



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

*Σχεδιασμός, κατασκευή και συγκριτική πειραματική αποτίμηση
συσκευής συνεχούς εμποτισμού ινώδων υλικών με χρήση μη-
συνεργαζόμενων οδοντώσεων διπλής ημιτονοειδούς κατατομής*

Διπλωματική Εργασία

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Λέκτορας Β. Σπιτάς

ΑΘΗΝΑ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας οι τεχνολογικές εφαρμογές αλλά και οι απαιτήσεις τους έχουν αυξηθεί ραγδαία. Η εξέλιξη των υλικών αλλά και η βελτίωση των ήδη υπάρχοντων αποτελεί βασική προτεραιότητα των σύγχρονων ερευνών.

Προς την κατεύθυνση αυτή τα ενισχυμένα πολυμερή υλικά χρησιμοποιούνται κατά κόρον καθώς εκτός του ότι διαθέτουν πολύ χαμηλό βάρος, οι μηχανικές τους ιδιότητες μπορούν να ανταγωνιστούν σε μεγάλο βαθμό τα μεταλλικά υλικά. Οι μέθοδοι παραγωγής τους γίνεται με ποικίλους τρόπους αλλά ενδιαφέρει η μέθοδος συνεχής παραγωγής τους. Στη μέθοδο αυτή, στην οποία απαιτείται συνεχής εμποτισμός των ινωδών υλικών ενίσχυσης των πολυμερών, προκύπτει δυσκολία στον εμποτισμό τους καθιστώντας αδύνατο να εκμεταλλευτούν στο έπακρο οι μηχανικές τους ιδιότητες.

Στη διπλωματική αυτή εργασία σχεδιάζεται, κατασκευάζεται και εξετάζεται μια βελτιωμένη μέθοδος συνεχούς εμποτισμού σύνθετων πολυμερών. Παρουσιάζεται εκτενώς η σχεδίαση των επιμέρους στοιχείων του μηχανισμού, η διαστασιολόγηση και οι επιμέρους έλεγχοί τους. Τέλος παρουσιάζονται συγκριτικά πειραματικά αποτελέσματα και ο σχολιασμός τους.

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ABSTRACT

In this thesis, a continuous method of producing Fibre-reinforced polymers (FRPs) is developed and a laboratory-scale apparatus is designed and constructed using a pair of co-rotated toothed rollers. The method resembles pultrusion in the sense that a reinforcement plain fiber mesh (glass) is co-processed with the molten polymer through a pair of co-rotating toothed rollers to produce a continuously reinforced 3D tape. The surface of the rollers is produced from a double-sinusoidal toothed surface (rack) using the Theory of Gearing in 3-dimensions, which imposes significant differential sliding of the fibers without differential tension and facilitates fiber wetting.

Several tests were performed with the above mentioned apparatus with conventional rollers and the 3-d gear rollers. The FRP tapes were produced with both methods were compared using an electronic microscope and superiority of the 3-D gear rollers was confirmed in terms of fibre microdispersion, resin penetration and overall performance of the FRP.

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Αφιερώνεται,
Στους δικούς μου ανθρώπους οι οποίοι
είναι δίπλα μου και με στηρίζουν

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας μου τον κ. Β. Σπιτά για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, τις γνώσεις που αποκόμισα από όλη αυτή τη διαδικασία και το πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Σταμάτιο Πολύδωρα, Δρ. Γεώργιο Καϊσαρλή και Υ.Δ. κ. Ιωάννη Πρέσσα για την πολύτιμη συνδρομή τους. Για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη κατασκευή της συσκευής οφείλω να ευχαριστήσω τους κυρίους Αθανάσιο Δάκα και Δημήτριο Μηνά, ιδιοκτήτες της εταιρίας Μορφή Καλούπια ΕΠΕ. Τέλος δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τα μέλη του εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών για την βοήθεια, την στήριξη αλλά και το ευχάριστο κλίμα που επικρατούσε.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1. Εφαρμογές των ενισχυμένων με ίνες πολυμερών στη σύγχρονη τεχνολογία.....	11
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Μέθοδοι παραγωγής των ενισχυμένων με ίνες πολυμερών	11
2. Εντοπισμός του προβλήματος	15
3. Δημιουργία οδοντωτών διαμορφωτικών τροχών	17
3.1 Μορφή της κατατομής.....	17
3.2 Παράμετροι οδοντωτών τροχών	19
3.3 Σχεδιασμός και κατασκευή τροχών	24
3.4 Υαλοϋφασμα και ρητίνη	30
4. ΠΡΩΤΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	33
4.1 Αρχική ιδέα	33
4.2 Αρχικές σχεδιαστικές απεικονίσεις.....	34
5. Τελικός σχεδιασμός.....	45
5.1 Γενικά	45
5.2 Επιμέρους στοιχεία της συσκευής	47
Ελάσματα στήριξης.....	49
Τροφοδοσία υφάσματος	51
Ελεύθεροι Τροχοί - Αποστάτες	54
Τροχοί διαμόρφωσης.....	55
Τροχοί αποδιαμόρφωσης	60
Μονάδα περιέλιξης του εμποτισμένου υφάσματος.....	61
Μονάδα μείωσης στροφών	63
Βάσεις κινητήρων	64
6. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	65
6.1 Βασική προϋπόθεση.....	65
6.2 Επιλογή στοιχείων μετάδοσης της κίνησης.....	66
6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ	ΡΟΠΩΝ ΑΝΑ ΑΞΟΝΑ71

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

6.4 ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	73
6.5 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	73
7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΑΞΟΝΩΝ	77
8. Διαστασιολόγηση διαμέτρων αξόνων.	95
8.1 Αξονας τροχού διαμόρφωσης	95
8.2 Αξονας τροχού αποδιαμόρφωσης.....	97
8.3 Αξονας μονάδας μείωσης ροπής.....	99
9. Έλεγχοι αντοχής.....	101
9.1 Έλεγχος αντοχής πλακών.....	101
9.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΥΖΙΝΕΤΩΝ	103
9.3 Έλεγχος αντοχής της μονάδας αύξησης ροπής	104
9.4 ΣΦΗΝΕΣ	105
9.4 Αλυσίδα μετάδοσης κίνησης.....	105
9.5 Εδρανα κυλίσεως	106
9.5 Τσιμούχες περιστροφής	107
10. Διεξαγωγή πειράματος	109
10.1 Γενικά	109
10.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	109
11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	113
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	117

1. Εφαρμογές των ενισχυμένων με ίνες πολυμερών στη σύγχρονη τεχνολογία

1.1 Εισαγωγή

Από τα πρώτα χρόνια της εφεύρεσης των ενισχυμένων πλαστικών, στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα, ήταν πρόδηλες οι πολύ μεγάλες δυνατότητές τους σε πολλές εφαρμογές της Μηχανολογίας, αλλά και γενικότερα της Μηχανικής. Ο λόγος είναι οι πολύ καλές θερμο-μηχανικές ιδιότητες που προσφέρουν στον κατασκευαστή, σε συνδυασμό την καλή τους κατεργασιμότητα και την υψηλή τους ανθεκτικότητα, αλλά και το σχετικά χαμηλό κόστος τους.

1.2 Μέθοδοι παραγωγής των ενισχυμένων με ίνες πολυμερών

Για την παραγωγή προϊόντων ενισχυμένων πολυμερών με ινώδη υλικά, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Τα περισσότερα τεμάχια κατασκευάζονται με τη χρήση μήτρας (moulding process), μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένα τα φύλλα του ενισχυτικού υλικού και στη συνέχεια εγχέεται το πολυμερές. Εφόσον είναι επιθυμητή η κατασκευή κυλινδρικών τεμαχίων, τα ενισχυτικά φύλλα τοποθετούνται πάνω σε διαμορφωτικό κύλινδρο (mandrel). Στην αρχή, το φύλλο των ινών μπορεί να είναι είτε ήδη μερικώς εμποτισμένο (pre-preg fibres) είτε πλήρως στεγνό. Οι βασικότερες μέθοδοι παραγωγής είναι οι εξής:

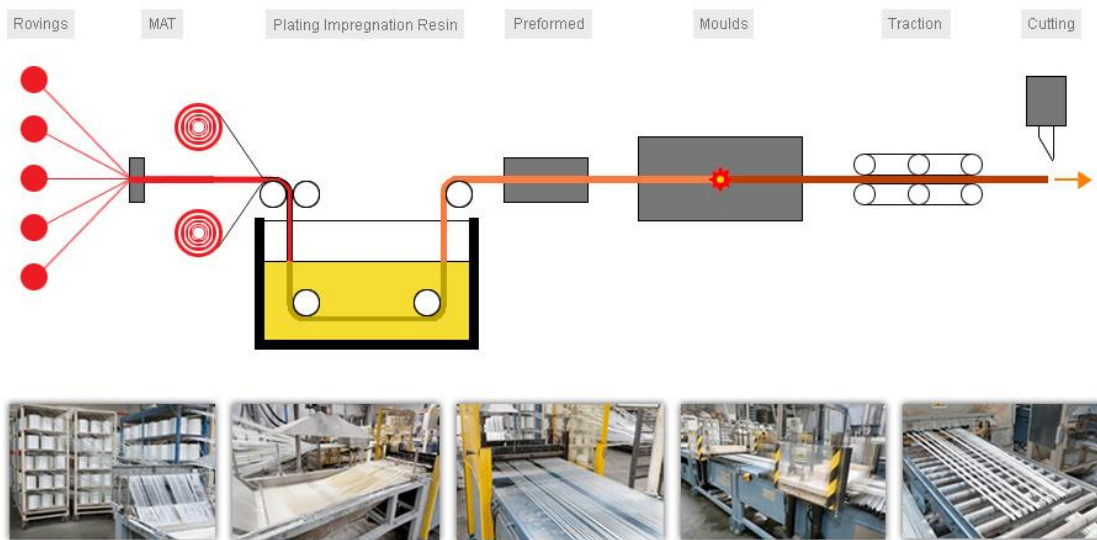
- **Bladder moulding:** Προεμποτισμένα φύλλα ινών τοποθετούνται μέσα σε μήτρα θηλυκής μορφής μαζί με μια μεμβράνη που ομοιάζει με μπαλόνι, ενώ εγχέεται το πολυμερές στην περιοχή γύρω από τη μεμβράνη. Η μήτρα κλείνει και υπόκειται σε πίεση από θερμαινόμενη πρέσα. Παράλληλα, αυξάνεται η πίεση της μεμβράνης, με αποτέλεσμα οι ίνες και το πολυμερές να ωθούνται προς τα τοιχώματα της μήτρας. Το τεμάχιο αφήνεται για σκλήρυνση και αφαιρείται από τη ζεστή μήτρα. Η διαδικασία αυτή είναι μη συνεχής, με σχετικά μικρό χρόνο σκλήρυνσης του πολυμερούς (cure cycle) της τάξης των 15 με 60 λεπτών και χρησιμοποιείται για την παραγωγή περίπλοκων κοίλων γεωμετριών σε ανταγωνιστικά κόστη.

- **Compression moulding:** Αφορά κυρίως ήδη ενισχυμένα με υαλονήματα πολυμερή, είτε σε μορφή φύλλων είτε με μορφή απλών μη σχηματισμένων όγκων υλικού, τα οποία τοποθετούνται σε θερμαινόμενη μήτρα. Η μήτρα, καθώς κλείνει, συμπιέζει το υλικό και το αναγκάζει να πάρει το σχήμα της. Η μέθοδος αυτή δίνει εξαιρετικά λεπτομερείς γεωμετρίες, με τη διαδικασία της σκλήρυνσης του πολυμερούς να διαρκεί μέχρι 20 λεπτά. Ωστόσο, η λεπτομερής γεωμετρία της μήτρας ανεβάζει αρκετά το κόστος κατασκευής της και, συνεπώς, το κόστος της διαδικασίας.
- **Autoclave/vacuum bag:** Προεμποτισμένα φύλλα ινών (prepregs) τοποθετούνται σε ανοιχτό καλούπι, τα οποία καλύπτονται από υλικό που βοηθά στην απαερίωση και από μια σακούλα κενού (vacuum bag) και τοποθετούνται σε θερμαινόμενο λέβητα πίεσεως (autoclave). Με τη χρήση αντλίας κενού, αφαιρείται όλος ο αέρας από τα φύλλα των ινών και, παράλληλα, το υλικό σκληραίνεται. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρον από την αεροδιαστημική, καθώς επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της όλης διαδικασίας λόγω του πολύ μεγάλου χρόνου σκλήρυνσης του υλικού, που μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες. Το αποτέλεσμα είναι πολύ λεπτομερείς γεωμετρίες ελασμάτων. Η μέθοδος αυτή, όμως, περιορίζεται στην αεροδιαστημική, επειδή είναι πολύ αργή και πολύ απαιτητική διαδικασία, ενώ και η αγορά των απαιτούμενων λεβήτων ανεβάζει το κόστος σε πολύ υψηλές τιμές.
- **Wet layup:** Είναι η απλούστερη παραγωγής ενισχυμένων με ίνες υλικών, κατά την οποία το ύφασμα των ινών τοποθετείται σε ανοιχτή μήτρα και κορεννύεται με πολυμερές χειροκίνητα. Το διαβρεγμένο ύφασμα σκληραίνεται συνήθως σε θερμοκρασία δωματίου, αν και, σε ορισμένες περιπτώσεις, προσδίδεται θερμότητα για αποτελεσματικότερη σκλήρυνση.
- **Chopper gun:** Συνεχή νήματα από ενισχυτικό υλικό (συνήθως υαλονήματα) οδηγούνται σε ένα πιστόλι χειρός, το οποίο κόβει τα νήματα και, ταυτόχρονα, τα συνενώνει με καταλελυμένο πολυμερές. Έπειτα, οι εμποτισμένες ίνες εκτοξεύονται στην επιφάνεια μιας ανοιχτής μήτρας. Το ποσοστό ινών/πολυμερούς εξαρτάται αποκλειστικά από τον χειριστή του πιστολιού. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για τεμάχια μεγάλου όγκου και χαμηλού κόστους, με μικρότερη, όμως αντοχή και φτωχές ανοχές διαστάσεων.
- **Mandrel wrapping:** Προεμποτισμένα φύλλα ινών τυλίγονται γύρω από χαλύβδινο ή αλουμινένιο κύλινδρο και, έπειτα, συμπιέζονται όλα μαζί με τη χρήση φύλλου από νάυλον ή ταινίας από πολυπροπυλένιο. Το συμπιεσμένο υλικό αφήνεται για σκλήρυνση μέσα σε ειδικό φούρνο. Με το τέλος της διαδικασίας, αφαιρούνται ο κύλινδρος και η ταινία συγκράτησης και το τελικό αποτέλεσμα είναι κοίλοι σωλήνες ενισχυμένου πολυμερούς.
- **Filament Winding:** Ειδικά μηχανήματα τραβούν δέσμες ενισχυτικών ινών, και, αφού αυτές διαβρεχτούν από το πολυμερές, τυλίγονται με συγκεκριμένο προσανατολισμό γύρω από έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο από χάλυβα. Έπειτα, τα τεμάχια αφήνονται

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

για σκλήρυνση, είτε σε θερμοκρασία δωματίου είτε τους προσδίδεται θερμότητα. Ο κύλινδρος, στη συνέχεια, αφαιρείται. Πρόκειται για ημιαυτόματη μέθοδο παραγωγής, η οποία χρησιμοποιεί υλικά χαμηλού κόστους, με περιορισμένη, όμως, παραγωγικότητα.

- **Pultrusion:** Δέσμες ή φύλλα ινών, με τη βοήθεια περιστρεφόμενων κυλίνδρων, οδηγούνται σε δεξαμενή που περιέχει το πολυμερές, στο οποίο εμποτίζονται και στη συνέχεια εισέρχονται σε διαμορφωτικό καλούπι, στο οποίο το ενισχυμένο πολυμερές παίρνει το επιθυμητό σχήμα. Τέλος θερμαίνεται, σκληραίνεται και προκύπτει το τελικό προϊόν. Πρόκειται για μια συνεχής διαδικασία, με την οποία παράγονται δοκοί, γωνίες, διάτρητοι κύλινδροι και επίπεδα φύλλα από ενισχυμένο πλαστικό. Η μέθοδος αυτή παρατίθενται στο ακόλουθο σχήμα:

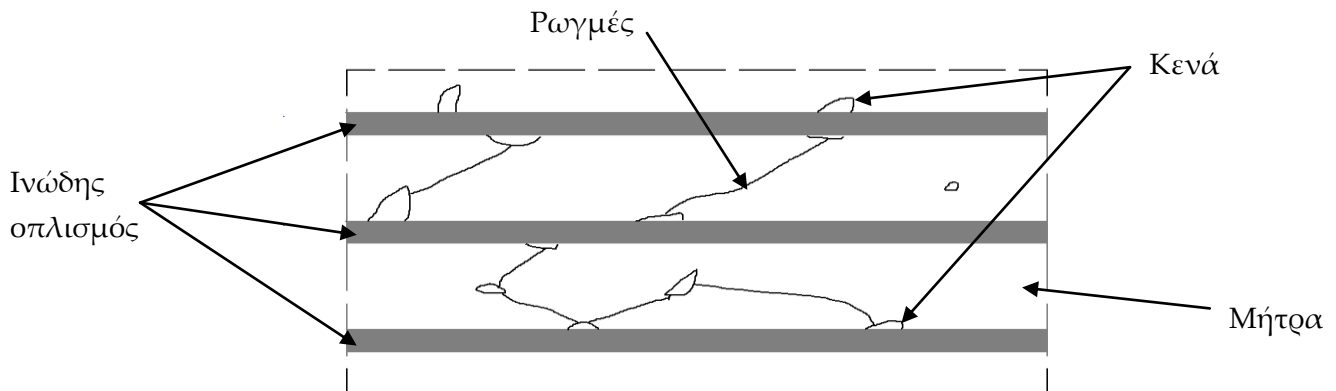


Σχήμα 1: Μέθοδος συνεχούς εμποτισμού Pultrusion

- **Resin infusion:** Το ύφασμα των ινών τοποθετείται στη μήτρα και, αφού αφαιρεθεί ο υπάρχων αέρας, εγχέεται το πολυμερές σε συνθήκες κενού. Με τη μέθοδο αυτή, μπορούν να επιτευχθούν ακριβείς γεωμετρίες και ανοχές, ωστόσο, ελλοχεύει ο κίνδυνος το ύφασμα να μην εμποτιστεί πλήρως από το πολυμερές και, κατ' επέκταση, αυξάνονται οι πιθανότητες αστοχίας του τελικού προϊόντος.

2. Εντοπισμός του προβλήματος

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που υπάρχει στην παραγωγή πολυμερών ενισχυμένων με ινώδη υλικά αφορά την ικανότητα του υλικού της μήτρας να διαποτίσει ικανώς τις ίνες. Τα ινώδη υλικά αποτελούνται από χιλιάδες μικροσκοπικές ίνες (fibers), με διάμετρο και απόσταση μεταξύ τους μερικά μm. Παράλληλα, τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται στα σύνθετα υλικά αποτελούνται από μακρομόρια πολύ μεγάλου μήκους. Μια τυπική μοριακή αλυσίδα του πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (high-density polyethylene - HDPE), για παράδειγμα, αποτελείται από 10000 δομικές μονάδες αιθυλενίου, έχει μήκος περί τα 2μm. Συνεπώς, είναι ιδιαίτερος δύσκολο και χρονοβόρο τα μακρομόρια να εισχωρήσουν ανάμεσα στις ίνες και να τις εμποτίσουν πλήρως. Το πρόβλημα αυτό είναι ακόμα σημαντικότερο στις συνεχείς μεθόδους παραγωγής (π.χ. pultrusion), καθώς, παρότι είναι δυνατό να παραχθούν μεγάλα τεμάχια σύνθετου υλικού με σταθερή διατομή, το πλαστικό δεν προλαβαίνει να διαβρέξει αποτελεσματικά τις ίνες σε όλη την περιφέρειά τους και το μήκος τους. Επιπροσθέτως, στο τελικό προϊόν, θύλακες αέρα παραμένουν εγκλωβισμένοι σε περιοχές γύρω από τις ίνες, με συνέπεια, κατά την καταπόνηση του υλικού, τοπικά, να ανεβάζουν ραγδαία την αναπτυσσόμενη τάση στην διεπαφή ινών-πλαστικού (stress raisers). Η πολύ υψηλή αυτή τάση προκαλεί ρωγμές μεταξύ των θυλάκων του αέρα, με αποτέλεσμα τοπικά όλο το φορτίο να παραλαμβάνεται από τις ίνες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει το υλικό σε αστοχία.



Σχήμα 2: Μη πλήρης εμποτισμός

Άρα, ο πλήρης εμποτισμός των ινών από το πολυμερές είναι παράγοντας κρίσιμης σημασίας για την αντοχή του σύνθετου υλικού. Ειδικά όταν αυτό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές, όπου απαιτείται αντοχή σε κόπωση και σε διαστημικές εφαρμογές, στις οποίες οι θύλακες αυτές οξυγόνου μπορούν να προκαλέσουν αστοχία του υλικού.

Ο εμποτισμός των ινών είναι συνδεδεμένος με την ικανότητα του ρευστού πολυμερούς να διαπεράσει τη δομή του υφάσματος και να διαβρέξει αποτελεσματικά τις ίνες. Η συνεκτικότητα του ρευστού δε μπορεί να επηρεαστεί ικανώς με χημικά μέσα χωρίς επιπτώσεις στις ιδιότητες του πολυμερούς, οπότε ο μόνος τρόπος είναι να αυξηθεί η

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

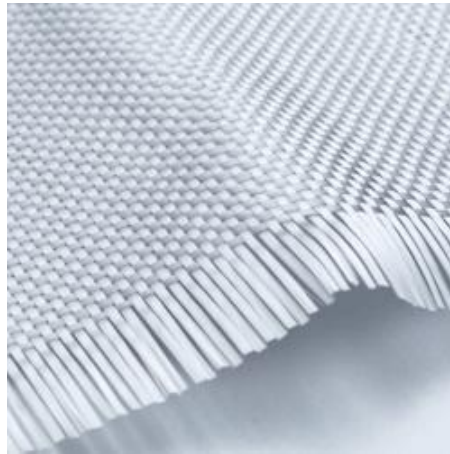
θερμοκρασία του τήγματος, πράγμα, όμως, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην όλη διαδικασία, εφόσον η θερμοκρασία αγγίξει μια συγκεκριμένη τιμή πάνω από το σημείο τήξεως. Ακόμα, αύξηση της πίεσης του ρευστού μπορεί να προκαλέσει καταστροφή των ινών. Συνεπώς, ο μόνος τρόπος να βελτιωθεί η διαδικασία του εμποτισμού είναι να προκληθεί μηχανικός μικροδιαχωρισμός των ινών μεταξύ τους (fiber-splitting).

Στην παρούσα διπλωματική λοιπόν, σχεδιάζεται, κατασκευάζεται και γίνεται συγκριτική πειραματική αποτίμηση συσκευής συνεχούς εμποτισμού ινωδών υλικών με χρήση μη-συνεργαζόμενων οδοντώσεων διπλής ημιτονοειδούς κατατομής, με σκοπό τον ικανό μικροδιαχωρισμό των ινών μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται αρχικά οι οδοντωτοί κύλινδροι, στην συνέχεια η συσκευή εμποτισμού και διεξάγεται η πειραματική διαδικασία τόσο για τους οδοντωτούς κυλίνδρους όσο και για απλούς κυλίνδρους. Τέλος ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που συλλέχτηκαν.

3. Δημιουργία οδοντωτών διαμορφωτικών τροχών

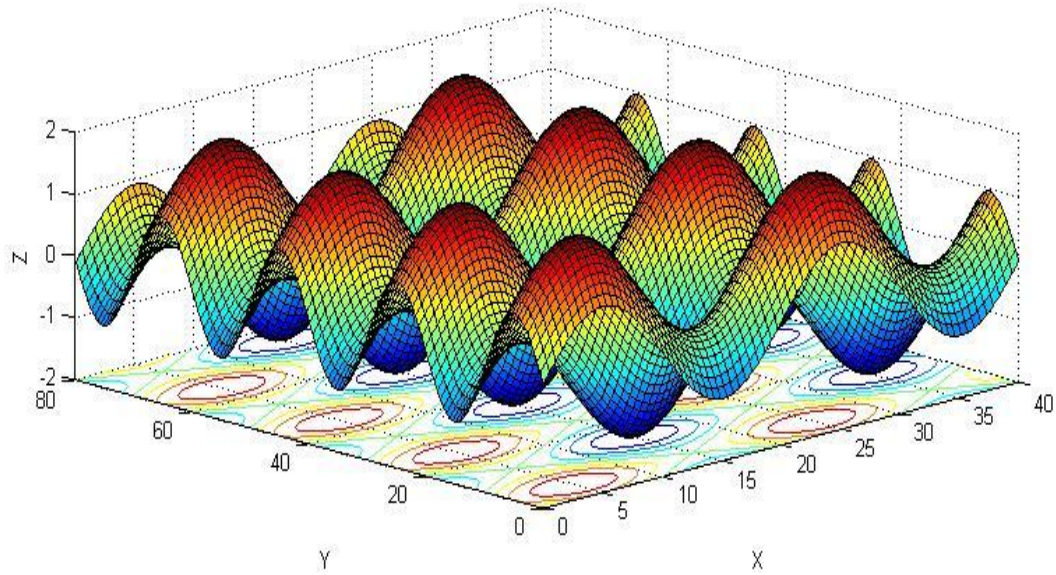
3.1 Μορφή της κατατομής

Ο εμποτισμός στην περίπτωση που θα εξεταστεί αφορά υαλοϋφάσματα τα οποία έχουν διάταξη plain 0-90 μοιρών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



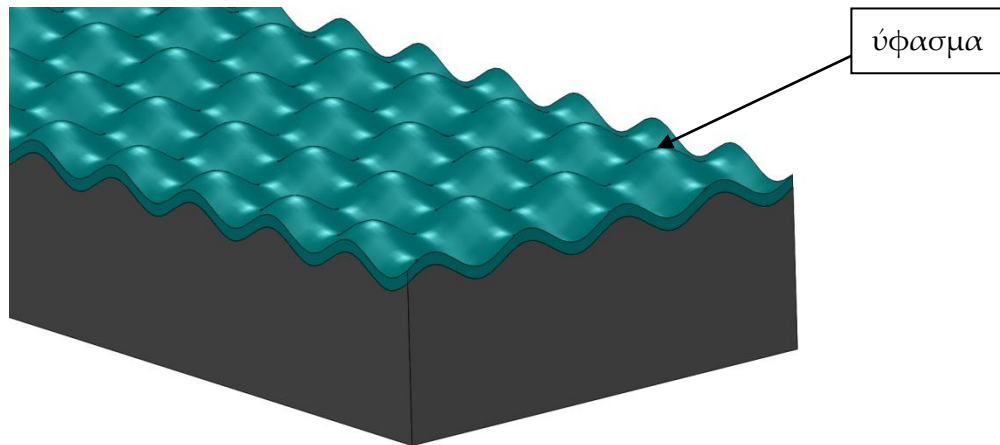
Σχήμα 3: Plain knitting detail

Στη διερεύνηση που έχει προηγηθεί στο Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών, έχει εξεταστεί μιας μορφής κατεργασία του υφάσματος που θα προκαλέσει μία διαφορική μετακίνηση των ινών έτσι ώστε να αυξηθούν τα διάκενα τους και να εισχωρήσει καλύτερα η ρητίνη [1]. Αν θεωρήσουμε λοιπόν ένα επίπεδο, όπως είναι αυτό της διπλής ημιτονοειδούς κατατομής που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4, πάνω στο οποίο καταστεί δυνατό να απλωθεί το υαλοϋφασμα θα επιτευχθεί, στα περισσότερα σημεία, αυτή η διαφορική μετακίνησή τους που αναφέρθηκε.



