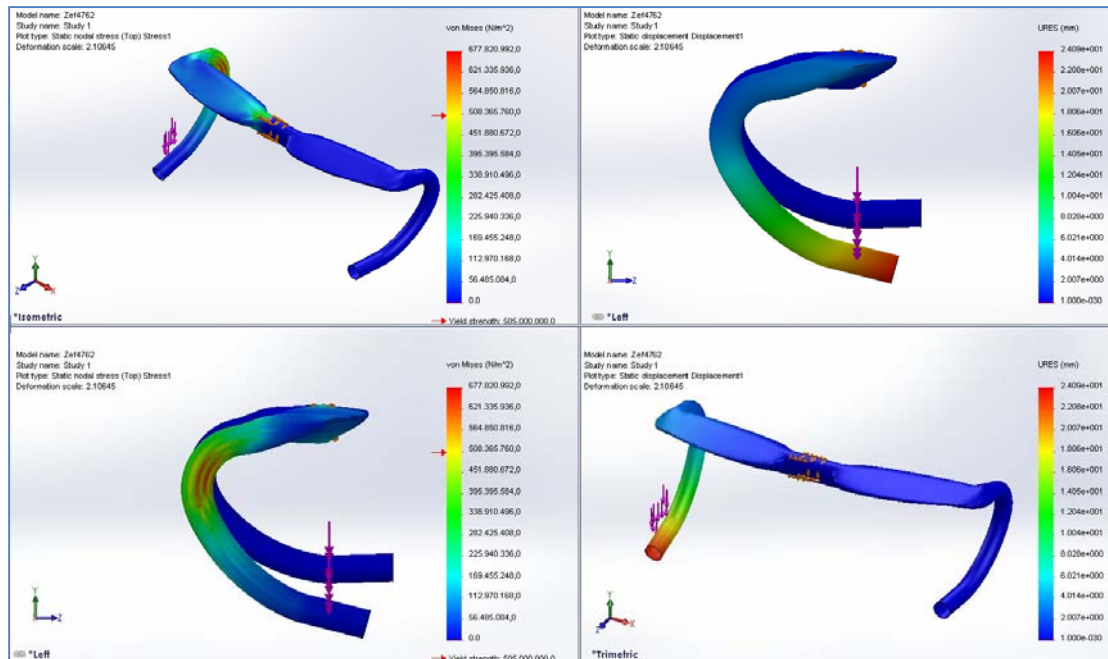
Εικόνα 50: Έλεγχος 4.7.7.2 του τιμονιού E

Γενικά αυτό το τιμόνι υποφέρει στην αλλαγή κλίσης του σωλήνα με ταυτόχρονη μείωση της διατομής του στην πάνω θέση οδήγησης.

A

4.7.6.2

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται στο τιμόνι δύναμη 1000N μονόπλευρα στην λαβή της κάτω θέση οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $677 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο διαρροής του υλικού είναι $505 \times 10^6 \text{N/m}^2$) και είναι συγκεντρωμένες στα σημεία αλλαγής των διατομών του τιμονιού αλλά σε μικρό βαθμό και κυρίως στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης. Ο λόγος που στο σημείο αυτό έχουμε δραματική αύξηση τάσεων είναι ότι η ακτίνα του τόξου που περιγράφηκε είναι μικρή. Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 18mm.

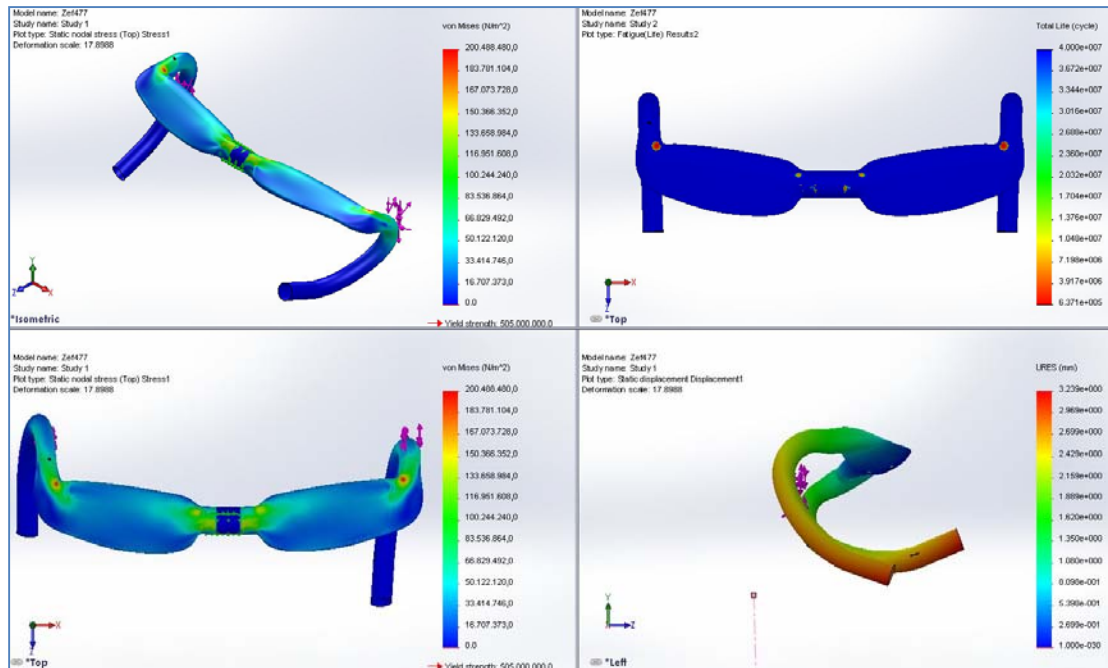


Εικόνα 51: Έλεγχος 4.7.6.2 του τιμονιού Α

4.7.7

πρώτο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε αντίρροπες δυνάμεις 280N στα πιο απομακρυσμένα σημεία (προς τα μπροστά) της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού και στις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν, πάνω και κάτω αντίστοιχα,. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $286 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες στο σημείο αλλαγής της διατομής του τιμονιού στην μπροστά θέση οδήγησης. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 3.2mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 6.37×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5).

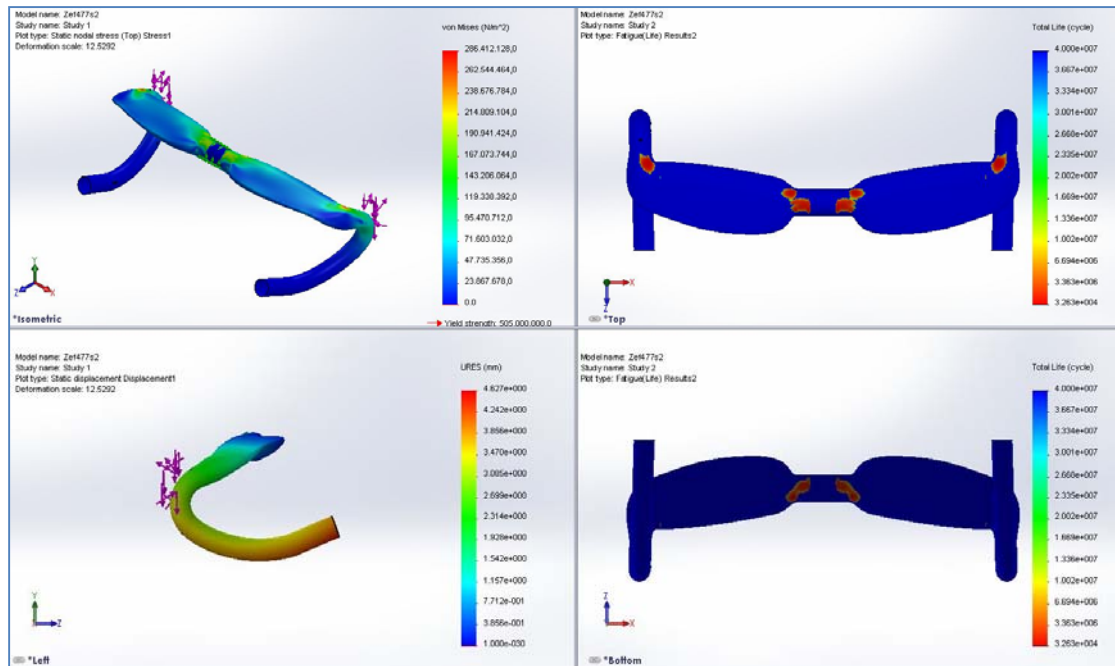


Εικόνα 52: Έλεγχος 4.7.7.1 του τιμονιού Α

δεύτερο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα (προς τα μπροστά) σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις και στις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν, πάνω και κάτω αντίστοιχα, και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $286 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες στο σημείο αλλαγής της διατομής του τιμονιού στην μπροστά θέση οδήγησης. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 4.6mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 0.326×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτείται από τον κανονισμό είναι 10^5).

Γενικά στο τιμόνι αυτό υπάρχουν μεγάλες αλλαγές διατομών όπου συγκεντρώνονται οι τάσεις, μεγάλο πρόβλημα λόγω του κλειστού τόξου που ενώνει τις λαβές της μπροστά και κάτω θέσης οδήγησης αλλά στους δύο τελευταίους ελέγχους παρουσιάζεται στιβαρό γιατί το κεντρικό κομμάτι του που υποβάλλεται ουσιαστικά σε στρέψη, έχει πολύ μεγάλες διατομές.

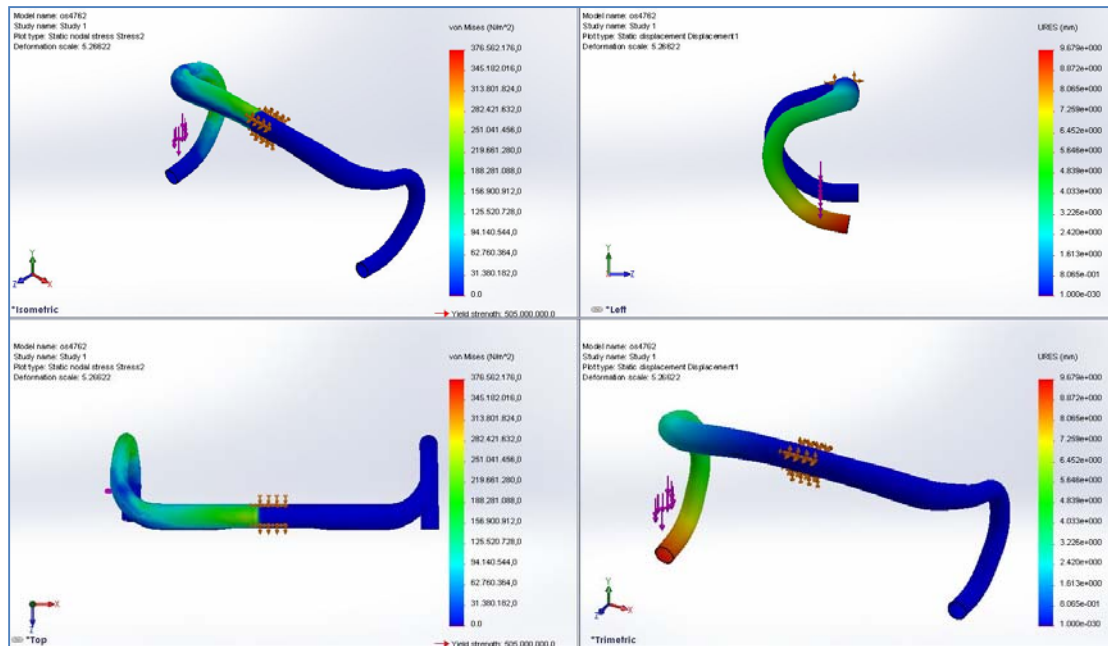


Εικόνα 53: Έλεγχος 4.7.7.2 του τιμονιού Α

Q

4.7.6.2

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται στο τιμόνι δύναμη 1000N μονόπλευρα, στην λαβή της κάτω θέση οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $376 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο διαρροής του υλικού είναι $505 \times 10^6 \text{N/m}^2$) και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του. Υπάρχει επίσης μια συγκέντρωση τάσεων στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 8mm.

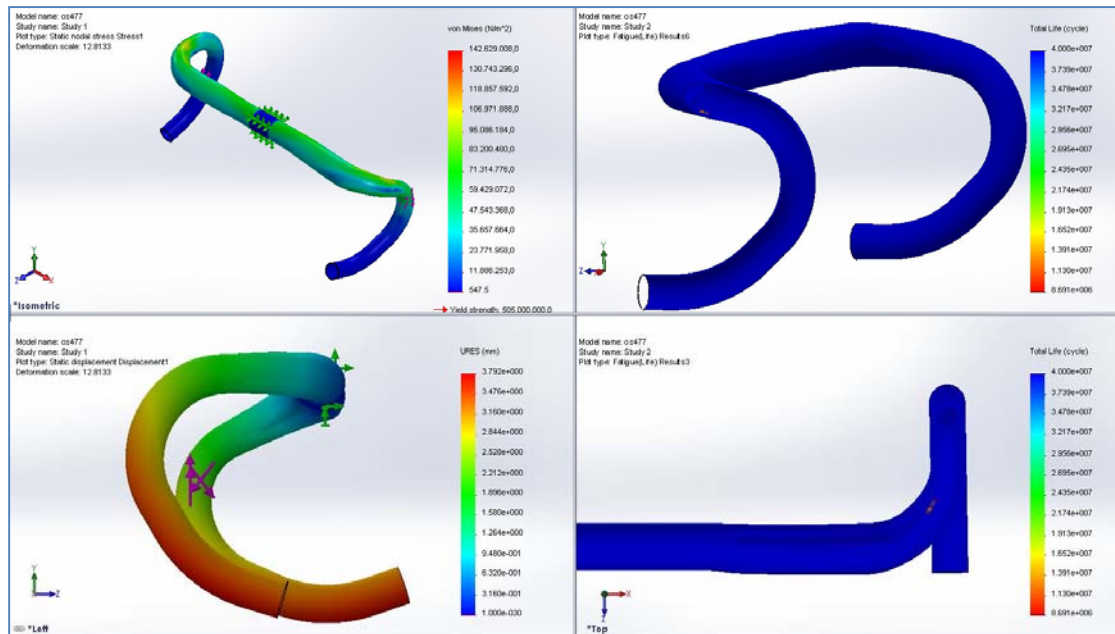


Εικόνα 54: Έλεγχος 4.7.6.2 του τιμονιού O

4.7.7

πρώτο στάδιο

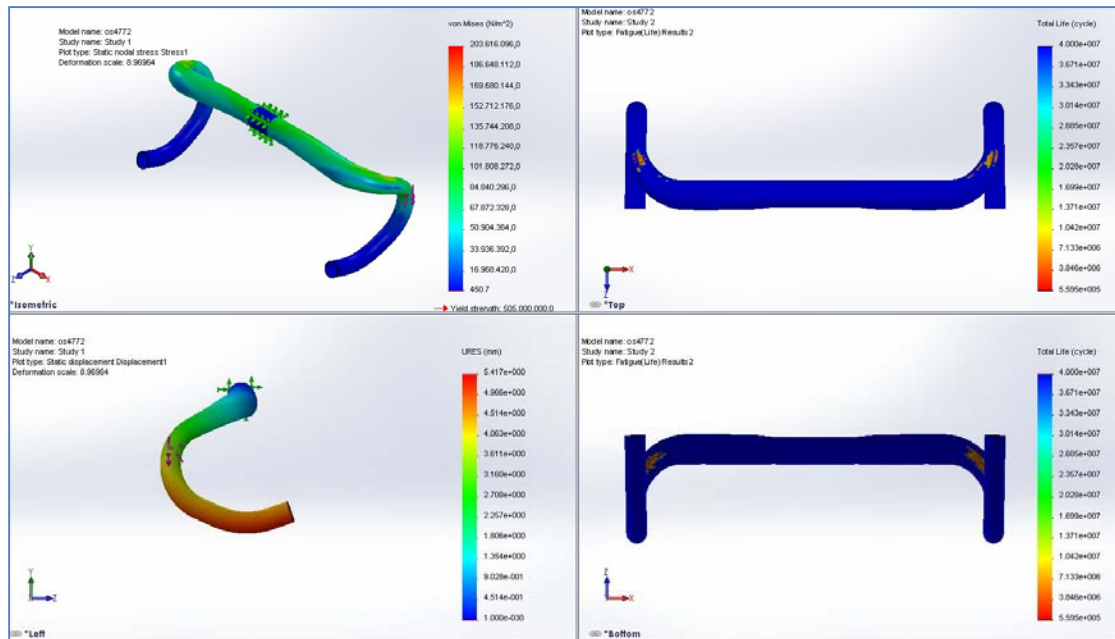
Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε αντίρροπες δυνάμεις 280N στα πιο απομακρυσμένα σημεία (προς τα μπροστά) της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και στις μετατοπίσεις, πάνω και κάτω αντίστοιχα και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $142 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Οι τάσεις στον σωλήνα του τιμονιού από το κέντρο του μέχρι το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων και των ροπών είναι ομοιόμορφα κατανομημένες γιατί υπάρχει ομαλή μετάβαση από μία διατομή στην επόμενη της. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 3.4mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 86.9×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5).



Εικόνα 55: Έλεγχος 4.7.7.1 του τιμονιού Ο

δεύτερο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα (προς τα μπροστά) σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις και στις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν, πάνω και κάτω αντίστοιχα, και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $203 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 4.5mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 5.59×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτείται από τον κανονισμό είναι 10^5).



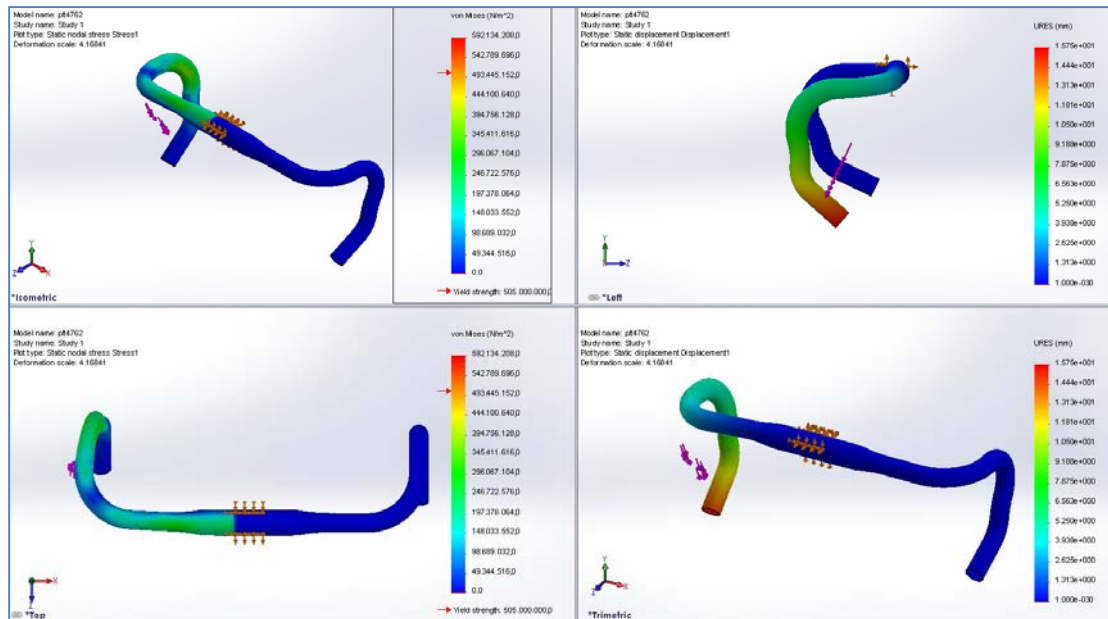
Εικόνα 56: Έλεγχος 4.7.7.2 του τιμονιού O

Το τιμόνι αυτό υποφέρει στο τόξο που κάνει ο σωλήνας στις λαβές της μπροστά θέσης οδήγησης.

P

4.7.6.2

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται στο τιμόνι δύναμη 1000N μονόπλευρα, στην λαβή της κάτω θέση οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $592 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο διαρροής του υλικού είναι $505 \times 10^6 \text{N/m}^2$) και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης και στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης. Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 13.1mm.

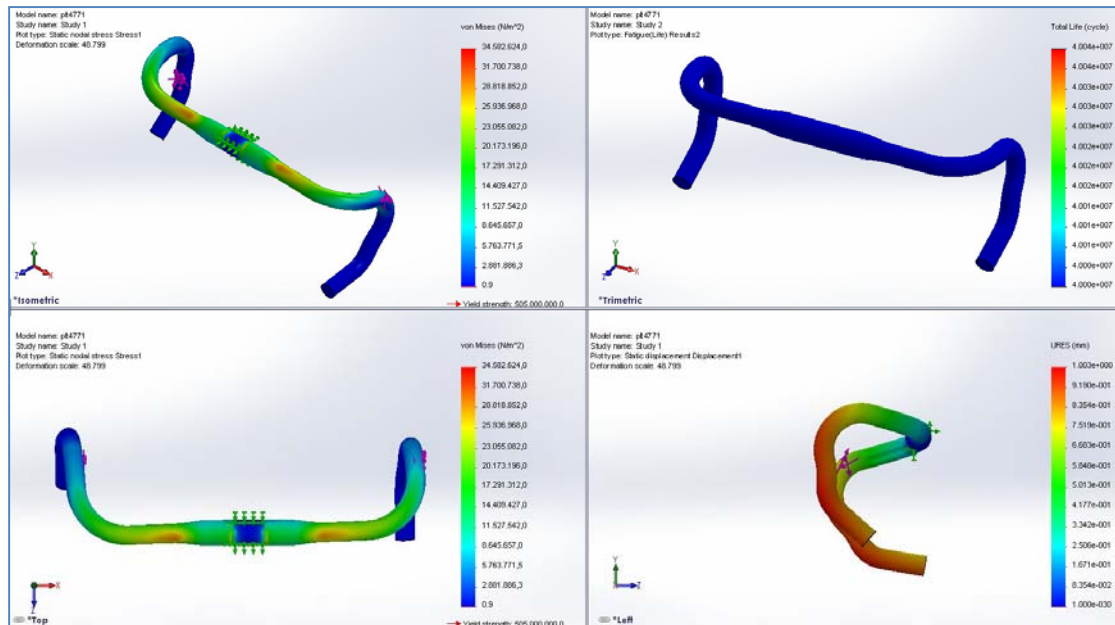


Εικόνα 57: Έλεγχος 4.7.6.2 του τιμονιού P

4.7.7

πρώτο στάδιο

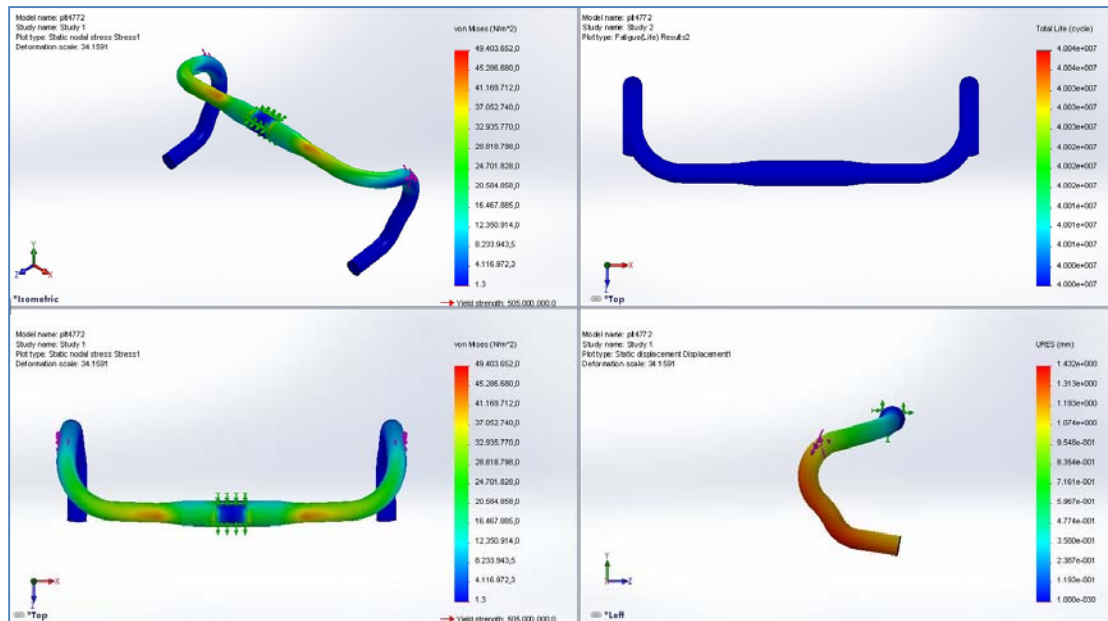
Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε αντίρροπες δυνάμεις 280N στα πιο απομακρυσμένα σημεία (προς τα μπροστά) της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού και στις μετατοπίσεις, πάνω και κάτω αντίστοιχα. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $34 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στις αλλαγές των διατομών του σωλήνα του τιμονιού στο κέντρο του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 0.9mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 400×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5).