Σχήμα 4: Διπλή ημιτονοειδής κατατομή

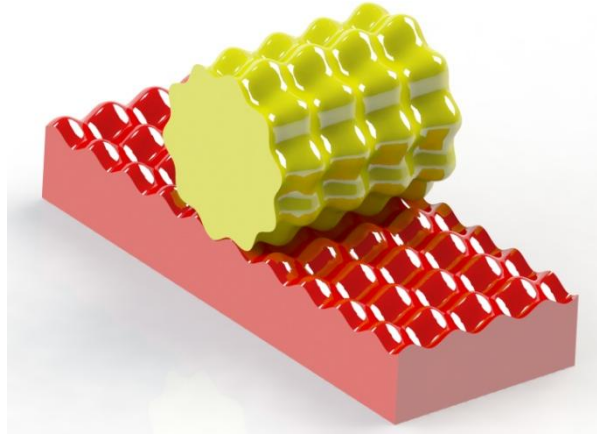
Αυτό όπως παρατηρείται συμβαίνει και για τους δύο άξονες (x,y) και επίσης τα μήκη των ινών οι οποίες θα εφαρμοστούν στην κατατομή αυτή δεν μεταβάλλονται [1]. Άρα παρόλο που οι ίνες μαζεύονται και απομακρύνονται πάνω στην κατατομή αυτή δεν υφίστανται κάποια εφελκυστική παραμόρφωση τέτοια ώστε να τις οδηγεί σε αστοχία.



Σχήμα 5: Εφαρμογή υφάσματος στην διπλή ημιτονοειδή κατατομή

Για να εφαρμοστεί όμως το ύφασμα πάνω σε αυτήν την επιφάνεια θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μία πρέσα, τότε όμως η μέθοδος εμποτισμού θα ήταν στατική (batch) και όχι συνεχής. Για να αποφευχθεί τελικά η χρησιμοποίηση της πρέσας κατέστη δυνατό η

διπλή αυτή ημιτονοειδή κατατομή να αναπτυχθεί σε οδοντωτό κανόνα. Στη συνέχεια βάση της θεωρίας των οδοντώσεων μέσω του κανόνα αυτού δημιουργούνται οδοντωτοί τροχοί [3]. Επομένως η διάταξη μετατρέπεται από στατική σε διάταξη συνεχούς εμποτισμού.



Σχήμα 6: Δημιουργία οδοντωτού τροχού

Η σχέση που αποδίδει τη μορφή του κανόνα για τους οδοντωτούς τροχούς που εξετάζονται είναι [1]:

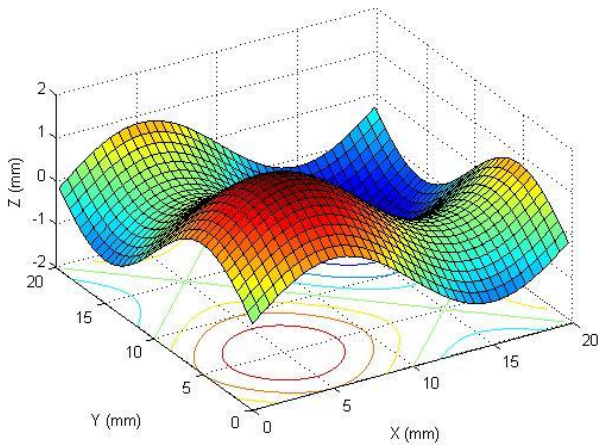
$$z(x, y) = A \left(\sin \left(\frac{2\pi}{l} x \right) + \sin \left(\frac{2\pi}{l} y \right) \right) \quad (3.1)$$

όπου τα μεγέθη A και l , αντιστοιχούν στο πλάτος και στο μήκος κύματος της συνάρτησης, τα οποία μπορούν να αντιστοιχηθούν στο ύψος κεφαλής και το βήμα των οδόντων, τόσο κατά μήκος του x -άξονα όσο και του y -άξονα. Με την συμμετρική αυτή σχέση τελικά επιτρέπεται η ομοιόμορφη σχετική μετατόπιση των ινών μεταξύ τους και η αποφυγή τοπικών συγκεντρώσεων τάσεων στο πλέγμα των ινών [1].

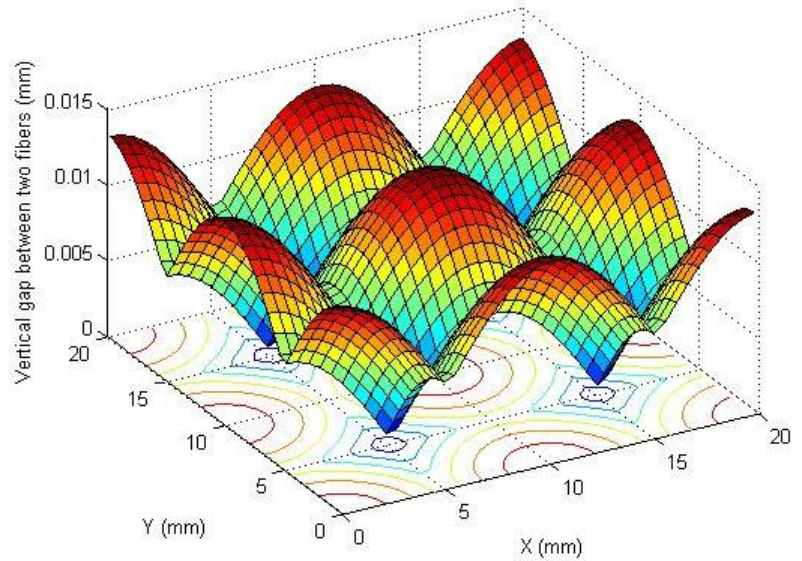
3.2 Παράμετροι οδοντωτών τροχών

Στη παράγραφο αυτή διεξάγεται μια διερεύνηση των καταστατικών παραμέτρων A και l ώστε να επιλεγούν οι κατάλληλες τιμές για τα γεωμετρικά στοιχεία των τροχών που θα κατασκευαστούν.

Για την κυματομορφή αυτή στην συνέχεια έγινε υπολογισμός της κατακόρυφης απόστασης μεταξύ των ινών υφάσματος ενίσχυσης (υαλονήματος, ανθρακονήματος κλπ) όταν αυτό εναποτίθεται πάνω στην επιφάνεια του κανόνα.



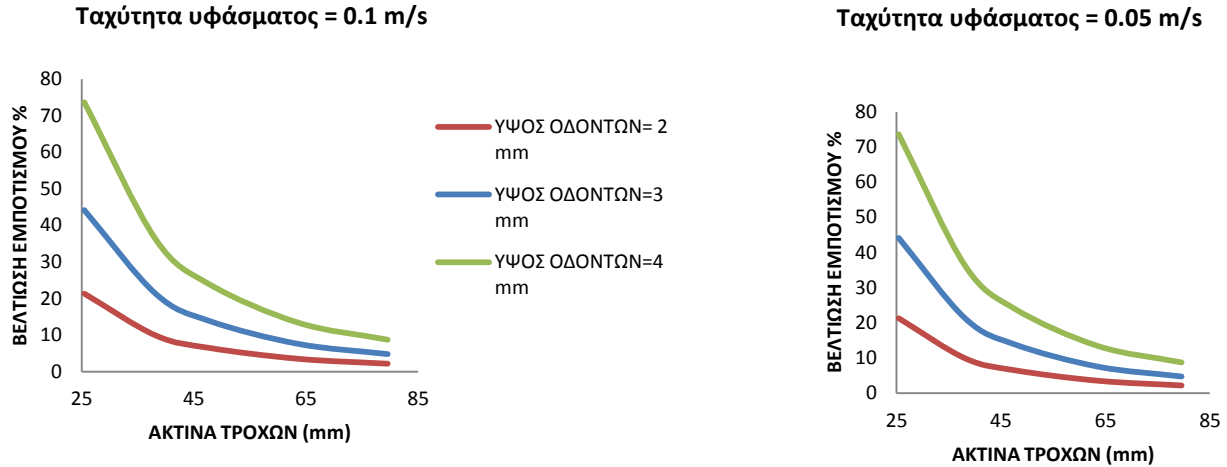
Σχήμα 7: Απεικόνιση ενός οδόντα



Σχήμα 8: Κατακόρυφη σχετική μετακίνηση μεταξύ των ινών

Αυτό που παρατηρείται και που αναμενόταν είναι ότι στα σημεία όπου η κλίση της επιφάνειας του οδόντα αυξάνει, αυξάνεται και η απομάκρυνση μεταξύ των γειτονικών ινών του υφάσματος.

Για την παραμετροποίηση αυτή σχεδιάστηκαν διαγράμματα συναρτήσεως διαφόρων μεγεθών με αριθμό οδόντων ίσο με 20. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας της διεργασίας δεν μεταβάλλει τα επίπεδα της βελτίωσης του εμποτισμού.



Σχήμα 9: Συσχέτιση της βελτίωσης του εμποτισμού με την ταχύτητα του υφάσματος, το ύψος των οδόντων και την ακτίνα των τροχών

Τα διαγράμματα αυτά παρήχθησαν από τις εξής σχέσεις [1]:
Αριθμός ινών σε ένα βήμα οι οποίες ισαπέχουν κατά a στον άξονα x

$$N = \frac{l}{a} \quad (3.2)$$

Όπου l το βήμα και a η απομάκρυνση των κέντρων των ινών.

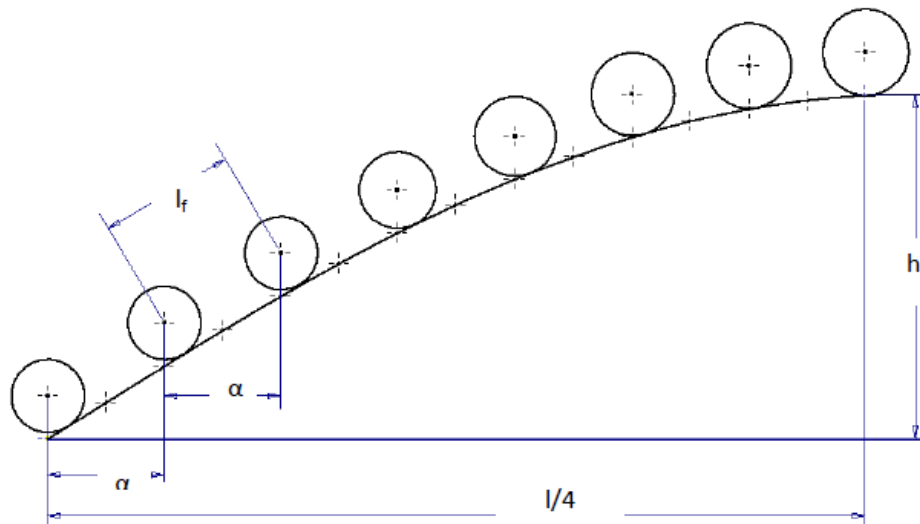
Ο αριθμός των ινών που διαποτίζονται είναι:

$$N_{\sin} = \frac{y_{\text{impreg}_{\sin}}}{d} \quad (3.3)$$

Όπου $y_{\text{impreg}_{\sin}}$ το συνολικό βάθος εμποτισμού το προκύπτει εάν αθροιστούν τα επιμέρους βάθη εμποτισμού σε κάθε θέση του κυλίνδρου $d_{y_{\sin}}$ με βάση το χρόνο t_{\sin} ,

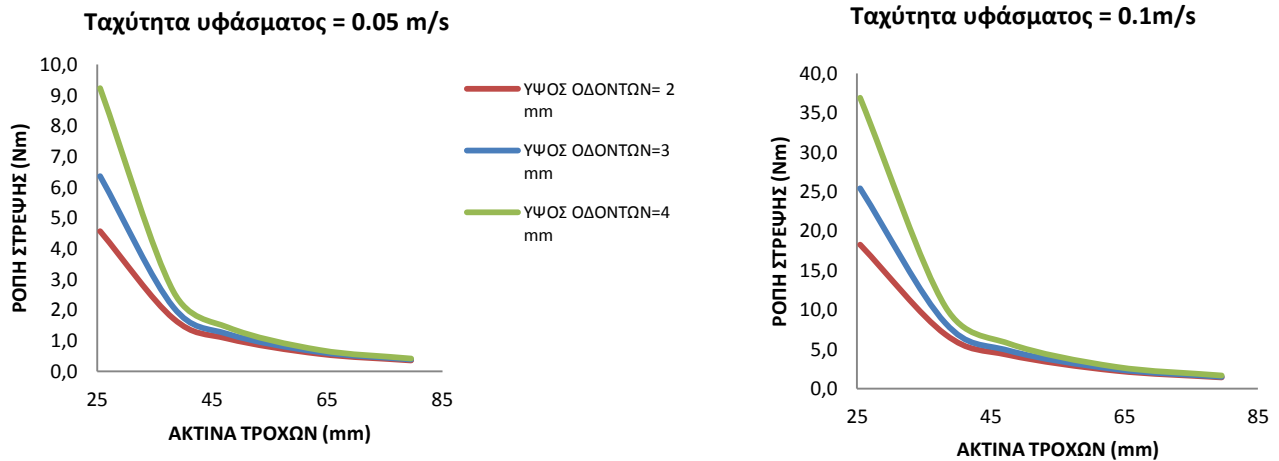
$$\text{Με } d_{y_{\sin}} = u_{m_{\sin}} t_{\sin} \quad (3.4)$$

Όπου $u_{m_{\sin}}$ η μέση ταχύτητα του ρευστού η οποία μπορεί να συσχετιστεί κατάλληλα με την ταχύτητα του υφάσματος.



Σχήμα 10: Διάταξη ινών πάνω στην ημιτονοειδή κατατομή

Παρατηρείται όμως πως καθώς αυξάνει η ακτίνα των μειώνεται ραγδαία η βελτίωση. Η επιλογή λοιπόν της τιμής της ακτίνας πρέπει να είναι μικρότερη από 40mm ώστε να προκύψουν αξιόλογα αποτελέσματα. Για να επιλεγεί η ακτίνα αλλά και το ύψος των οδόντων πρέπει να ελεγχθεί και η αναπτυσσόμενη ροπή στους κυλίνδρους. Στο διάγραμμα που ακολουθεί συσχετίζεται η ροπή στρέψης στους τροχούς με την ακτίνα τους και το ύψος των οδόντων.

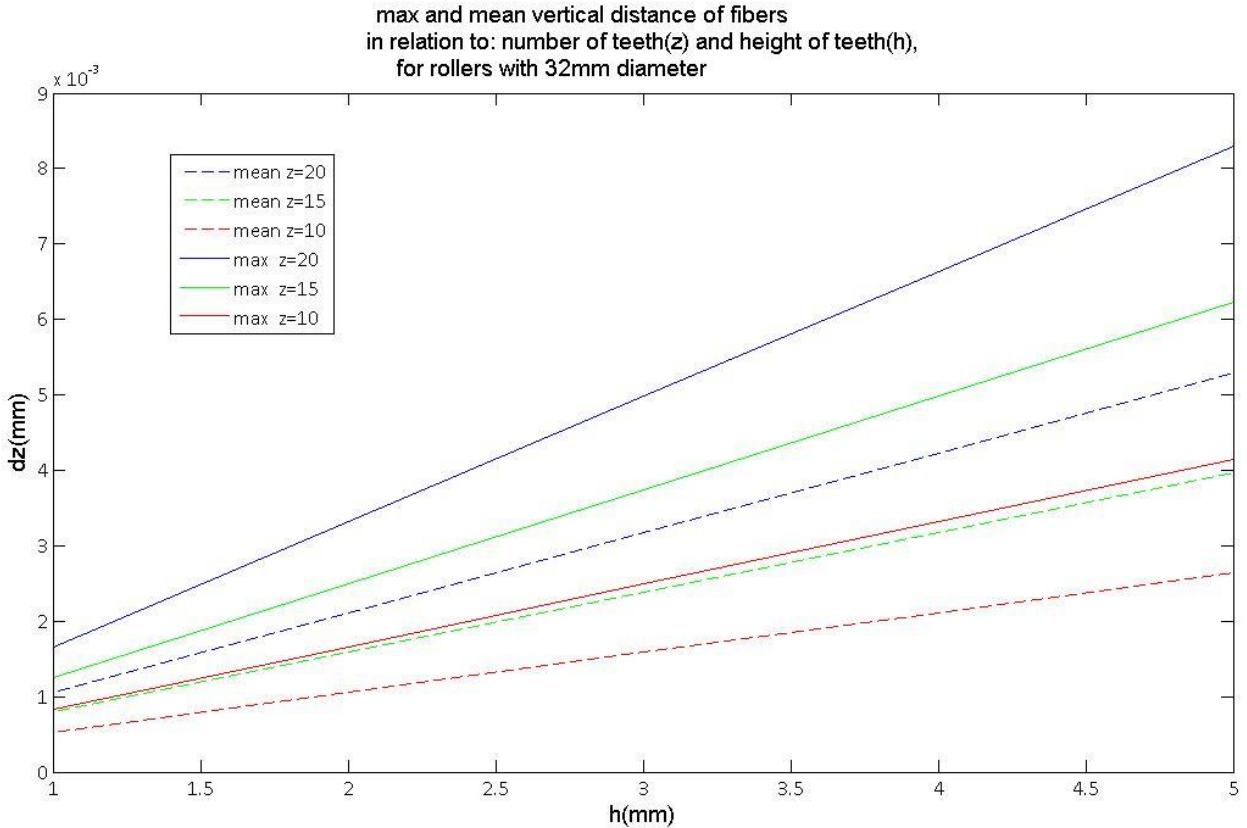


Σχήμα 11: Συσχέτιση της ροπής στρέψης των οδοντωτών τροχών με την ταχύτητα του υφάσματος, το ύψος των οδόντων και την ακτίνα των τροχών

Όπως παρατηρείται όσο αυξάνεται η ακτίνα των τροχών αυξάνεται και η απαιτούμενη ροπή στους τροχούς. Επίσης η αύξηση του ύψους των οδόντων προκαλεί και αυτή αύξηση της ροπής. Επιλέγεται ακτίνα τροχών ίση με 32mm και μέγιστη ταχύτητα διεργασίας 0.1m/sec. Δεν επιλέγεται κάποια μεγαλύτερη καθώς η αύξηση των ροπών αυξάνει πολύ και θα απαιτείται μια στιβαρή κατασκευή αλλά και μεγάλη ισχύς κινητήρα ώστε να καταστεί τελικά δυνατός ο μικροδιαχωρισμός και εν τέλει η πειραματική διεργασία. Επίσης δεν επιλέγεται μεγαλύτερη ώστε σε μετέπειτα πειράματα να είναι δυνατή η κατασκευή τροχών με άλλα ύψη οδόντων και μικρότερη ταχύτητα υφάσματος (για την εξισορρόπηση των ροπών που αναπτύσσονται), ώστε να εξεταστούν και άλλες περιπτώσεις.

Έτσι υπολογίζεται να προκύψει ένας βαθμός εμποτισμού γύρω στο 30% βελτιωμένος σε σχέση με κανονικούς απλούς κυλίνδρους και απαιτήσεις σε ροπές στρέψης στους τροχούς ίσες με 12Nm στον καθένα. Το τελικό πλάτος των τροχών που θα επιλεγεί εξαρτάται από το πλάτος του υφάσματος που θα χρησιμοποιηθεί για την πειραματική διαδικασία και επηρεάζει μονάχα την απαιτούμενη ισχύ της διατάξεως καθώς η αύξηση του μήκους του πλάτους των τροχών αυξάνει μονάχα την απαιτούμενη ροπή στους κυλίνδρους χωρίς να επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης του εμποτισμού.

Για την διάμετρο αυτήν κατασκευάστηκε και πάλι ένα διάγραμμα όπου προβάλλονται τα μεγέθη του μέσου και μέγιστου διαχωρισμού – διακένου μεταξύ των γειτονικών ινών συναρτήσει μόνο του ύψους οδόντων και τον αριθμό αυτών.



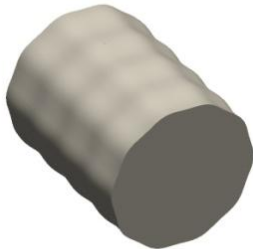
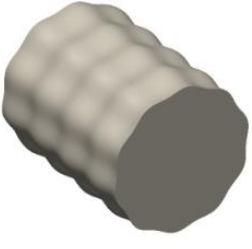
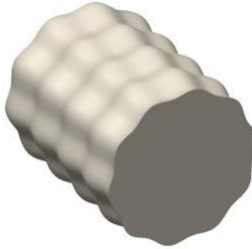
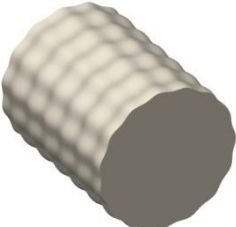
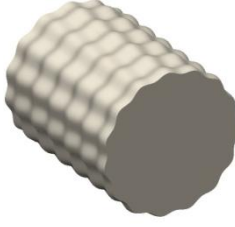
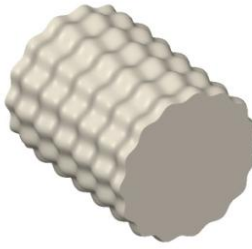
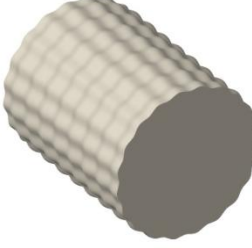
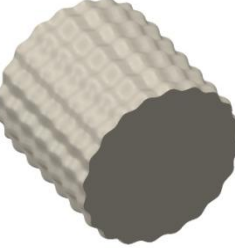
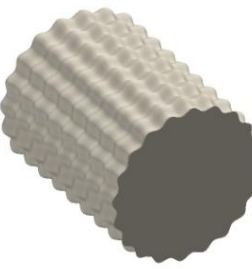
Σχήμα 12: Max and mean vertical distance of fibers in relations to: number of teeth "Z" and height of teeth "h", for rollers with diameter 32mm

Από το Σχήμα 12 αυτό εξάγονται πάλι τα ίδια ευρήματα με πριν, δηλαδή καθώς αυξάνεται ο αριθμός των οδόντων και το ύψος τους αυξάνεται η τιμή του διακένου που δημιουργείται μεταξύ των γειτονικών ινών.

3.3 Σχεδιασμός και κατασκευή τροχών

Για την εκλογή των τελικών τροχών, σχεδιάστηκαν στο περιβάλλον του solidworks 2013 διάφορα μοντέλα οδοντωτών τροχών με ακτίνα 32mm, τροποποιώντας κάθε φορά των αριθμό των οδόντων αλλά και το ύψος αυτών. Οι τροχοί απεικονίζονται στο Σχήμα 13 που αντιστοιχούν στο παραπάνω διάγραμμα έτσι αυτά τα μοντέλα να εξεταστούν και να συζητηθούν.

Παρακάτω λοιπόν, παρατίθενται αυτά τα μοντέλα των τροχών με αναγραφή των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

A/A	$h = 2\text{mm}$	$h = 3\text{mm}$	$h = 4\text{mm}$
Z = 10			
Z = 15			
Z = 20			

Σχήμα 13: Σχεδιασμός τροχών διαμόρφωσης για διάφορες τιμές των παραμέτρων Z και h

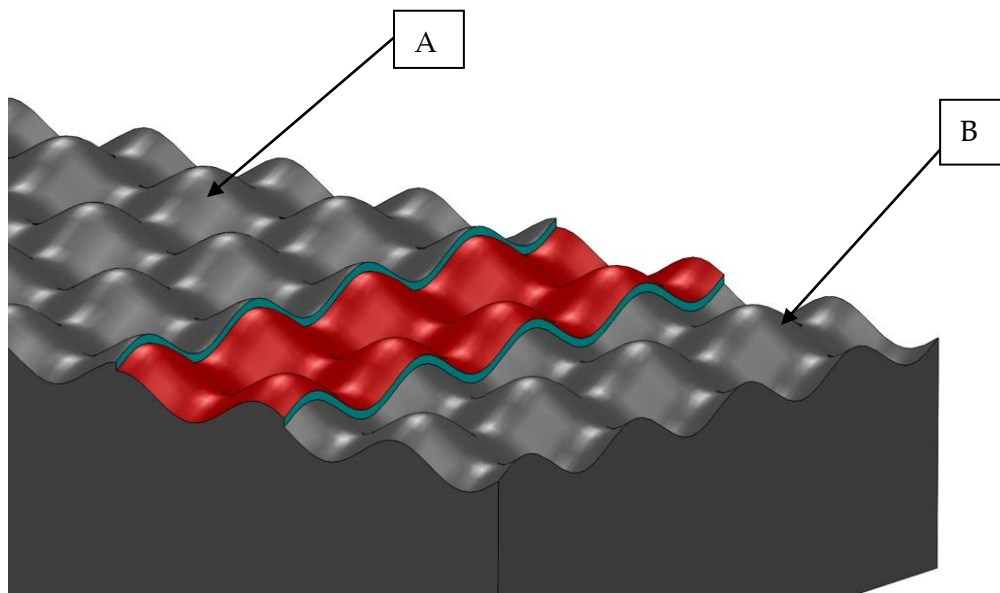
Έπειτα από μελέτη των στοιχείων που έχουν προαναφερθεί και κυρίως της απαιτήσεως σε ισχύ αλλά και της αύξησης του διακένου μεταξύ των ινών εκλέχθηκε τροχός με $Z = 20$ οδόντων και ύψος οδόντος $1,5\text{mm}$ με $R \approx 32\text{mm}$.

Οι τροχοί αυτοί θα χρησιμοποιηθούν ώστε να διαμορφώνουν το ύφασμα σύμφωνα με όσα έχουν προαναφερθεί. Για να γίνει αυτό έπρεπε να τοποθετηθούν σε απόσταση

αξόνων τέτοια ώστε να δημιουργείται ένα ικανό διάκενο για την εφαρμογή του υφάσματος που θα επιλεγεί.

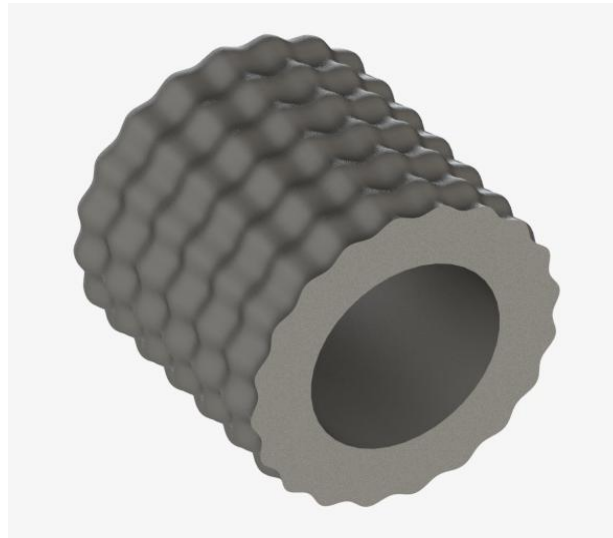
Το διάκενο αυτό δημιουργήθηκε μέσω τροποποίησης του κανόνα των τροχών. Η τελική ακτίνα του τροχού επιλέχθηκε ίση με 32mm.

Το μέγεθος του διακένου εξαρτάται από το τελικό πάχος του υφάσματος μετά τον εμποτισμό του με ρητίνη πολυεστέρα, το οποίο εκτιμάται βάσει του κατασκευαστή ότι θα είναι ίσο με 0,34mm. Σχεδιάστηκε λοιπόν κανόνας που δημιουργεί τροχούς οι οποίοι αν κατασκευάζοντουσαν, μέσω της Θεωρίας των Οδοντώσεων θα συνεργάζοντουσαν. Στο Σχήμα 14 απεικονίζεται η κατατομή του κανόνα αυτόν με κόκκινο χρώμα. Για την δημιουργία λοιπόν αυτού του διακένου και θεωρώντας ότι με κόκκινο είναι το κέντρο η επιφάνεια του κέντρου του υφάσματος (με γαλάζιο χρώμα οι δύο ημιεπιφάνειες τομής του), Σχήμα 14, γίνεται offset εκατέρωθεν της επιφάνειας αυτής. Έτσι δημιουργήθηκαν δύο κατατομές κανόνα (Α και Β) οι οποίες κατασκευάζουν τροχούς με τελική ακτίνα κύκλου κύλισης ίση με 32mm. Τοποθετώντας τους τροχούς αυτούς σε απόσταση αξόνων ίση με 64,34mm έχει δημιουργηθεί το διάκενο για τη διέλευση του υφάσματος.



Σχήμα 14: Δημιουργία απαραίτητου διακένου για τη διέλευση του υφάσματος

Έπειτα με κατάλληλα βήματα μέσω του Solidworks 2013 σχεδιάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο του τροχού όπως φαίνεται στο Σχήμα 15.



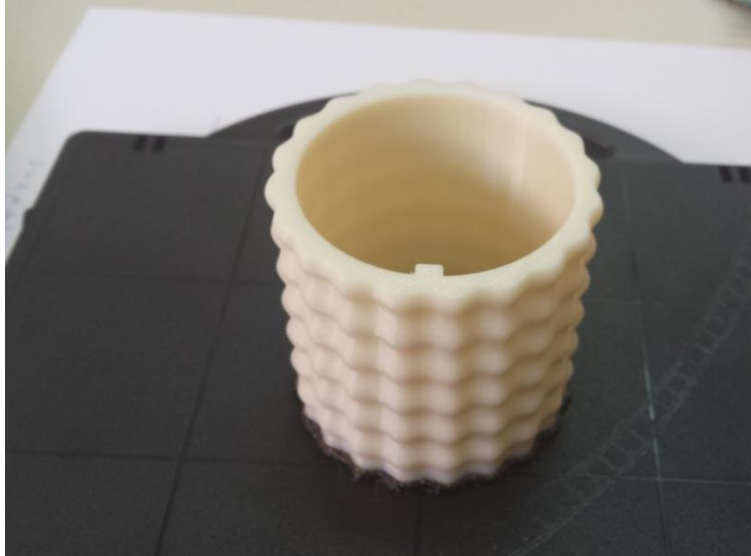
Σχήμα 15: Τελικό μοντέλο τροχών

Η επόμενη φάση ήταν η κατασκευή 2 τροχών στη μηχανή ταχείας προτυποποίησης (3D printing) του εργαστηρίου ταχείας προτυποποίησης. Στους τροχούς αυτούς προστέθηκε σφήνα έτσι ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν μετέπειτα εύκολα στον μηχανισμό.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του τροχού που κατασκευάστηκε:

Αριθμός οδόντων:	$Z = 20$
Συνολικό ύψος οδόντων:	$H = 3 \text{ mm}$
Πλάτος ταλάντωσης στον αρχικό κύκλο:	$2A = 1,5 \text{ mm}$
Ακτίνα αρχικού κύκλου τροχών αρχικά:	$R_o = 32,176 \text{ mm}$
Ακτίνα αρχικού κύκλου τροχών τελικά:	$R_o = 32,00 \text{ mm}$
Μέγεθος offset:	$0,16 \text{ mm}$
Βήμα οδοντώσεως (t):	$10,109 \text{ mm}$
Υλικό κατασκευής	ABS PLASTIC
Διαμήκης σφήνα (πλάτος X ύψος):	$3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$
Εσωτερική διάμετρος:	55 mm
Πλάτος τροχών ίση με $6*t$:	$60,65 \text{ mm}$
Βάρος	52.83 gr

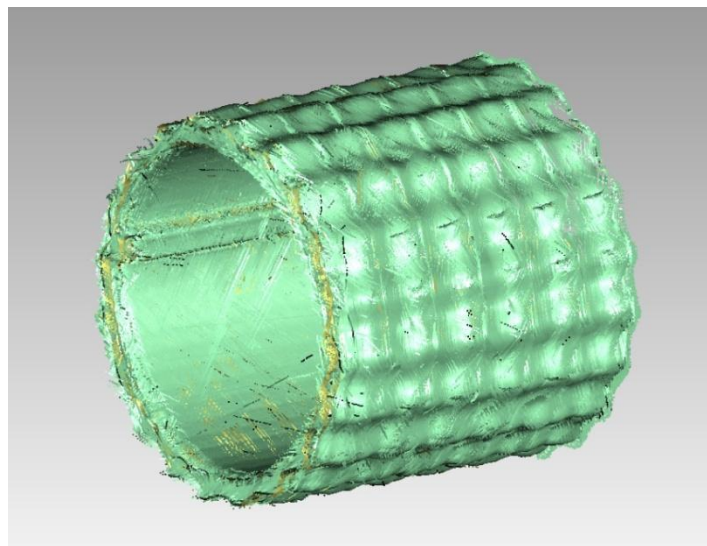
Σχήμα 16: Πίνακας παραμέτρων τελικών οδοντωτών τροχών



Σχήμα 17: Κατασκευή τροχών στη μηχανή ταχείας πρωτυποποίησης

Οι τροχοί που τελικά παράχθηκαν μέσω της μηχανής ταχείας πρωτυποποίησης έχουν αποκλίσεις από τις θεωρητικές διαστάσεις με τις οποίες σχεδιάστηκαν. Αυτό οφείλεται στην μέθοδο κατασκευής τους και στις αποκλίσεις της μηχανής καθώς και στη συρρίκνωση/απορρόφηση υγρασίας από το υλικό. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να γίνει μια εκτίμηση της απόκλισης που παρουσιάζουν οι τροχοί έτσι ώστε να σχεδιαστεί ανάλογα η απόσταση των αξόνων τους αλλά και των διαμέτρων των κυλίνδρων στους οποίους θα προσαρμοστούν.

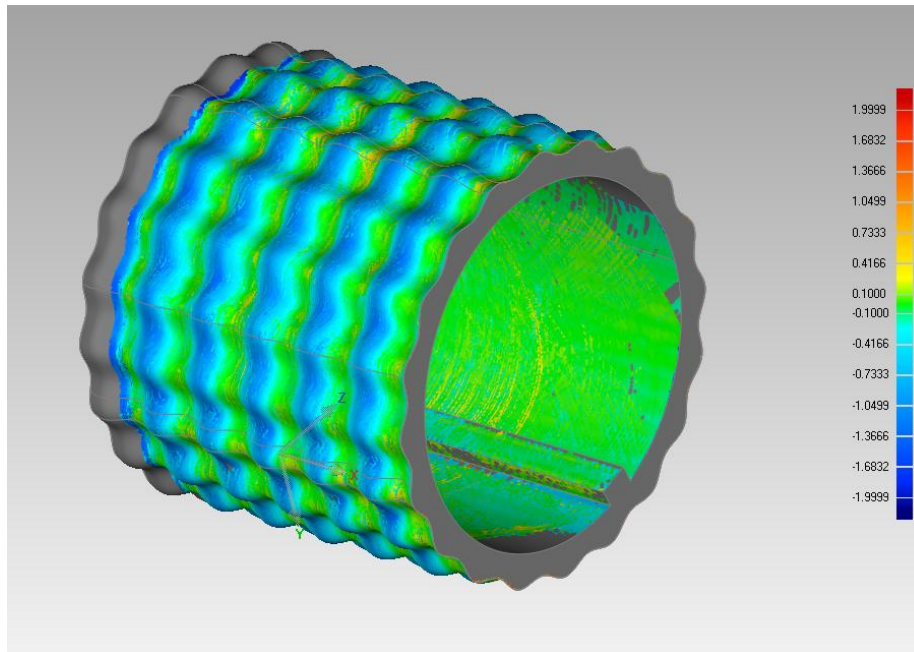
Η εκτίμηση αυτή έγινε αποτυπώνοντας έναν από τους τροχούς στη συσκευή Faro Arm του εργαστηρίου Ταχείας Πρωτυποποίησης. Το αποτέλεσμα της αποτύπωσης παρουσιάζεται μέσω του λογισμικού Geomagic Qualify 2013 στην παρακάτω εικόνα 18.



Σχήμα 18: Νέφος σημείων - Αποτύπωση του πραγματικού μοντέλου με τη συσκευή Faro Arm

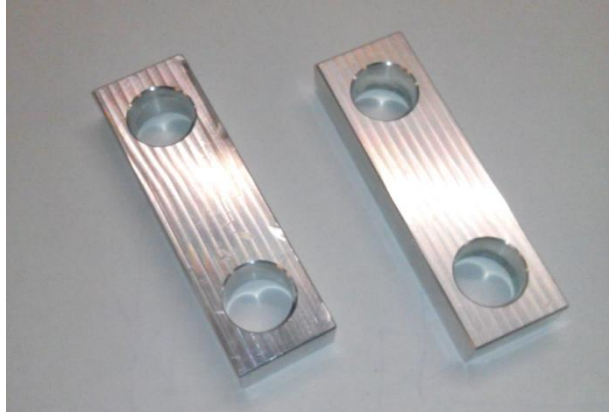
Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία του παραπάνω νέφους σημείων και η τρισδιάστατη σύγκριση του με το θεωρητικό cad μοντέλο που σχεδιάστηκε αφού πρώτα γίνει η απαραίτητη επεξεργασία.

από την σύγκριση αυτή προέκυψε ότι η εσωτερική διάμετρο του τροχού παρατηρείται ότι είναι μικρότερη κατά περίπου 0,2mm. Επίσης στην εξωτερική επιφάνεια του τροχού παρατηρείται ότι έχει γίνει μια εξομάλυνση της κυματομορφής. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται να έχει μειωθεί το ύψος των κεφαλών των οδόντων ενώ ταυτόχρονα να έχει μειωθεί το ύψος ποδός τους γύρω στα 0,5mm .



Σχήμα 19: Σύγκριση του νέφους σημείων που αποτυπώθηκαν με το cad μοντέλο

Τελικά λήφθηκε η απόφαση να μειωθεί η διάμετρος του κυλίνδρου που θα τοποθετηθούν οι τροχοί σε 54,8mm. Η απόσταση των αξόνων σε πρώτη φάση θεωρήθηκε ότι δεν έπρεπε να μεταβληθεί καθώς παρατηρείται να μην μεταβάλλεται η διάμετρος κυλίσεως των τροχών. Επειδή όμως πολλά μέρη του μηχανισμού εξαρτώνται από την απόσταση αυτή και λόγω της τραχύτητας του υλικού του τροχού (πολύς θόρυβος στο νέφος σημείων που πάρθηκε), κατασκευάστηκαν δύο πλακίδια αναφοράς με την θεωρητική απόσταση αξόνων που έχει σχεδιαστεί ώστε να ελεγχθεί και να οριστικοποιηθεί η απόσταση των αξόνων.



Σχήμα 20: Πλακίδια αναφοράς για τον έλεγχο της απόστασης των αξόνων

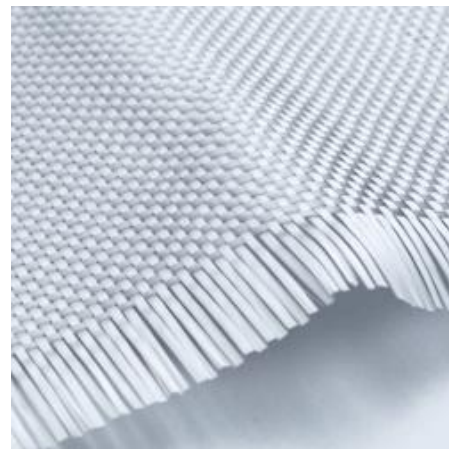
Στον έλεγχο που έγινε με τη βοήθεια filler ώστε αν το εξεταζόμενο κενό είναι ίσο με το επιθυμητό 0,34mm, προέκυψε διάκενο περίπου ίσο με 0,35mm. Η απόκλιση αυτή είναι αρκετά καλή έχοντας υπόψη και τη φύση της μηχανής ταχείας προτυποποίησης. Οπότε η απόσταση αξόνων έμεινε όπως αρχικά είχε σχεδιαστεί.

3.4 Υαλοϋφασμα και ρητίνη

Το υαλοϋφασμα που χρησιμοποιήθηκε έχει διάταξη πλέξης 0-90 μοίρες (plain). Το πάχος που επιλέχθηκε είναι περί τα 0.28 mm και το βάρος του 290 gr/m². Χρησιμοποιήθηκε υαλοϋφασμα σε μορφή ταινίας η οποία έχει πλάτος 50mm.



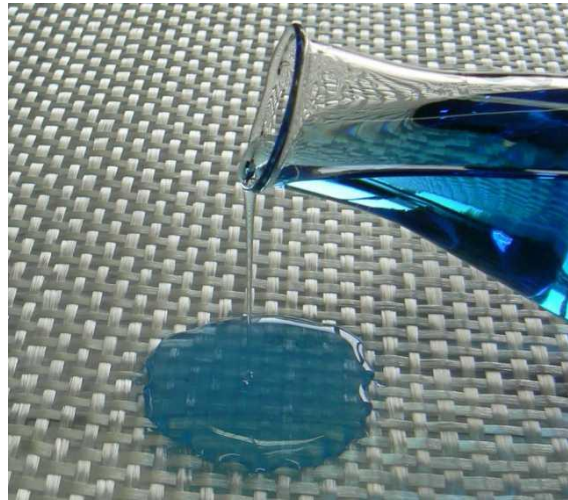
Σχήμα 21: Υαλοϋφασμα σε μορφή ταινίας



Σχήμα 22: Διάταξη πλέξης υφάσματος

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για την επιλογή της ρητίνης εξετάστηκε η ικανότητά εμποτισμού υαλοϋφασμάτων, το gel time της, ο χρόνος δηλαδή έτοιμου μείγματος σε συθήκες περιβάλλοντος. Επίσης λήφθηκε υπόψη η καταλληλότητα χρήσης της σε κλειστό εργαστηριακό περιβάλλον, όπως επίσης και οι χημική της σύσταση έτσι ώστε να μην προκύψει αλλοίωση των διαμορφωτικών τροχών, οι οποίο είναι κατασκευασμένοι από ABS. Τέλος εξετάστηκε και η δυνατότητα της ρητίνης σε σχετικά εύκολη και ολοκληρωτική απομάκρυνσή της από τα μέρη του μηχανισμού. Επομένως η ρητίνη που επιλέχθηκε είναι πολυεστέρα, της εταιρίας Scott Badder, με αριθμό προϊόντος 446MPALV. Έχει ιξώδες 3 Pas, πυκνότητα 1.1 gr/lit και χρόνο έτοιμου μείγματος (gel time) 15-20' σε συνθήκες περιβάλλοντος. Επίσης πληρεί όλες τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν.



Σχήμα 23 : Ρητίνη πολυεστέρα

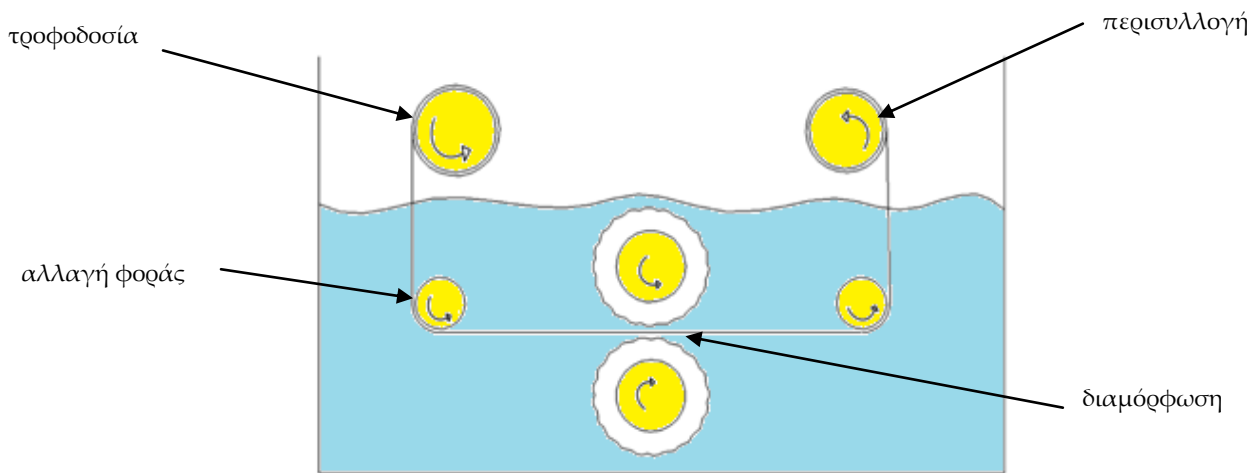
4. ΠΡΩΤΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

4.1 Αρχική ιδέα

Η διάταξη που σχεδιάστηκε έχει ως σκοπό την διαμόρφωση του υφάσματος μέσω οδοντωτών τροχών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο πλήρης εμποτισμός του. Στο πείραμα αυτό λοιπόν θα εμποτιστεί με ρητίνη πολυεστέρα ένα ικανό μήκος υφάσματος ώστε να ελεγχθεί και η βελτίωση του εμποτισμού του σε σχέση με κοινό εμποτισμό μέσω απλών κυλινδρικών τροχών.

Τα κύρια μέρη που πρέπει να έχει η διάταξη αυτή ώστε να πραγματοποιεί το πείραμα που ζητείται, παρουσιάζονται παρακάτω.

Βασικό στοιχείο της είναι το ζεύγος των οδοντωτών τροχών που κατασκευάστηκαν, τοποθετημένοι στην απόσταση αξόνων που υπολογίστηκε, με το ύφασμα να περνάει από το διάκενο αυτό και όλα αυτά εμβαπτισμένα στην ρητίνη. Εφόσον κάποια μέρη πρέπει να είναι εμβαπτισμένα σχεδιάζεται μία δοχείο συλλογής-κέλυφος στην οποία θα εδράζονται τα μέρη αυτά του μηχανισμού. Επίσης τοποθετούνται και δύο ελεύθεροι τροχοί των οποίων λειτουργία είναι να ευθυγραμμίζουν το ύφασμα ως προς το ζεύγος των τροχών διαμόρφωσης. Για την τροφοδοσία του πειράματος σε ύφασμα σχεδιάζεται μπομπίνα στην οποία θα είναι περιελιγμένο το ύφασμα. Τέλος για το μάζεμα του τελικού εμποτισμένου υφάσματος σχεδιάζεται αντίστοιχη μπομπίνα στην οποία θα περιελίσσεται. Ένα πρόχειρο λοιπόν σκαρίφημα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



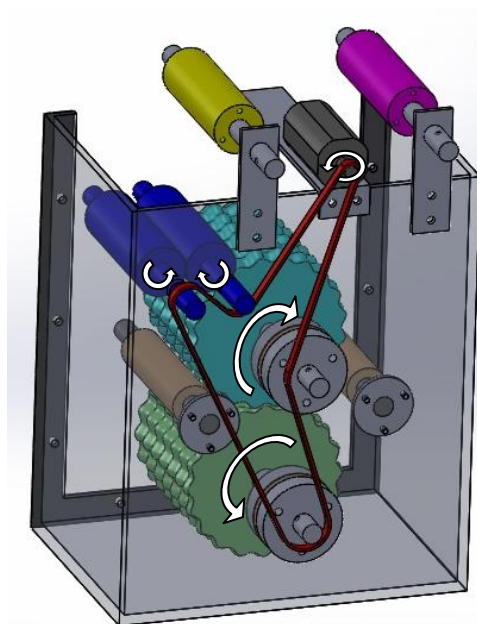
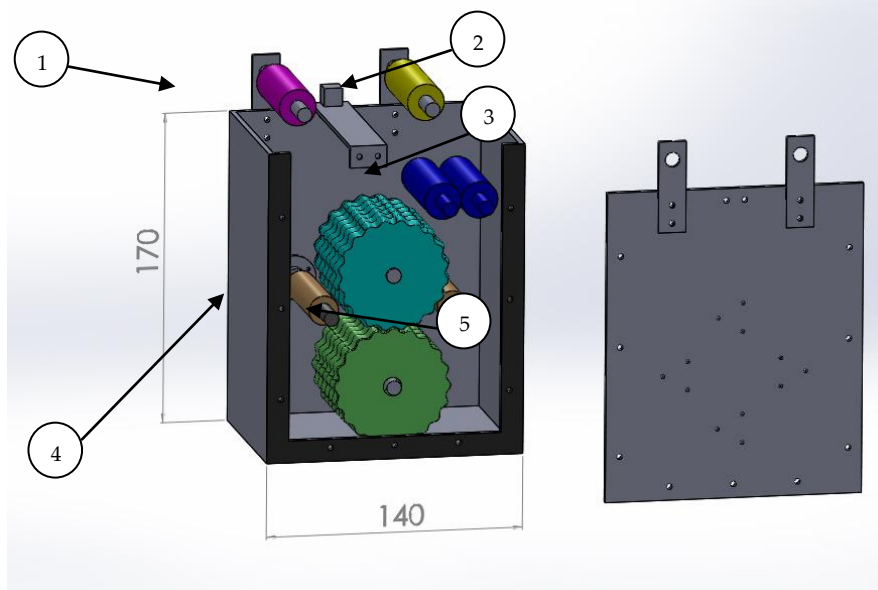
Σχήμα 24 : Απλοποιημένο σκαρίφημα διάταξης εμποτισμού

4.2 Αρχικές σχεδιαστικές απεικονίσεις

Έχοντας λοιπόν την κεντρική ιδέα του μηχανισμού σχεδιάστηκε ένα μοντέλο μέσω του περιβάλλοντος του Solidworks στο οποίο αποτυπώθηκαν τα βασικά αυτά στοιχεία προσθέτοντας όμως ένα δεύτερο ζεύγος τροχών, κυλινδρικής μορφής, αμέσως μετά την έξοδο του υφάσματος από τους τροχούς διαμόρφωσης. Ο ρόλος των τροχών αυτών είναι η επαναφορά του υφάσματος στην αρχική του μορφή, καθώς μετά την διαμόρφωση του είναι κυματοειδές, όπως επίσης και η απομάκρυνση της πλεονάζουσας ρητίνης που εναποτίθενται πάνω στο ύφασμα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο σχεδιασμός που μόλις αναφέρθηκε.