Εικόνα 58: Έλεγχος 4.7.7.1 του τιμονιού P

δεύτερο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα (προς τα μπροστά) σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού και στις μετατοπίσεις, πάνω και κάτω αντίστοιχα. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $49 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στις αλλαγές των διατομών του σωλήνα του τιμονιού στο κέντρο του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 1.2mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 400×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτείται από τον κανονισμό είναι 10^5).



Εικόνα 59: Έλεγχος 4.7.7.2 του τιμονιού P

Το τιμόνι αυτό έχει πάρα πολύ ανθεκτικό σε στρέψη σωλήνα στο κέντρο του, λόγω ήπιας μετάβασης της διατομής $\Phi 24$ στην $\Phi 31.8$. Επίσης δεν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση τάσεων στα τόξα 90° στις λαβές της μπροστά θέση οδήγησης γιατί η ακτίνα τους είναι πολύ μεγάλη. Υποφέρει λόγω του κλειστού τόξου που ενώνει τις λαβές της μπροστά και κάτω θέσης οδήγησης. Το τόξο αυτό είναι τόσο κλειστό γιατί υπάρχει πολύ έντονη αλλαγή καμπυλότητας στην λαβή της κάτω θέση οδήγησης ώστε να μην κουράζεται το ωλενικό νεύρο, η οποία καταλαμβάνει μεγάλο μήκος λαβής μειώνοντας το διαθέσιμο μήκος για το τόξο που ενώνει τις λαβές της μπροστά και κάτω θέσης οδήγησης.

Συγκέντρωση αποτελεσμάτων και σχολιασμός τους

Ακολουθούν πίνακες με τα χαρακτηριστικά των τιμονιών και τα αποτελέσματα της μοντελοποίησής μας. Τα κελιά των αποτελεσμάτων των καταπονήσεων των τιμονιών έχουν χρωματιστεί ώστε να υπάρξει μια κατάταξη. Η χρωματική κατάταξη ανά στήλη από το καλύτερο (αριστερά) προς το χειρότερο (δεξιά) αποτέλεσμα είναι η εξής:



EN 14781 4.7.6.2 (1000N ασκούμενα στην λαβή της κάτω θέσης οδήγησης)						
Όνομα	Βάρος (kg)	M διάσταση (mm)	K διάσταση (mm)	Διατομές (mm)	Μέγιστες τάσεις ($\times 10^6 \text{N/m}^2$)	Μετατοπίσεις (mm)
C	0.189	95	138	Φ24, Φ25.9	365	9.9
E	0.180	81	146	Φ24, Φ25.9	600	10.7
A	0.274	94.5	113.9	Φ24, 165(1/3), Φ31.8	677	18
O	0.217	95	138	Φ24, 100(1/1.3), Φ31.8	376	8
P	0.193	83	138	Φ24, Φ31.8	592	13.1

EN 14781 4.7.7.2-3 (280N ασκούμενα στην λαβή της μπροστά θέσης οδήγησης)							
Όνομα	Βάρος (kg)	M διάσταση (mm)	K διάσταση (mm)	Διατομές (mm)	Μέγιστες τάσεις ($\times 10^6 \text{N/m}^2$)	Μετατοπίσεις (mm)	Κύκλοι ζωής ($\times 10^5$)
C	0.189	95	138	Φ24, Φ25.9	130	5.5	400
E	0.180	81	146	Φ24, Φ25.9	600	6	17.08
A	0.274	94.5	113.9	Φ24, 165(1/3), Φ31.8	200	3.2	6.37
O	0.217	95	138	Φ24, 100(1/1.3), Φ31.8	142	3.4	86.9
P	0.193	83	138	Φ24, Φ31.8	34	0.9	400

EN 14781 4.7.7.4-5 (400N ασκούμενα στην λαβή της μπροστά θέσης οδήγησης)							
Όνομα	Βάρος (kg)	M διάσταση (mm)	K διάσταση (mm)	Διατομές (mm)	Μέγιστες τάσεις ($\times 10^6 \text{N/m}^2$)	Μετατοπίσεις (mm)	Κόκλοι ζωής ($\times 10^5$)
C	0.189	95	138	$\Phi 24$, $\Phi 25.9$	186	6.5	11.52
E	0.180	81	146	$\Phi 24$, $\Phi 25.9$	600	9.2	0.912
A	0.274	94.5	113.9	$\Phi 24$, 165(1/3), $\Phi 31.8$	286	4.6	0.326
O	0.217	95	138	$\Phi 24$, 100(1/1.3), $\Phi 31.8$	203	4.5	5.595
P	0.193	83	138	$\Phi 24$, $\Phi 31.8$	49	1.2	400

Συμπεράσματα:

Στα σημεία που ο σωλήνας ακολουθεί τόξα κύκλου με μικρή ακτίνα υπάρχει συσσώρευση τάσης και μειωμένη ακαμψία.

Οι απότομες μεταβάσεις διατομών προκαλούν συσσώρευση τάσεων.

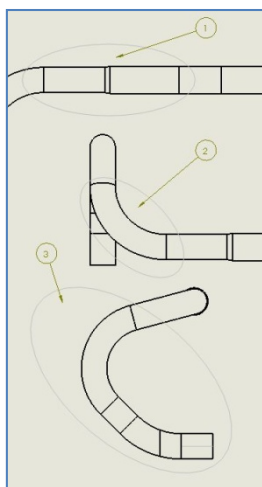
Οι μεγάλες διατομές εξασφαλίζουν ακαμψία αλλά προσθέτουν βάρος (στην συγκεκριμένη περίπτωση που διατηρείται παντού το πάχος σταθερό και ίσο με 1mm).

Τα τιμόνια με υπερδιαστασιολογιμένο κέντρο έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε στρέψη.

5. Εκλογή του καταλληλότερου σχεδίου, επανασχεδιασμός και μοντελοποίησή του ως ανθρακονημάτινο

Εκλογή σχεδίου

Από τα παραπάνω τιμόνια θα επιλεγεί ένα και θα ξανασχεδιαστεί. Αν κανείς χωρίσει σε τμήματα τα τιμόνια για να μπορέσει να αναλύσει τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου θα μπορούσε να το χωρίσει σε έξι μέρη και επειδή το τιμόνι είναι συμμετρικό, τα μέρη με τα οποία θα ασχοληθούμε είναι τα εξής:



1) το κεντρικό τμήμα

2) η καμπύλη της λαβής της μπροστινής θέσης οδήγησης

3) το κάτω μέρος του τιμονιού, ουσιαστικά η πλάγια όψη του

Εικόνα 60: τμήματα τιμονιών

Στα μέρη ένα και δύο, το τιμόνι P επικράτησε επειδή στο κέντρο του είναι υπερδιαστασιολογημένο, η μετάβαση της διατομής $\Phi 24$ στην $\Phi 31.8$ είναι ομαλή και έχει μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας στο μέρος δύο. Υπάρχει ακόμα εσοχή για την τοποθέτηση του καλωδίου του φρένου. Όμως όπως αναδείχθηκε από τον έλεγχο 4.7.6.2 το μέρος τρία ήταν το δεύτερο χειρότερο από τα πέντε τιμόνια. Επίσης το μέρος ένα είναι τελείως ίσιο και η διατομή του στο μεγαλύτερο μέρος είναι μικρή, δίνοντας μικρή περίμετρο για λαβή, αυξάνοντας τις τάσεις που αναπτύσσονται στο χέρι του αναβάτη και χωρίς να βοηθά στην φυσική θέση των χεριών όπως το τιμόνι E.

Το τιμόνι E είναι το χειρότερο τιμόνι από άποψη αντοχής παρόλο που έχει αρκετά θετικά εργονομικά χαρακτηριστικά όπως την κλίση του σωλήνα στο μέρος ένα και την μικρή διάσταση M (81mm) που βοηθά στις αλλαγές των θέσεων οδήγησης και γενικά την προτιμούν περισσότεροι αναβάτες. Η διατομή και αυτού του τιμονιού είναι μικρή αυξάνοντας τις τάσεις που αναπτύσσονται στο χέρι του αναβάτη.

Το τιμόνι A έχει το χειρότερο μέρος τρία λόγω της πολύ μικρής ακτίνας του τόξου που ενώνει τις λαβές της μπροστά και κάτω θέσης οδήγησης. Στο υπόλοιπο μέρος του

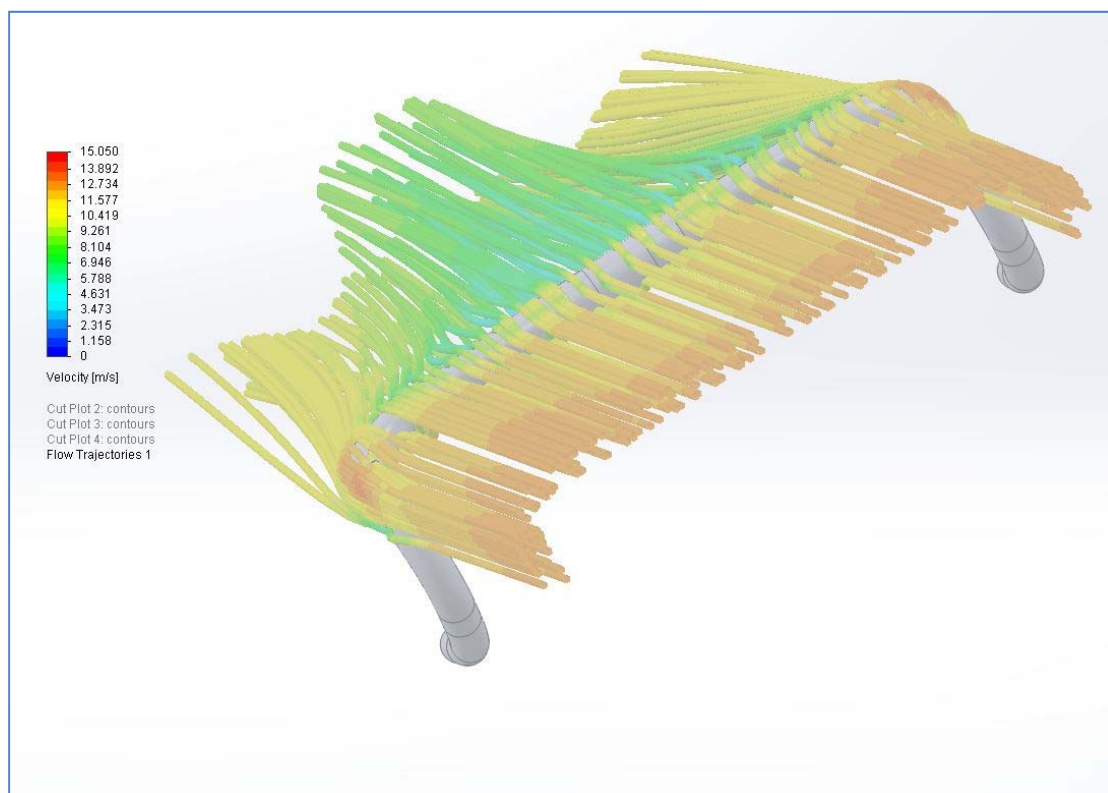
είχε πολύ μεγάλη ακαμψία, κυρίως σε στρέψη, αλλά εξίσου μεγάλη συσσώρευση τάσεων λόγω των απότομων μεταβολών στις διατομές του.

Το τιμόνι C είναι το απλούστερο σχηματικά με αποτέλεσμα την δυνατότητα απλούστερης και κατ' επέκταση ταχύτερης παραγωγής. Έχει πολύ καλό μέρος τρία και στα υπόλοιπα μέρη αναπτύσσονται πολύ μικρές τάσεις σε όλους τους ελέγχους. Δεν έχει πολύ ακαμψία ως προς τους ελέγχους του 4.7.7 δηλαδή υστερεί σε αντοχή σε στρέψη και αυτό γίνεται λόγω του κέντρου του που είναι $\Phi 25.9$. Επίσης το μέρος ένα είναι τελείως ίσιο και η διατομή του είναι μικρή, δίνοντας μικρή περίμετρο για λαβή και αυξάνοντας τις τάσεις που αναπτύσσονται στο χέρι του αναβάτη.

Το τιμόνι O είναι το πολυπλοκότερο σχηματικά με αποτέλεσμα την δυσκολότερη και πιο αργή παραγωγή. Είναι το στιβαρότερο από τα πέντε τιμόνια και παρόλο που είναι χειρότερο από το P στα μέρη ένα και δύο, έχει πολύ καλύτερο μέρος τρία. Οι τάσεις που αναπτύσσονται είναι μέτριες και είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες. Ο λόγος που ξεχωρίζει αυτό το τιμόνι είναι κυρίως για τα εργονομικά χαρακτηριστικά του. Οι διατομές του είναι πολύ κοντά στο $\Phi 31$ παρόλο που δεν είναι παντού κυκλικές. Το μέρος ένα είναι ελάχιστα πεπλατυσμένο για να είναι πιο μικρές οι τάσεις στο χέρι του αναβάτη και υπάρχει εσοχή για την τοποθέτηση του καλωδίου του φρένου. Έχει μία σταδιακή μείωση της διάστασης του σωλήνα του μέρους ένα με αποτέλεσμα παρόλο που η μετωπική γραμμή του σωλήνα στην κάτωψη είναι ίσια, στο πίσω μέρος δημιουργείται μια μικρή κλίση για να μην καταπονούνται οι καρποί. Ένα εργονομικό μειονέκτημά του είναι ότι η απόσταση M είναι πολύ μεγάλη. Το τιμόνι αυτό είναι και αυτό που επιλέγεται.

Στο μέρος αυτό θα γίνουν εξηγήσεις για τα αεροδυναμικά κριτήρια που ενώ ήταν να χρησιμοποιηθούν απορρίφθηκαν. Ο λόγος που απορρίφθηκαν είναι το ότι στο ποδήλατο έχεις ένα σύνολο πολλών στοιχείων και παρόλο που το τιμόνι είναι ένα από τα πρώτα που χωρίζουν την ροή του αέρα, υπάρχουν επίσης τα χέρια του αναβάτη, οι λεβιέδες των φρένων, το μέτωπο του ποδηλάτου και η μπροστά ρόδα. Ο μόνος τρόπος για να διεξαχθούν σωστά συμπεράσματα από μία αεροδυναμική μελέτη είναι η μοντελοποίηση όλων αυτών των στοιχείων μαζί. Ενδεικτικά όμως θα δοθούν τα αποτελέσματα των μελετών αυτών.

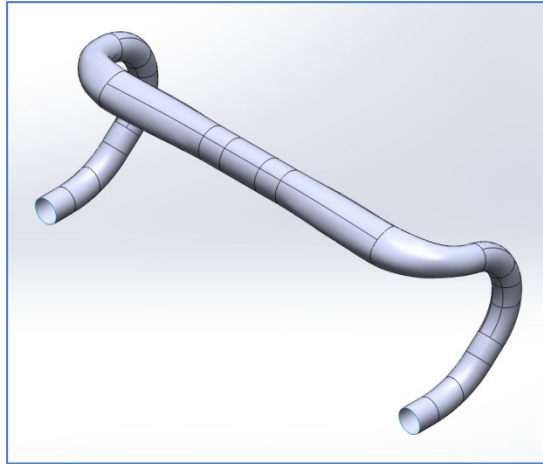
Αεροδυναμική μελέτη οριζόντια διεύθυνση αέρα						
	30km/h		45km/h		60km/h	
Όνομα	Οπισθέλκουσα (N)	Πίεση (Pa)	Οπισθέλκουσα (N)	Πίεση (Pa)	Οπισθέλκουσα (N)	Πίεση (Pa)
C	0.329	101324.99182	0.732	101324.98136	1.292	101324.96692
E	0.346	101324.99198	0.767	101324.98174	1.356	101324.96711
A	0.372	101324.98788	0.855	101324.97156	1.366	101324.95027
O	0.347	101324.9921	0.772	101324.98194	1.451	101324.96735
P	0.397	101324.98898	0.885	101324.9755	1.574	101324.95544



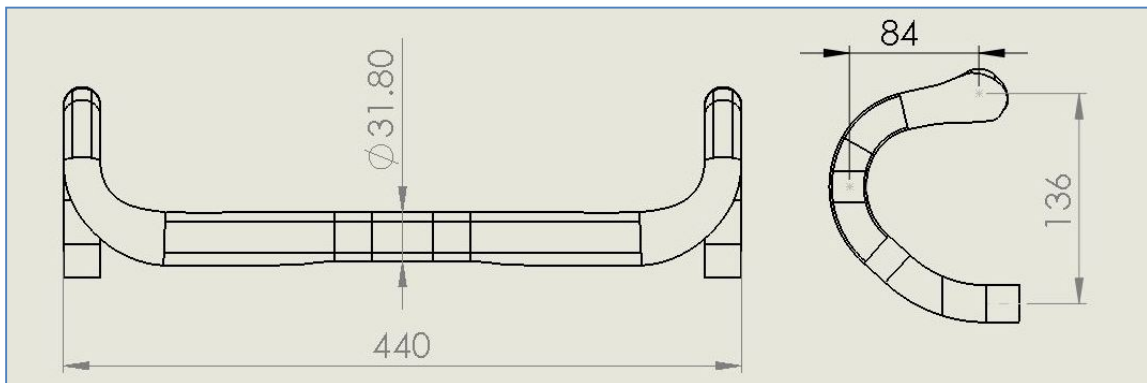
Εικόνα 61: Αεροδυναμική μελέτη

Επανασχεδιασμός

Το τμήμα τρία του τιμονιού έμεινε σχεδόν ίδιο, η διάσταση Κ μειώθηκε μόλις 2mm, και το τμήμα ένα έμεινε σχεδόν ίδιο με το τιμόνι Ο. Μεγάλη αλλαγή έγινε στο μέρος δύο του τιμονιού για να μειωθεί η διάσταση Μ ώστε να γίνει ακόμα πιο εργονομικό. Το αποτέλεσμα είναι να μικρύνει η ακτίνα του τόξου του σωλήνα στο μέρος δύο. Οι αλλαγές που έγιναν στο μέρος ένα έγιναν για να ενώνεται καλά το μέρος δύο με το μέρος ένα και ήταν μικρές.



Εικόνα 62: Τελικό τιμόνι



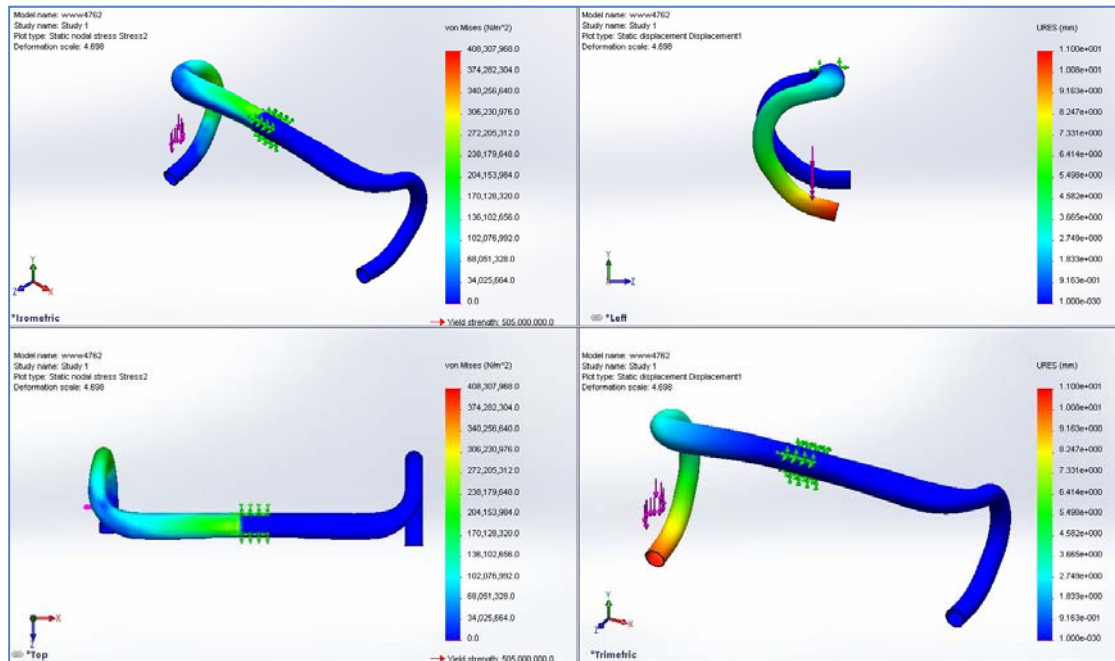
Εικόνα 63: Διαστάσεις τελικού τιμονιού

Μοντελοποίησή του ως αλουμινένιο 7075 T6 πάχους 1mm και υποβολή του στους ελέγχους του EN 14781

4.7.6.2

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται στο τιμόνι δύναμη 1000N μονόπλευρα, στην λαβή της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και οι εικόνες στα δεξιά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $408 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο διαρροής του υλικού είναι $505 \times 10^6 \text{N/m}^2$) και είναι συγκεντρωμένες στο μέσο του τιμονιού έως και έξω από την περιοχή πάκτωσης του. Υπάρχει επίσης μια συγκέντρωση τάσεων

στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης. Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 8.2mm. Αυξήθηκε η τάση κατά 30% και η μετατόπιση κατά 0.2mm. Αυτό έγινε γιατί μίκρυνε το τόξο του τμήματος δύο με αποτέλεσμα να γίνει πιο άκαμπτο. Έτσι αυξήθηκαν οι τάσεις στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης.