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
 ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



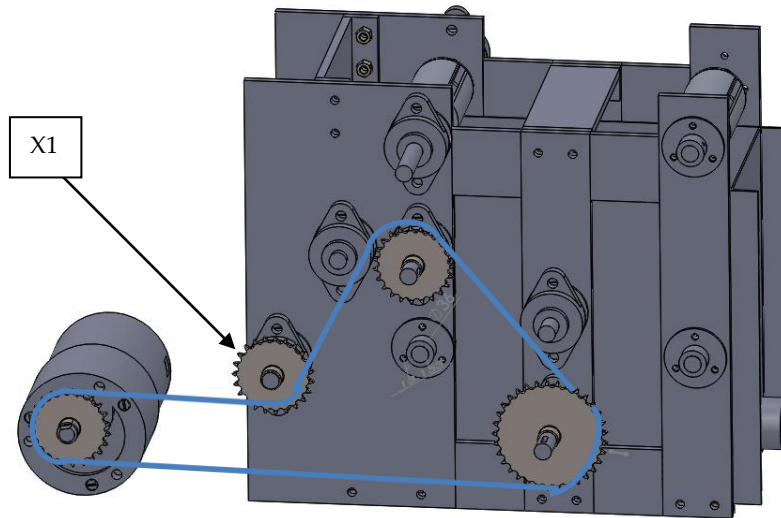
A/A	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
1	Τροχός τροφοδοσίας
2	Τροχός περισυλλογής
3	Ζεύγος τροχών αποδιαμόρφωσης
4	Ζεύγος τροχών διαμόρφωσης
5	Τροχοί ελεύθεροι - αλλαγή φοράς υφάσματος

Σχήμα 25: Αρχική σχεδίαση συσκευής

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

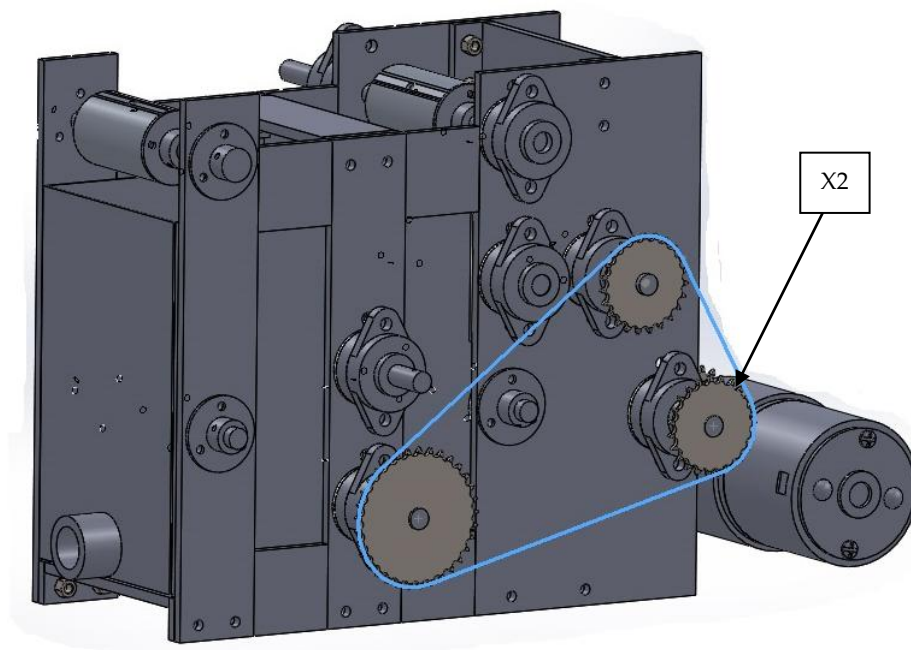
Έχοντας τώρα μια γενική ιδέα του μηχανισμού γίνεται αναφορά στις επόμενες σχεδιαστικές επιλογές που έγιναν έχοντας φυσικά υπόψη πάντα τις απαιτήσεις της διατάξεως.

Ως επόμενο βήμα ήταν ο σχεδιασμός μιας ολοκληρωμένης μορφής της διάταξης.



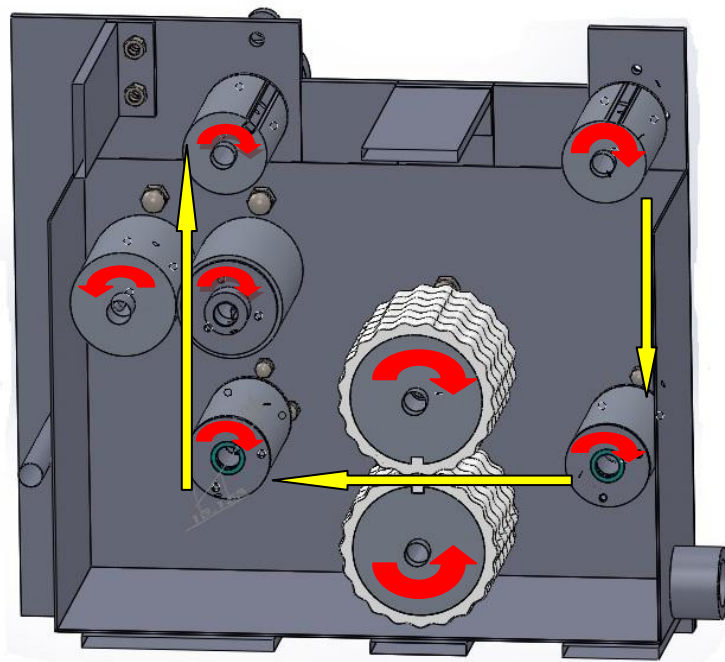
Σχήμα 26: Σχεδιασμός διάταξης με ηλεκτροσυγκολλημένες λάμες

Στον σχεδιασμό αυτό όπως παρουσιάζεται αποτελείται από ένα πλαίσιο το οποίο είναι κατασκευασμένο από ηλεκτροσυγκολλημένες λάμες. Η κίνηση των δύο ζευγών τροχών διαμόρφωσης, στύψης μεταδίδεται μέσω αλυσίδας με κατάλληλη σχέση μετάδοσης μεταξύ των αλυσοτροχών για συγχρονισμένη λειτουργία και ίδια περιφερειακή ταχύτητα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μόνο στο ένας μέλος του κάθε ζεύγους οπότε για τη μετάδοση στο άλλο χρησιμοποιείται ο αλυσοτροχός X1, ο οποίος μέσω του άξονα του μεταφέρει την κίνηση στο πίσω μέρος του μηχανισμού και μετέπειτα με τον αλυσοτροχό X2 στα δύο άλλα μέλη των ζευγών.



Σχήμα 27: Πίσω όψη μηχανισμού

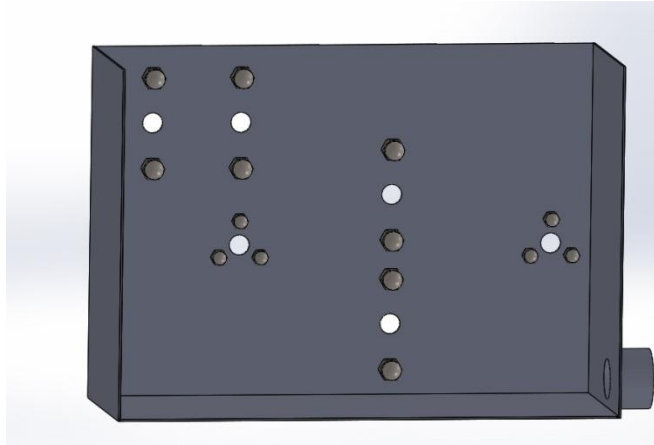
Για να γίνει πιο ξεκάθαρη η κινηματική της συγκεκριμένης σχεδίασης παρουσιάζεται το εσωτερικό της (Με κόκκινο χρώμα σημειώνεται η φορά της κίνησης των τροχών και των αλυσοτροχών και με κίτρινο αυτή του υφάσματος).



Σχήμα 28 : Εσωτερική εικόνα του μηχανισμού

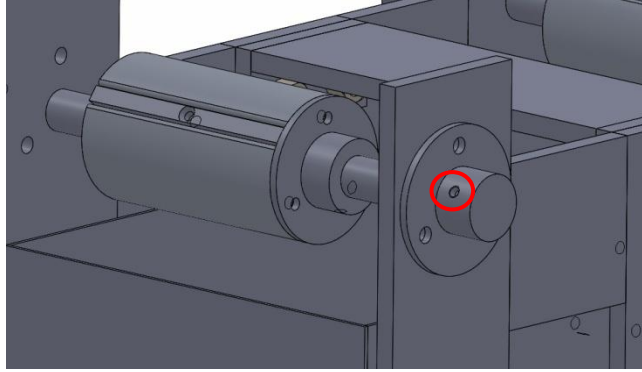
Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Εσωτερικά του πλαισίου εδράζεται η δοχείο συλλογής η οποία θα περιέχει ρητίνη και είναι φτιαγμένη από ελάσματα συγκολλημένες μεταξύ τους και στις οπές για τους κοχλίες υπάρχουν συγκολλημένα κλειστά περικόχλια για λόγους στεγανοποίησης αλλά και εύκολης συναρμολόγησης. Στα σημεία σύνδεσης με τους άξονες τοποθετούνται στατικές τσιμούχες επίσης για λόγους στεγανοποίησης και τέλος έχει σχεδιαστεί μια οπή στο κάτω μέρος της, στα πλάγια για την εκκένωση της ρητίνης μετά το τέλος του πειράματος.



Σχήμα 29: Εσωτερική εικόνα του μηχανισμού

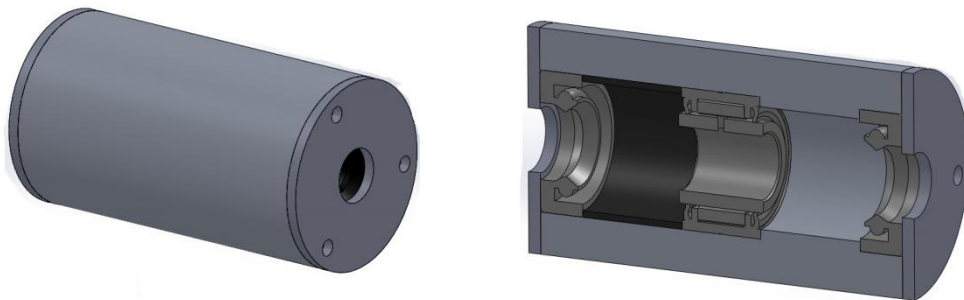
Για την τροφοδοσία έχουν σχεδιαστεί τροχοί, στους οποίους προσαρμόζεται ένα έλασμα έτσι ώστε να συγκρατείται το ύφασμα. Καθώς το ύφασμα ξετυλίγεται λόγω της κίνησης των τροχών διαμόρφωσης και στύψης οι οποίοι παίρνουν κίνηση μέσω κινητήρα, όπως θα εξηγηθεί αναλυτικά παρακάτω, θα πρέπει να μένει συνεχώς τεντωμένο κατά την τροφοδοσία. Είναι αναγκαίο λοιπόν να σχεδιασθεί μηχανισμός πέδησης του τροχού τροφοδοσίας έτσι ώστε λόγω των αδρανειακών δυνάμεων, που θα αναπτυχθούν κατά την περιστροφική κίνηση του τροχού αυτού, να μην αναπτύσσεται περιφερειακή ταχύτητα τροχού μεγαλύτερη από αυτήν της διαμόρφωσης με αποτέλεσμα να «χαλαρώνει» το ύφασμα. Ένας αρχικός απλός σχεδιασμός πέδησης, όπως και ο παραπάνω τροχός, παρουσιάζονται στην εικόνα ΤΡΟΧΟΣ-ΠΕΔΗΣΗ. Η πέδηση γίνεται μέσω ενός απλού κοχλία ο οποίος εδράζεται στο κουζινέτο και ολισθαίνει πάνω στον άξονα, δημιουργώντας την τριβή που απαιτείται.



Σχήμα 30: Τροχός - Πέδηση

Όλοι οι τροχοί σε αυτήν τη σχεδίαση συνδέονται με κουζινέτα μέσω κοχλιών, τα οποία με τη σειρά τους εδράζονται στους άξονες με σφήνες.

Όσο αναφορά τους δύο ελεύθερους τροχούς, οι οποίοι έχουν ως λειτουργία την αλλαγή φοράς του υφάσματος, σχεδιάστηκαν έχοντας στο κέντρο τους ένα ρουλεμάν βελόνας για την περιστροφή τους και για να εξασφαλιστεί η στεγανότητά τους τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν δύο περιστροφικές τσιμούχες καθώς οι τροχοί αυτοί θα περιστρέφονται όντας μέσα στη ρητίνη.

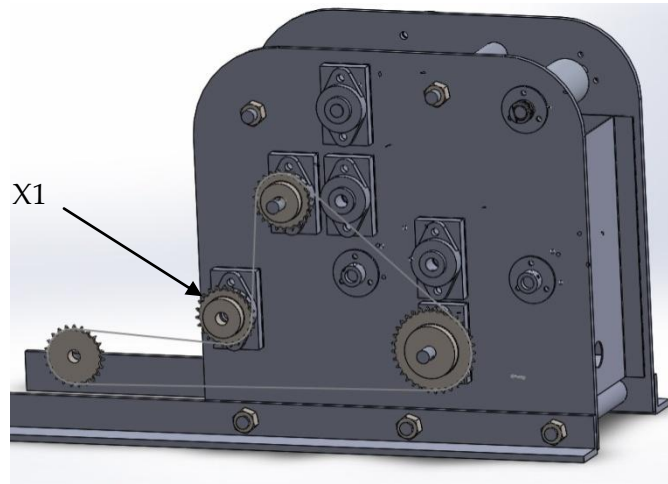


Σχήμα 31: Ελεύθερος τροχός αλλαγής κατεύθυνσης υφάσματος

Τέλος όσο αναφορά την έδραση των αξόνων στο πλαίσιο του μηχανισμού σχεδιάστηκαν κουζινέτα τα οποία αποτελούνται από ένα κουζινέτο με ενσωματωμένο ένοσφαιρο ρουλεμάν (εμπορίου) και από ένα κουζινέτο ορθογώνιο στο οποίο προσαρμόζεται τσιμούχα περιστροφής για τη στεγανοποίηση των αξόνων.

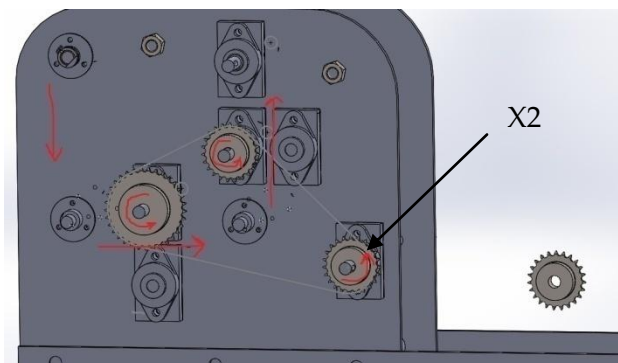
Παρουσιάστηκε περιληπτικά η πρώτη σχεδίαση που έγινε. Δεν θα γίνει περαιτέρω ανάλυση αυτής καθώς παρουσιάζει πολυπλοκότητα στην κατασκευή της και η απαίτηση είναι η δημιουργία μιας συσκευής απλής στην συναρμολόγηση - αποσυναρμολόγηση αλλά και οικονομικής.

Κρατώντας τα στοιχεία που θεωρήθηκαν θετικά ακολούθησε η δημιουργία μιας νέας σχεδίασης. Κατά το νέο αυτό σχεδιασμό κύριο ζήτημα είναι η μείωση των απαιτούμενων κατεργασιών καθώς και της πολυπλοκότητας των εξαρτημάτων.



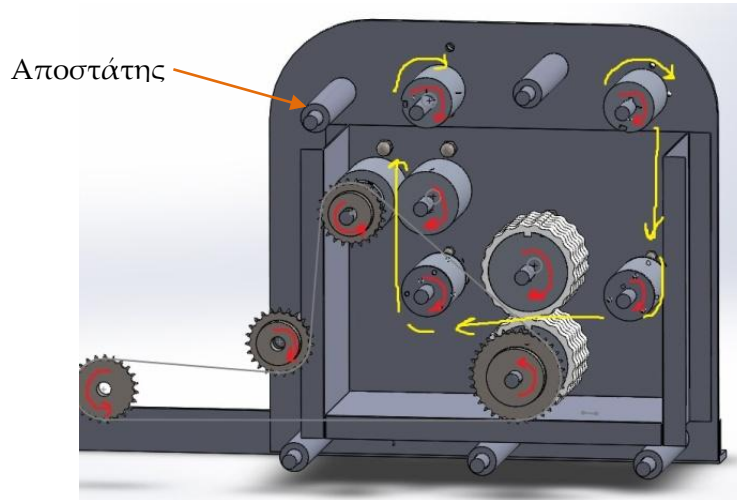
Σχήμα 32: Σχεδιασμός συσκευής με ενιαία ελάσματα στήριξης των αξόνων

Στον σχεδιασμό αυτό έχουν τοποθετηθεί δύο ελάσματα εκατέρωθεν έτσι ώστε να εδράζονται τα επιμέρους στοιχεία μηχανών του μηχανισμού. Αυτή η επιλογή βελτιώνει το πλαίσιο που επιλέχθηκε στην πρώτη σχεδίαση καθώς αποφεύγονται οι συγκολλήσεις, οι οποίες εκτός του ότι μπορούν να αποφέρουν στρεβλώσεις λόγω της τήξης του μετάλλου, παρουσιάζουν δυσκολία στο να επιτευχθεί στο ακέραιο η επίτευξη των απαιτούμενων διαστασιολογικών απαιτήσεων και ανοχών στο τελικό συναρμολόγημα. Η κίνηση των δύο ζευγών τροχών διαμόρφωσης στύψης μεταδίδεται μέσω αλυσίδας και πάλι όπως προηγουμένως. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μόνο στο ένας μέλος του κάθε ζεύγους οπότε για τη μετάδοση στο άλλο χρησιμοποιείται ο αλυσοτροχός X1, ο οποίος μέσω του άξονα του μεταφέρει την κίνηση στο πίσω μέρος του μηχανισμού και μετέπειτα με τον αλυσοτροχό X2 στα δύο άλλα μέλη των ζευγών.



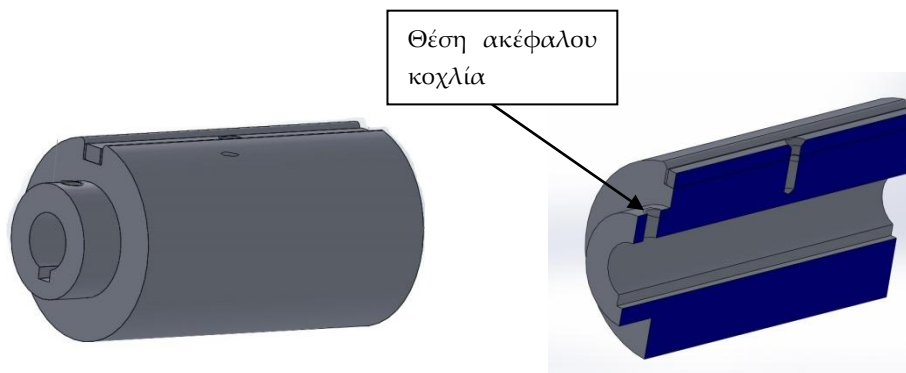
Σχήμα 33: Πίσω όψη μηχανισμού

Με τα κόκκινα βέλη εικονίζεται η κατεύθυνση τόσο των αλυστροχών όσο και του υφάσματος. Για να γίνει πιο ξεκάθαρη η κινηματική της συγκεκριμένης σχεδίασης παρουσιάζεται το εσωτερικό της. Όπου με κόκκινο χρώμα η κίνηση των τροχών και των αλυστροχών και με κίτρινο αυτή του υφάσματος.



Σχήμα 34: Εσωτερικό μέρος μηχανισμού

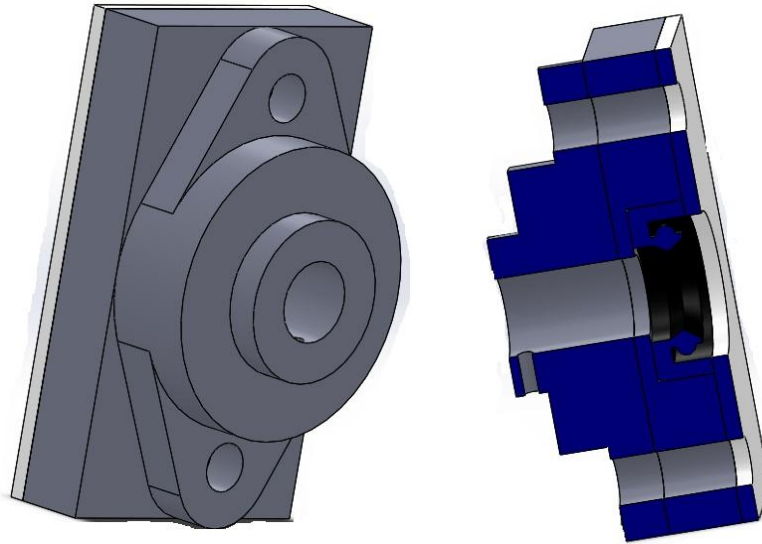
Το ύφασμα τροφοδοτείται από τον πάνω δεξιό κύλινδρο και καταλήγει στον πάνω αριστερά. Στους τροχούς αυτούς σε σχέση με τους προηγούμενους έχει αφαιρεθεί το κουζινέτο συγκράτησής τους και δημιουργείται διαμήκης σφηνόδρομος για την έδραση τους στους άξονες περιστροφής. Το κλειδώμα της θέσης τους γίνεται με έναν ακέφαλο κοχλία.



Σχήμα 35: Τροχός τροφοδοσίας - περισυλλογής

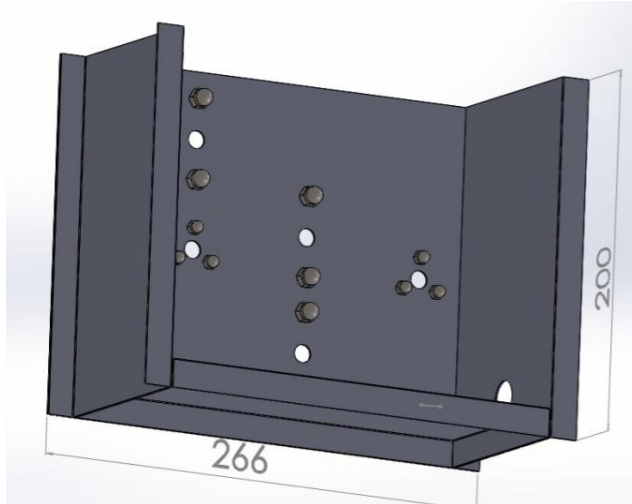
Όλοι οι τροχοί και οι κύλινδροι κλειδώνουν στους άξονες μέσω σφηνών. Η στερέωση των δύο πλακών γίνεται με κατάλληλους αποστάτες οι οποίοι και τις συγκρατούν με τα περικόχλια.

όσον αφορά την έδραση των αξόνων στο πλαίσιο του μηχανισμού σχεδιάστηκαν κουζινέτα τα οποία αποτελούνται από ένα κουζινέτο με ενσωματωμένο ένσφαιρο ρουλεμάν (εμπορίου) και από ένα κουζινέτο ορθογώνιο στο οποίο προσαρμόζεται τσιμούχα περιστροφής για τη στεγανοποίηση των αξόνων.



Σχήμα 36: Κουζινέτο έδρασης αξόνων

Εσωτερικά βρίσκεται το δοχείο συλλογής στο οποίο βρίσκονται τα μέρη του μηχανισμού που απαιτείται να είναι εμβαπτισμένα στην ρητίνη. Το δοχείο συλλογής είναι φτιαγμένο από στρατζαριστά ελάσματα οι οποίες είναι συγκολλημένες μεταξύ τους και στις οπές για τους κοχλίες υπάρχουν συγκολλημένα κλειστά περικόχλια για λόγους στεγανοποίησης αλλά συναρμολόγησης, όπως πριν. Η αλλαγή αυτή έγινε ώστε να είναι πιο απλή και εύκολη η κατασκευή του δοχείου συλλογής, καθώς τώρα η συγκόλληση γίνεται με ηλεκτροπόντα και στα σημεία επαφής των ελασμάτων τοποθετείται στεγανωτική αλοιφή.



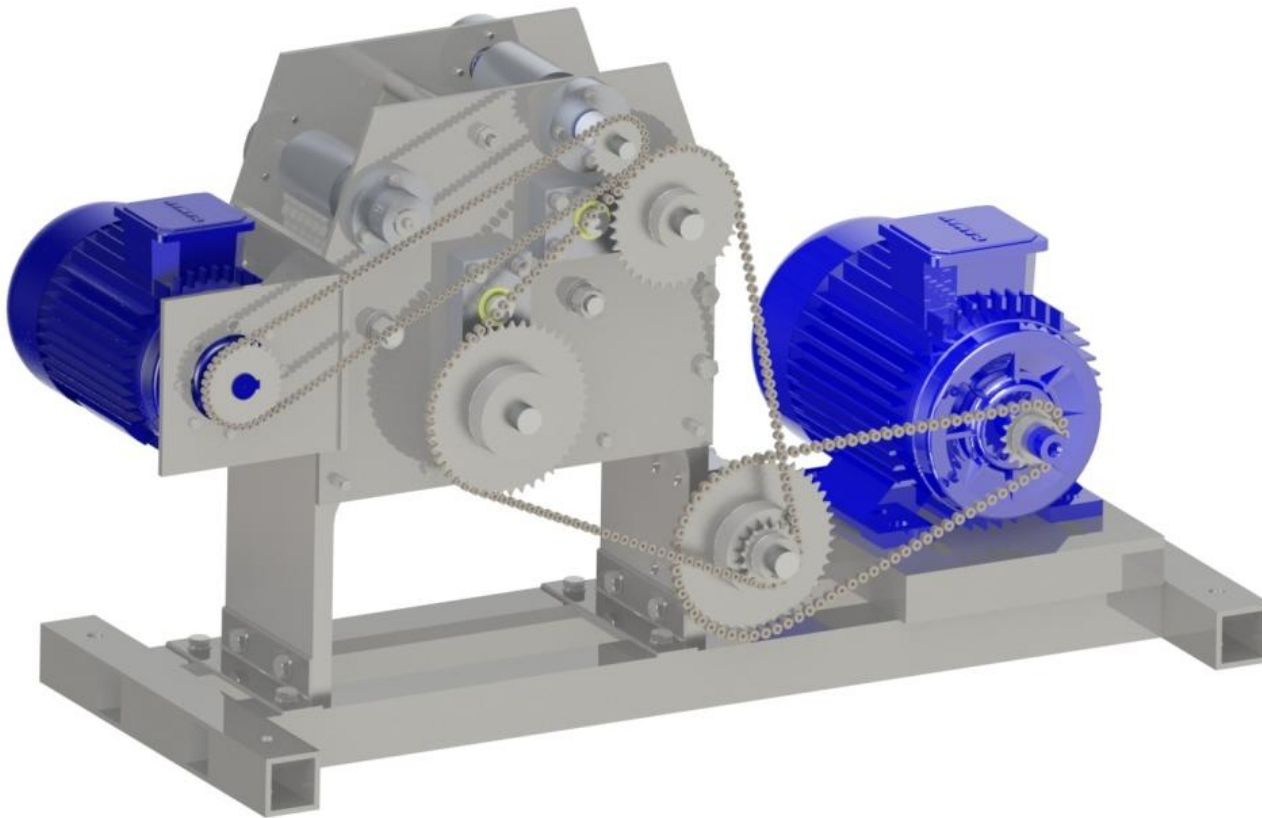
Σχήμα 37 : Δοχείο συλλογής

Παρουσιάστηκε λοιπόν περιληπτικά άλλη μία σχεδίαση που έγινε. Η διάταξη που παρουσιάστηκε μπορεί να έχει βελτιωθεί ως προς την πολυπλοκότητα αλλά εξακολουθεί να έχει στοιχεία τα οποία χρήζουν βελτίωσης (όπως είναι το δοχείο συλλογής). Όπως επίσης η μετάδοση της κίνησης αλλά και η περισυλλογή του τελικού υφάσματος.

5. Τελικός σχεδιασμός

5.1 Γενικά

Έπειτα από τους εναλλακτικούς σχεδιασμούς που επιχειρήθηκαν ο μηχανισμός τελικά πήρε τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα.



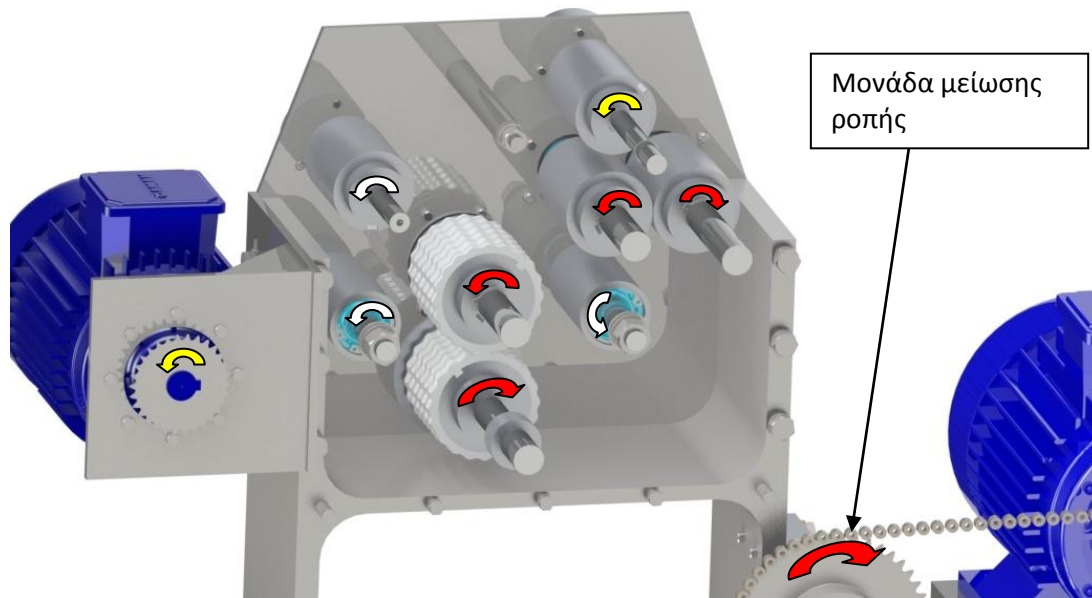
Σχήμα 38 : Τελική σχεδίαση συσκευής εμποτισμού

Η ιδέα ήταν να απλουστευθεί όσο γίνεται περισσότερο η πολυπλοκότητα της κατασκευής και αυτό επιτεύχθηκε σε σημαντικό βαθμό όπως θα φανεί και στην επεξήγηση που θα ακολουθήσει για τις λεπτομέρειες πίσω από την επιλογή του καθενός εξαρτήματος.

Η μετάδοση της κίνησης στους τροχούς γίνεται μέσω αλυσοκίνησης η οποία συνδέει τους τροχούς διαμόρφωσης, αποδιαμόρφωσης και τον κινητήρα, όπως παρουσιάζεται με τα βέλη στην εικόνα στην οποία παρουσιάζεται το εσωτερικό του μηχανισμού. Επιπροσθέτως

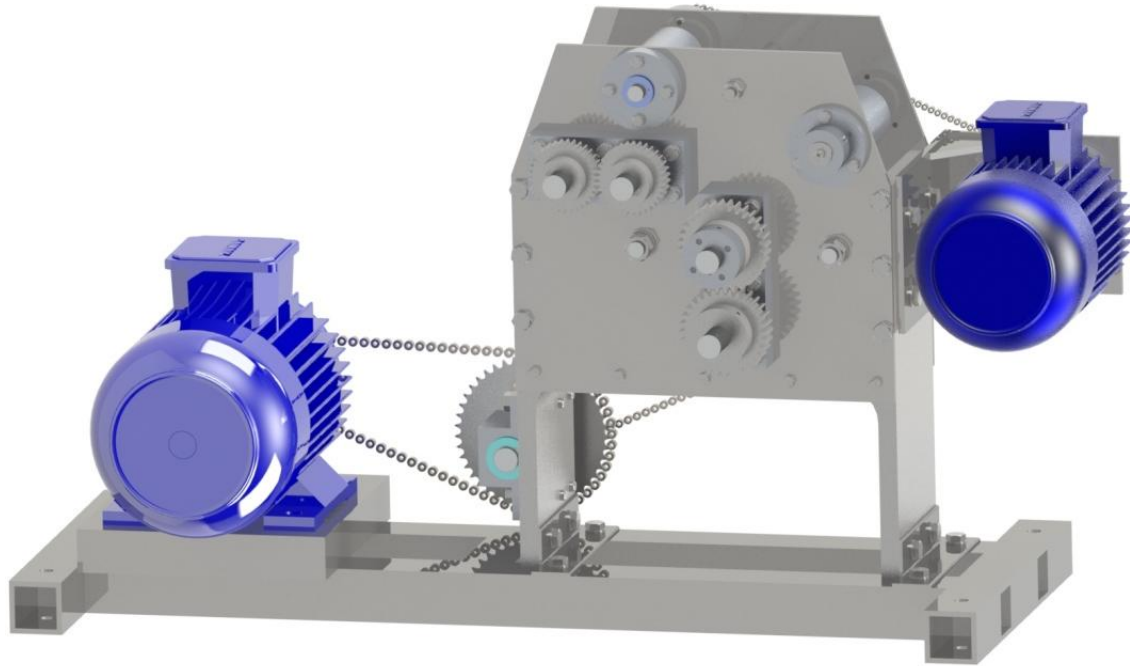
Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

όμως έχει τοποθετηθεί μία ακόμη μονάδα, μέσω της οποίας αυξάνεται η ολική σχέση μετάδοσης, με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής των τροχών διαμόρφωσης αλλά κυρίως την μείωση της απαιτούμενης ροπής στον κινητήρα, ώστε ο υπάρχον να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του πειράματος. Με κόκκινα βέλη παρουσιάζονται οι φορές περιστροφής των τροχών οι οποίοι κινούνται μέσω του κυρίως κινητήρα, με τα λευκά αυτές των ελεύθερων τροχών και τέλος με κίτρινο αυτές των στοιχείων περισυλλογής του εμποτισμένου ινώδους υλικού.



Σχήμα 39 : Εσωτερικό μέρος συσκευής

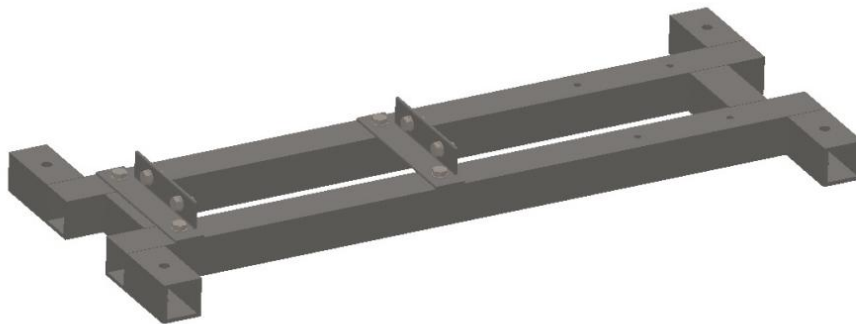
Για τη μετάδοση της κίνησης στο δεύτερο μέλος των δύο ζευγών τροχών (τροχοί διαμόρφωσης και τροχοί αποδιαμόρφωσης) τοποθετήθηκαν δύο ζεύγη όμοιων μετωπικών οδόντων. Μεταφέρεται έτσι τη ροπή με σχέση μετάδοσης 1:1 και εξασφαλίζεται η απόλυτα συγχρονισμένη κίνηση των τροχών.



Σχήμα 40: Πίσω όψη συσκευής - Μετάδοση κίνησης στα δεύτερα μέλη των ζευγών

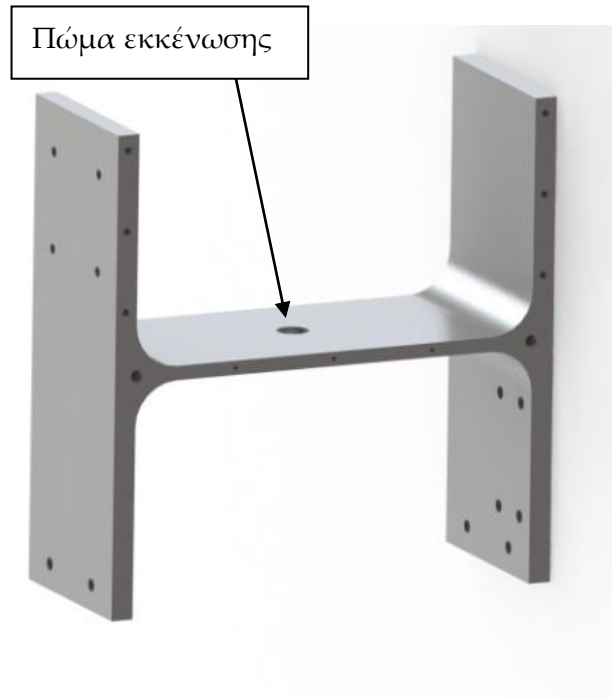
5.2 Επιμέρους στοιχεία της συσκευής

Το πρώτο μέρος της κατασκευής που θα αναφερθεί είναι η βάση της A1, η οποία αποτελείται κομμάτια τετράγωνων δοκών (προφίλ) 40x40 και πάχους 4 χιλιοστών, τα οποία έχουν συγκολληθεί προσδίδοντας στιβαρότητα. Στην βάση υπάρχουν επίσης δύο γωνίες ισοσκελής 30x30 με πάχος 3 χιλιοστών. Για την προσάρτηση των μερών του μηχανισμού στη βάση αλλά και του συνόλου του σε τραπέζι εργασιών δημιουργήθηκαν κατάλληλες οπές.



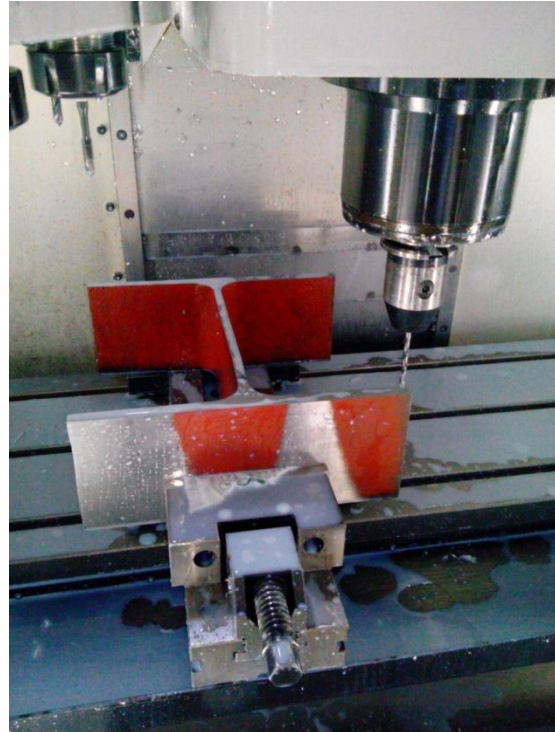
Σχήμα 41: Βάση συσκευής

Το βασικό και χαρακτηριστικό σημείο της τελικής σχεδίασης είναι η χρησιμοποίηση μίας δοκού πλατύπελμης HEA υλικού ST 44-2 με διαστάσεις 290X300X12, η οποία χάρη της μορφής της λειτουργεί τόσο ως το πλαίσιο στήριξης όλων των εξαρτημάτων όσο και ως δεξαμενή με την προσάρτηση δύο και μόνο πλακών παράλληλα στα πρόσωπα της δοκού.



Σχήμα 42 : Δοκός HEA

Η δοκός αυτή ήταν εύκολο να βρεθεί στο εμπόριο και παράλληλα προσδίδει στον μηχανισμό μια πολύ καλή στιβαρότητα καθώς το βάρος της ξεπερνά τα 10 κιλά. Για την προετοιμασία της δοκού HEA απαιτήθηκε η κατεργασία των επιφανειών των δύο ελεύθερων πλευρών στις οποίες τοποθετούνται τα ελάσματα σε φρέζα, εικόνα 43, έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμόσουν οι δύο ελάσματα. Επίσης στις δύο αυτές παράλληλες επιφάνειες δημιουργήθηκαν τυφλές οπές σπειρωμάτων για την συγκράτηση των πλακών αλλά και τέσσερις τυφλές οπές για πείρους, οι οποίοι αναλαμβάνουν την παραλαβή των περισσότερων φορτίων καθώς επίσης και το κλείδωμα των θέσεων των πλακών. Έγιναν επιπρόσθετα οπές για την συγκράτηση της Δοκού HEA στην βάση του μηχανισμού και των λοιπών εξαρτημάτων που εδράζονται σε αυτό και θα παρουσιαστούν παρακάτω αναλυτικά. Τέλος δημιουργήθηκε μία οπή στο κέντρο της, όπου θα τοποθετείται ένα πώμα, με σκοπό την εκκένωση της ρητίνης μετά το τέλος του πειράματος.



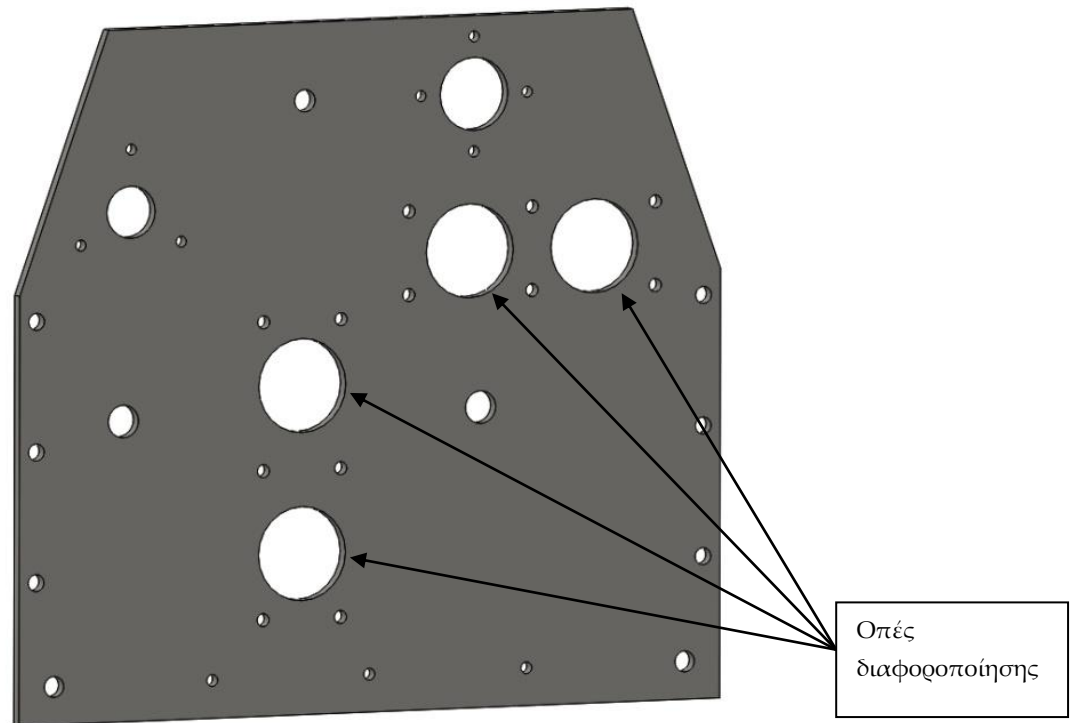
Σχήμα 43: Κατεργασίες δοκού HEA

Ελάσματα στήριξης

Επόμενο και εξίσου κεντρικό μέλος του μηχανισμού οι δύο ελάσματα οι οποίες τοποθετούνται παράλληλα στα πρόσωπα της δοκού HEA. Αποτελούν τόσο τα στοιχεία που εδράζονται όλα τα κουζινέτα των αξόνων της συσκευής όσο και τις δύο πλευρές της δεξαμενής, όπως αυτή παρουσιάζεται στους πρώτους σχεδιασμούς που αναφέρθηκαν. Οπότε ουσιαστικά αφαιρείται ολόκληρη η κατασκευή της δεξαμενής χρησιμοποιώντας το συνδυασμό της Δοκού HEA με τα δύο αυτά ελάσματα. Τα ελάσματα είναι ελάσματα χάλυβα St37-2 «μαύρες» των 5mm, έχουν διαστάσεις 290x234 και βάρος 2,2 κιλών η κάθε μία. Οι ελάσματα έγιναν από χαλυβδόφυλλο το οποίο κόπηκε περιμετρικά στις επιθυμητές διαστάσεις και κατόπιν δημιουργήθηκαν οι οπές και τα σπειρώματα. Για την έδραση και έλεγχο της θέσεως των πλακών στην δοκό ανοίχτηκαν δύο οπές διαμέτρου 8mm και ανοχής H7 όπου τοποθετήθηκαν αντίστοιχοι πείροι. Για τη συγκράτηση αυτών δημιουργήθηκαν περιμετρικά ελεύθερες οπές για την εισχώρηση των κοχλιών. Έγιναν επίσης οπές για την έδραση όλων των κουζινέτων των αξόνων αλλά και οπές με κατάλληλα σπειρώματα για την συγκράτηση των κουζινέτων αυτών. Επιλέχθηκαν σπειρώματα και όχι περαστοί κοχλίες για λόγους ευκολίας συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης των κουζινέτων αυτών. Τέλος ανοίχτηκαν οπές για τους αποστάτες

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

στήριξης. Όλες οι παραπάνω κατεργασίες πραγματοποιήθηκαν σε CNC κέντρο κατεργασίας. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο παράλληλων πλακών είναι οι διαμέτροι των τεσσάρων οπών όπου εδράζονται τα δύο ορθογώνια έδρανα αξόνων όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.



Σχήμα 44: Ελάσματα στήριξης

Μετά τις ελάσματα ακολουθούν τα επιμέρους στοιχεία του μηχανισμού. Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυσή τους θα αναφερθεί το νέο στοιχείο του σχεδιασμού αυτού όσο αναφορά τα κουζινέτα έδρασης των αξόνων τα οποία τοποθετούνται στις δύο ελάσματα. Το στοιχείο αυτό είναι η δημιουργία κυλινδρικής μορφής έδρασης (ποτηριού), εικόνα, με σκοπό μέσω της τοποθέτησής του στις αντίστοιχες οπές των πλακών να επιτυγχάνεται η εξασφάλιση της μη μετακίνησης, άρα το

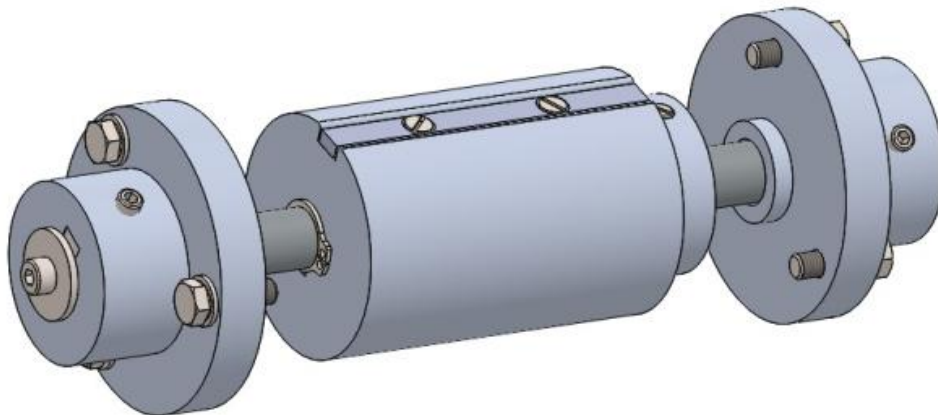


Σχήμα 45: Κουζινέτα έδρασης

κλείδωμα των θέσεων τους. Επίσης με αυτή τη σχεδίαση τα ακτινικά φορτία των αξόνων μεταφέρονται μέσω των εδράσεων αυτών και όχι μέσω των κοχλιών, όπως προηγουμένως.

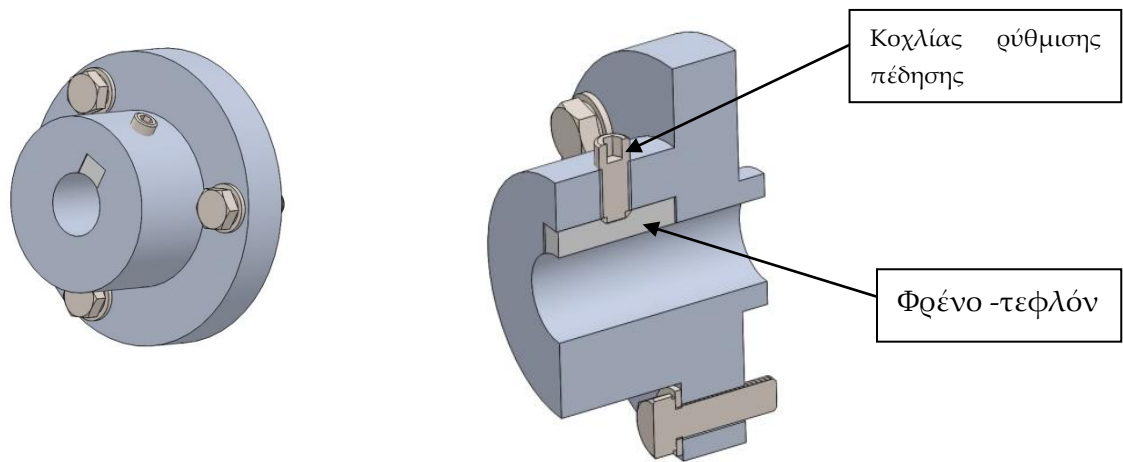
Τροφοδοσία υφάσματος

Ας ξεκινήσουμε λοιπόν τώρα με τα επιμέρους μέρη της διατάξεως από το σύστημα A4 που αποτελεί το μηχανισμό τροφοδοσίας υφάσματος.



Σχήμα 46: Μονάδα τροφοδοσίας υφάσματος

Το κουζινέτο έδρασης του άξονα τροφοδοσίας αλλά και πέδησης αυτού παρουσιάζεται στην, σχήμα 47. Αποτελείται από το κυρίως σώμα του εδράνου το οποίο είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο 6082, με κατεργασία σε τόρνο. Το λευκό κομμάτι είναι από τεφλόν και είναι το φρένο του άξονα. Εδράζεται στην σφηνάλακα του κουζινέτου που έχει δημιουργηθεί και μέσω ακέφαλου κοχλίας ο οποίος μπορεί να ρυθμίζει την πίεση επιφανείας που θα ασκείται στον άξονα, ελέγχοντας έτσι το επίπεδο πέδησης του τροχού τροφοδοσίας.