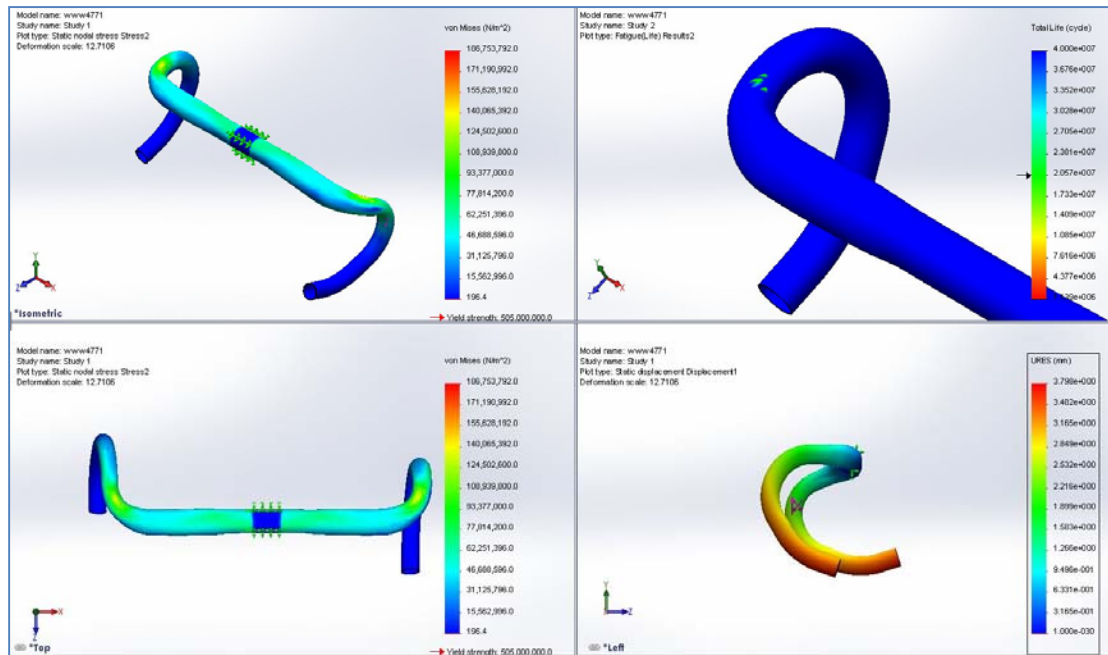


Εικόνα 64: Έλεγχος 4.7.6.2 τελικού τιμονιού

4.7.7

πρώτο στάδιο

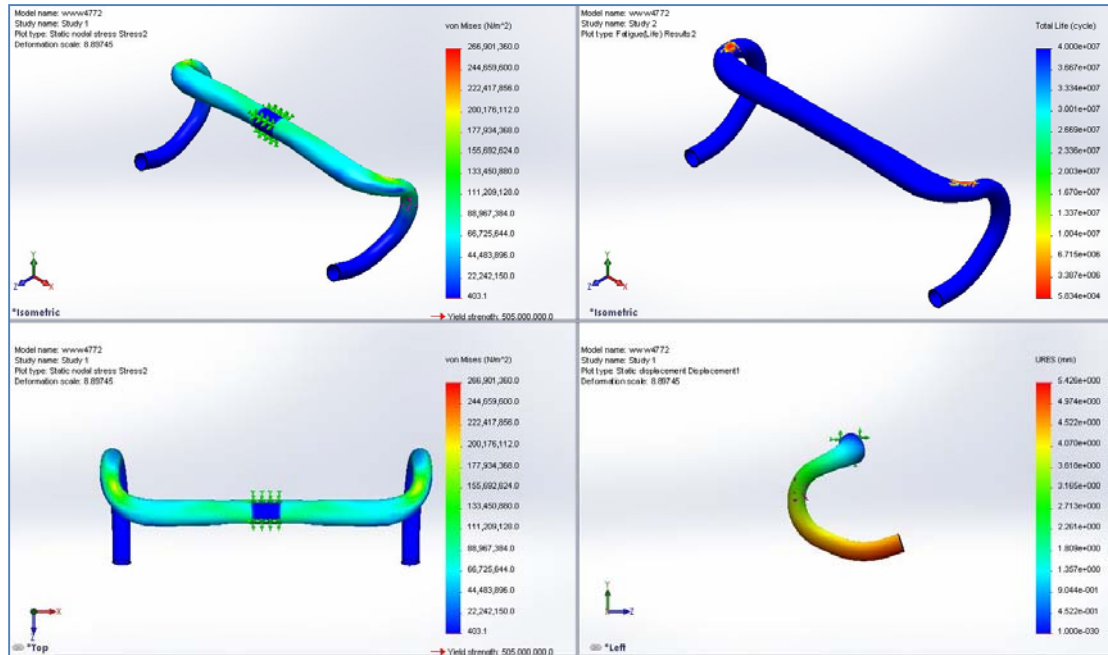
Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε αντίρροπες δυνάμεις 280N στα πιο απομακρυσμένα σημεία (προς τα μπροστά) της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν και στις μετατοπίσεις, πάνω και κάτω αντίστοιχα και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $186 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (20% αύξηση) και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 2.8mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 11.39×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτεί ο κανονισμός είναι 10^5).



Εικόνα 65: Έλεγχος 4.7.7.1 τελικού τιμονιού

δεύτερο στάδιο

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα (προς τα μπροστά) σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Οι εικόνες στα αριστερά αφορούν στις τάσεις και οι εικόνες στα δεξιά στην ζωή του τιμονιού και στις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν, πάνω και κάτω αντίστοιχα. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $266 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (30% αύξηση) και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 3.6mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές είναι 0.5834×10^5 κύκλους (η ζωή που απαιτείται από τον κανονισμό είναι 10^5).



Εικόνα 66: Έλεγχος 4.7.7.2 τελικού τιμονιού

Οι αλλαγές που έγιναν είχαν ως αποτέλεσμα το τιμόνι να γίνει στιβαρότερο και πιο εργονομικό αλλά τοπικά αυξήθηκαν οι τάσεις. Επειδή η αύξηση των τάσεων είναι τοπική μπορεί να γίνει εύκολα διόρθωση του προβλήματος όταν γίνει η μοντελοποίηση του τιμονιού ως ανθρακονημάτινο, προσθέτοντας ενισχύσεις τοπικά.

Μοντελοποίηση του τιμονιού ως ανθρακονημάτινο

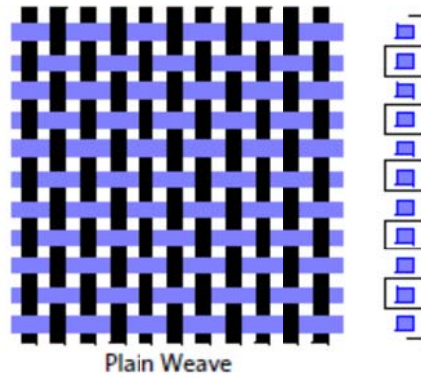
Σχετικά με το ανθρακόνημα

1 Είδος υφάσματος

Οι ίνες ενίσχυσης μπορεί να είναι πλεγμένες σε υφάσματα. Οι ίνες που έχουν κατεύθυνση αυτήν του τυλίγματος (στο ρόλο που είναι τυλιγμένο το ύφασμα) ονομάζονται ίνες τυλίγματος (wrap fibers) και αυτές που έχουν κάθετη κατεύθυνση από αυτήν που ονομάζονται υφάδια. Υπάρχουν πολλά είδη υφάσματος που χρησιμοποιούνται συνήθως στην βιομηχανία.

1.1 Απλή ύφανση

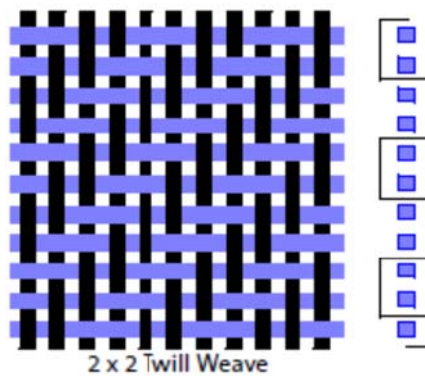
Ίνες τυλίγματος πλέκονται με τα υφάδια κάθε φορά που τα συναντούν. Το τελικό ύφασμα είναι πολύ σταθερό, αλλά δύσκολο να ακολουθήσει απότομες αλλαγές στην επιφάνεια που εφαρμόζεται (καλούπι). Τέτοιου είδους πλεκτά μπορούν να έχουν πολύ περισσότερες ίνες τυλίγματος και να μοιάζουν σχεδόν με την μορφή του μονοδιευθυντικού.



Εικόνα 67: Απλή ύφανση

1.2 Διαγώνια ύφανση

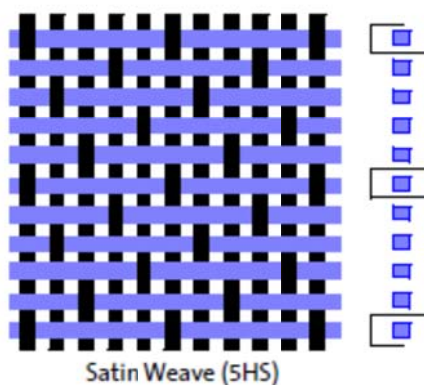
Οι ίνες περνούν πάνω και κάτω από κάποιον αριθμό δεσμίδων ινών, π.χ. 2x2 διαγώνια ύφανση είναι ένα ύφασμα του οποίου οι ίνες περνούν 2 δεσμίδες από πάνω και 2 από κάτω. Αυτή η ύφανση χρησιμοποιείται σε πιο πολύπλοκες επιφάνειες.



Εικόνα 68: 2x2 διαγώνια ύφανση

1.3 Satin

Οι ίνες περνούν πάνω από έναν αριθμό δεσμίδων αλλά κάτω από μόνο μία. Αυτή η πλέξη παράγει πολύ πιο επίπεδο ύφασμα που εύκολα ακολουθεί πολύπλοκες επιφάνειες. Το μειονέκτημα αυτής της πλέξης είναι ότι στην μία πλευρά του έχει κυρίως ίνες τυλίγματος ενώ στην άλλη κυρίως υφάδια.

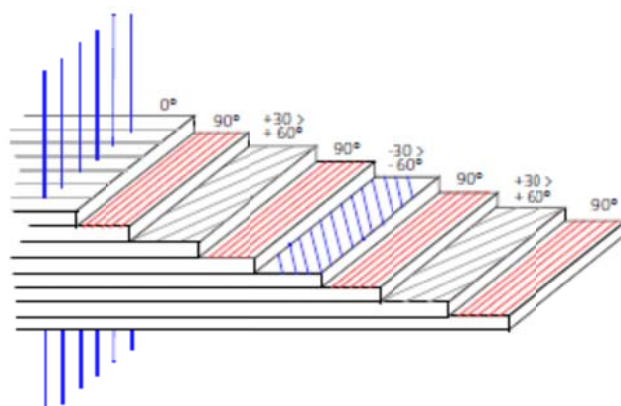


Satin Weave (5HS)

Εικόνα 69: Satinύφανση

1.4 Πολυαξονικό επίπεδο ύφασμα

Ένα πολυαξονικό ύφασμα αποτελείται από μονοδιευθυντικά υφάσματα με διαφορετικές κατευθύνσεις ραμμένα μεταξύ τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως και το πλεκτό ύφασμα. Πολυδιευθυντικά υφάσματα μπορούν να παραχθούν σε πάχη που δεν είναι πρακτικό ή οικονομικό να παραχθούν τα πλεκτά υφάσματα. Επίσης τα πολυδιευθυντικά υφάσματα μπορούν να ακολουθήσουν πολύπλοκες επιφάνειες ενώ επιτυγχάνεται γρήγορα μεγάλο μέρος διαστρωμάτωσης. Παρόλα αυτά πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή ώστε η διαστρωμάτωση να είναι ισορροπημένη και τα βαριά υφάσματα είναι δύσκολο να αντιγράψουν μικρές λεπτομέρειες.



Εικόνα 70: Πολυαξονικό ύφασμα

2. Προεμποτισμένα υφάσματα

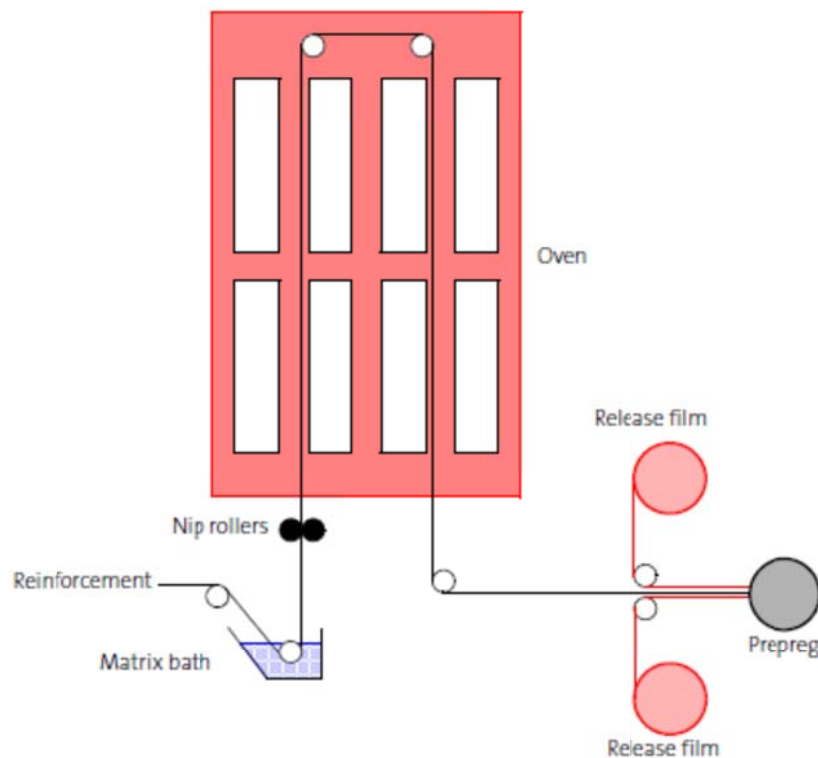
Ένα προεμποτισμένο αποτελείται από το υλικό της ενίσχυσης εμποτισμένο με μία μήτρα ρητίνης σε ένα ελεγχόμενο βαθμό. Η ρητίνη μπορεί να είναι μερικώς ψημένη (αναφέρεται ως β στάδιο) και σε αυτήν την μορφή εφαρμόζεται στο πλεκτό ύφασμα. Τα προεμποτισμένα υφάσματα μπορεί να είναι πλεκτά ή μονοδιευθυντικά.

2.1. Παραγωγή προεμποτισμένου υφάσματος

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι παραγωγής προεμποτισμένου υφάσματος: η μέθοδος ένωσης της ρητίνης με τις ίνες με θέρμανση (hotmelt) και η μέθοδος λουτρού διαλύτη (solvent dip).

2.1. Ένωσης της ρητίνης και των ινών με θέρμανση

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί μονοδιευθυντικό ή πλεκτό προεμποτισμένο ύφασμα. Αυτή η μέθοδος απαιτεί δύο στάδια διαδικασίας. Στο πρώτο στάδιο προθερμασμένη ρητίνη στρώνεται σε ένα φύλλο (με βάση το χαρτί) και δημιουργείται ένα λεπτό φιλμ. Η ενίσχυση και το φιλμ αυτό έρχονται σε επαφή στην μηχανή παραγωγής προεμποτισμένου υφάσματος. Ο εμποτισμός της ρητίνης στην ίνα επιτυγχάνεται με θέρμανση και πίεση από ράουλα. Το τελικό προϊόν τυλίγεται σ' έναν κύλινδρο (πυρήνα).



Εικόνα 72: Ένωση της ρητίνης και των ινών σε λουτρό διαλύτη

Ονοματολογία

Cure: Είναι ο θερμικός κύκλος της ρητίνης που είναι απαραίτητος για να σκληρύνει η ρητίνη.

Debulking: Η εφαρμογή πίεσης (κενού) συγκεκριμένα σημεία της διαστρωμάτωσης για να εξασφαλιστεί η πλήρης επαφή των προεμποτισμένων στρώσεων.

Fibre Volume Fraction (If): Το ποσοστό κατ' όγκο των ινών στο προεμποτισμένο ύφασμα.

Flow: Η ιδιότητα της ρητίνης να κινείται υπό πίεση μέσα στις στρώσεις έτσι ώστε να μην υπάρχει στεγνό σημείο σε κανένα μέρος της διαστρωμάτωσης.

Fibre Area Weight (FAW): Το βάρος του υφάσματος που χρησιμοποιείται στο εμποτισμένο ύφασμα (gsm).

Glasstransitiontemperature (Tg):Θερμοκρασία υάλωσης της ρητίνης. Η θερμοκρασία στην οποία αλλάζει φάση η μήτρα.

Lay-up: Ο αριθμός των στρώσεων και η κατεύθυνσή τους που χρειάζεται για να παραχθεί το απαιτούμενο αντικείμενο (καθώς και η διαδικασία διαστρωμάτωσης).

Outlife: Ζωή εκτός ψυγείου. Ο χρόνος που ένα προεμποτισμένο ύφασμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασία δωματίου (συνήθως 21°C).

Ply: Μια στρώση προεμποτισμένου υφάσματος.

Βάρος ρητίνης (%RW): Το ποσοστό κατά βάρος της ρητίνης στο προεμποτισμένο ύφασμα.

Shelflife: Ο χρόνος που το προεμποτισμένο ύφασμα μπορεί να αποθηκευτεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες παραμένοντας χρησιμοποιήσιμο.

Tack (Κολλώδες): Η ιδιότητα του προεμποτισμένου να κολλά με τις άλλες στρώσεις και το καλούπι.

Tacklife: Η περίοδος που για δοσμένο χρόνο το προεμποτισμένο ύφασμα έχει επαρκές κολλώδες.

Τεχνική σακούλας υποπίεσης (κενού): Τεχνική μέσω της οποίας η σακούλα που πιέζει την διαστρωμάτωση πιέζει με την όποια πίεση περιβάλλοντος. Δημιουργώντας κενό στο καλούπι και στις διαστρωματώσεις.

Κατ' όγκο περιεκτικότητα σε κενό: Το ποσοστό κατ' όγκο του κενού (θύλακες κενού) που υπάρχει στο σύνθετο.

Ρητίνη

*Οδηγίες και πληροφορίες από την εταιρία πώλησης των προεμποτισμένων
Advanced Composites Group*

VTM 260 Series

Περιγραφή προϊόντος

Αυτή η σειρά εποξικών ρητινών χαρακτηρίζεται από καλές μηχανικές ιδιότητες, μικρό ιξώδες κατά την διάρκεια του ψησίματος και καλά χαρακτηριστικά διαχείρισης των προεμποτισμένων κατά την διάρκεια της διαστρωμάτωσης.

Χαρακτηριστικά

-Πολύ καλά χαρακτηριστικά σε καλούπωμα με σακούλα κενού.

-Λεπτόρρευστες κατά την διάρκεια του ψησίματος.

- Έως 30 μέρες ζωής εκτός ψυγείου στους 21°C.
- 12 μήνες ζωής εντός ψυγείου στους -18°C.
- VTM 263 υψηλού ιξώδους σε σχέση με τις άλλες ρητίνες της σειράς, κατάλληλη για μερικό εμποτισμό υφασμάτων ή πλήρη εμποτισμό ελαφρών υφασμάτων.
- VTM264 μεσαίου ιξώδους κατάλληλη για εμποτισμό έως και μεσαίου βάρους υφασμάτων πλεκτών ή μονοδιευθυντικών.
- VTM266 μικρού ιξώδους κατάλληλη για εμποτισμό υφασμάτων μεγάλου βάρους έως και 2400gr/m².
- VTM 267 μικρή ευαισθησία στην θερμοκρασία, ελεγχόμενο κολλώδες, κατάλληλη για μερικό εμποτισμό.
- Όλες οι ρητίνες της σειράς αυτής είναι πλήρως συμβατές και μπορούν να ψηθούν μαζί.

Resin	Tack @15°C (60°F)	Tack @21°C (70°F)	Glass UD	Carbon UD	Glass Woven	Carbon Woven
VTM263	Low	Low/Medium	N/A	N/A	<300g/m ²	<300g/m ²
VTM264	Low	Medium	<400g/m ²	<600g/m ²	<900g/m ²	<900g/m ²
VTM266	Medium	High	<600g/m ²	<600g/m ²	>900g/m ²	>900g/m ²
VTM267	Very Low	Low	Differential coating of heavy reinforcements			

Εικόνα 73: Χαρακτηριστικά κολλώδους των VTM ρητινών

Κύκλος θερμικής διαδικασίας σκλήρυνσης της ρητίνης με την μέθοδο της σακούλας κενού.

- Εφαρμογή 980mbar κενού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος στην διαστρωμάτωση
- Θέρμανση στους 65°C με μέγιστο ρυθμό 2°C/min για μικρές κατασκευές και για μεγάλες ο ρυθμός πρέπει να μειωθεί σε 0.5°C/min.
- Διατηρείστε το κενό και την θερμοκρασία για 16 ώρες.
- Ο μέγιστος ρυθμός ψύξης που επιτρέπεται είναι 3°C/min υπό κενό.
- Σταματήστε την διατήρηση του κενού.
- Ξεκαλουπώστε το τεμάχιο.

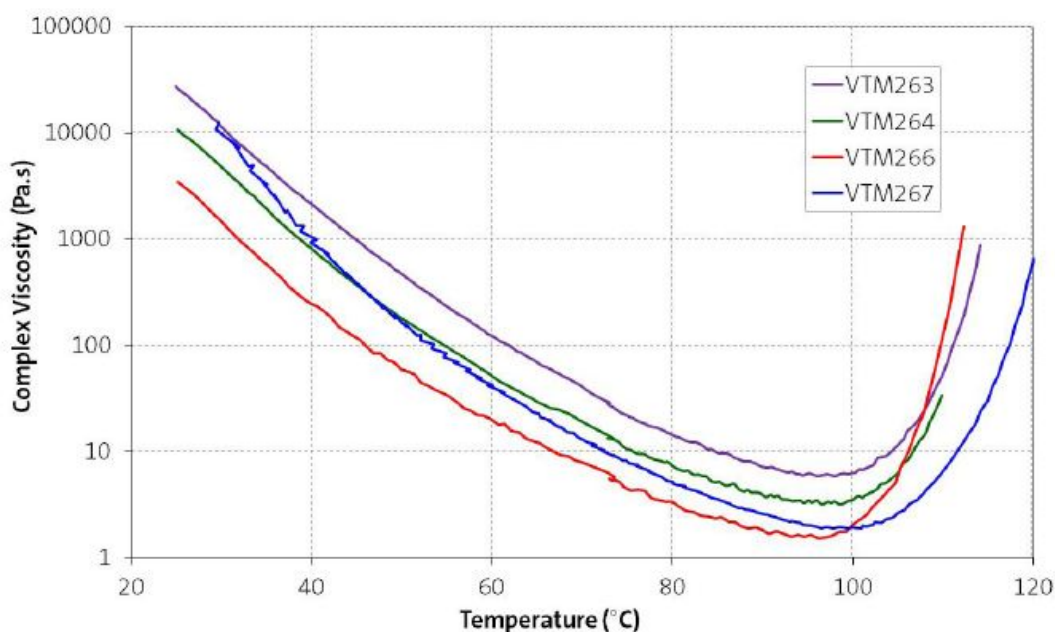
Optional Cure Cycles

Cure Temperature	Time	Developed Tg (DMA E' Onset)
65°C (149°F)	16 hours	80°C (176°F)
80°C (176°F)	5 hours	95°C (203°F)
100°C (212°F)	2 hour	115°C (239°F)
120°C (248°F)	1 hour	120°C (248°F)

Note: The minimum cure temperature for the VTM260 Series of prepregs is 65°C (149°F).

Εικόνα 74: Εναλλακτικοί κύκλοι ψησίματος

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



Εικόνα 75: Δυναμικό ιξώδες VTM ρητινών

Επιπλέον ψήσιμο

Για εφαρμογές που χρειάζονται μέγιστη αντοχή στη θερμοκρασία ή γενικά προστασία από το περιβάλλον είναι ουσιώδες να γίνει επιπλέον ψήσιμο για να αναπτυχθεί η μέγιστη δυνατή θερμοκρασία υάλωσης.

-Τα τεμάχια μπορούν να τοποθετηθούν σε προθερμασμένο φούρνο ή να θερμανθούν με ρυθμό 3°C/min στην αρχική θερμοκρασία (την τελική θερμοκρασία του πρώτου ψησίματος).

-Συνεχίστε να θερμαίνετε μέχρι τους 120°C με ρυθμό 0.3°C/min.

-Διατηρείστε στους 120°C για μία ώρα τουλάχιστον.

-Τα τεμάχια μπορούν να ψυχθούν με μέγιστο ρυθμό 2°C/min έως την θερμοκρασία δωματίου.

-Τα μεγάλα τεμάχια πρέπει να στηριχτούν σωστά ώστε να μην παραμορφωθούν.

Υγεία και ασφάλεια

Οι ρητίνες της σειράς αυτής μπορούν να προκαλέσουν αλλεργική αντίδραση είτε άμεσα (με την πρώτη επαφή) είτε μετά από χρόνια επαφή. Αποφεύγετε την επαφή με το δέρμα. Γάντια και προστατευτικός ρουχισμός είναι απαραίτητα. Εάν υπάρξει επαφή με την ρητίνη μην χρησιμοποιήσετε διαλυτικό για την απομάκρυνσή της παρά μόνο νερό και σαπούνι ή/και κρέμα απομάκρυνσης της ρητίνης. Η εξάτμιση των αντλιών δεν πρέπει να βρίσκεται στον χώρο εργασίας αλλά να βγαίνει σε εξωτερικό χώρο.

Δεδομένα ινών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή

Τα δεδομένα για τις ίνες του ανθρακονήματος της εταιρίας TORAYCA είναι για τα δύο υλικά που χρησιμοποιήθηκαν T300 και M40J αντίστοιχα:

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.

FIBER PROPERTIES

		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 & Amount	40A, 40B		1.0 %	TY-030B-05
	40D		0.7 %	TY-030B-05
	50A, 50B		1.0 %	TY-030B-05
Twist	Twisted, Untwisted, or Never twisted			

FUNCTIONAL PROPERTIES

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

TORAYCA® M40J DATA SHEET

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

FIBER PROPERTIES

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

FUNCTIONAL PROPERTIES

CTE	-0.83 α·10 ⁻⁶ /°C
Specific Heat	0.17 Cal/g·°C
Thermal Conductivity	0.164 Cal/cm·s·°C
Electric Resistivity	1.0 x 10 ⁻³ Ω·cm
Chemical Composition: Carbon	>99 %
Na + K	<50 ppm

Εικόνα 76: Χαρακτηριστικά ιλών άνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν

Για το προεμποτισμένο ύφασμα υπάρχουν τα στοιχεία:

Mechanical properties of VTM264 prepregs cured for 5 hours at 80°C (176°F). Tested at room temperature, dry.