Σχήμα 47: Κουζινέτο έδρασης – πέδησης

Στον άξονα του τροχού τροφοδοσίας έχουν δημιουργηθεί εκατέρωθεν τυφλά σπειρώματα για τον έλεγχο της θέσης του. Επίσης δημιουργήθηκαν μία σφηνάλακα και δύο εγκοπές για την έδραση και συγκράτηση αντίστοιχα μέσω σφήνας και ασφαλειών άξονος. Ο άξονας του τροχού τροφοδοσίας όπως επίσης και των υπολοίπων τροχών στους οποίους υφίσταται περιστροφική κίνηση είναι υλικού χάλυβα CK45 επιχρωμιωμένου με βάθος επιχρωμίωσης στα 20-30μm και ανοχή διαμέτρου f7 κατά ISO.



Σχήμα 48: Άξονας τροφοδοσίας

Ο τροχός τροφοδοσίας τροφοδοσίας, στον οποίο θα περιελίσσεται το ινώδες υλικό ενίσχυσης που θα απαιτείται για την πειραματική διαδικασία, δεν έχει διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη σχεδίαση. Είναι φτιαγμένος από αλουμίνιο 6082 όπως και το έλασμα συγκράτησης του υφάσματος, το οποίο συγκρατείται πάνω στον άξονα με δύο κοχλίες φρεζάτους M3.



Σχήμα 49: Τροχός τροφοδοσίας

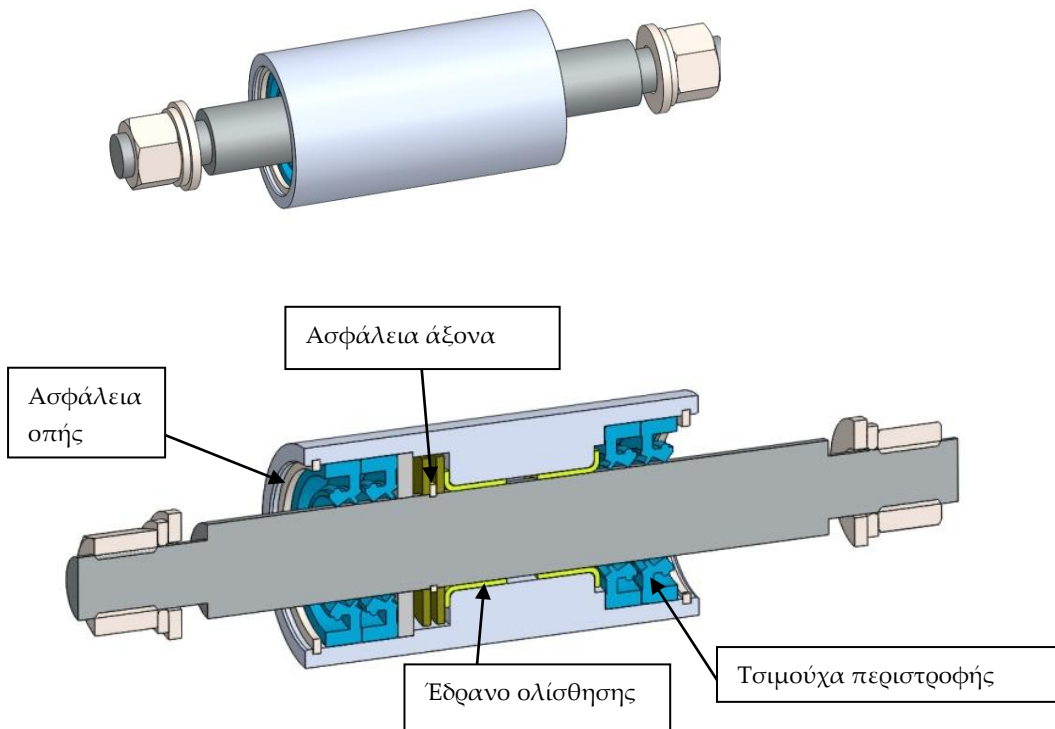
Ελεύθεροι Τροχοί - Αποστάτες

Για την υποστήριξη των πλακών στο πάνω μέρος όπου οι ελάσματα προεξέχουν λόγω της διαφοράς ύψους σε σχέση με τη Δοκού ΗΕΑ χρησιμοποιήθηκε αποστάτης Α5. Η κατασκευή του ήταν απλή με χρήση τόρνου και το υλικό κατασκευής του είναι χάλυβας St37-2. Το κλείδωμα του πάνω στις ελάσματα γίνεται με δύο περικόχλια M12, σχήμα 50.



Σχήμα 50: Αποστάτης στήριξης

Για την αλλαγή κατεύθυνσης του υφάσματος ώστε αυτό να εισέρχεται και να εξέρχεται από τους τροχούς διαμόρφωσης περνώντας από το κέντρο του διακένου που έχει σχεδιαστεί, δημιουργήθηκαν δύο ελεύθεροι τροχοί κύλισης Α6, όπως και στους πρώτους σχεδιασμούς. Για να μην σχεδιαστεί κάποιο κουζινέτο στήριξης των αξόνων τους αλλά και για να προστεθεί επιπλέον στήριξη στις ελάσματα, σχεδιάστηκαν τα άκρα των αξόνων όμοια με αυτά του αποστάτη που παρουσιάστηκε παραπάνω. Έτσι ο άξονας τους λειτουργεί και ως αποστάτης στήριξης. Για τους ελεύθερους τροχούς κύλισης κατασκευάστηκαν δύο κύλινδροι αλουμινίου 6082 οι οποίοι εσωτερικά διαθέτουν δύο έδρανα ολίσθησης γραφιτούχα για την ολίσθηση τους πάνω στους άξονες. Η στεγανοποίηση τους γίνεται με διπλές περιστροφικές τσιμούχες NBR και η θέση τους πάνω στους άξονες ορίζεται μέσω της ασφάλειας άξονα που έχει τοποθετηθεί στην εγκοπή αυτού. Επίσης τοποθετήθηκαν δύο ασφάλειες οπής εσωτερικά του κυλίνδρου-τροχού για την ασφάλισή των τσιμουχών αυτών. Για την αποφυγή ολίσθησης της ασφάλειας άξονα τα έδρανα ολίσθησης ή τις τσιμούχες τοποθετήθηκαν δύο ροδέλες ολίσθησης των οποίων η μία πλευρά (στην συγκεκριμένη περίπτωση όχι αυτή που έρχεται σε επαφή με την ασφάλεια) έχει επικάλυψη γραφίτη. Τέλος για την αποσυναρμολόγηση του τροχού κατασκευάστηκαν ροδέλες οι οποίες διευκολύνουν την απεμπλοκή των τσιμουχών της μίας πλευράς άρα και την απελευθέρωση τελικά όλου του τροχού.



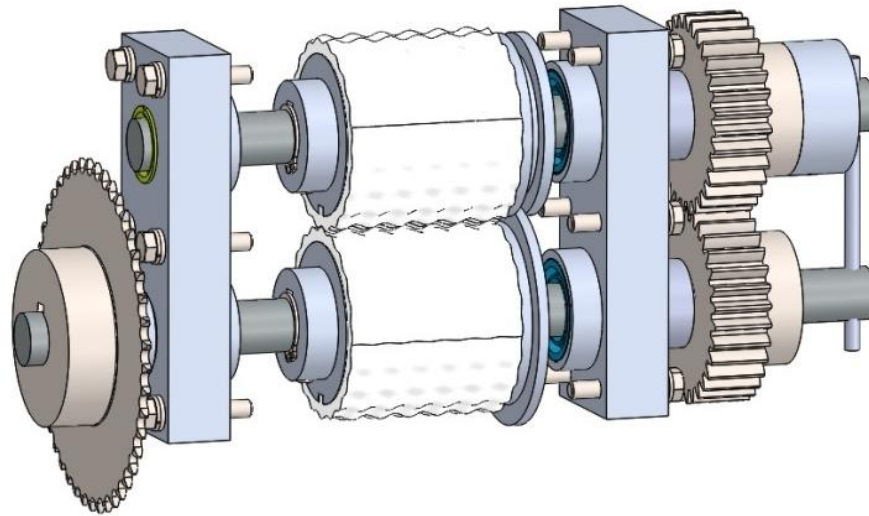
Σχήμα 51: Τροχοί αλλαγής κατεύθυνσης - αποστάτες στήριξης

Τροχοί διαμόρφωσης

Προχωρώντας στα επόμενα μέλη του μηχανισμού εξετάζεται το σύστημα των τροχών διαμόρφωσης. Οι βασικές απαιτήσεις των τροχών διαμόρφωσης είναι τρεις:

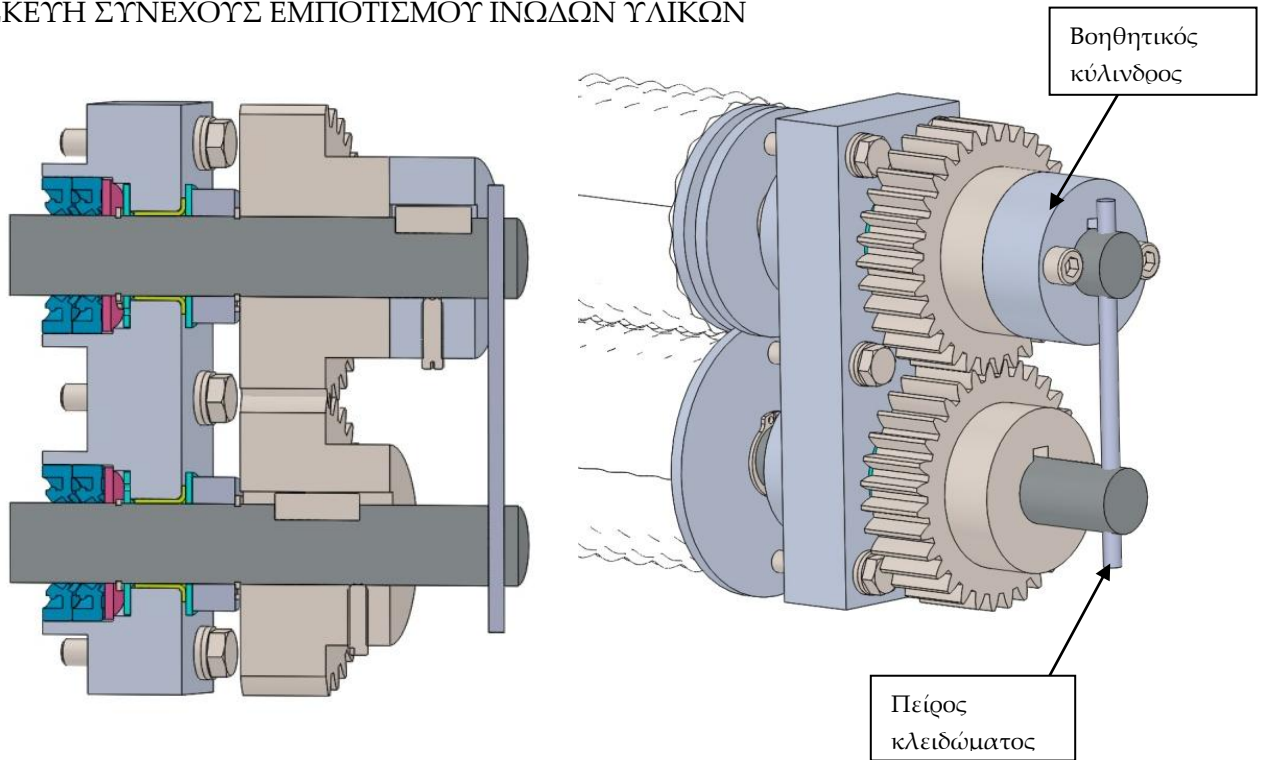
1. Ο απόλυτος συγχρονισμός στην περιστροφική κίνηση των δύο τροχών
2. Η σταθερή και παράλληλη απόσταση των αξόνων τους και
3. Η αξονική θέση του ενός σε σχέση με τον άλλο

Για την πρώτη περίπτωση η λύση δόθηκε μεταδίδοντας την κίνηση μεταξύ τους με μετωπικούς οδοντωτούς τροχούς. Το πρόβλημα όμως που εμφανίστηκε ήταν ότι, η έδραση των τροχών στους άξονες τους γίνεται μέσω σφηνών, με σφήνες όμως πρέπει να εδραστούν τόσο ο αλυσοτροχός, που λαμβάνει κίνηση από τον κινητήρα, όσο και οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί. Άρα απαιτείται να έχει γίνει ακριβής σχεδιασμός και κατασκευή των σφηνών ώστε κατά την τοποθέτηση όλων τόσο τα μετωπικά γρανάζια όσο και οι τροχοί διαμόρφωσης να βρίσκονται σε συγκεκριμένη θέση.



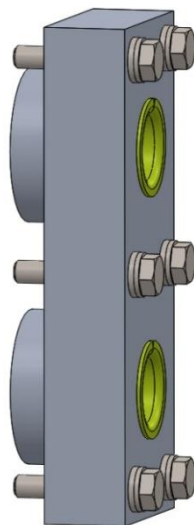
Σχήμα 52: Σύστημα αξόνων, εδράσεων των τροχών διαμόρφωσης

Δηλαδή αν τα γρανάζια συνεργάζονται σε θέση έστω και 0.3mm διαφορετική από αυτήν που σχεδιάστηκε το διάκενο μεταξύ των τροχών διαμόρφωσης στην περιφέρεια θα μειωθεί εξίσου κατά την ίδια τιμή, αφού τα γρανάζια με τους τροχούς διαμόρφωσης έχουν την ίδια διάμετρο, με αποτέλεσμα στο σημείο εκείνο το ινώδες υλικό ενίσχυσης στην ευνοϊκότερη των περιπτώσεων να συμπιέζεται παραπάνω απ'όσο απαιτείται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται πιθανές αστοχίες στις ίνες άρα και στο τελικό προϊόν. Ενώ αν η παραπάνω απόκλιση είναι μεγαλύτερη οι τροχοί θα έρχονται σε επαφή, το οποίο θα είναι καταστροφικό. Η λύση δόθηκε δημιουργώντας δύο οπές διαμπερείς ανοχής H7 στους άξονες (στο ίδιο επίπεδο με τις σφήνες), αφαιρώντας τη σφήνα από τον ένα μετωπικό τροχό και σχεδιάζοντας ένα επιπλέον κύλινδρο, ο οποίος θα συνδέεται μέσω σφήνας με τον άξονα. Έτσι περνώντας έναν πείρο από τους άξονες έχουμε κλειδώσει την επιθυμητή θέση των τροχών. Έπειτα τοποθετούνται τα δύο γρανάζια, εκ των οποίων μόνο το ένα διαθέτει σφήνα, και ρυθμίζεται η θέση στην οποία θα είναι σε επαφή, κλειδώνοντας τα προσωρινά με τα ακτινικά σπειρώματα που διαθέτουν. Στη συνέχεια τοποθετείται ο βοηθητικός κύλινδρος με σφήνα στον άξονα και κολλητά με το ελεύθερο γρανάζι. Στον κύλινδρο αυτόν έχουν ανοιχτεί διαμπερείς οπές και έπειτα με οδηγούς τις οπές αυτές δημιουργήθηκαν σπειρώματα στο μέτωπο του γραναζιού. Τέλος με δύο κοχλίες κλειδώνεται ο κύλινδρος αυτός με το γρανάζι οπότε εξασφαλίζεται η πρώτη απαίτηση.



Σχήμα 53: Συγχρονισμός περιστροφικής κίνησης τροχών

Η δεύτερη απαίτηση σταθερής και παράλληλης απόστασης των αξόνων των δύο τροχών διαμόρφωσης λύθηκε με κατάλληλη σχεδίαση τόσο των κουζινέτων των αξόνων όσο και της συναρμολόγησης της δοκού με τις ελάσματα. Πιο συγκεκριμένα αντί να σχεδιαστεί ένα κουζινέτο για κάθε άξονα, σχεδιάστηκε ένα κουζινέτο στο οποίο εδράζονται και οι δύο άξονες.



Σχήμα 54: Κουζινέτο αξόνων τροχών διαμόρφωσης

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Έτσι εξασφαλίζεται ότι οι άξονες έχουν σταθερή και παράλληλη απόσταση μεταξύ τους. Πρέπει να αναφερθεί φυσικά ότι η σχεδίαση αυτή των κουζινέτων απαιτεί την ακριβή συναρμολόγηση των πλακών πάνω στη Δοκού ΗΕΑ ώστε οι οπές των δύο κουζινέτων που είναι αντικριστά μεταξύ τους με απόλυτη ευθυγράμμιση. Αυτό επιτυγχάνεται με τους εξής χειρισμούς: Σε πρώτη φάση γίνονται οπές στη δοκού ΗΕΑ για τη συναρμολόγηση των πλακών από τη μία πλευρά και τοποθετούνται οι πείροι. Σχεδιάζεται μία βοηθητική πλάκα η οποία κατεργάζεται ώστε να τρυπηθούν τέσσερις οπές, δύο για τους πείρους με ποιότητα Η7 και δύο για περαστούς κοχλίες. Χωρίς να μετακινηθεί η πλάκα αυτή τοποθετούνται οι δύο πείροι στις θέσεις τους και μετέπειτα η δοκού ΗΕΑ στους πείρους αυτούς. Έτσι έχοντας ορίσει το επίπεδο Χ,Υ για το CNC τρέχουμε το πρόγραμμα για τις οπές της πρώτης φάσης ξανά αλλά αυτή τη φορά για το απέναντι πρόσωπο της δοκού ΗΕΑ. Έτσι έχει εξασφαλιστεί οι οπές για την έδραση των πλακών αλλά και των κουζινέτων σε αυτές να είναι ανεξάρτητες από τις τυχόν αποκλίσεις που έχει η δοκού ΗΕΑ. Επίσης στα κουζινέτα σχεδιάστηκε η έδρασή τους να γίνεται μέσω των «ποτηριών» ώστε να εξασφαλίζεται απόλυτα η θέση τους και η συγκράτησή τους από τους κοχλίες οι οποίοι βιδώνονται στη δοκού ΗΕΑ. Οι δύο ελάσματα διαφέρουν μεταξύ τους όπως αναφέρθηκε παραπάνω καθώς για να περιορισθεί η μετακίνηση των αξόνων έχει τοποθετηθεί ασφάλεια στον άξονα μία ροδέλα ολίσθησης ώστε να μην ολισθαίνει η ασφάλεια στο κουζινέτο και άλλη μια ροδέλα για την αποσυναρμολόγηση των τσιμούχων, οποίες αποτρέπουν την διαρροή της ρητίνης. Τέλος η ολίσθηση των αξόνων στα κουζινέτα γίνεται μέσω εδράνων ολίσθησης (γραφιτούχα).



Σχήμα 55: Έδρανο ολίσθησης



Σχήμα 56: Τσιμούχα περιστροφής

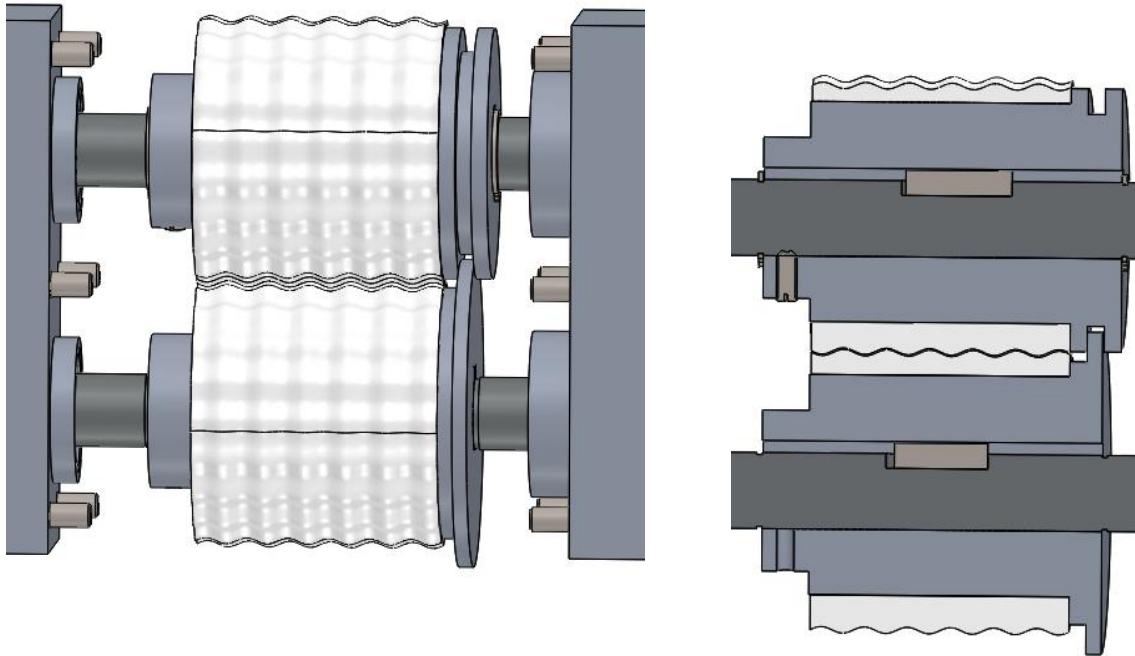


Σχήμα 57: Ροδέλα ολίσθησης

Για την τρίτη απαίτηση σχεδιάστηκαν κατάλληλα οι βάσεις-κύλινδροι, αλουμινίου 6082, τοποθέτησης των οδοντωτών τροχών διαμόρφωσης. Λόγω του διακένου, του υφάσματος αλλά κυρίως του ρευστού κατά την διεργασία η κίνηση των δύο τροχών διαμόρφωσης στο επίπεδο αυτό θα τείνει να συγχρονίζεται από μόνη της (να διατηρείται δηλαδή σταθερό το διάκενο από το οποίο θα διέρχεται το ινώδες υλικό ενίσχυσης) καθώς δημιουργείται ένα φιλμ ρευστού ανάμεσα στους δύο τροχούς και το διερχόμενο ινώδες υλικό ενίσχυσης. Για

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

να διασφαλιστεί όμως ότι η σχετική μετατόπιση των τροχών δεν θα επιφέρει σύγκρουση μεταξύ των οδόντων σε αξονικό επίπεδο, σχεδιάστηκε οδήγηση που έχουν ανοχές διαστάσεων τέτοιες ώστε να επιτρέπουν στον ένα τροχό οποίος να μετακινηθεί σε σχέση με τον άλλο 0,35 mm εκατέρωθεν από την θέση απόλυτου συγχρονισμού. Οι τροχοί εδράζονται στους άξονες με σφήνες και περιορίζονται αξονικά με ασφάλειες.

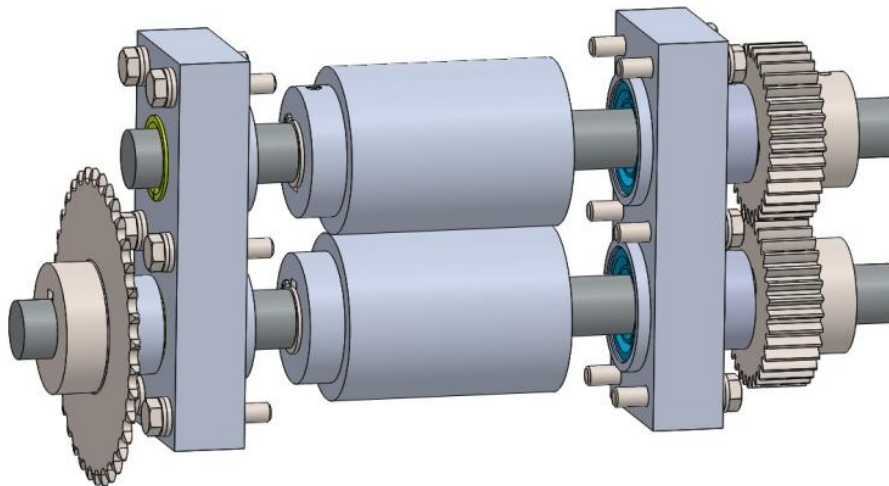


Σχήμα 58: Οδήγηση περιορισμού της αξονικής μετακίνησης μεταξύ των οδοντωτών

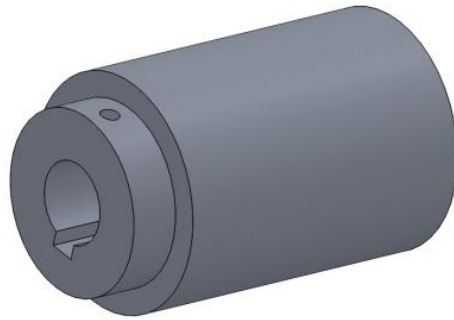


Τροχοί αποδιαμόρφωσης

Επόμενο σύστημα που εξετάζεται είναι αυτό των τροχών αποδιαμόρφωσης. Οι απαιτήσεις σε αυτούς είναι όμοιες σε σχέση με τις δύο πρώτες απαιτήσεις των τροχών διαμόρφωσης και ακολουθήθηκαν οι ίδιοι τρόποι αντιμετώπισης όπως παρουσιάζονται και στις εικόνες που ακολουθούν.