Property	Test Method	Units	Material	
			VTM264/CF0302*-42%RW	VTM264/T700-300-35%RW
0° Tensile Strength	ASTM	MPa (ksi)	700 (102)	2575 (373.5)
0° Tensile Modulus	D3039	GPa (msi)	60.0 (8.70)	131 (19.0)
90° Tensile Strength	ASTM	MPa (ksi)	745 (108)	40 (5.80)
90° Tensile Modulus	D3039	GPa (msi)	60.5 (8.77)	9.1 (1.32)
0° Compression Strength	ASTM	MPa (ksi)	540 (78.3)	1235 (179)
0° Compression Modulus	D3410	GPa (msi)	54.0 (7.83)	118 (17.1)
90° Compression Strength	ASTM	MPa (ksi)	560 (81.2)	182 (26.4)
90° Compression Modulus	D3410	GPa (msi)	53.0 (7.69)	-
Interlaminar Shear Strength (ILSS)	ASTM D2344	MPa (ksi)	71.0 (10.3)	88.6 (12.9)
In-Plane Shear Strength (IPSS)	ASTM	MPa (ksi)	95.0 (13.8)	85.7 (12.4)
In-Plane Shear Modulus (IPSM)	D3518	GPa (msi)	3.90 (0.57)	3.94 (0.57)

Data normalised to 55%Vf except interlaminar shear strength and in-plane shear strength and modulus.

*CF0302 is a 2x2twill, 199g/m² fabric with FT300B 40B fibres.

Εικόνα 77: Χαρακτηριστικά εμποτισμένων υφασμάτων με την ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε

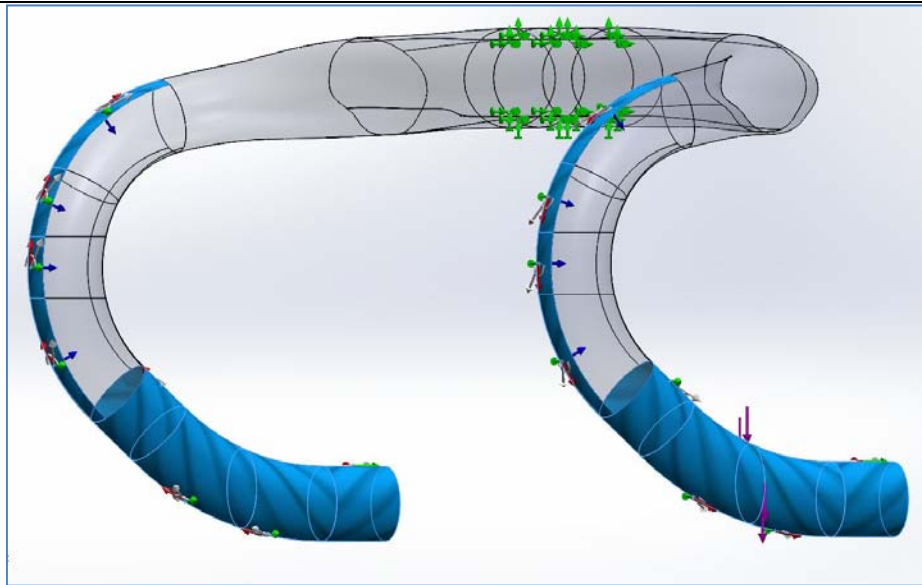
Ουσιαστικά έχω όλα τα απαραίτητα στοιχεία για το πλεκτό προεμποτισμένο ύφασμα (T300) γιατί είναι σχεδόν ίδιο με αυτό του τελευταίου πίνακα (δεύτερη στήλη από δεξιά). Αλλά δεν έχω για το μονοδιευθυντικό προεμποτισμένο ύφασμα (M40J). Η τελευταία στήλη του πίνακα αυτού όμως δίνει τις ιδιότητες του μονοδιευθυντικού T300 με την ρητίνη που χρησιμοποιούμε. Επίσης από τους πρώτους πίνακες έχουμε τις ιδιότητες των ινών του μονοδιευθυντικού T300 και M40J. Κάνοντας μια σύμβαση, ότι η σχέση των ινών διατηρείται και στο προεμποτισμένο, μπορούμε να βρούμε τις ιδιότητες του προεμποτισμένου μονοδιευθυντικού M40J. π.χ. Αντοχή σε εφελκυσμό του T300 3530MPa, αντίστοιχα του M40J 4410MPa, σχέση μεταξύ τους: το M40J αντέχει 1.249 φορές σε σχέση με το T300. Ιδιότητες που δεν υπήρχαν προστέθηκαν από άλλα υλικά της βιβλιοθήκης του Solidworks, όπως ο λόγος Poisson, ή δημιουργήθηκαν αυθαίρετα, όπως το όριο διαρροής το οποίο θεωρήθηκε λίγο πάνω από την αντοχή σε εφελκυσμό. Έτσι προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας των υλικών:

Material	T300	M40J	units
Elastic Modulus in X	6.00E+10	2.15E+14	N/m ²
Elastic Modulus in Y	6.05E+010	9.1E+09	N/m ²
Elastic Modulus in Z	1.00E+10	9.1E+09	N/m ²
Poisson's Ration in XY	0.26	0.26	N/A
Poisson's Ration in YZ	0.3	0.3	N/A
Poisson's Ration in XZ	0.3	0.3	N/A
Shear Modulus in XY	3.9E+09	3.94E+09	N/m ²
Mass Density	1000	1000	kg/m ³
Tensile Strength in X	7E+08	3.22E+09	N/m ²
Tensile Strength in Y	745	40000000	N/m ²
Compressive Strength in X	5.4E+08	1.07E+09	N/m ²
Compressive Strength in Y	5.6E+08	1.82E+08	N/m ²
Shear Strength in XY	95000000	85700000	N/m ²
Yield Strength	2.6E+09	3.25E+09	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient in X	0.003	0.003	/K
Thermal Conductivity in X	10.46	68.61	W/(m·K)
Specific Heat	795	711	J/(kg·K)

Με δεδομένα αυτά τα χαρακτηριστικά υλικών έγινε η μοντελοποίηση του τιμονιού ως ανθρακονημάτινο με την παρακάτω λογική. Το τιμόνι χωρίστηκε σε τμήματα τα οποία ομαδοποιήθηκαν με βάση τις τάσεις από τις προηγούμενες μοντελοποιήσεις π.χ. το τμήμα δύο του τιμονιού καταπονείται περισσότερο όταν γίνεται ο έλεγχος 4.7.7.5. Αρχικά υπήρχαν παντού ο ίδιος αριθμός στρωμάτων και στις ίδιες διευθύνσεις. Αφού λύθηκε αυτό το μοντέλο και παρατηρήθηκαν οι τάσεις ανά στρώση ανθρακονήματος, έγινε ξανά ομαδοποίηση των τμημάτων του τιμονιού και συμπληρώθηκαν στρώσεις όπου χρειάστηκε και αφαιρέθηκαν από όπου δεν χρειαζόταν. Η διεύθυνση των καινούριων στρώσεων καθοριζόταν από τις πιο καταπονημένες προηγούμενες. Αν παραδείγματος χάρη υπήρχε μία στρώση που έπαιρνε τα περισσότερα φορτία, η στρώση διπλασιαζόταν είτε προσθέτοντας μία στρώση στο σημείο αυτό είτε αντικαθιστώντας μια προηγούμενη. Λύνοντας πολλές φορές το μοντέλο έγινε κάποια βελτιστοποίηση. Από φόβο για τυχόν λάθη κατά τον σχεδιασμό έγινε υπερδιαστασιολόγηση του μοντέλου. Τα αντίστοιχα τιμόνια της αγοράς είναι περίπου 180gr και ο αρχικός στόχος για αυτό το τιμόνι ήταν 200-250gr.

Εδώ έγινε ένα λάθος που είχε ως αποτέλεσμα να παραχθεί το πρωτότυπο πολύ βαρύτερο. Στα χαρακτηριστικά του πλεκτού και του μονοδιευθυντικού υλικού αναγράφονται τα γραμμάρια ανά κιλό του υφάσματος και όχι του προεμποτισμένου υφάσματος. Γι αυτό έχοντας ως στόχο τα 200gr προεμποτισμένου υφάσματος έγινε μοντελοποίηση του τιμονιού στα 200gr υφάσματος. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η βελτιστοποίηση τελικά αφορούσε μόνο τις διευθύνσεις των τάσεων και όχι το βάρος του προϊόντος. Το αποτέλεσμα θα σχολιαστεί στο κεφάλαιο της κατασκευής.

Ακολουθούν εικόνες από την μοντελοποίηση του τιμονιού ως ανθρακονημάτινο.



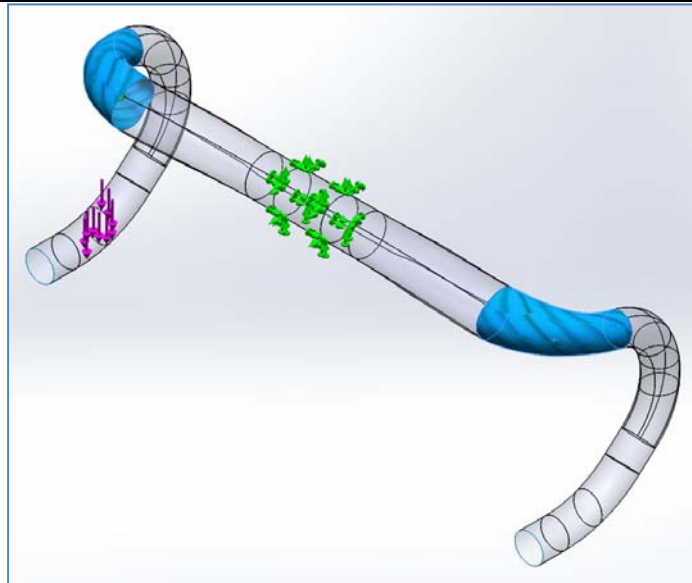
Εικόνα78: Πρώτη ομάδα στρώσεων

Solid Works Simulation composite stack definition file

Units: mm

α/α	Thickness	Angle	Material
1	0.2	± 45	t300woven
2	0.1	0	m40j
3	0.2	0-90	t300woven
4	0.1	0	m40j
5	0.2	± 45	t300woven
6	0.1	0	m40j
7	0.2	0-90	t300woven
8	0.1	0	m40j

9	0.1	0	m40j
10	0.2	± 45	t300woven
11	0.1	0	m40j



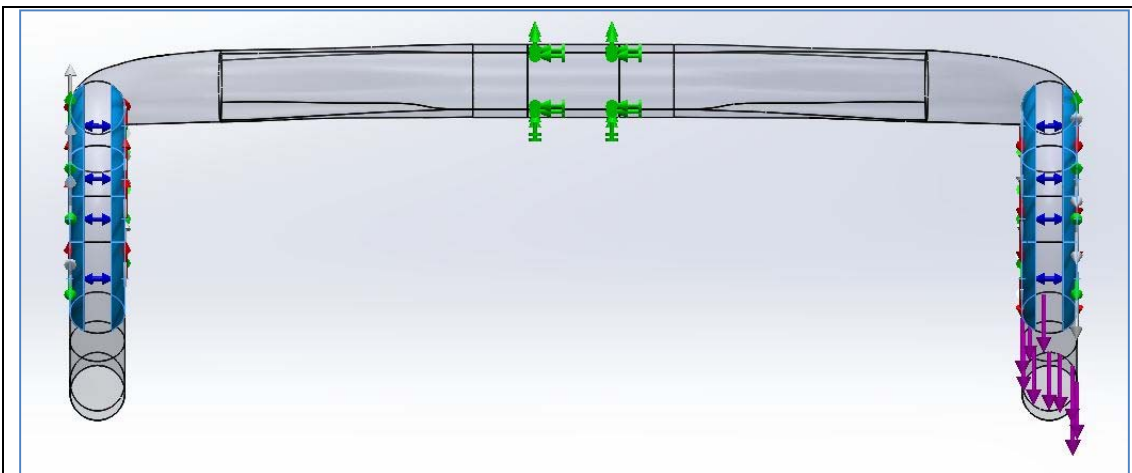
Εικόνα79: Δεύτερη ομάδα στρώσεων

SolidWorks Simulation composite stack definition file

Units: mm

α/α	Thickness	Angle	Material
1	0.2	± 45	t300woven
2	0.1	0	m40j
3	0.2	± 45	t300woven
4	0.1	0	m40j
5	0.2	± 45	t300woven
6	0.1	0	m40j
7	0.2	0-90	t300woven
8	0.1	0	m40j

9	0.2	± 45	t300woven
10	0.1	0	m40j
11	0.2	± 45	t300woven
12	0.1	0	m40j
13	0.2	± 45	t300woven
14	0.1	0	m40j
15	0.2	0-90	t300woven
16	0.1	0	m40j



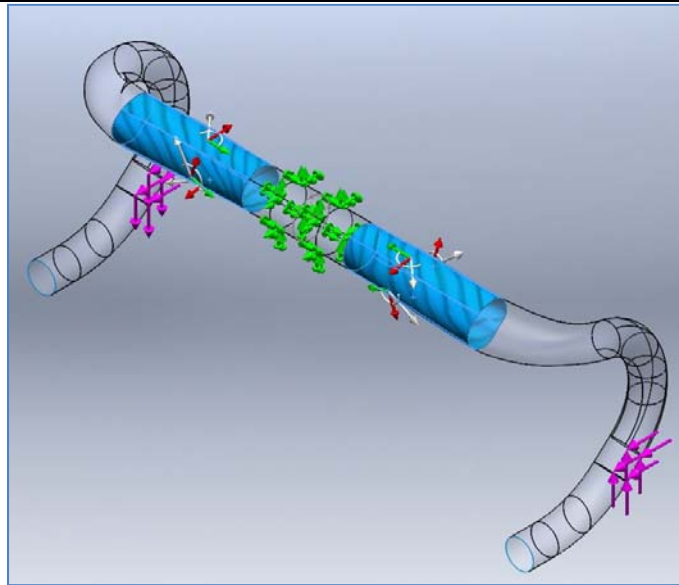
Εικόνα80: Τρίτη ομάδα στρώσεων

SolidWorks Simulation composite stack definition file

Units: mm

α/α	Thickness	Angle	Material
1	0.2	± 45	t300woven
2	0.1	90	m40j
3	0.2	0-90	t300woven
4	0.1	90	m40j
5	0.2	± 45	t300woven
6	0.1	90	m40j

7	0.2	0-90	t300woven
8	0.1	90	m40j
9	0.1	90	m40j
10	0.2	± 45	t300woven
11	0.1	90	m40j



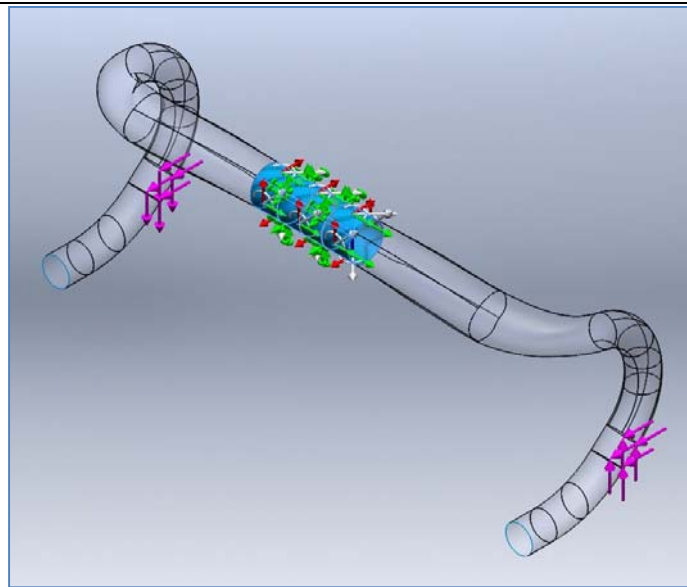
Εικόνα81: Τέταρτη ομάδα στρώσεων

SolidWorks Simulation composite stack definition file

Units: mm

α/α	Thickness	Angle	Material
1	0.2	± 45	t300woven
2	0.1	0	m40j
3	0.2	± 45	t300woven
4	0.1	0	m40j
5	0.2	± 45	t300woven
6	0.1	0	m40j
7	0.2	0-90	t300woven
8	0.1	0	m40j

9	0.2	± 45	t300woven
10	0.1	0	m40j
11	0.2	± 45	t300woven
12	0.1	0	m40j
13	0.2	± 45	t300woven
14	0.1	0	m40j



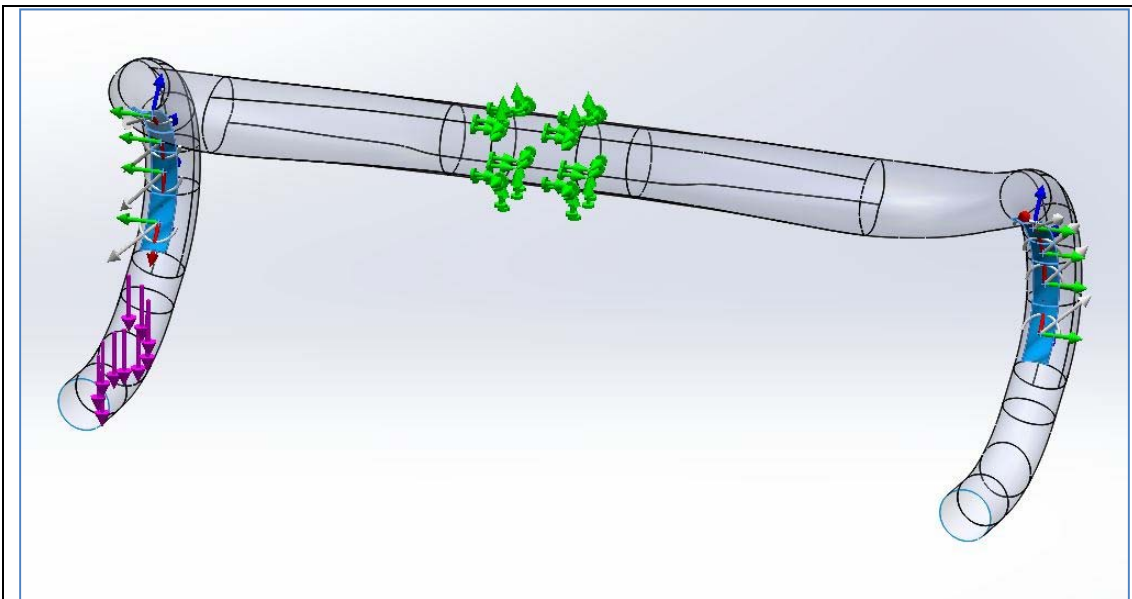
Εικόνα82: Πέμπτη ομάδα στρώσεων

Solid Works Simulation composite stack definition file

Units: mm

α/α	Thickness	Angle	Material
1	0.2	± 45	t300woven
2	0.1	0	m40j
3	0.2	± 45	t300woven
4	0.1	0	m40j
5	0.2	± 45	t300woven
6	0.1	0	m40j
7	0.2	0-90	t300woven

8	0.1	0	m40j
9	0.2	± 45	t300woven
10	0.1	0	m40j
11	0.2	± 45	t300woven
12	0.1	0	m40j
13	0.2	± 45	t300woven
14	0.1	0	m40j
15	0.2	0-90	t300woven



Εικόνα83: Έκτη ομάδα στρώσεων

SolidWorks Simulation composite stack definition file

Units: mm

α/α	Thickness	Angle	Material
1	0.2	± 45	t300woven
2	0.1	0	m40j

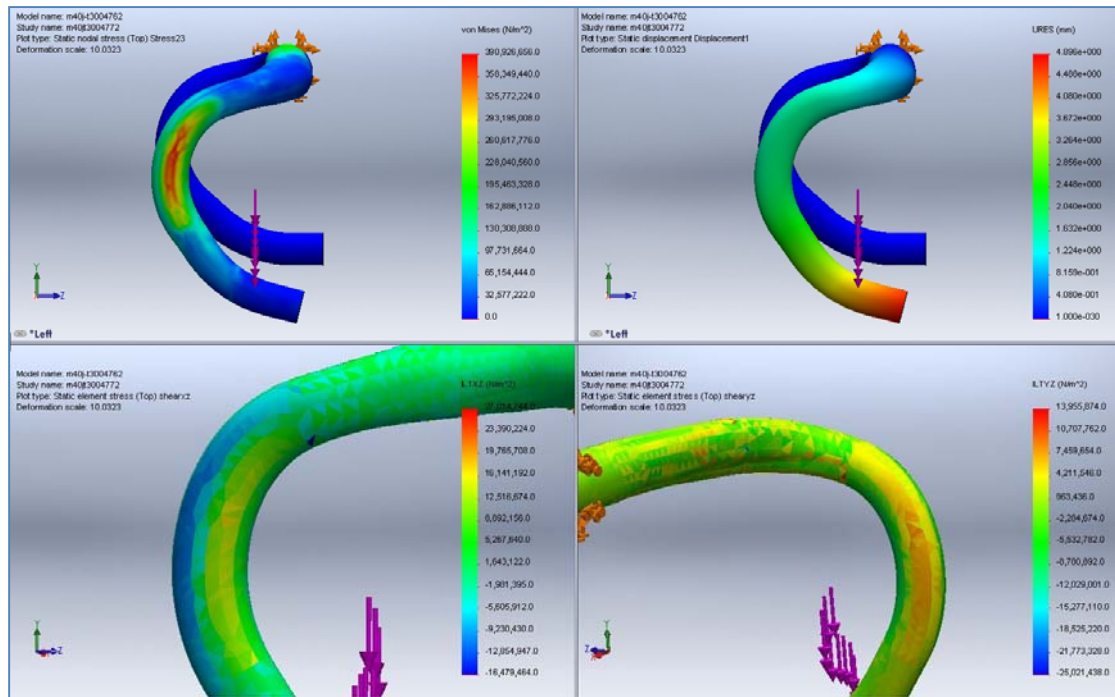
3	0.2	0-90	t300woven
4	0.1	0	m40j
5	0.2	± 45	t300woven
6	0.1	0	m40j
7	0.2	0-90	t300woven
8	0.1	0	m40j
9	0.1	<u>0</u>	m40j
10	0.2	± 45	t300woven
11	0.1	0	m40j

Έγινε απόπειρα να υπάρξει κοινή διαστρωμάτωση στα γειτονικά τμήματα του τιμονιού, τουλάχιστον σε αυτά που θα βρίσκονται στο ίδιο μέρος καλουπιού, για να απλοποιηθεί η διαδικασία της διαστρωμάτωσης.

Τα αποτελέσματα τις μοντελοποίησης αυτής φαίνονται εδώ:

4.7.6.2

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται στο τιμόνι δύναμη 1000N μονόπλευρα, στην λαβή της κάτω θέση οδήγησης. Όλες οι εικόνες αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν εκτός από αυτήν που είναι πάνω δεξιά που αφορά στις μετατοπίσεις. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $390 \times 10^6 \text{N/m}^2$ (το όριο αντοχής σε εφελκυσμό του υλικού είναι $700 \times 10^6 \text{N/m}^2$ για το T300 και $3220 \times 10^6 \text{N/m}^2$ για το M40J) και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στο τόξο που κάνει ο σωλήνας του τιμονιού πριν από την κάτω θέση οδήγησης. Η τάση αποκόλλησης των στρωμάτων είναι της τάξης του $27 \times 10^6 \text{N/m}^2$ ενώ το όριο είναι $95 \times 10^6 \text{N/m}^2$. Η μετατόπιση του σημείου που ασκείται η δύναμη (στα 50mm από το άκρο του) είναι περίπου 3.6mm.

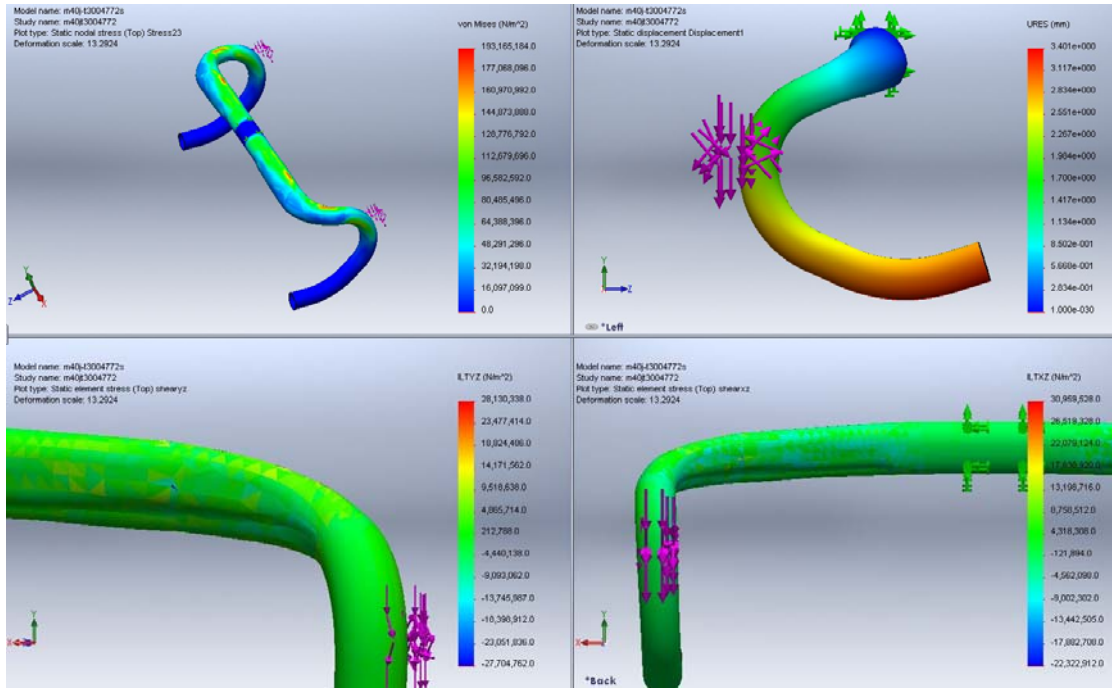


Εικόνα 84: Έλεγχος 4.7.6.2 ανθρακονημάτινου μοντέλου

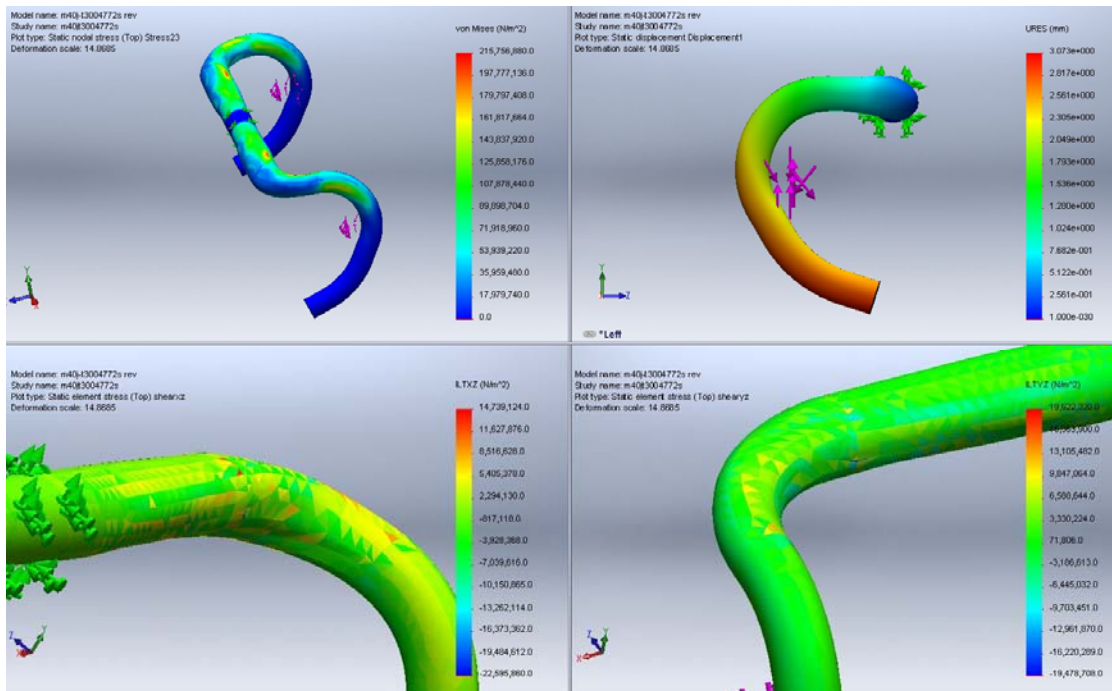
4.7.7

Επειδή το πρώτο στάδιο είναι πολύ πιο ήπιο του δεύτερου και επειδή με την μοντελοποίηση που έχει γίνει δεν περνούν τάσεις από το αριστερό μέρος του τιμονιού στο δεξί και το ανάποδο θα παρουσιαστούν εδώ τα αποτελέσματα του δεύτερου ελέγχου, όταν οι δυνάμεις έχουν διεύθυνση προς τα κάτω και προς τα πάνω αντίστοιχα.

Στον έλεγχο αυτό υποβάλλεται το τιμόνι σε ομόρροπες δυνάμεις 400N στα πιο απομακρυσμένα (προς τα μπροστά) σημεία της κάτω θέσης οδήγησης. Όλες οι εικόνες αφορούν στις τάσεις που αναπτύχθηκαν εκτός από αυτήν που είναι πάνω δεξιά που αφορά στην μετατόπιση. Οι μέγιστες τάσεις που αναπτύχθηκαν στο τιμόνι αυτό είναι της τάξης του $193 \times 10^6 \text{N/m}^2$ και είναι συγκεντρωμένες κυρίως στα τόξα 90° του σωλήνα που φαίνονται από την κάτοψη του. Η τάση αποκόλλησης των στρωμάτων είναι της τάξης του $30 \times 10^6 \text{N/m}^2$ ενώ το όριο είναι $95 \times 10^6 \text{N/m}^2$. Η μετατόπιση των σημείων που ασκούνται οι δυνάμεις είναι περίπου 2mm. Η ζωή του τιμονιού με αυτές τις δυνάμεις και ροπές δεν μπορεί να βρεθεί γιατί δεν υπάρχουν δεδομένα κόπωσης για το υλικό.



Εικόνα 85: Έλεγχος 4.7.7 ανθρακονημάτινου μοντέλου - κατεύθυνση δυνάμεων προς τα κάτω



Εικόνα 86: Έλεγχος 4.7.7 ανθρακονημάτινου μοντέλου - κατεύθυνση δυνάμεων προς τα πάνω

Εφόσον έχει αποφασιστεί το σχήμα και έχουν γίνει μοντελοποιήσεις του τιμονιού ως ανθρακονημάτινο ακολουθεί ο σχεδιασμός του καλουπιού.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι παρόλο που έχει γίνει ένα πολύ μεγάλο λάθος στον υπολογισμό του βάρους του τιμονιού το οποίο καθορίζει την ανταγωνιστικότητά του ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος από τρία και η

στιβαρότητα του τιμονιού εντυπωσιακά υψηλή οπότε το λάθος αυτό μπορεί να εξαλειφθεί με ασφάλεια, ώστε να παραχθεί ένα ανταγωνιστικό τιμόνι.

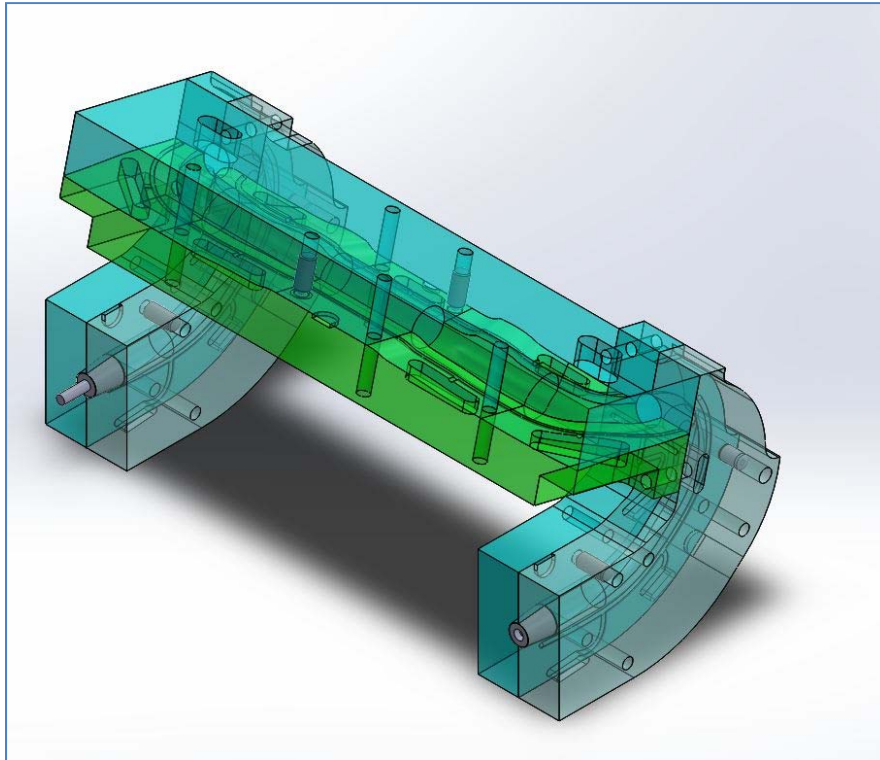
6. Σχεδιασμός καλουπιού

Στην αρχή αποφασίστηκε ο αριθμός των κομματιών του καλουπιού. Αν γινόταν σε δύο κομμάτια ο σχεδιασμός θα ήταν πολύπλοκος, η κατασκευή ακόμα πιο πολύ και το κόστος απαγορευτικό. Η λογική που ακολουθήθηκε ήταν η ακριβώς αντίθετη. Απλός σχεδιασμός για να αποφευχθούν λάθη, όσο το δυνατόν απλούστερη κατασκευή, για να μειωθεί το κόστος και τα λάθη κατασκευής. Επίσης η εξωτερική επιφάνεια σχεδιάστηκε όπου ήταν δυνατόν απλή. Από τα βασικότερα κριτήρια του σχεδιασμού ήταν ο τρόπος που θα κλείνει το καλούπι με ακρίβεια και ο τρόπος που θα ανοίγει με ευκολία. Για να κλείνει με ακρίβεια το καλούπι πρέπει να υπάρχουν οδηγοί πείροι και για να ανοίγει με ευκολία πρέπει να υπάρχουν εξολκείς.

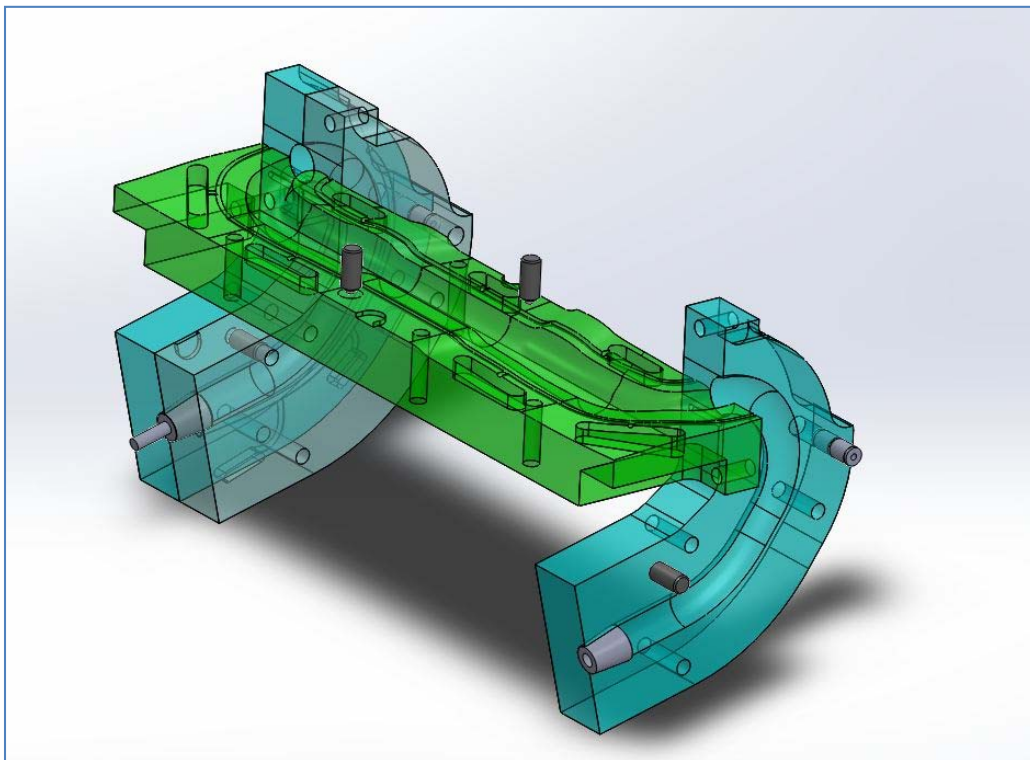
Επίσης πρέπει να σχεδιαστούν τα πώματα που θα σφραγίζουν την σακούλα πίεσης με το καλούπι και να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό το κύκλωμα πίεσης, ειδικά σε ό,τι αφορά τους συνδέσμους του σωλήνα πίεσης με το πώμα-είσοδο του αέρα.

Η λογική που σχεδιάστηκε το καλούπι για να κλείνει με ακρίβεια είναι η εξής: πρώτα κλείνουν τα δύο κεντρικά μέρη του καλουπιού, τα οποία επειδή έχουν ανάγλυφη διεπιφάνεια, κλείνουν με μοναδικό τρόπο και σφίγγονται με κοχλίες. έπειτα τοποθετείται το ένα από τα δύο ζευγάρια των πλαϊνών τμημάτων του καλουπιού τα οποία είναι ενωμένα μόνο με έναν πείρο και με τους κοχλίες του ζευγαριού χαλαρά σφιγμένες. Ενώνοντας τα τέσσερα κομμάτια μεταξύ τους με κοχλίες εξασφαλίζεται η ακρίβεια κλεισίματος στο πλαϊνό ζευγάρι και όχι στην ένωση των δύο ζευγαριών μεταξύ τους. Για να γίνει σωστά και αυτή η ένωση πρέπει να χαλαρώσουν οι κοχλίες που ενώνουν τα δύο ζευγάρια (χωρίς να χαλαρώσουν οι κοχλίες των ζευγαριών) και με την βοήθεια πλακιδίων ακριβείας και σφικτήρων να ξανασφιχτούν στην σωστή πλέον θέση τα δύο ζευγάρια μεταξύ τους.

Γενικά έγινε απόπειρα να υπάρχει 15mm αλουμινίου γύρω από την επιφάνεια διαστρωμάτωσης χωρίς οπές, και άλλο τόσο για την στήριξη των κοχλιών, των πείρων και για τους εξολκείς. Οι γενικές διαστάσεις του καλουπιού είναι 494x213x246mm και το βάρος του αναμένεται στα 22.158kg.



Εικόνα 87: Συναρμολογημένο καλούπι σχεδιασμένο στο SolidWorks



Εικόνα 88: Καλούπι τμηματικά ανοιγμένο

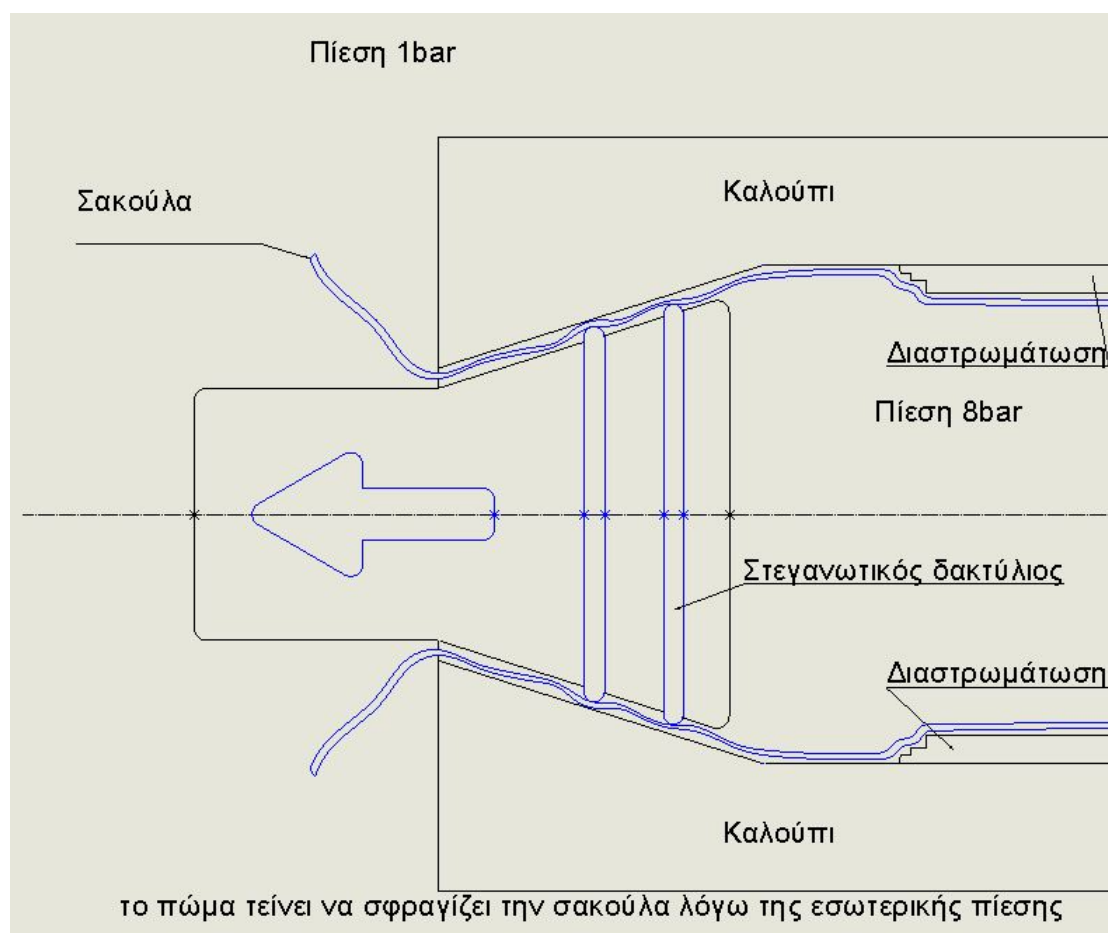
Στις εικόνες αυτές μπορεί να δείτε την κοιλότητα διαστρωμάτωσης, πώς κλείνει το καλούπι και τα επιμέρους στοιχεία του εκτός από τους κοχλίες. Οι μαύροι κύλινδροι

είναι οι εξολκείς, οι γκρίζοι είναι οι κωνικοί πείροι κεντραρίσματος και οι κώνοι που φαίνονται είναι τα πώματα.

Στο καλούπι υπάρχουν αυλακώσεις για να συγκρατούν την ρητίνη που θα διαρεύσει από τους αρμούς (επειδή είναι πολύ λεπτόρρευστη) και κάποιες εγκοπές για να ανοίξει το καλούπι με έναν μοχλό, σε περίπτωση που δεν δουλέψουν σωστά οι εξολκείς.

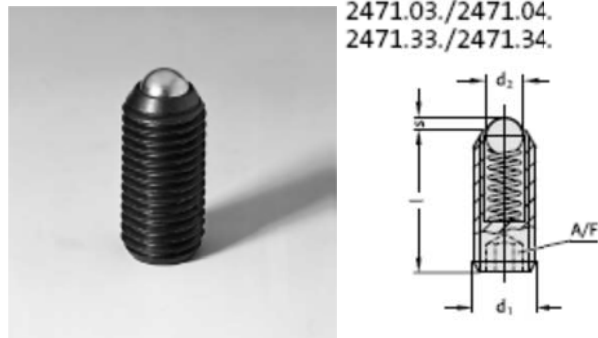
Ο αριστερά κώνος είναι συμπαγής και έχει ένα κυλινδρικό μέρος ως χερούλι ενώ ο δεξιά έχει σπή και σπείρωμα για να βιδωθεί ο σύνδεσμος του κυκλώματος πίεσης.

Η λογική σφραγίσματος της σακούλας φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



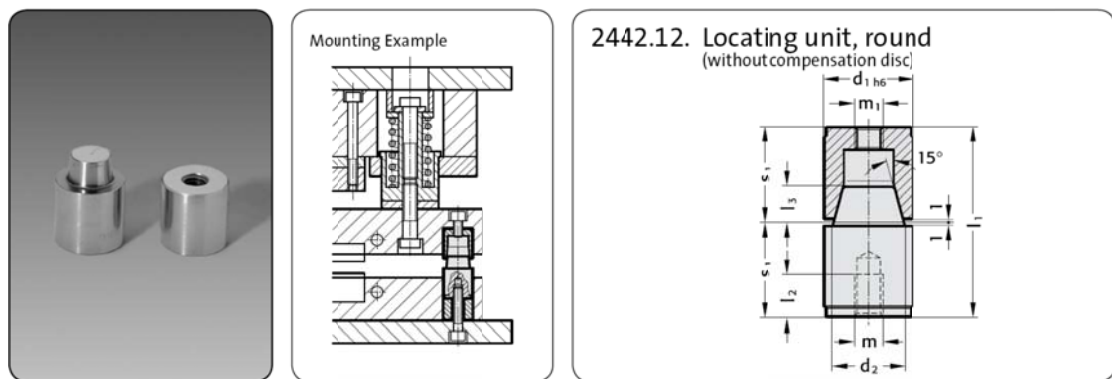
Η στεγάνωση της σακούλας γίνεται από τους στεγανωτικούς δακτυλίους σιλικόνης. Επιλέχθηκαν δακτύλιοι σιλικόνης για να αντέχουν στην θερμοκρασία.

Οι εξολκείς που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ουσιαστικά κοχλίες με μία σφαίρα στην κεφαλή τους η οποία συμπιέζει ένα ελατήριο (εσωτερικά του κοχλίου) όταν οι εξολκείς χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 89: Εξολκέας

Οι πείροι που επιλέχθηκαν δεν χρησιμοποιήθηκαν τελικά λόγω λάθους στην κατασκευή του καλουπιού αλλά ήταν οι παρακάτω. Επιλέχθηκαν οι πείροι αυτοί γιατί είναι κωνικοί και αυτό θα βοηθούσε να κλείσει εύκολα το καλούπι και δεν θα υπήρχε φόβος λόγω θερμικής διαστολής να σφηνώσει το αρσενικό μέρος του πείρου με το θηλυκό.

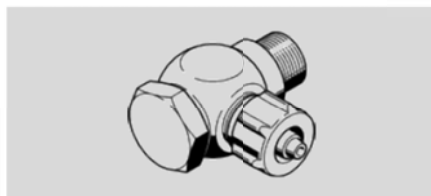


Εικόνα 90: Πείροι κεντραρίσματος

Το πνευματικό κύκλωμα για το οποίο σχεδιάστηκε το καλούπι κατέληγε στον παρακάτω σύνδεσμο με τον σωλήνα που ακολουθεί

FESTO

Function



Feature	values
Nominal size	2.9 mm
Type of seal on screw-in stud	Sealing ring
Assembly position	Any
Pneumatic connection	G1/8 PK-4 with sleeve nut
Materials note	Free of copper and PTFE
Materials information, housing	Zinc die-casting

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

Ο σωλήνας αυτός είναι υψηλής αντοχής σε θερμοκρασία και πίεση.

Το σπείρωμα του συνδέσμου σφραγίστηκε για να μην υπάρχουν απώλειες.