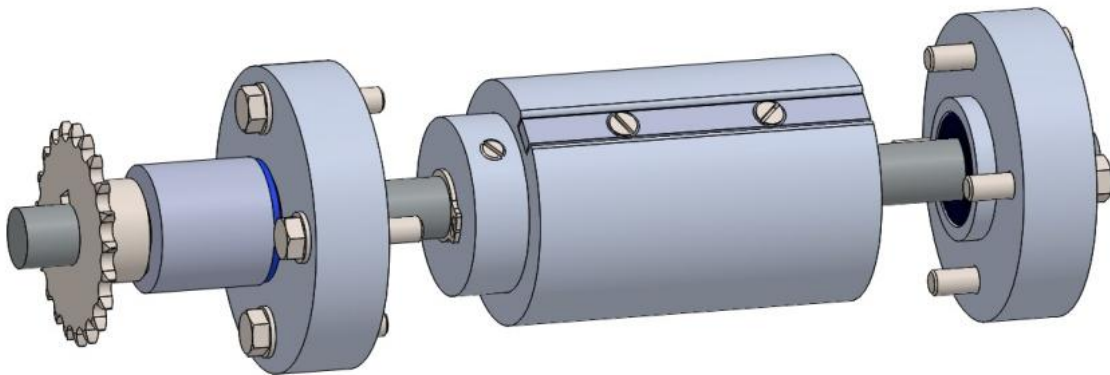
Σχήμα 59: Συναρμολόγηση τροχών αποδιαμόρφωσης

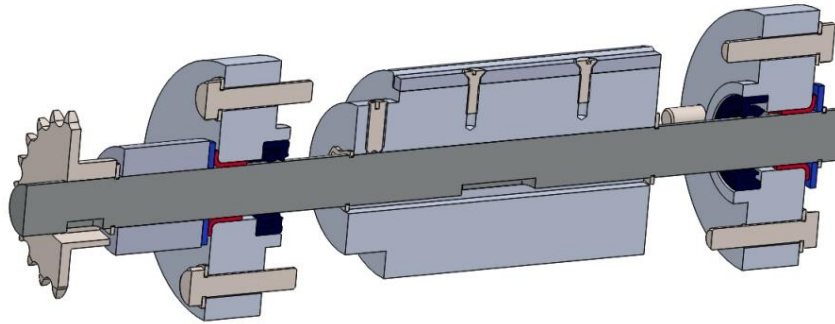


Σχήμα 60: Τροχοί αποδιαμόρφωσης

Μονάδα περιέλιξης του εμποτισμένου υφάσματος

Συνεχίζοντας την ανάλυση του σχεδιασμού ακολουθεί η μονάδα περιέλιξης του εμποτισμένου υφάσματος.





Σχήμα 61: Μονάδα περιέλιξης του εμποτισμένου υφάσματος

Για την λειτουργία αυτή απαιτείται η χρήση ενός κινητήρα χαμηλής ισχύος, ο οποίος θα αναλαμβάνει μέσω αλυσοκίνησης να δίνει την απαραίτητη ροπή στον άξονα, κρατώντας όμως την τιμή της ροπής σε χαμηλά επίπεδα ώστε να μην εφελκύνει το ινώδες υλικό ενίσχυσης αλλά απλώς να περισυλλέγει αυτό που εξέρχεται από τους τροχούς αποδιαμόρφωσης. Το πρόβλημα σε αυτό το ζήτημα είναι ότι καθώς το ινώδες υλικό ενίσχυσης που περισυλλέγεται αυξάνει, αυξάνεται και η διάμετρος του τροχού περιέλιξης. Για την λειτουργία του κινητήρα που συνεργάζεται με τον άξονα της μονάδας αυτής ακολουθεί ανάλυση σε επόμενο κεφάλαιο, και αναλύεται η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού.

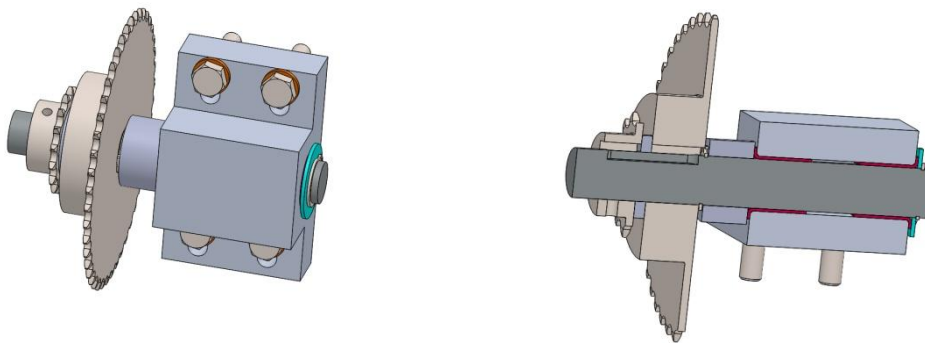
Στην μονάδα αυτή ο κύλινδρος-τροχός στον οποίο γίνεται η περιέλιξη είναι ίδιος με αυτόν της τροφοδοσίας και εδράζεται πάνω στον άξονα μέσω σφήνας. Τα κουζινέτα έδρασης του άξονα είναι σχεδιασμένα στην ίδια λογική με τα προηγούμενα. Η τοποθέτησή τους αλλά και η παραλαβή των όποιων φορτίων παράγονται τους γίνεται μέσω των ποτηριών και η συγκράτησή τους στις ελάσματα μέσω κοχλιοσυνδέσεων. Για την περιστροφική κίνηση του άξονα μέσα σε αυτά έχουν τοποθετηθεί έδρανα ολίσθησης (γραφιτούχα). Επίσης λόγω του ότι περισυλλέγεται εμποτισμένο ινώδες υλικό ενίσχυσης στον άξονα αυτόν, αν και δεν είναι εμβαπτισμένος στο ινώδες υλικό ενίσχυσης, τοποθετούνται τσιμούχες περιστροφής για την περίπτωση της εισχώρησης υπολειμμάτων ρητίνης στα έδρανα ολίσθησης. Τέλος για τον περιορισμό της αξονικής μετακίνησης τόσο του κυλίνδρου περιέλιξης όσο και του ίδιου του άξονα τοποθετήθηκαν ασφάλειες άξονα σε κατάλληλες θέσεις καθώς επίσης και γραφιτούχες ροδέλες για την αποφυγή ολίσθησης των ασφαλειών στα έδρανα ολίσθησης.



Σχήμα 62: Κουζινέτο και άξονας μονάδας περισυλλογής

Μονάδα μείωσης στροφών

Ακολουθεί η ανάλυση της σχεδίασης της μονάδας αύξησης σχέσης μετάδοσης, η οποία όπως αναφέρθηκε τοποθετείται με σκοπό την αύξηση του λόγου μετάδοσης από τους τροχούς διαμόρφωσης μέχρι τον κινητήρα έτσι ώστε να μειωθούν και οι στροφές περιστροφής στους τροχούς αλλά και να μειωθεί η απαιτούμενη ροπή στον κινητήρα. Για τις ανάγκες της μονάδας αυτής σχεδιάστηκε κουζινέτο το οποίο εδράζεται στη δοκό ΗΕΑ, με κοχλίες, έχοντας την δυνατότητα να ρυθμίζεται η ακριβής θέση του με σκοπό της τάνυσης της αλυσίδας κίνησης.

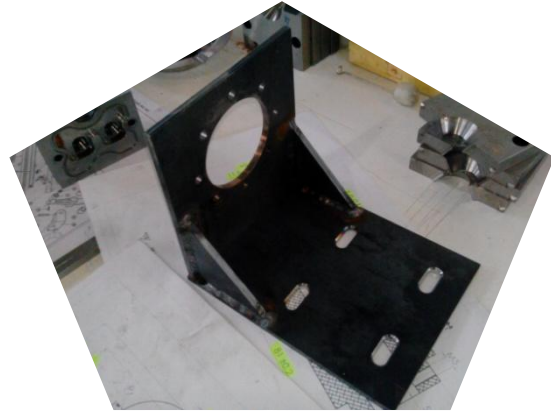


Σχήμα 63: Μονάδα μείωσης στροφών

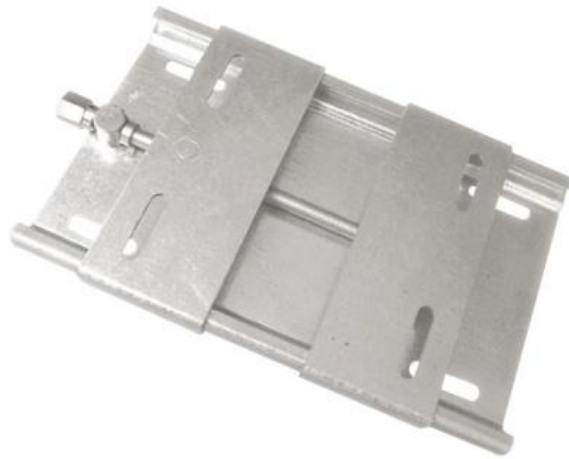
Για την κύλιση του άξονα τοποθετήθηκαν έδρανα ολισθήσεως, ενώ ασφάλειες άξονα περιορίζουν την μετακίνησή του. Για να αποφευχθεί οι ασφάλειες να ολισθαίνουν, τοποθετούνται γραφτιούχες ροδέλες ανάμεσά τους. Τέλος για την έδραση των γραναζιών στον άξονα χρησιμοποιήθηκαν σφήνες.

Βάσεις κινητήρων

Τέλος για τις βάσεις των κινητήρων, χρησιμοποιήθηκε για τον μεγάλο κινητήρα μία βάση ρυθμιζόμενη, σχήμα 65, η οποία ήταν διαθέσιμη στην αποθήκη του εργαστηρίου στοιχείων μηχανών και για τον μικρό ο οποίος τοποθετείται μέσω φλάντζας σχεδιάστηκε μία νέα, σχήμα 64. Η βάση αυτή είναι κατασκευασμένη από συγκολλητές ελάσματα χάλυβα (Μέθοδος TIG) των 5mm και οι οπές για την τοποθέτησή της στη δοκού HEA σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μπορεί να ρυθμιστεί η τελική θέση της για την τάνυση της αλυσίδας μετάδοσης κίνησης στον αλυσοτροχό της περιέλιξης του υφάσματος.



Σχήμα 64: Βάση κινητήρα περισυλλογής

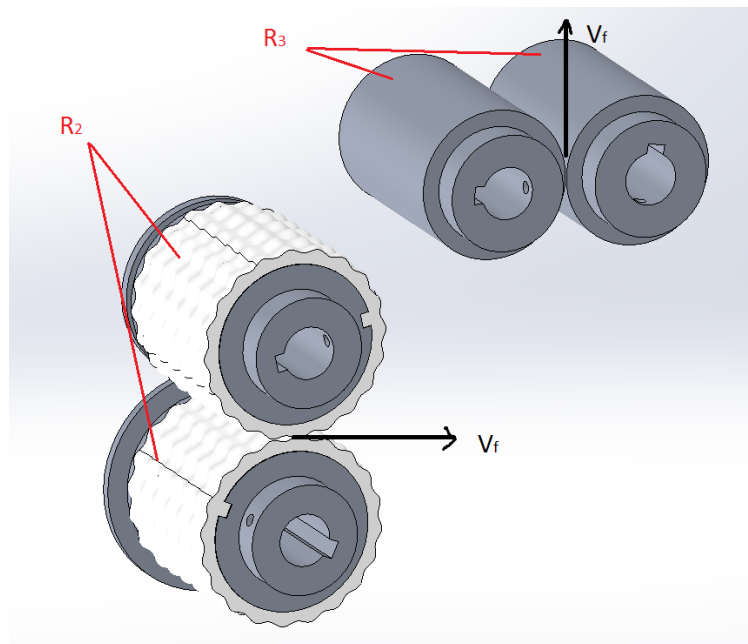


Σχήμα 65: Βάση κυρίως κινητήρα

6. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

6.1 Βασική προϋπόθεση

Από το σχεδιασμό που προέκυψε υπολογίζονται τα κινηματικά μεγέθη τόσο των ζεύγων τροχών όσο και της σχέσης του με τα στοιχεία μετάδοσης (αλυσοτροχοί).



Σχήμα 66: Κινηματική σχέση τροχών

Από το σχήμα 66 και έχοντας ως βασική προϋπόθεση ότι η περιφερειακή ταχύτητα των τροχών απαιτείται να είναι ίδια ώστε η κίνηση του υφάσματος να είναι ομαλή και συγχρονισμένη στα δύο ζεύγη τροχών, η σχέση μεταξύ των δύο ζευγών και των αλυσοτροχών τους είναι:

$$V_{U3} = \frac{2\pi n_3 R_3}{60} \quad (6.1)$$

$$V_{U2} = \frac{2\pi n_2 R_2}{60} \quad (6.2)$$

Γνωρίζοντας όμως ότι

$$\text{τότε } V_{U3} = V_{U2} = V_f \quad (6.3)$$

$$n_3 R_3 = n_2 R_2 \quad (6.4)$$

$$\frac{Z_3}{Z_2} = \frac{R_3}{R_2} \quad (6.5)$$

Άρα προκύπτει η σχέση που συνδέει τις διαμέτρους των τροχών με τους αντίστοιχους αλυσοτροχούς.

Έχοντας επιλέξει λοιπόν αρχικά την διάμετρο στους τροχούς διαμόρφωσης ίση με 64mm θα ήταν βολικό να εκλεγούν τροχοί αποδιαμόρφωσης με ίδια διάμετρο ώστε να υπάρξουν ακέραια τιμή στη σχέση μετάδοσης. Λόγω χωρικών θεμάτων (διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης εντός της HEA) πρέπει να εκλεγεί μικρότερη διάμετρος τροχών αποδιαμόρφωσης. Η εκλογή αυτή γίνεται μέσω της σχέσης 5, αφού εξεταστούν παράλληλα οι αλυσοτροχοί που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να είναι διαθέσιμοι στην αγορά.

6.2 Επιλογή στοιχείων μετάδοσης της κίνησης

Η επιλογή των αλυσοτροχών έγινε με γνώμονα την μεγιστοποίηση της σχέσης μετάδοσης έτσι ώστε να μειωθεί όσο είναι δυνατόν η απαιτούμενη ροπή στον κινητήρα. Επίσης λόγω του μεγέθους του μηχανισμού κρίνεται απαραίτητο να επιλεγούν αλυσοτροχοί με το μικρότερο δυνατόν βήμα για ομαλή λειτουργία της αλυσοκίνησης, καθώς αυξάνοντας το βήμα μειώνεται ο αριθμός των οδόντων. Σε πρώτη φάση επιλέχθηκαν αλυσοτροχοί με βήμα αλυσίδας 6mm, λόγω όμως του μεγέθους των αξόνων που προέκυψαν αλλά και του άξονα του κινητήρα επιλέχθηκαν τελικά αλυσοτροχοί με βήμα 8mm (05B DIN8187). Συγκεκριμένα το μέγεθος των αφαλών δεν ήταν ικανό για να υποστηρίξει τη δημιουργία σφηναυλάκων.

Με βάση τα παραπάνω επιλέχθηκε αλυσοτροχός για την τροφοδοσία του τροχού διαμόρφωσης με αριθμό οδόντων $Z=48$ και βήμα 8mm. Από τη σχέση 5 προκύπτει:

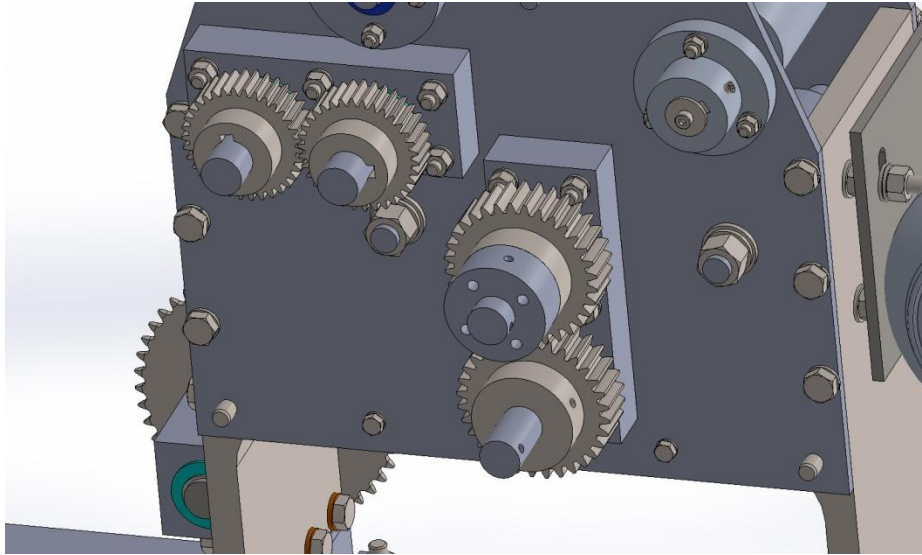
$$\frac{R_2}{Z_2} = \frac{32}{48} = \frac{2}{3} \quad (6.6)$$

Βάσει αυτού και της σχέσης 5 εκλέχθηκε λοιπόν για τους τροχούς αποδιαμόρφωσης:

$$\frac{R_2}{Z_2} = \frac{R_3}{Z_3} = \frac{24}{36} = \frac{2}{3} \quad (6.7)$$

Επομένως η διάμετρος των τροχών αποδιαμόρφωσης είναι ίση με 48mm.

Για την μετάδοση της κίνησης μεταξύ των δύο ζευγών τροχών (διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης) η οποία μέσω των αλυσοτροχών μεταδίδεται στο αντίστοιχο δεύτερο μέλος με οδοντωτούς τροχούς, Σχήμα 67. Η σχέση μετάδοσης του κάθε ζεύγους είναι ένα προς ένα και η απόσταση αξόνων ίση με μία διάμετρο συν το διάκενο οπότε η διάμετρος των μετωπικών γραναζιών θα είναι ίση με αυτή των τροχών που κινούν.



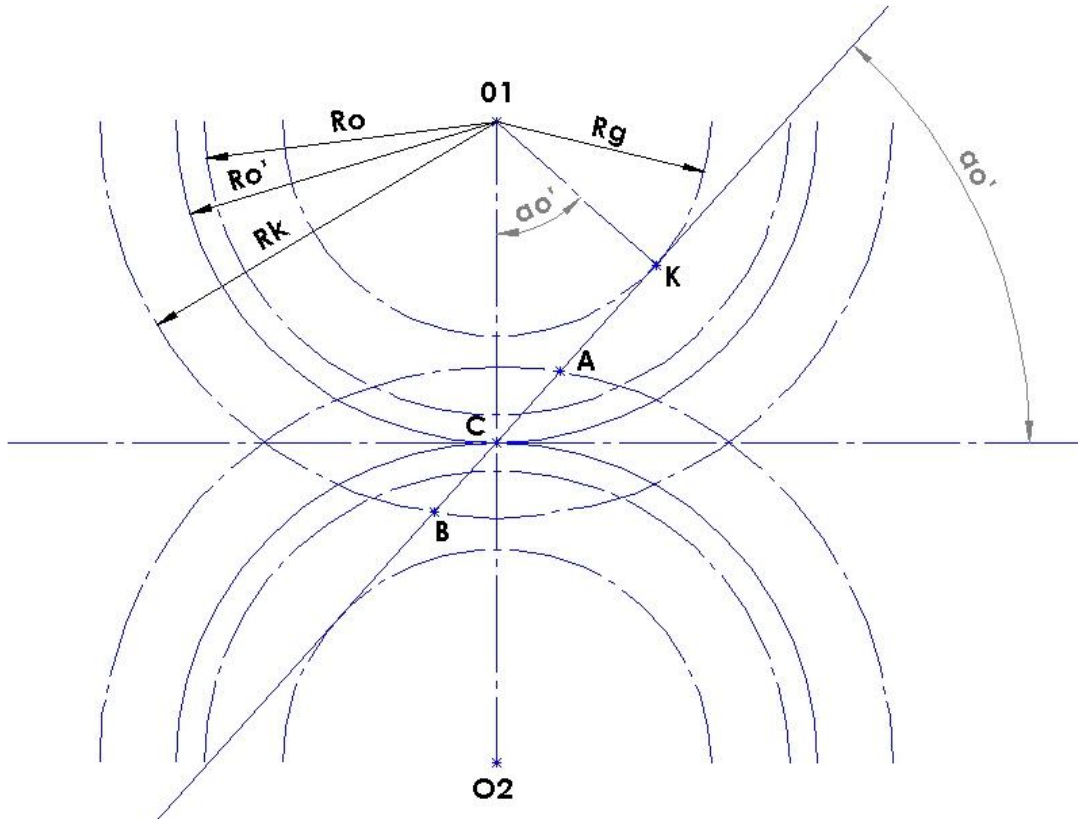
Σχήμα 67: Μετάδοση κίνησης μεταξύ των ζευγών

Έτσι για τους τροχούς διαμόρφωσης οι οποίοι έχουν αρχική διάμετρο $D_2 = 64\text{mm}$ και για αυτούς της αποδιαμόρφωσης οι οποίοι έχουν διάμετρο $D_3=48\text{mm}$ απαιτούνται μετωπικά γρανάζια με $D_0^{\text{ΔΙΑΜ}} = 64\text{mm}$ και $D_0^{\text{ΑΠΟΔ}}=48\text{mm}$ αντίστοιχα.

Τόσο για τους τροχούς αποδιαμόρφωσης όσο και για αυτούς της διαμόρφωσης έχει ήδη γίνει γνωστό ότι οι άξονες είναι μετατοπισμένοι κατά 0,34mm. Οπότε κρίνεται αναγκαίο να εξεταστεί η επίδραση της μετατόπισης αυτής στον βαθμό επικάλυψης του κάθε ζεύγους γραναζιών ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή τους λειτουργία.

Για τον υπολογισμό αυτόν σχεδιάζεται ένα ζεύγος τροχών, Σχήμα 68, στο οποίο έχουν μετατοπιστεί οι τροχοί κατά ΔX τέτοιο ώστε $R_0' = R_0 + \Delta X$.

Ο υπολογισμός λοιπόν του βαθμού επικάλυψης θα γίνει γεωμετρικά.



Σχήμα 68: Υπολογισμός βαθμού επικάλυψης

Για τον βαθμό επικάλυψης, γνωρίζουμε ότι:

$$\varepsilon = \frac{AB}{\pi * \text{module} * \cos \alpha o'} \quad (6.8)$$

$$AB = \sqrt{Rk^2 - Rg^2} - Ro' * \sin \alpha o' \quad (6.9)$$

$$\sin \alpha o' = \arcsin \left[\frac{Rg}{Ro + \Delta X} \right] \quad (6.10)$$

$$\mu\epsilon \quad AB = 2BC \quad , \quad \text{καθώς οι τροχοί είναι ίδιοι} \quad (6.11)$$

Επομένως

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Rk^2 - Rg^2} - Ro' * \sin \alpha o'}{\pi * \text{module} * \cos \alpha o'} \quad (6.12)$$

Έχοντας τον τύπο υπολογισμού του βαθμού επικάλυψης εκλέγονται τα δύο ζεύγη μετωπικών γραναζιών και υπολογίζεται ο βαθμός επικάλυψης και για τους δύο.

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για τους τροχούς διαμόρφωσης επιλέγονται γρανάζια με module 2 και $R_o = 32\text{mm}$. Γνωρίζοντας ότι $\Delta X = 0.17\text{mm}$ προκύπτει:

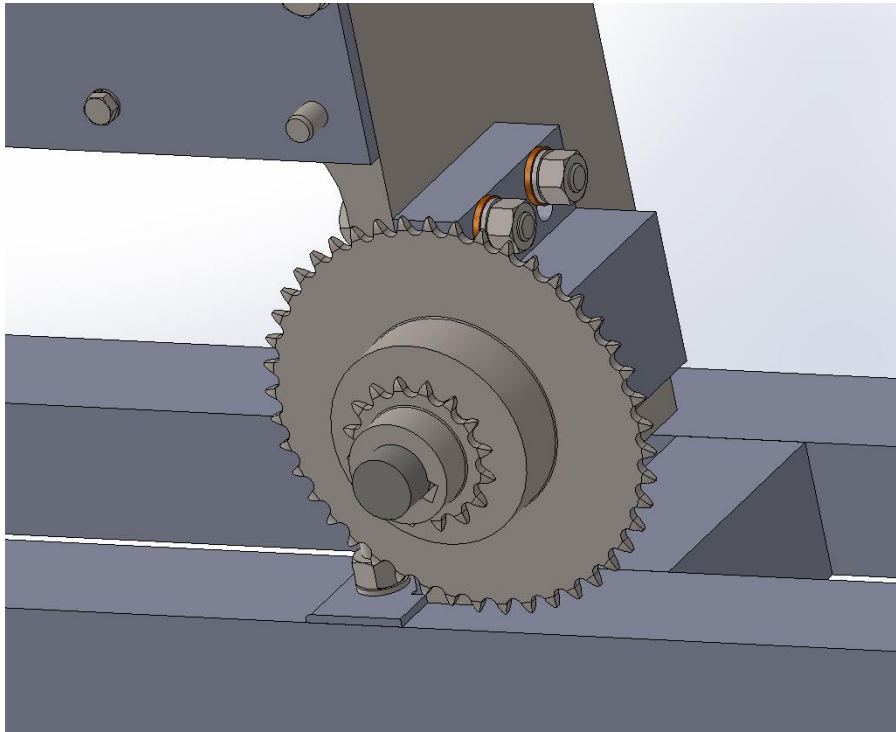
$$\varepsilon = 1,58 > 1$$

Για τους τροχούς αποδιαμόρφωσης επιλέγονται γρανάζια με module 2 και $R_o = 24\text{mm}$. Εδώ, όπως προαναφέρθηκε πρέπει να αναφερθεί ότι αφού οι τροχοί αποδιαμόρφωσης έχουν διάμετρο ίση με 24mm και γνωρίζοντας ότι το διάκενο είναι ίσο με 0.17mm προκύπτει ο βαθμός επικάλυψης:

$$\varepsilon = 1,52 > 1$$

Και για τα δύο είδη γραναζιών ο βαθμός επικάλυψης είναι μεγαλύτερος της μονάδας οπότε και αποδεκτός.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προστέθηκε ένας επιπλέον άξονας στα πλάγια του «H» ώστε να αυξηθεί κι άλλο η τελική σχέση μετάδοσης.



Σχήμα 69: Μονάδα μείωσης ροπών

Με γνώμονα τα παραπάνω επιλέχθηκαν αλυσοτροχοί στον άξονα αυτόν με αριθμό οδόντων, $Z=48$ και $Z=16$. Ο αριθμός των οδόντων του μικρού αλυσοτροχού επιλέχθηκε όσο μικρότερος ήταν δυνατόν και τέθηκε ως όριο αυτό των 16 οδόντων καθώς η γεωμετρία του αλυσοτροχού ήταν αποτρεπτική για μικρότερο αριθμό. Συγκεκριμένα η διάμετρος του

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

αφαλού δεν ήταν ικανή να υποστηρίξει τη διάμετρο του άξονα που χρησιμοποιήθηκε όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Τέλος για τον κινητήρα επιλέχθηκε επίσης αλυσοτροχός με $Z=16$ για όμοιους με τους παραπάνω λόγους.