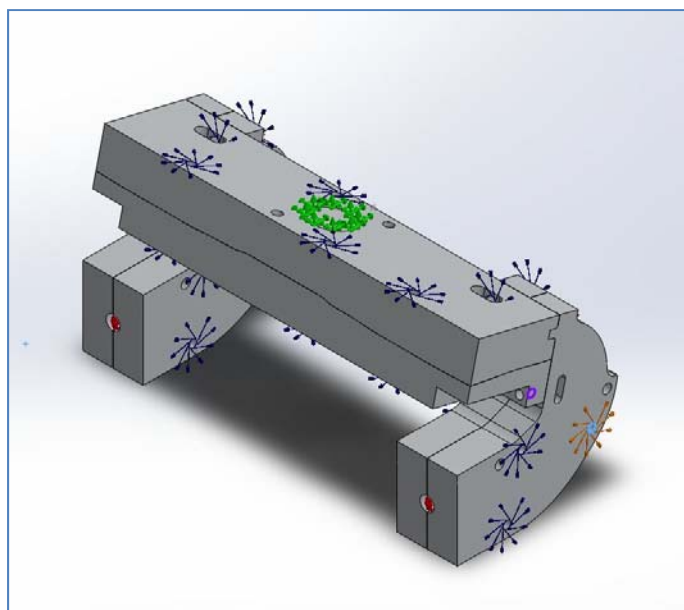
Αφού επιλέχθηκαν τα επιμέρους στοιχεία του καλουπιού έγινε η μελέτη του καλουπιού στις συνθήκες του φούρνου, οι οποίες είναι 8bar και 120°C. Το μοντέλο που σχεδιάστηκε δεν περιείχε τα επιμέρους στοιχεία αλλά είχε στην μοντελοποίησή του συνδέσεις που αντικαθιστούσαν τις βίδες. Σκοπός της μοντελοποίησης αυτής ήταν να παρατηρηθούν οι παραμορφώσεις λόγω πίεσης και θερμοκρασίας του καλουπιού, για να αποφευχθούν:

-Ανεπαρκές κλείσιμο του καλουπιού από τις βίδες.

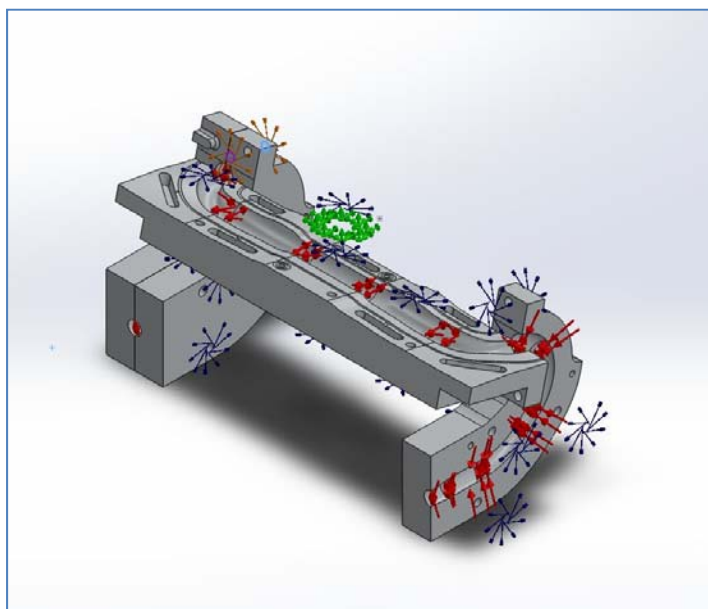
-Μεγάλες παραμορφώσεις του καλουπιού, κυρίως στα σημεία που η κοιλότητά του είναι κυλινδρική γιατί σε περίπτωση που δεν είναι κυλινδρικό το τιμόνι στα σημεία που πρέπει μπορεί να σπάσει (ασυμμετρίες μικρού βαθμού).

-Παραμορφωμένο τελικό προϊόν-ασυμμετρίες μεγάλου βαθμού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τάσεις στο καλούπι είναι πολύ μικρές και ότι η διαστολή του καλουπιού ήταν επίσης μικρή. Πιο συγκεκριμένα οι μετατοπίσεις των πιο απομακρυσμένων σημείων του καλουπιού ήταν 1.6 δέκατα του χιλιοστού. Αυτό σημαίνει ότι στα 30mm το λάθος του σχήματος λόγω θερμικής διαστολής είναι κάτω από 16μm (αφού στα 494mm η διαστολή είναι 160μm).

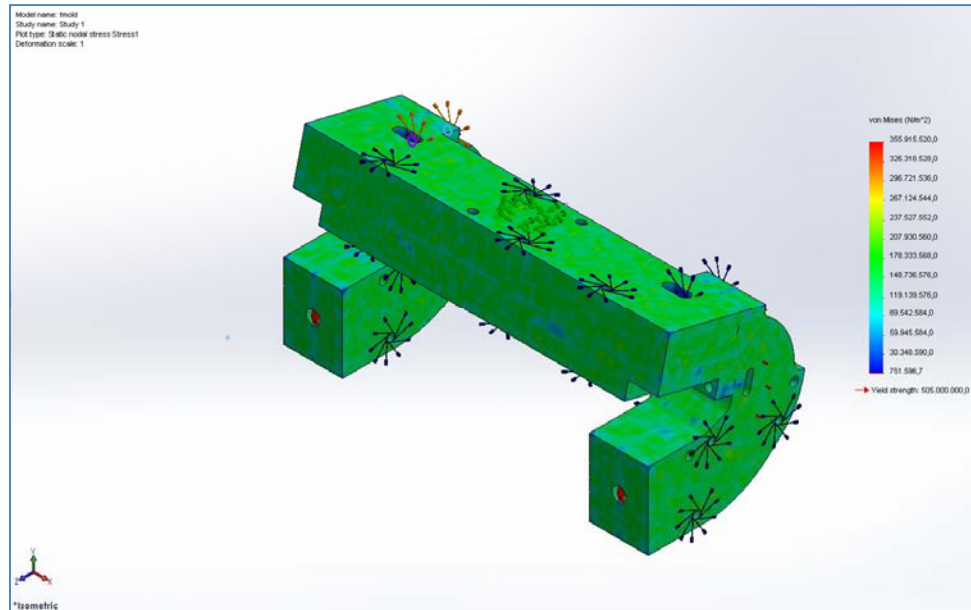


Εικόνα 91: Μελέτη θερμικής διαστολή και παραμορφωσιακής κατάστασης υπό πίεση



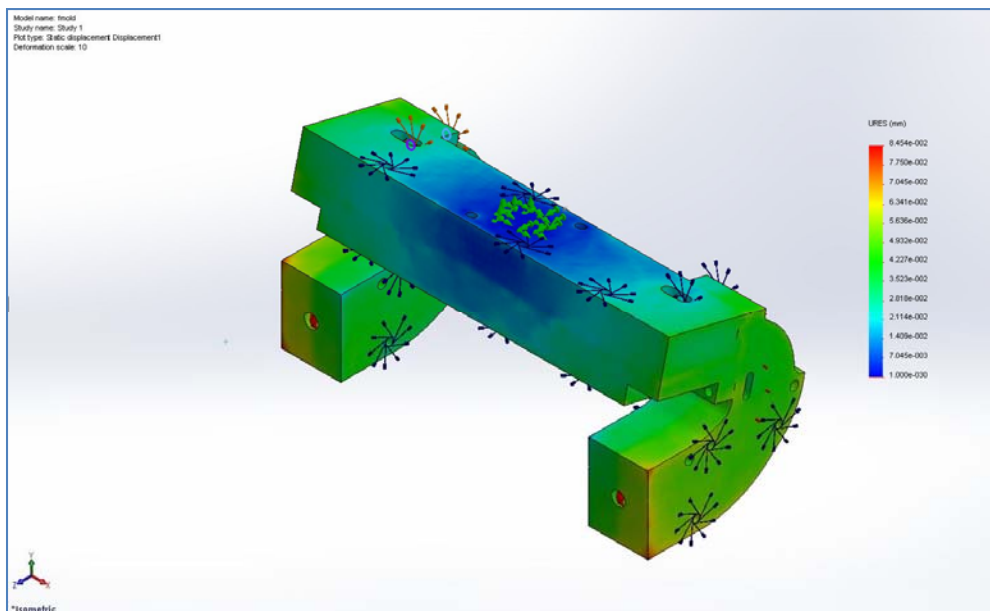
Εικόνα 92: Μελέτη θερμικής διαστολή και παραμορφωσιακής κατάστασης υπό πίεση-ανοιχτό καλούπι

Τα κόκκινα βέλη δείχνουν που εφαρμόζεται η πίεση, τα πράσινα το που υπάρχει πάκτωση και τα μπλε εμφανίζονται εκεί που υπάρχουν κοχλίες.



Εικόνα 93: Τάσεις Καλουπιού σε θερμοκρασία 120°C και πίεση 8bar

Οι τάσεις αρχικά φαίνονται υψηλές αλλά περιορίζοντας την προβολή, επιτρέποντας να φαίνονται μόνο οι τάσεις που είναι πάνω από $230 \times 10^6 \text{N/m}^2$ παρατηρούμε ότι οι υψηλές τάσεις εμφανίζονται στα όρια των πεπερασμένων στοιχείων και στα σημεία της εξωτερικής επιφάνειας που οι κεφαλές και τα περικόχλια των κοχλιών στηρίζονται.



Εικόνα 94: Μετατοπίσεις Καλουπιού σε θερμοκρασία 120°C και πίεση 8bar

Παρατηρώντας τις μετατοπίσεις βλέπουμε ότι έχει γίνει λάθος στην μοντελοποίηση στο σημείο που έχει την πάκτωση. Η πάκτωση μπήκε στο κέντρο του καλουπιού για

να φανούν συμμετρικά οι μετατοπίσεις, αλλά επειδή πακτώθηκε μία κυκλική αιχμή τοπικά έγινε άκαμπτο το καλούπι με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφορά στις μετατοπίσεις του πάνω από το κάτω κεντρικό μέρος του καλουπιού. Το σφάλμα στο κέντρο του καλουπιού παρόλα αυτά είναι πολύ μικρό ($>16\mu\text{m}$) και γι αυτό δεν έγινε άλλη μοντελοποίηση.

Κατασκευή του καλουπιού

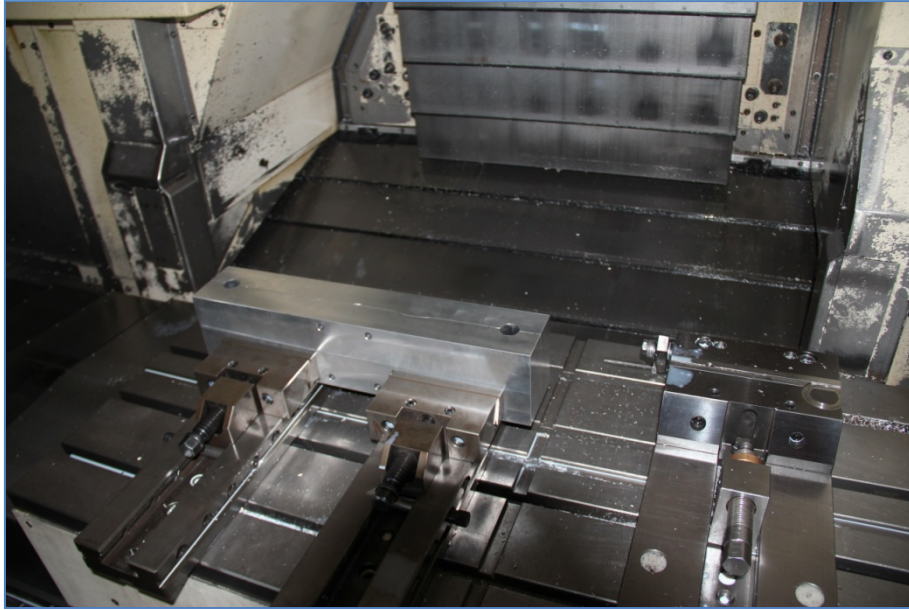
Το υλικό του καλουπιού αποφασίστηκε να είναι 7075 T651 γιατί έχει υψηλή αντοχή, δεν έχει παραμένουσες τάσεις, έχει υψηλή κατεργασιμότητα και είναι ελαφρύ. Η υψηλή αντοχή χρειάζεται για να αντέχει στην εσωτερική πίεση. Δεν πρέπει να έχει παραμένουσες τάσεις το υλικό του καλουπιού για να μην στρεβλώσει μετά την κοπή του. Πρέπει να έχει υψηλή κατεργασιμότητα για να παραχθεί καλή επιφάνεια και το βάρος του έχει μεγάλη σημασία αφού το καλούπι θα μεταφέρεται με τα χέρια.

Αφού έγινε έρευνα αγοράς, βρέθηκε μηχανουργείο με CNC μηχανήματα και έγινε η παραγγελία του καλουπιού στην εταιρία Παρθενίου α.β.ε.ε. .



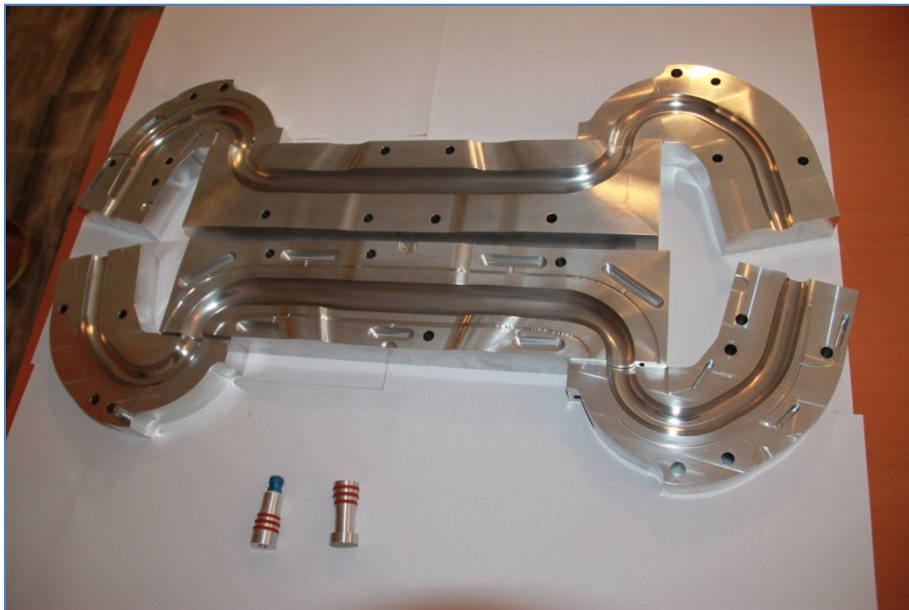
Εικόνα 95: κέντρο κατεργασιών μηχανουργείου

Το καλούπι φτιάχτηκε σε τριαξονικό μηχάνημα. Τα κομμάτια του καλουπιού πρώτα κατεργάστηκαν στο ρεκτιφιέ για να έχουν οι εξωτερικές τους επιφάνειες πολύ καλή ακρίβεια και έπειτα στο CNC για να γίνουν οι εσωτερικές κοιλότητες και οι αυλακώσεις συλλογής ρητίνης. Αφού κατεργάστηκαν εσωτερικά τα τεμάχια συγκρατήθηκαν μαζί για να γίνουν οι διαμπερείς οπές από τις οποίες θα περάσουν οι κοχλίες συγκράτησης και οι πείροι.



Εικόνα 96: Άνοιγμα οπών στα δύο κεντρικά συνεργαζόμενα τεμάχια ταυτόχρονα

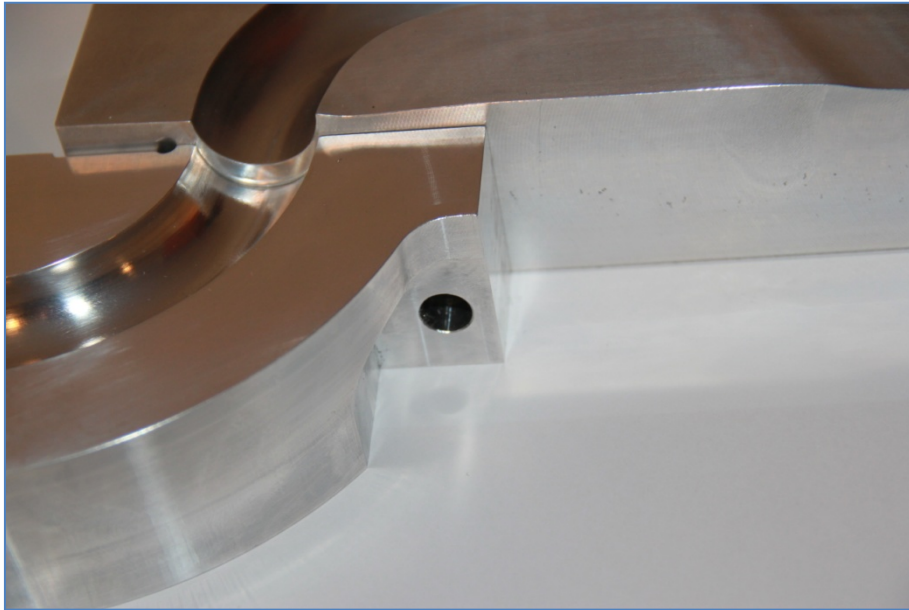
Το αποτέλεσμα φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 97: Το καλούπι σε ανάπτυγμα και τα πόματα στεγανοποίησης



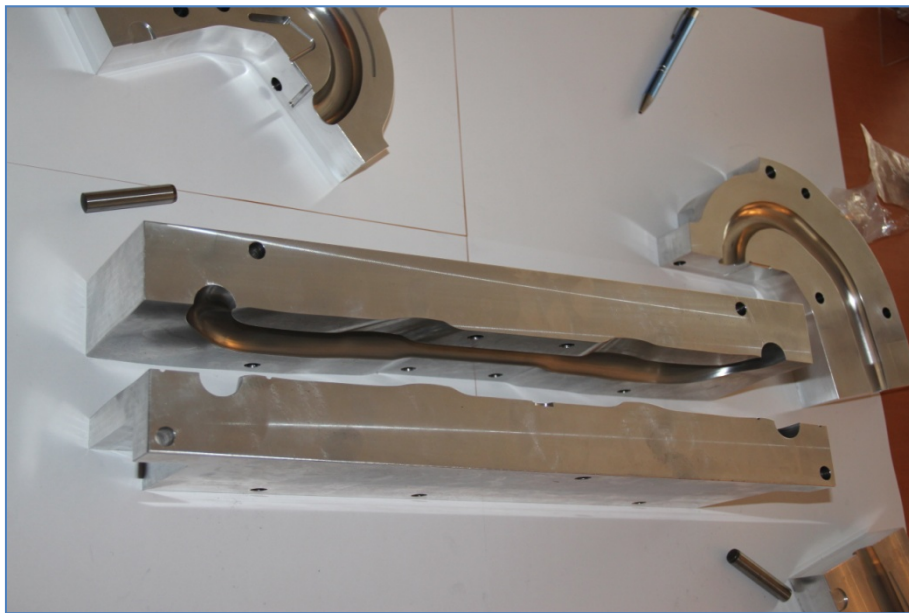
Εικόνα 98: Πλαϊνό κομμάτι χωρίς αυλάκια με πείρο



Εικόνα 99: Λεπτομέρεια πλαϊνού κομματιού - ο χώρος που υπάρχει για την απομάκρυνση του κοχλίου



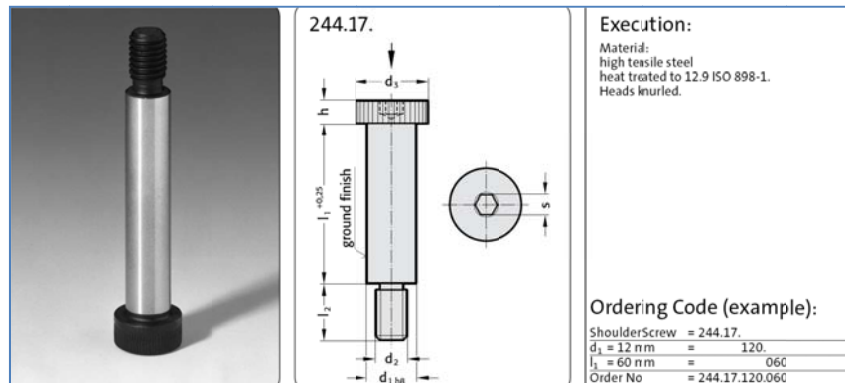
Εικόνα 100: Λεπτομέρεια κεντρικού κομματιού - Αυλάκια συγκράτησης της ρητίνης και εγκοπές για την χρήση μοχλού σε περίπτωση που δεν δουλέψουν οι εξολκείς



Εικόνα 101: Τρόπος κλεισίματος του κεντρικού ζεύγους του καλουπιού

Τα τεμάχια έχουν πολύ καλή εξωτερική επιφάνεια αλλά εσωτερικά έχουν κάποια προβλήματα. Η διεπιφάνεια των δύο κεντρικών μερών του καλουπιού έχει μία ανοχή της τάξης του δεκάτου του χιλιοστού οπότε χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν και εκεί πλακίδια ακριβείας. Οι εσωτερικές επιφάνειες είχαν εμφανείς κυματώσεις από την ταλάντωση του κοπτικού και η επιφανειακή τραχύτητα ήταν καλή για δεδομένα CNC αλλά μη αποδεκτή για την παραγωγή του τιμονιού. Γι αυτό χρειάστηκε να γίνει γυάλισμα των επιφανειών που θα γινόταν η διαστρωμάτωση με ειδικές λεπτόκοκκες πάστες γυαλίσματος. Έπειτα ακολούθησε καθαρισμός του καλουπιού με ασετόν και χημικό καθαρισμό καλουπιών. Για να γίνει έτοιμο το καλούπι προς χρήση χρειάστηκε να μπει ένα στεγανωτικό χημικό για να κλείσει τους επιφανειακούς

πόρους του καλουπιού και έπειτα το αποκολλητικό για να μην κολλήσει το τιμόνι με το καλούπι. Εξαιτίας σύγκρουσης του κοπτικού με ένα από τα πλαϊνά τεμάχια του καλουπιού χρειάστηκε να γίνει διόρθωση και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί το πάχος του τεμαχίου κατά 2mm. Ένα ακόμα λάθος που έγινε στην κατασκευή του είναι η ανοχή στους πείρους κεντραρίσματος που είχε ως αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιηθούν οι αρχικοί πείροι αλλά πείροι-κοχλίες. Η ανοχή των αρχικών πείρων με τις οπές ήταν ένα εκατοστό του χιλιοστού ενώ η συναρμογή έπρεπε να ήταν σφιχτή. Η ανοχή των πείρων που χρησιμοποιήθηκαν τελικά είναι δύο εκατοστά του χιλιοστού που επιτρέπει το εύκολο κλείσιμο των καλουπιών με ακρίβεια.



Εικόνα 102: Οι πείροι - κοχλίες που χρησιμοποιήθηκαν

Το βάρος του καλουπιού μαζί με τους κοχλίες και τους πείρους είναι 24.2kg.

7. Διαδικασία παραγωγής

Κατασκευές με προεμποτισμένα

Η διαδικασία παραγωγής με προεμποτισμένα σύνθετα υλικά απαιτεί:

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

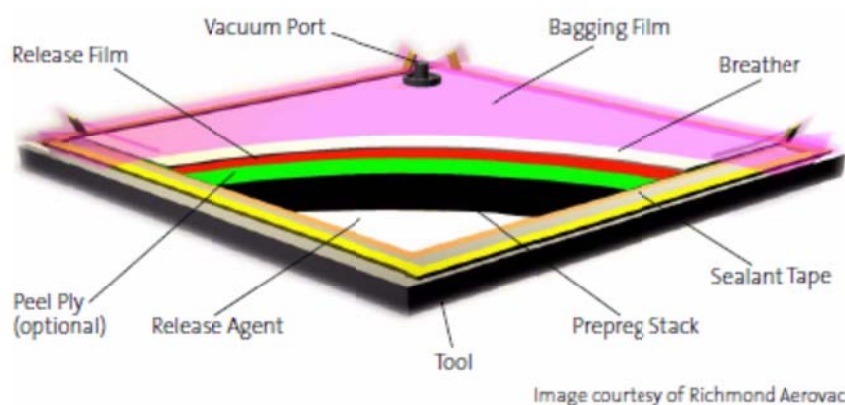
1 Σακούλιασμα κενού

Η τεχνική πίεσης της διαστρωμάτωσης με την δημιουργία κενού είτε σε πίεση περιβάλλοντος (1bar) είτε σε ελεγχόμενη πίεση (autoclave) χρησιμοποιείται για την «ενοποίηση» των στρώσεων και χρησιμοποιείται σε πολύ μεγάλο φάσμα εφαρμογών ακόμα και στην βιομηχανία του διαστήματος (αεροδιαστημική). Σε καλούπωμα ελεγχόμενων συνθηκών περιβάλλοντος μπορεί η πίεση να φθάσει τα 8bar και γι' αυτό

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

1.1 Αναλώσιμα -διαδικασίας πίεσης με σακούλα κενού

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



Εικόνα 103: Αναλώσιμα

Αποκολλητικό: Επιτρέπει να αποκολληθεί το τελικό προϊόν από το καλούπι.

PeelPly (προαιρετικό): 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 είναι υπάρχει κίνδυνος να απορροφήσει πολύ ρητίνη από το σύνθετο και να προκαλέσει κοιλότητες κενού. Χρησιμοποιείται στις εξωτερικές διαστρωματώσεις (κατά κόρον σε επιδιορθώσεις) όπου η επιφάνεια διαφυγής του αέρα ταυτίζεται με την εκτεθειμένη 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.

Releasefilm: 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 εξασφαλισθεί ότι θα διαφύγει από το εσωτερικό της σακούλας κενού.

Φιλμ σακούλας: Συνήθως αεροστεγές νάιλον υψηλής αντοχής σε πίεση και θερμοκρασία όπου μέσα του θα δημιουργηθεί το κενό.

Sealanttape: 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 (δεν φαίνονται στο σχήμα).

2 Καλούπωμα πίεσης

Σε αυτήν την περίπτωση το προεμποτισμένο 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.

4 Τοποθέτηση ινών/ περιέλιξη στρώσεων

Στην πιο απλή περίπτωση συνεχής στενής ταινίας μονοδιευθυντικό 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

-HeatUp: Δείχνει το πόσο γρήγορα επιτρέπεται το καλούπι να φθάσει την θερμοκρασία στην οποία θα γίνει στερεοποίηση της ρητίνης. Ο ρυθμός αυτός καθορίζεται από πολλούς παράγοντες: Το ιξώδες της ρητίνης, η ευαισθησία της στην θερμοκρασία, το πάχος της διαστρωμάτωσης, η μάζα και η θερμική αγωγιμότητα του καλουπιού. Για πολύ ευαίσθητες στην θερμοκρασία μήτρες και χονδρές διαστρωματώσεις η διαδικασία θέρμανσης πρέπει να είναι χαμηλή για να μην δημιουργηθεί διαφορά θερμοκρασίας εντός της διαστρωμάτωσης.

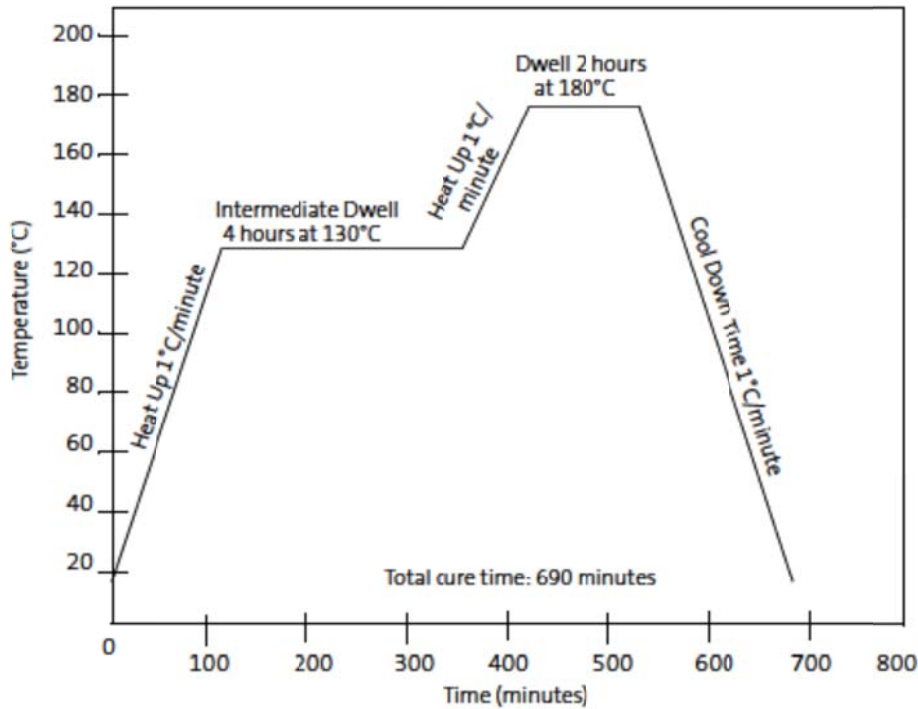
-Intermediatedwell (προαιρετικό): Ενδιάμεσος χρόνος παραμονής σε μία θερμοκρασία. Χρησιμοποιείται για να βοηθηθεί το προεμποτισμένο ύφασμα και το καλούπι να αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία πριν την τελική θερμοκρασία ψησίματος. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και σε μία ενδιάμεση θερμοκρασία ιδανική για την απομάκρυνση των φυσαλίδων από την διαστρωμάτωση.

-Dwell /Cure: Για κάθε ρητίνη υπάρχει ένα εύρος επιλογών για θερμοκρασίες και διάρκεια παραμονής σε αυτές, ώστε να επιτευχθεί η στερεοποίηση της ρητίνης. Για κάθε θερμοκρασία στερεοποίησης υπάρχει και η ανάλογη απαιτούμενη διάρκεια παραμονής σε αυτή.

-Cooldown: είναι ο ρυθμός ψύξης του προϊόντος παραγωγής ή του καλουπιού του. Πρέπει να ελέγχεται για να μην δημιουργηθούν τάσεις μέσα στο προϊόν ή/και ζημιά στο καλούπι.

-Postcure: Επιπλέον θερμική διαδικασία για να μεγιστοποιηθεί η αντοχή σε θερμοκρασία και να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος. Χρησιμοποιείται κυρίως όταν δεν μπορούν να επιτευχθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες ή πιέσεις της διαστρωμάτωσης λόγω κόστους εξοπλισμού.

-Vacuum/pressure: Η πίεση κατά την διάρκεια του θερμικού κύκλου σκλήρυνσης της ρητίνης.

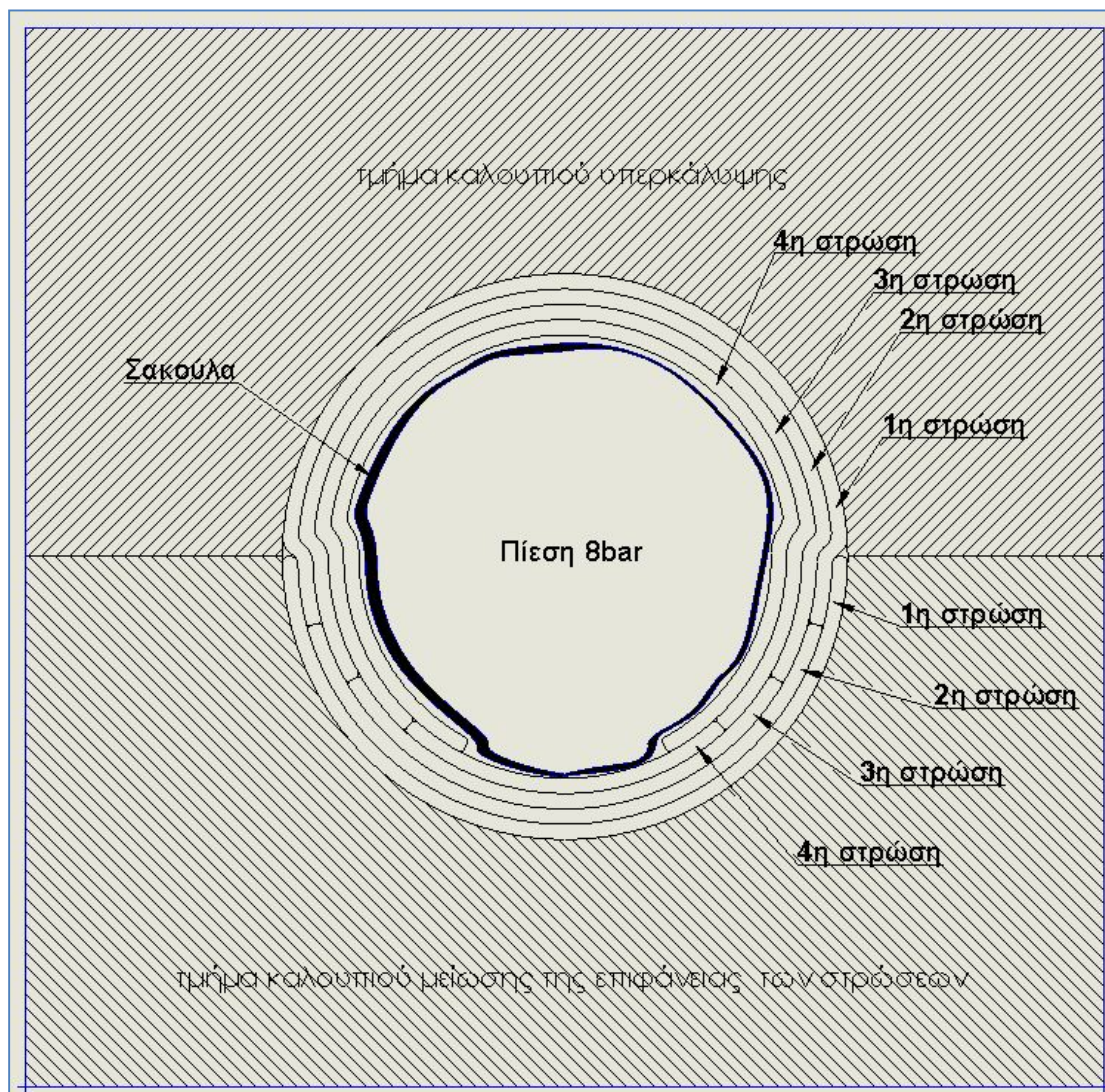


Εικόνα 104: Κύκλος ψησίματος

Τρόπος διαστρωμάτωσης

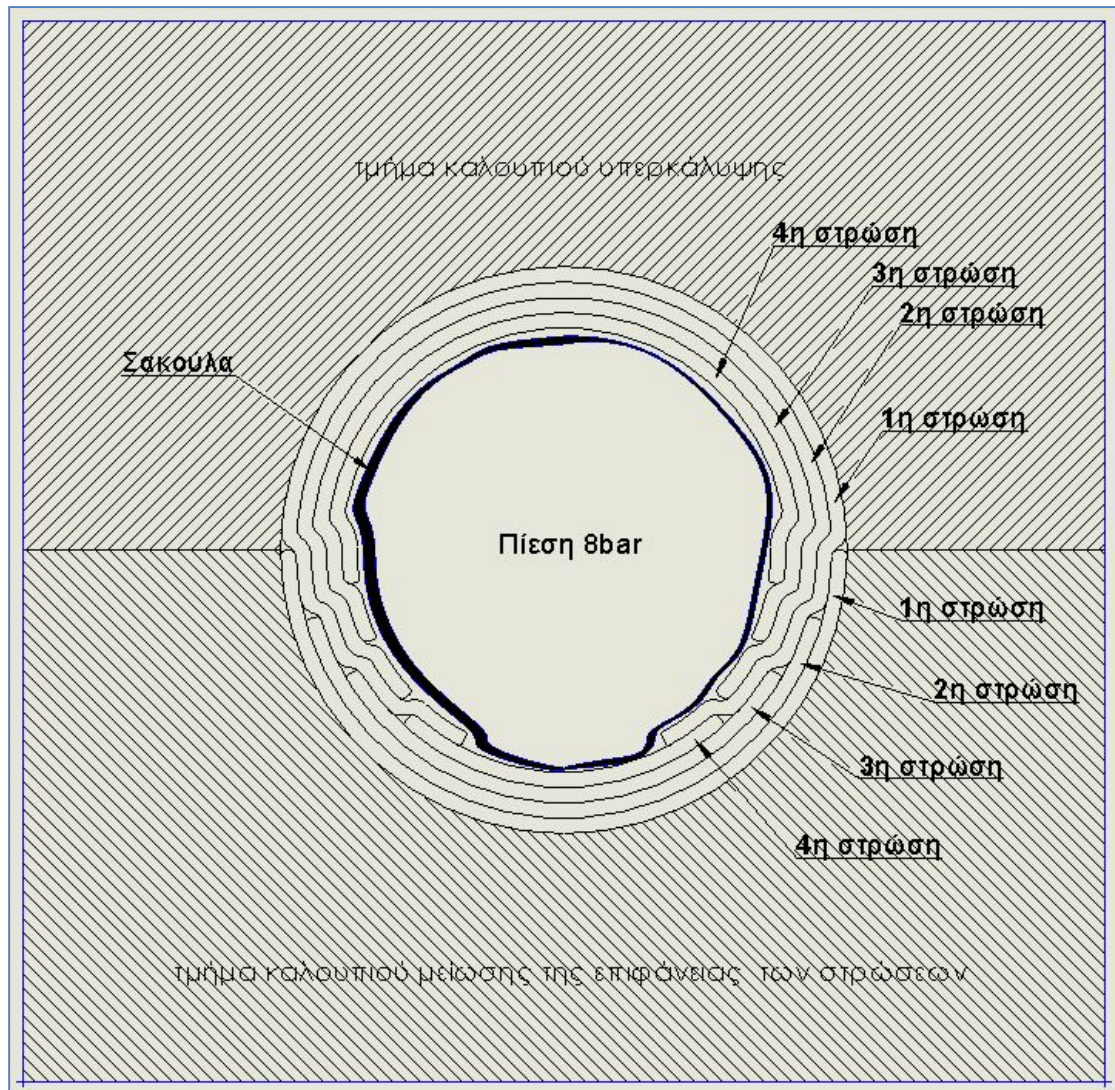
Το προεμποτισμένο ανθρακόνημα τοποθετείται ανά στρώση στα τμήματα του καλουπιού. Το κάθε τμήμα του καλουπιού έχει τις δικές του στρώσεις σύμφωνα με την μελέτη που έγινε στο κεφάλαιο 5. Τα τμήματα του ανθρακονήματος όμως πρέπει να ενωθούν μεταξύ τους για να συνθέσουν το τιμόνι. Για να γίνει αυτό απαιτείται υπερκάλυψη (overlap) των στρώσεων του ενός τμήματος του καλουπιού με το απέναντί του. Ένας εμπειρικός κανόνας για το μήκος υπερκάλυψης της κάθε στρώσης είναι δέκα με είκοσι φορές το πάχος της στρώσης. Το πάχος της στρώσης είναι 2 - 2.5 δέκατα του χιλιοστού άρα η υπερκάλυψη ανά στρώση πρέπει να είναι 2.5mm τουλάχιστον. Επειδή στο σημείο των ενώσεων θα υπάρχει παραπάνω υλικό από το υπολογισμένο θα πρέπει να μην γίνονται στο ίδιο σημείο για να μην δημιουργηθεί εσωτερικά του τιμονιού έντονο ανάγλυφο που θα οδηγήσει σε συσσώρευση τάσεων. Για αυτόν τον λόγο η μία πλευρά του καλουπιού πρέπει να έχει υλικό που θα εξέχει και το μήκος που θα εξέχει θα πρέπει να αυξάνεται ανά στρώση, και η άλλη θα έχει υλικό που θα ξεκινάει ακριβώς από τον αρμό του καλουπιού και θα μειώνεται ανά στρώση. Για να μπορεί να κλείσει το καλούπι χωρίς φόβο να πιαστεί ανθρακόνημα ή σακούλα στους αρμούς του, θα πρέπει να περαστεί η σακούλα μέσα στην διαστρωμάτωση υπερκάλυψης, η οποία θα έχει κλίση προς το εσωτερικό της κοιλότητας, να κλείσει το καλούπι και μετά, ανοίγοντας την πίεση, η σακούλα θα πιέσει τα κομμάτια του ανθρακονήματος που κάνουν την υπερκάλυψη πάνω σε αυτά

που μειώνουν το εμβαδόν τους. Αυτό είναι η ιδανική διαστρωμάτωση και φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 105: Ιδανική διαστρωμάτωση

Επειδή όμως αυτή η διαστρωμάτωση είναι δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς να πιαστεί ανθρακόνημα στους αρμούς, θα γίνει διαφορετικά ώστε να κλείσουν πιο εύκολα τα τμήματα του καλουπιού. Τα τμήματα του καλουπιού που έχουν το υλικό της υπερκάλυψης θα έχουν την μεγαλύτερη στρώση πρώτη και θα μειώνεται η υπερκάλυψη 2.5mm ανά στρώση.



Εικόνα 106: Η διαστρωμάτωση που χρησιμοποιήθηκε

Έτσι αφού κόπηκαν τα κομμάτια του ανθρακονήματος, τοποθετήθηκαν στα τμήματα του καλουπιού και άρχισε η διαδικασία κλεισίματος όπως φαίνεται στις εικόνες.



Εικόνα 107: Overlap και Underlap αριστερά και δεξιά αντίστοιχα



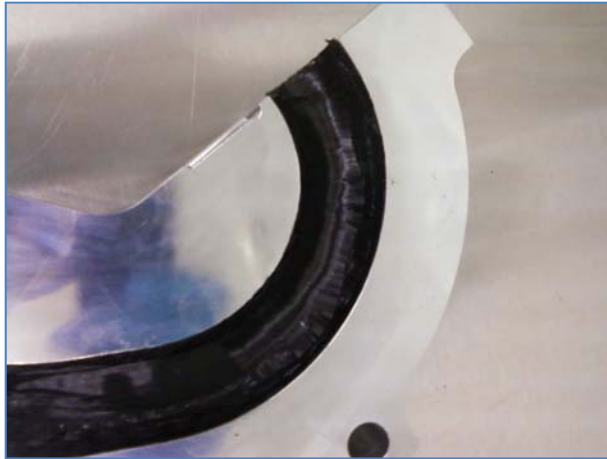
Εικόνα 108: Λεπτομέρεια overlap

Τα κεντρικά κομμάτια του καλουπιού θα έχουν το υλικό του που θα λειτουργήσει ως υπερκάλυψη για την ένωση του κεντρικού ζεύγους του καλουπιού με τα πλαϊνά ζεύγη.



Εικόνα 109: Δύο πλαϊνά μέρη του καλουπιού με την διαστρωμάτωση

Αντίστοιχα το πλαϊνό ζεύγος τμημάτων του καλουπιού θα έχει μείωση της επιφάνειας των στρώσεων στο σημείο της ένωσής του με το κεντρικό ζεύγος.



Εικόνα 110: Διαστρωματώσεις των πλαϊνών τμημάτων του καλουπιού



Εικόνα 111: Λεπτομέρεια - εξολκέας



Εικόνα 112: Σακούλα πίεσης

Αφού έχει γίνει η διαστρωμάτωση περνάει εσωτερικά της διαστρωμάτωσης υπερκάλυψης, η σακούλα πίεσης με προσοχή για να μην κινδυνέψει να πιαστεί στους αρμούς και σκάσει.



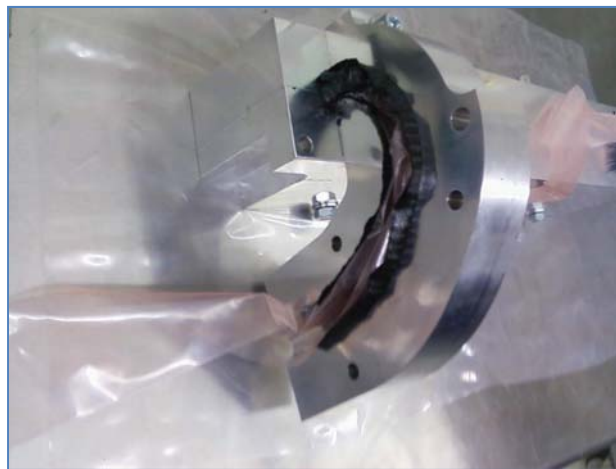
Εδώ φαίνεται κλειστό το κεντρικό ζεύγος του καλουπιού. Επίσης φαίνεται το υλικό υπερέκλυσης του κεντρικού με τα πλαϊνά ζεύγη.



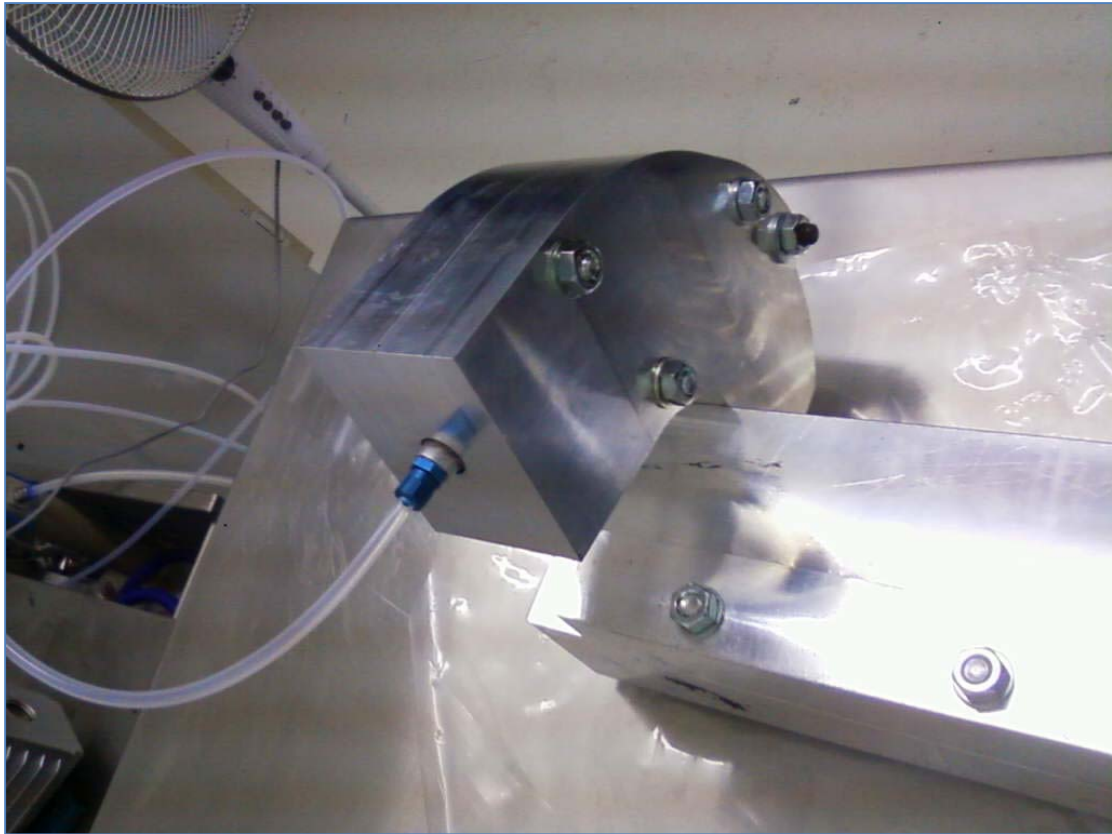
Εικόνα 113: Overlapκεντρικού- πλαϊνού ζεύγους τμημάτων καλουπιού



Εικόνα 114: Σύσφιξη τμημάτων καλουπιού με ακρίβεια



Εικόνα 115: Τοποθέτηση του πρώτου πλαϊνού τμήματος του καλουπιού



Εικόνα 116: Εισαγωγή αέρα στην σακούλα πίεσης



Εικόνα 117: Ο φούρνος ψησίματος

Μετά το ψήσιμο του τιμονιού έγινε το ξεκαλούπωμα με ευκολία γιατί δούλεψαν οι εξολκείς, οι πείροι και οι βίδες δεν είχαν σφηνώσει ή κολλήσει με το καλούπι εξαιτίας της ρητίνης και το αποκολλητικό είχε καλύψει όλες τις επιφάνειες με αποτέλεσμα την εύκολη αποκόλληση του τιμονιού από το καλούπι. Το ξεκαλούπωμα πρέπει να γίνει στους 90°C γιατί είναι ασφαλής θερμοκρασία για το προϊόν (αφού η στερεοποίηση της ρητίνης έγινε στους 120°C) και αρκετά υψηλή για το καλούπι ώστε να μην έχει προλάβει να συσταλεί τόσο ώστε να σπάσει το τιμόνι.



Εικόνα 118: Διαρροή ρητίνης



Εικόνα 119: Λεπτομέρεια - η κολλημένη ρητίνη στο καλούπι

Παρατηρήθηκε ότι η ρητίνη είχε περίεργη συμπεριφορά. Φάνηκε από την στερεοποιημένη μορφή της ότι δεν είχε την αναμενόμενη λεπτόρρευστη συμπεριφορά. Αν προσέξει κανείς στα αυλάκια είχε συμπεριφορά ρευστού με μεγάλο ιξώδες αφού δεν τείνει να απλωθεί σε όλη την επιφάνεια του αυλακιού αλλά η επιφάνειά της έχει στερεοποιηθεί με καμπυλότητες. Επίσης στα μέρη που είχε αυλάκια είχε «ακουμπήσει» στην επίπεδη επιφάνεια του απέναντι τμήματος του καλουπιού σαν να υπήρχαν μεγάλες δυνάμεις συναφείας μεταξύ του καλουπιού και της ρητίνης. Αν παρατηρήσει κανείς την πάνω αριστερά εικόνα βλέπει την περίεργη συμπεριφορά της ρητίνης στην πάνω αριστερά μεριά του καλουπιού που ενώ έχει διαφύγει έξω από το καλούπι, δεν έρρευσε προς τα κάτω μέχρι την εξωτερική καμπυλότητα του καλουπιού λόγω της βαρύτητας αλλά έμεινε στην περιοχή που βγήκε. Στην ίδια φωτογραφία μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι η ρητίνη διέρρευσε χωρίς να έχει γεμίσει το αριστερά αυλάκι συγκράτησής της. Αυτό έγινε μάλλον επειδή δεν επικοινωνούσαν τα αυλάκια με τον εξωτερικό αέρα και

η ρητίνη έπρεπε να καταλάβει τον χώρο του αέρα για να διεισδύσει στο αυλάκι. Στο ίδιο αυλάκι βλέπουμε ότι η ρητίνη δεν έρρευσε προς τα κάτω αλλά έμεινε ψηλά που είναι άλλη μία απόδειξη της συμπεριφοράς της ρητίνης ως ρευστό υψηλού ιξώδους.

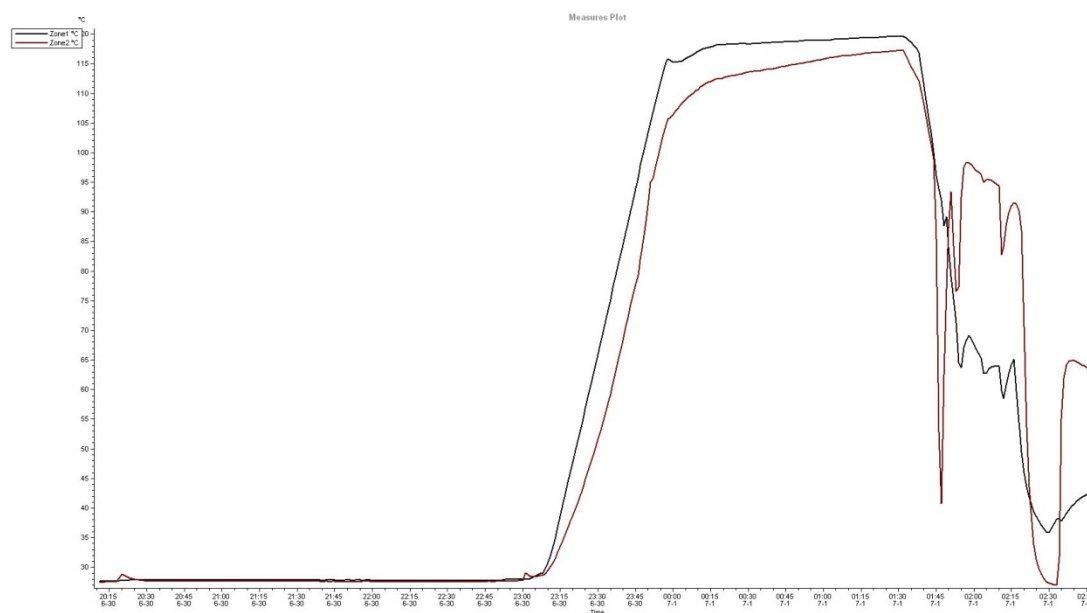


Εικόνα 120: Το τιμόνι με κομμάτια ρητίνης

Προβλήματα της παραγωγής του τιμονιού

Οι επιφανειακές καμπυλότητες που είχε το καλούπι εξαιτίας των ταλαντώσεων του κοπτικού αποτυπώθηκαν στο τιμόνι. Επίσης λόγω της παχύρρευστης συμπεριφοράς της ρητίνης ή εξαιτίας της απορρόφησης νερού από το προεμποτισμένο ύφασμα δημιουργήθηκε επιφανειακό πορώδες το οποίο δεν είναι αναμενόμενο σε τόσο υψηλή θερμοκρασία και πίεση ψησίματος. Τέλος έγιναν μετρήσεις με το μικρόμετρο στο κέντρο του τιμονιού που έπρεπε να είναι κύλινδρος $\Phi 31.8\text{mm}$ και βρέθηκε μεγάλο σφάλμα έως και δύο δέκατα του χιλιοστού το οποίο δεν δικαιολογείται από την θερμική διαστολή και το γυάλισμα του καλουπιού. Το σφάλμα που αναμενόταν ήταν το πολύ $40\mu\text{m}$, 20 λόγω θερμικής διαστολής και 20 λόγω γυαλίσματος του καλουπιού. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να συγκεντρωθούν τάσεις σε τμήματα της επιφάνειας του τιμονιού όταν συνδεθεί με τον λαιμό του ποδηλάτου και να σπάσει. Μπορεί όμως το λάθος στην διάσταση αυτή να μην είναι κρίσιμο. Αντίστοιχο ανθρακονημάτινο τιμόνι έχει ακρίβεια μισό δέκατο του χιλιοστού στην περιοχή αυτή και λαιμός ποδηλάτου που μετρήθηκε είχε την ίδια ακρίβεια. Το συγκεκριμένο τιμόνι πιθανώς δεν θα έχει πρόβλημα γιατί είναι υπερδιαστασιοποιημένο. Το βάρος του είναι 345gr μαζί με το μεγαλύτερο μέρος της σακούλας που δεν ξεκόλλησε από το εσωτερικό του τιμονιού. Δεν χρησιμοποιήθηκε αποκολλητική σακούλα γιατί υπήρχε φόβος ότι δεν θα αντέξει στην πίεση. Το καθαρό βάρος του είναι περίπου 320gr όμως πολύ μεγάλο

μέρος της ρητίνης που έπρεπε να διαρρέυσει από το καλούπι δεν διέρρευσε λόγω του ότι η ρητίνη ήταν παχύρρευστη. Πιθανώς η ρητίνη να έχει λήξει και γι αυτό να μην έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά. Το βάρος του τιμονιού αναμενόταν στα 290gr αφού χρησιμοποιήθηκε περίπου 200gr ανθρακόνημα και η κατά βάρος περιεκτικότητα σε ρητίνη είναι 41% στο υλικό που χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον βάρος πρόσθεσαν και οι διορθώσεις που γίνονταν κατά την διαστρωμάτωση επειδή τα κομμάτια ανθρακονήματος κόπηκαν για πρώτη φορά στο τιμόνι αυτό δεν ήταν σωστά αναπτύγματα της επιφάνειας του τιμονιού. Λάθος έγινε και κατά την λήψη δεδομένων από την διάρκεια του ψήσιματος του τιμονιού. Το θερμοστοιχείο που θα μέτραγε την θερμοκρασία του καλουπιού δεν κολλήθηκε σωστά σε αυτό με αποτέλεσμα να ξεκολλήσει και να πέσει από το καλούπι. Ξανακολλήθηκε σε αυτό κατά την διάρκεια ψύξης του καλουπιού για να μετρηθεί η θερμοκρασία του καλουπιού ώστε να γίνει το ξεκαλούπωμα στην κατάλληλη θερμοκρασία.

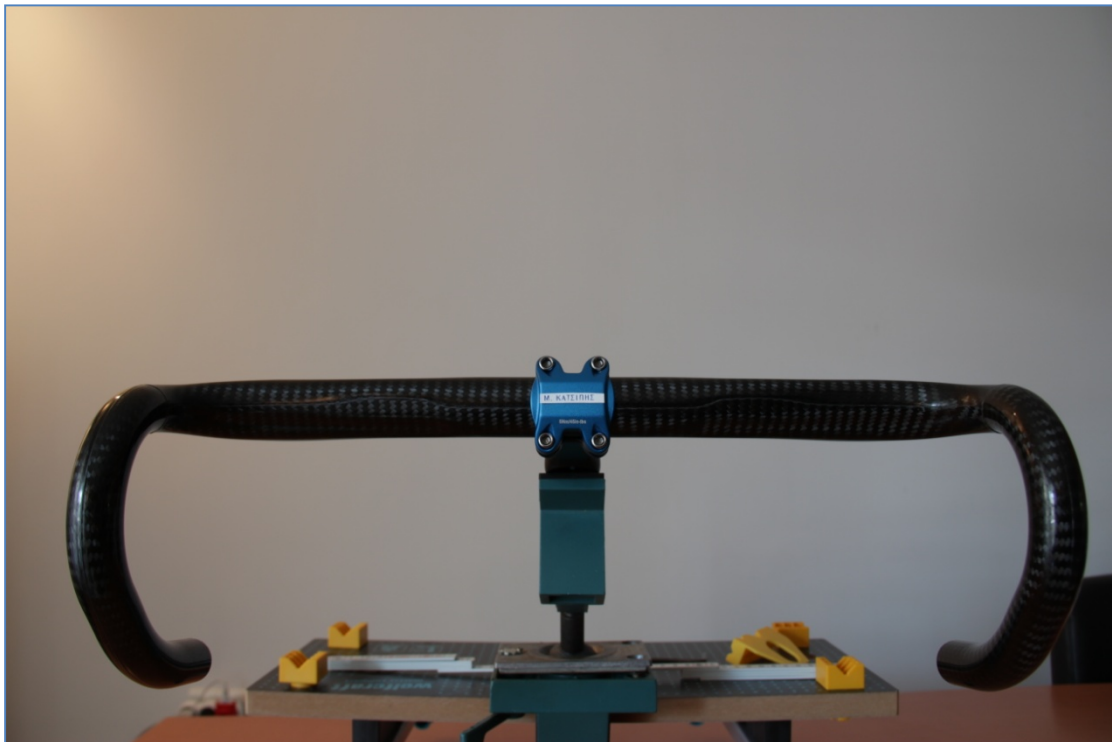


Εικόνα 121: Διάγραμμα θερμοκρασίας του φούρνου και του καλουπιού - το θερμοστοιχείο ξεκόλλησε από το καλούπι και ξανακολλήθηκε στην διαδικασία ψύξης

Επίλογος

Το τιμόνι έχει πολύ καλή επιφάνεια και είναι πολύ στιβαρό, έτσι ο σχεδιασμός του καλουπιού είναι πετυχημένος. Η μελέτη που έγινε για το ανθρακονηματίνο τιμόνι είχε λάθη αλλά έγινε με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας και το αποτέλεσμα ήταν να βγει βαρύ το τιμόνι. Η παραγωγή του τιμονιού διήρκησε δύο μέρες, μία για να κοπούν τα κομμάτια του ανθρακονήματος που χρησιμοποιήθηκαν και μία για την διαστρωμάτωση, το κλείσιμο του καλουπιού και το ψήσιμο του τιμονιού. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η όλη διαδικασία παραγωγής έγινε για πρώτη φορά οπότε υπήρχαν πολλοί ενδιάμεσοι χρόνοι. Επίσης επειδή το τιμόνι υπερδιαστασιολογήθηκε σχεδόν στο διπλάσιο, τα κομμάτια ανθρακονήματος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα

διπλάσια άρα χρησιμοποιήθηκε ο διπλάσιος από τον απαραίτητο χρόνο για το κόψιμο των κομματιών και ο χρόνος διαστρωμάτωσης ήταν διπλάσιος επίσης. Έτσι ο χρόνος παραγωγής του τιμονιού θα μπορούσε να πέσει στο μισό, δηλαδή από τις 24 στις 12 ώρες. Η παραγωγή θα αυξανόταν δραστικά αν υπήρχε mandrel στο οποίο θα τυλιγόταν το ανθρακόνημα και το οποίο θα φούσκωνε για να πιέσει την διαστρωμάτωση στα τοιχώματα του καλουπιού. Επίσης με την διαδικασία αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο μονοδιευθυντικό υλικό που έχει πολύ υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό με αποτέλεσμα το τιμόνι να βγει ελαφρύτερο και στιβαρότερο. Το κόστος του mandrel είναι υψηλό αλλά σε μεγάλη παραγωγή συμφέρει να υπάρχει. Το SolidWorks είναι καλό σχεδιαστικό πρόγραμμα αλλά χωρίς προσθήκες ή επεκτάσεις δεν βοηθά πολύ στην ανάλυση ανθρακονημάτων τεμαχίων. Γενικά θα μπορούσε να γίνει χρήση δύο λογισμικών, ένα για τον σχεδιασμό και ένα για την ανάλυση του τεμαχίου από σύνθετο υλικό. Το καλούπι είχε προβλήματα αλλά χρεώθηκε στο κόστος της κατεργασίας του και κρίνοντας από το τελικό προϊόν απέδωσε στο έπακρο το κόστος του. Τα επόμενα βήματα για την τελειοποίηση του προϊόντος είναι η κατασκευή ενός ελαφρύτερου τιμονιού, ο έλεγχός του στα πρότυπα του ευρωπαϊκού σχεδιασμού και η δοκιμή του από το αγοραστικό κοινό.



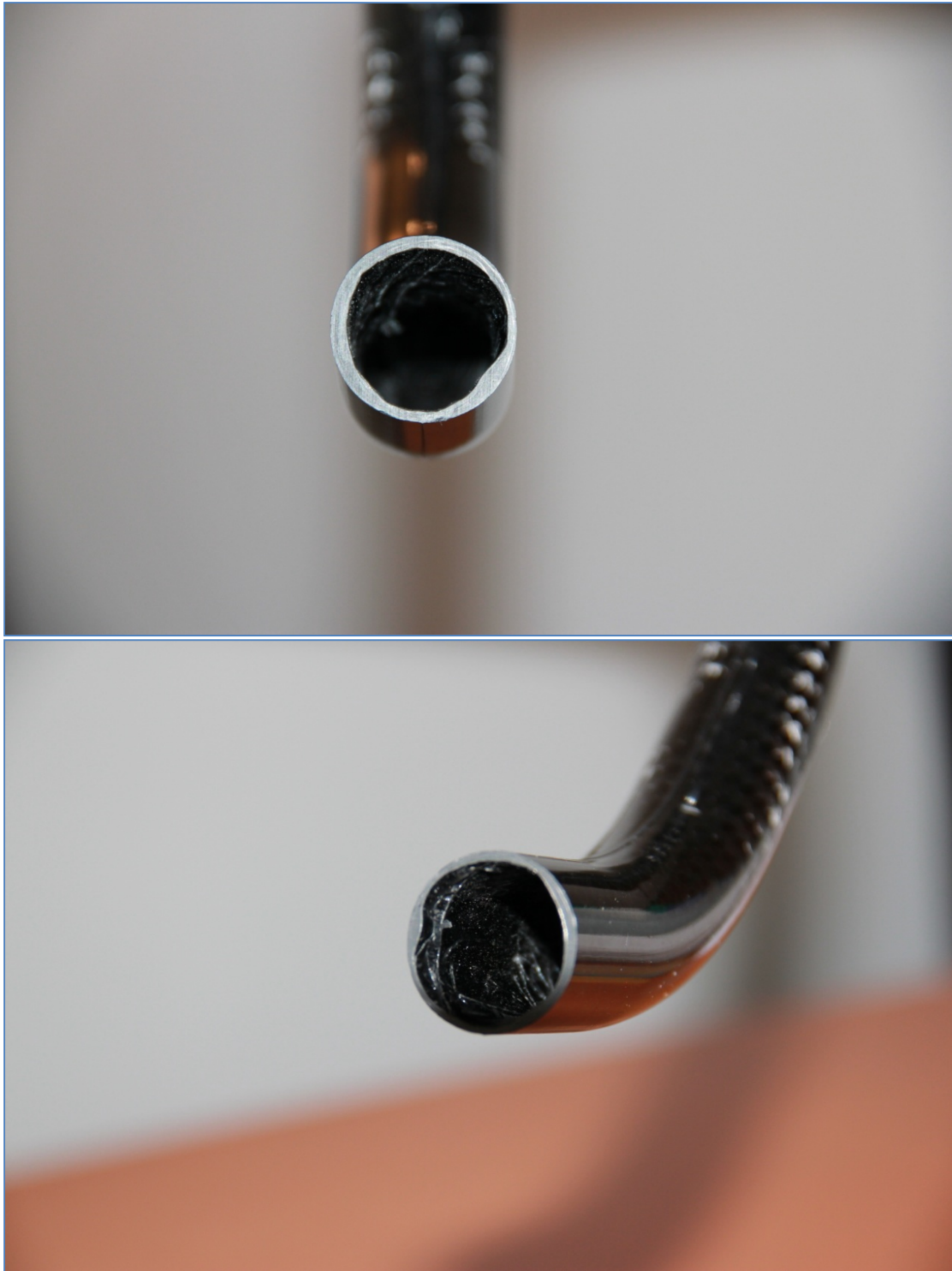
Εικόνα 122: Μπροστινή όψη τιμονιού



Εικόνα 123: Πλαϊνή όψη τιμονιού



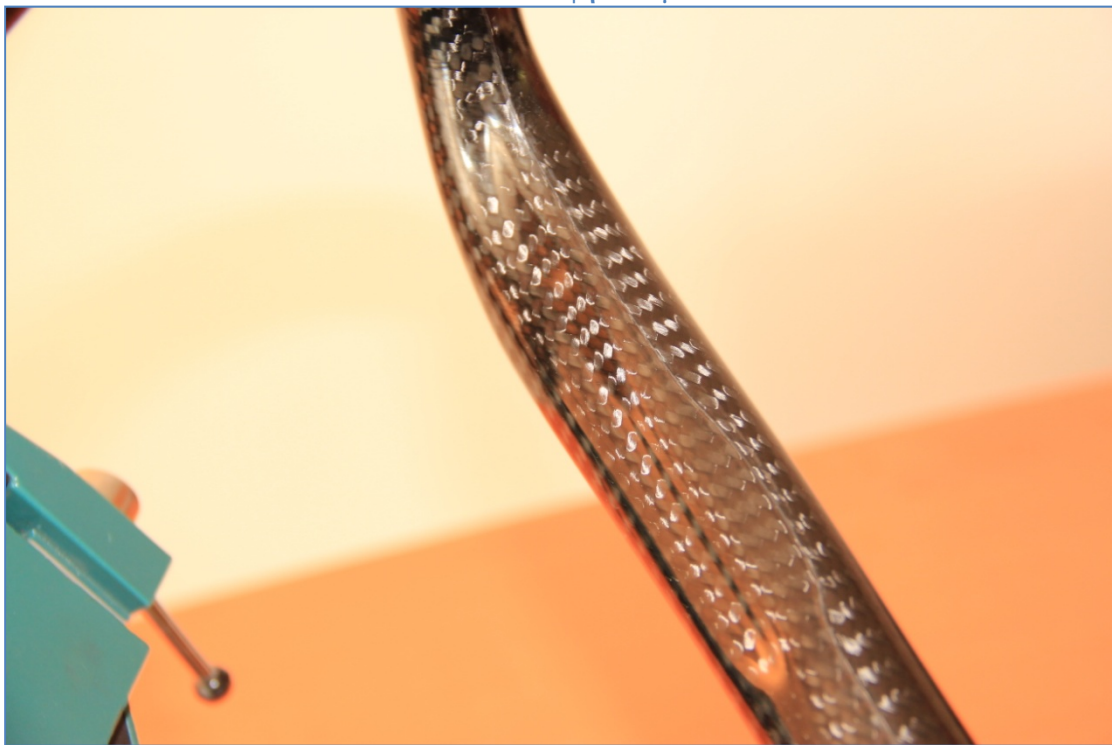
Εικόνα 124: Λεπτομέρεια - φαίνονται οι αρμοί του καλουπιού και οι πλέξεις του ανθρακονήματος



Εικόνα 125: Ανάγλυφο ρητίνης επειδή η σακούλα είναι κοντά στην έξοδο του καλουπιού και έχει τσαλακωθεί



Εικόνα 126: Κάτοψη του τιμονιού



Εικόνα 127: Λεπτομέρεια - Το αυλάκι του τιμονιού που θα περνά το καλώδιο των λεβιέδων των φρένων - 1



Εικόνα 128: Λεπτομέρεια - Το αυλάκι του τιμονιού που θα περνά το καλώδιο των λεβιέδων των φρένων - 2



Εικόνα 129: Παρατηρήστε την αλλαγή καμπυλότητας του τιμονιού για την καλύτερη επαφή του με το χέρι του αναβάτη (κενό με το τραπέζι)



Εικόνα 130: Το τελικό προϊόν

8.Βιβλιογραφία

1. The effect of upper - extremity posture on maximum grip strength,

Bheem P. Kattel, Tycho K. Fredericks, Jeffrey E. Fernandez, Dong C. Lee

2. Modeling the finger joint moments in a hand at the maximal isometric grip: The effects of friction

John Z. Wu, Ren G. Dong, Thomas W. McDowell, Daniel E. Welcome

National Institute for Occupational Safety & Health/CDC, 1095 Willowdale Road, MS-2027, Morgantown, WV 26505, USA

3. Measurement of finger joint angles and maximum finger forces during cylinder grip activity

J.W. Lee and K. Rim

Department of Biomedical Engineering, The University of Iowa, Iowa City, IA 52242, USA

4. EUROPEAN STANDARD EN 14781 November 2005, Racing bicycles - Safety requirements and test methods

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

5. Wheels and wheeling, the smithsonian cycle collection

Smith Hempstone Oliver and Donald H. Berkbile, Smithsonian Institute Washington D.C.

6. The influence of glove and hand position on pressure over the ulnar nerve during cycling

Josh Slane [a,c](#), Mark Timmerman [d](#), Heidi-Lynn Ploeg [a,b,c](#), Darryl G. Thelen [a,b](#),

a. Department of Mechanical Engineering, University of Wisconsin–Madison, United States

b. Department of Biomedical Engineering, University of Wisconsin–Madison, United States

c. Materials Science Program, University of Wisconsin–Madison, United States

d. School of Medicine and Public Health, University of Wisconsin–Madison, United States

7. Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά, Δημήτρης Ι. Παντελής

8. Σημειώσεις μαθήματος Προηγμένα υλικά, Δημήτριος Μανωλάκος

9. Σημειώσεις μαθήματος Εργαλειομηχανές, Γ. Βοσνιάκος

10. Comfort on bicycles and the validity of a commercial bicycle fitting system

Henri H. C. M. Christiaans and Angus Bremner

Delft university of technology, School of Industrial Design Engineering,

(Received 4 August 1996; in revised form 14 July 1997)

11. Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry

Mahmut Eksioglu

Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering, The University of Michigan-Dearborn, 2231 Engineering Complex,
4901 Evergreen Rd., Dearborn, MI 48128, USA

12. Ergonomics evaluation of a foam rubber grip for tool handles

G.L. Fellows and A. Freivalds

Department of Industrial & Management Systems Engineering, The Pennsylvania State University,
University Park, PA 16802 USA

13. Equivalent comfort contours for vertical vibration of steering wheels: Effect of vibration magnitude, grip force, and hand position

Miyuki Morioka, Michael J. Griffin

Human Factors Research Unit, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, Highfield, Southampton SO17 1BJ, United Kingdom

14. The Influence of Wrist Position on Individual Finger Forces During Forceful Grip

Zong-Ming Li, PhD, North Canton, OH

15. Grip strength and endurance: Influences of anthropometric variation, hand dominance, and gender

Christopher W. Nicolay, Anna L. Walker

Department of Biology, University of North Carolina at Asheville, One University Heights, CPO #2440, Asheville, NC 28804, USA

Received 16 August 2004; received in revised form 13 September 2004; accepted 27 January 2005

Available online 7 April 2005

16. Effects of handle size and shape on measured grip strength

Thomas W. McDowell*, Bryan M. Wimer, Daniel E. Welcome, Christopher Warren, Ren G. Dong

Engineering & Control Technology Branch, National Institute for Occupational Safety and Health, 1095 Willowdale Road, Morgantown, WV 26505, USA

Ιστοσελίδες

<http://www.torayca.com>

<http://www.carbonfiber.gr.jp>

<http://www.bikefitting.com/>

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

<http://www.elinyae.gr>