Κατά την αναζήτηση στην αγορά των παραπάνω γραναζιών και αλυσοτροχών προέκυψε έλλειψη στα αποθέματα των αλυσοτροχών με αριθμό οδόντων $Z=48$. Για το λόγο αυτό χρειάστηκε να γίνουν αλλαγές. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν αλυσοτροχοί με $Z=45$ αντί των $Z=48$. Οπότε είναι:

$$\frac{R_2}{Z_2} = \frac{32}{45}$$

Άρα γίνεται εκ νέου υπολογισμός της σχέσης 5:

$$\frac{R_2}{Z_2} = \frac{R_3}{Z_3} = \frac{25.6}{36} = \frac{32}{45}$$

Επομένως η διάμετρος των τροχών αποδιαμόρφωσης γίνεται ίση με 51,2mm.

Έπρεπε όμως να γίνει επαναεκλογή και των μετωπικών γραναζιών στη μετάδοση της κίνησης μεταξύ των τροχών αποδιαμόρφωσης των οποίων αλλάζει η διάμετρος. Για τους τροχούς αυτούς δεν υπάρχουν τυποποιημένα μετωπικά γρανάζια με αυτή τη διάμετρο οπότε θα επιλεγούν είτε με $D_{o\sigma\tau\gamma\psi}=51\text{mm}$ είτε με $D_{o\sigma\tau\gamma\psi}=52\text{mm}$ με module 1.5 ή 2 αντίστοιχα.

Επιλέγονται γρανάζια με module 1,5 και $R_o = 51\text{mm}$. Εδώ, πρέπει να γίνει ξανά και ο υπολογισμός του βαθμού επικάλυψης. οι τροχοί αποδιαμόρφωσης έχουν διάμετρο ίση με 51,2mm και γνωρίζοντας ότι το διάκενο είναι ίσο με 0.17mm προκύπτει ότι το ολικό διάκενο θα είναι ίσο με : $\Delta X = 0,17+0,1 = 0,27\text{mm}$ και ο βαθμός επικάλυψης:

$$\varepsilon = 1,51 > 1$$

ο βαθμός επικάλυψης είναι και πάλι μεγαλύτερος της μονάδας οπότε και αποδεκτός.

Τέλος αντικαταστήθηκε και ο αλυσοτροχός με $Z=48$ του Σχήματος 69 σε $Z=45$.

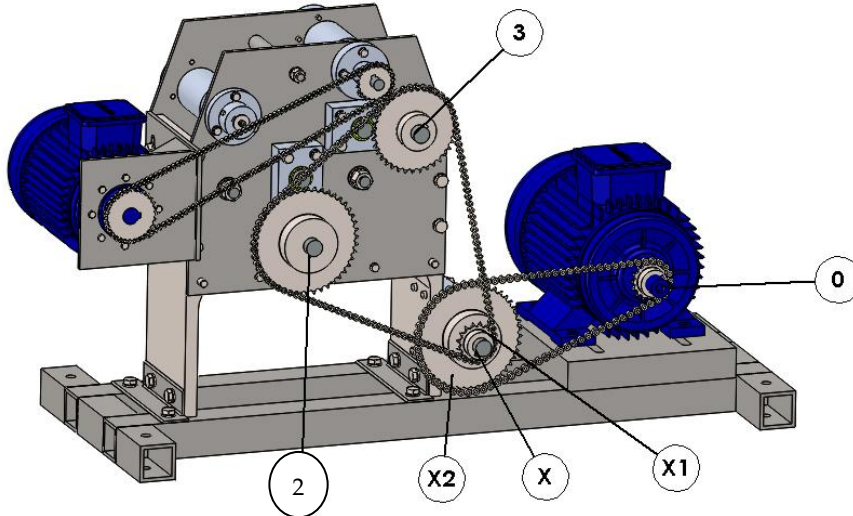
Άρα συνοψίζοντας οι επιλογές των γραναζιών είναι:

<u>Μετωπικά γρανάζια</u>	Module	Αριθμός Οδόντων	Τεμάχια
Τροχοί Αποδιαμόρφωσης	1,5	34	2
Τροχοί Διαμόρφωσης	2	32	2
<u>Αλυσοτροχοί</u>	Βήμα	Αριθμός Οδόντων	Τεμάχια
Αλυσοτροχός Αποδιαμόρφωσης	8mm	45	1
Αλυσοτροχός Διαμόρφωσης	8mm	36	1
Αλυσοτροχός κινητήρα	8mm	16	1
Αλυσοτροχοί μονάδας αύξησης της σχέσης μετάδοσης	8mm	16 45	1 1

Σχήμα 70 : Εκλογή αλυσοτροχών και μετωπικών γραναζιών

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΡΟΠΩΝ ΑΝΑ ΑΞΟΝΑ

Στο σημείο αυτό θα γίνει ο υπολογισμός των σχέσεων μετάδοσης μεταξύ των αλυσοτροχών, ο υπολογισμός των μεταφερόμενων ροπών ανά άξονα αλλά και ο έλεγχος αντοχής της αλυσίδας στα επιβαλλόμενα φορτία του μηχανισμού που προκύπτουν.



Σχήμα 71: Αλυσοτροχοί μετάδοσης και παραλαβής ροπών

Για τον άξονα 2 απαιτούνται 24Nm στρεπτικής ροπής για τη λειτουργία των δύο τροχών διαμόρφωσης, επομένως απαιτείται από τον αλυσοτροχό X1:

$$T_{x1}^2 = \frac{T_2}{i_{2,x1}} = \frac{24}{Z_2/Z_{x1}} = \frac{24}{45/16} = 8.5Nm \quad (6.13)$$

Για τον άξονα 3 απαιτούνται 5Nm στρεπτικής ροπής για τη λειτουργία των δύο τροχών αποδιαμόρφωσης, επομένως απαιτείται επιπλέον από τον αλυσοτροχό X1:

$$T_{x1}^3 = \frac{T_3}{i_{3,x1}} = \frac{5}{Z_3/Z_{x1}} = \frac{5}{36/16} = 2.2Nm \quad (6.14)$$

Άρα η απαιτούμενη ροπή στον άξονα X από τον κινητήρα είναι:

$$T_X = T_{x1}^2 + T_{x1}^3 = 8.5 + 2.2 = 10.7Nm \quad (6.15)$$

Επομένως ο κινητήρας απαιτείται να μεταφέρει στον άξονα X μέσω του γραναζιού X2 στρεπτική ροπή ίση με:

$$T_0 = T_X i_{x,0} = T_X \frac{Z_0}{Z_{x2}} = 10.7 \frac{16}{45} = 3.8Nm \quad (6.16)$$

6.4 ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Όπως έχει αναφερθεί η ταχύτητα διαμόρφωσης έχει επιλεγεί να έχει εύρος: 0-0,1m/sec. Εάν ξεπεραστεί αυτή η ταχύτητα θα αυξηθούν οι φορτίσεις στους τροχούς άρα και στους άξονες και θα υπάρχει πιθανότητα αστοχίας. Επομένως κρίνεται αναγκαίο να γίνει υπολογισμός της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα ώστε να αποφευχθεί αυτή η περίπτωση. Ισχύει λοιπόν:

$$V_p^{MAX} = 0.1m/sec$$

$$n_2^{MAX} = \frac{V_p^{MAX} \cdot 60 \cdot 1000}{2\pi R_{TP, \Delta IAM}} = \frac{0.1 \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 32} = 30rpm \quad (6.17)$$

$$n_x^{MAX} = n_2^{MAX} i_{x1,1} = n_2^{MAX} \frac{Z_1}{Z_{x1}} = 30 \frac{45}{16} = 84rpm \quad (6.18)$$

$$n_0^{MAX} = n_x^{MAX} i_{0,x2} = n_x^{MAX} \frac{Z_{x2}}{Z_0} = 84 \frac{45}{16} = 236rpm \quad (6.19)$$

Επομένως ο κινητήρας πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να έχει μέγιστο αριθμό στροφών ίσο με:

$$n_0 = 236 rpm$$

6.5 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στη διάταξη επιλέχθηκαν από αυτούς που είχε στα αποθέματά του το εργαστήριο στοιχείων μηχανών. Η επιλογή έγινε με βάση την ισχύ του καθένα σε σχέση με τις απαιτήσεις του μηχανισμού.

Για το κινητήρα περιστροφής των τροχών διαμόρφωσης και στύψης του υφάσματος έγινε όπως έχει αναφερθεί υπολογισμός της απαιτούμενης ροπής. Η ροπή που απαιτείται να αποδίδει ο κινητήρας είναι περίπου 3,8 Nm. Κάνοντας ένα έλεγχο στα αποθέματα του

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

εργαστηρίου επιλέχθηκε ένας 4-πολικός τριφασικός επαγωγικός κινητήρας των 0,75 KW με της εταιρίας STAMFAM, ο οποίος αποδίδει ονομαστική ροπή 5 Nm.

Ο κινητήρας αυτός συνδέθηκε με ηλεκτρονικό ελεγκτή στροφών, που ήδη διέθετε το εργαστήριο, καθώς απαιτούνταν όριο μέγιστης ταχύτητας περιστροφής του στις 236 rpm, όπως υπολογίστηκε, ώστε να έχουμε μέγιστη ταχύτητα διαμόρφωσης υφάσματος 0,1 m/sec.

Ο ελεγκτής στροφών είναι της Invertek Drives, μοντέλο Optidrive E και συνδέεται με μονοφασικό δίκτυο. Από τη στιγμή που συνδέεται με ρυθμιστή στροφών ο κινητήρας πρέπει να βρεθεί η νέα καμπύλη ροπών – στροφών ώστε να εκτιμηθεί εάν τηρείται η απαίτηση της ροπής που απαιτείται κατά τη διενέργεια του πειράματος. Ο ρυθμιστής στροφών λειτουργεί κρατώντας σταθερό το λόγο V/f και μειώνοντας τη συχνότητα τροφοδοσίας επιτυγχάνουμε την επιθυμητή μείωση στροφών. όσο μειώνεται η συχνότητα τροφοδοσίας του κινητήρα το διάγραμμα ροπής στροφών μετατοπίζεται προς τα αριστερά [5]. Υπάρχει όμως ένα κάτω όριο στις χαμηλές στροφές λειτουργίας.

Όπου,

$$T_{min} \geq 1,7 \cdot T_o = 8,6 \text{ Nm}$$

Η ροπή αυτή, η οποία είναι η ελάχιστη η οποία μπορεί να αποδώσει ο κινητήρας λειτουργώντας κάτω από 236 RPM, είναι αρκετή ώστε να ανταπεξέλθει ο κινητήρας στην περίπτωση της μέγιστης απαιτούμενης ροπής των 12Nm, στον κάθε ένα οδοντωτό τροχό διαμόρφωσης.

Για την περισυλλογή του εμποτισμένου υφάσματος απαιτείται ένας κινητήρας χαμηλής ισχύς ο οποίος θα περισυλλέγει το ύφασμα που θα ανυψώνεται και θα περνάει από τους τροχούς στύψης. Ο μικρότερος διαθέσιμος κινητήρας στο απόθεμα του εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών είναι της τάξης των 0,25 Hp, επίσης 4-πολικός τριφασικός επαγωγικός, της εταιρίας SATI.

Η ονομαστική ροπή που αποδίδει είναι 2 Nm και η ροπή λειτουργίας σε χαμηλές στροφές < 150rpm η οποία αν μεταδοθεί με σχέση μετάδοσης 1:1 στον τροχό περισυλλογής θα ασκείται στο ύφασμα εφελκυστική τάση,

$$\sigma = \frac{F}{A} = 5.5 \text{ MPa} \quad (6.20)$$

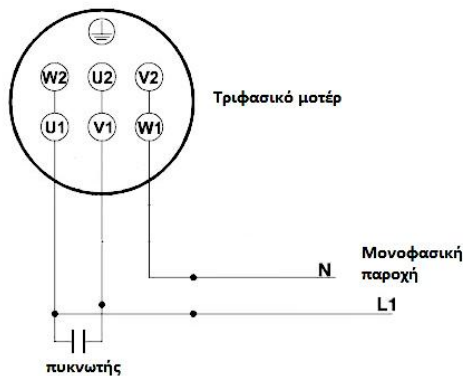
Όπου $F_f = \frac{T_o}{R} = \frac{2}{24 \cdot 10^{-3}} = 83 \text{ N}$ (6.21)

$$A_f = \text{πλάτος}_f \cdot \text{πάχος}_f = 0.05 \cdot 0.28 \cdot 10^{-3} = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (6.22)$$

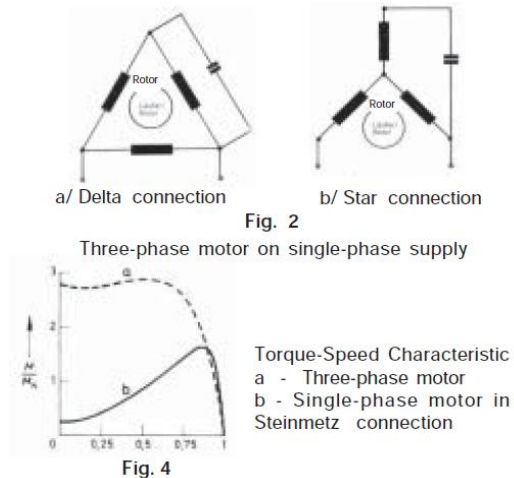
Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Απαιτείται λοιπόν να μειωθεί αυτή η ροπή. Η μείωση μπορεί να γίνει χαμηλώνοντας τον λόγο μετάδοσης επιλέγοντας κατάλληλους αλυσοτροχούς όμως και πάλι δεν μπορεί να γίνει σε μεγάλο βαθμό. Η λύση δόθηκε με δύο επιλογές. Πρώτον συνδέθηκε ο κινητήρας με πυκνωτή συνεχούς λειτουργίας. Η σύνδεση του κινητήρα αλλάζει από αστέρα σε τρίγωνο Σχήμα 72 (συνδεσμολογία Steinmetz), καταφέροντας έτσι τη μείωση της ροπής του κατά 80% περίπου, Σχήμα 73. αλλά και την τροφοδότησή του από το μονοφασικό δίκτυο. Έτσι ο κινητήρας μπορεί να τροφοδοτηθεί από μία απλή πρίζα των 230V και να αποδίδει ροπή τέτοια ώστε απλά να περισυλλέγει το τελικό ύφασμα. Για τον υπολογισμό του μεγέθους πυκνωτή ισχύει η σχέση,

$$C = \frac{P(\text{watts}) * 10^6}{2 * p * f * 0.87 * V^2 * n} = 12,6 \mu\text{F} \quad (6.23)$$



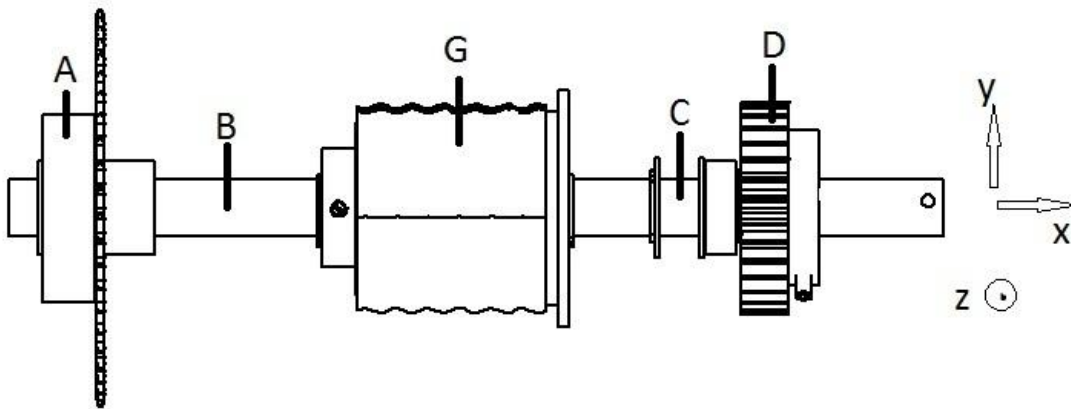
Σχήμα 72: Συνδεσμολογία Steinmetz



Σχήμα 73: Καμπύλη ροπών στροφών τριφασικού κινητήρα σε μονοφασικό δίκτυο

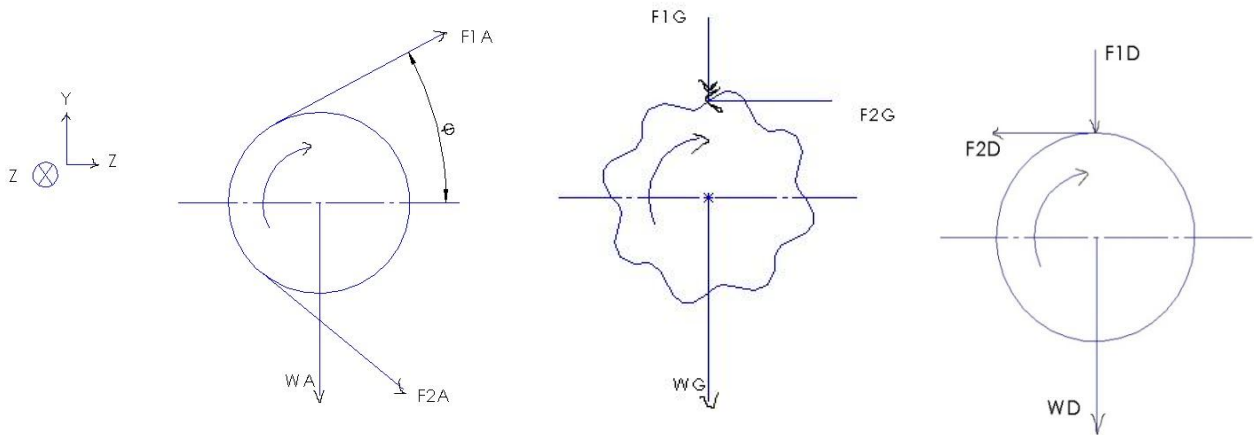
7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΑΞΟΝΩΝ

Ακολουθεί η ανάλυση για τις φορτίσεις στο άξονα των τροχών διαμόρφωσης ο οποίος μεταφέρει και φορτίο στο δεύτερο μέλος, Σχήμα 74.



Σχήμα 74: άξονας τροχών διαμόρφωσης

Οι θέσεις από A έως D είναι οι θέσεις επιβολής φορτίων. Πιο αναλυτικά, για τις θέσεις A, G και D ισχύει:



ΘΕΣΗ A

ΘΕΣΗ G

ΘΕΣΗ D

Σχήμα 75: Σχηματική απεικόνιση φορτίσεων σε κάθε στοιχείο

- Λόγω του τροχού διαμόρφωσης είναι:

Από τους υπολογισμούς παραπάνω απαιτείται ροπή στρέψης ίση με 12Nm,

$$M_{ROLLER}^x = F_{2G} R_{ROLLER} = 12Nm \quad (7.1)$$

$$F_{2G} = \frac{M_{ROLLER}^x}{R_{ROLLER}} = \frac{12}{0.032} = 375N \quad (7.2)$$

Και ροπή κάμψης ίση με 0,3Nm,

$$M_{ROLLER}^y = F_{1G} \frac{L_{ROLLER}}{2} = 0.3Nm \quad (7.3)$$

$$F_{1G} = \frac{2M_{ROLLER}^y}{L_{ROLLER}} = \frac{0.6}{0.06065} = 9.9N \quad (7.4)$$

$$W_{ROLLER} = 0.493Kg = 4.93N \quad (7.5)$$

- Λόγω του αλυσοτροχού είναι:

$$M_{SPRO} = F_{1A} R_{SPRO} \quad (7.6)$$

$$M_{SPRO} = M_{ROLLER} + M_{SPUR} = 12 + 12 = 24Nm \quad (7.7)$$

Όπου M_{SPRO} η ροπή που απαιτείται να παραληφθεί από τον κινητήρα ώστε να τροφοδοτηθεί τόσο ο τροχός διαμόρφωσης όσο και ο μετωπικός οδοντωτός τροχός, ο οποίος με τη σειρά του κινεί τον δεύτερο τροχό διαμόρφωσης.

$$F_{1A} = \frac{M_{SPRO}}{R_{SPRO}} = \frac{24}{0.0575} = 417N \quad (7.8)$$

$$W_{SPRO} = 0.590Kg = 5.9N$$

Η δύναμη F_{2A} είναι αμελητέα καθώς ο κινητήρας έλκει την αλυσίδα, για να μεταδώσει την απαραίτητη ροπή, δεξιόστροφα.

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Λόγω του μετωπικού:

$$M_{SPUR} = F_{2D} R_{SPUR} = 12 Nm \quad (7.9)$$

$$F_{2D} = \frac{M_{SPUR}}{R_{SPUR}} = \frac{12}{0.032} = 375 N \quad (7.10)$$

$$W_{SPUR} = 0.3 Kg = 3 N \quad (7.11)$$

$$F_{1D} = F_{2D} \tan \varphi_o = 136.5 N \quad (7.12)$$

Δυνάμεις στο οριζόντιο επίπεδο z στη θέση A,

$$F_{AZ} = F_{1A} \cos 43^\circ = 305 N \quad (7.13)$$

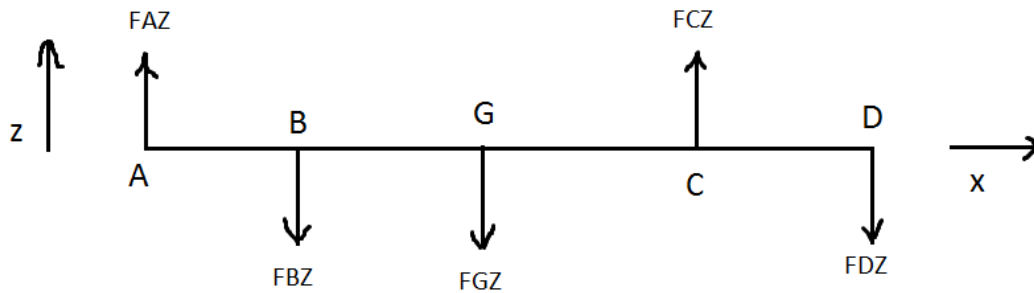
Θέση G,

$$F_{GZ} = F_{2G} = 375 N \quad (7.14)$$

Θέση D,

$$F_{DZ} = F_{2D} = 375 N \quad (7.15)$$

Οπότε προκύπτει το μονογραμμικό του επιπέδου z



Σχήμα 76 : Μονογραμμικό του επιπέδου z

Δυνάμεις στο κατακόρυφο επίπεδο Y στη θέση A,

$$F_{AY} = F_{1A} \sin 43^\circ - W_{SPRO} = 284.4 - 5.9 = 278.5 N \quad (7.16)$$

Θέση G,

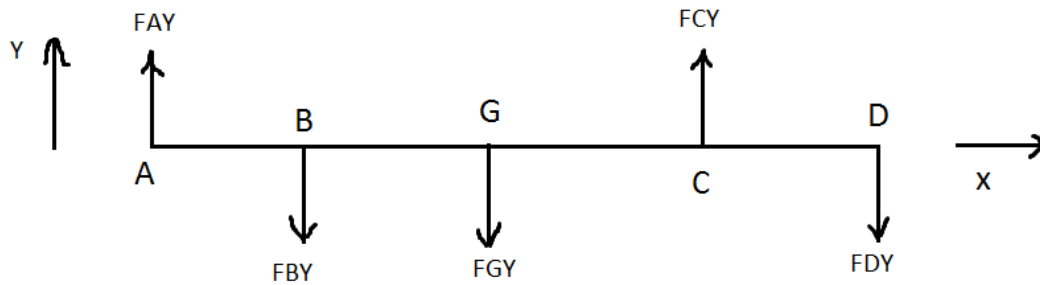
Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

$$F_{GY} = F_{1G} = 9.9N \quad (7.17)$$

Θέση D,

$$F_{DY} = F_{1D} + W_{SPUR} = 136.5N + 3 = 139.5N \quad (7.18)$$

Οπότε προκύπτει το μονογραμμικό του επιπέδου z



Σχήμα 77 : Μονογραμμικό του επιπέδου z

Διαγράμματα δυνάμεων και ροπών

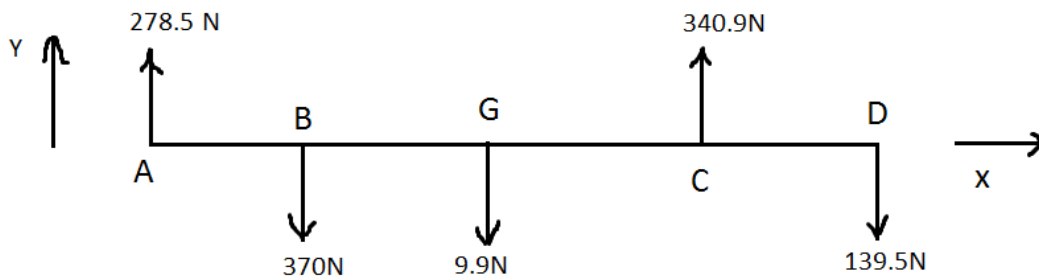
Κατακόρυφο επίπεδο

$$\Sigma M_Y^B = F_{AY}AB + F_{GY}BG - F_{CY}BC + F_{DY}BD = 0 \quad (7.19)$$

$$F_{DY} = 240N \quad (7.20)$$

$$\Sigma F_Y = F_{AY} - F_{BY} - F_{GY} + F_{CY} - F_{DY} = 0 \quad (7.21)$$

$$F_{BY} = 370N \quad (7.22)$$



Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

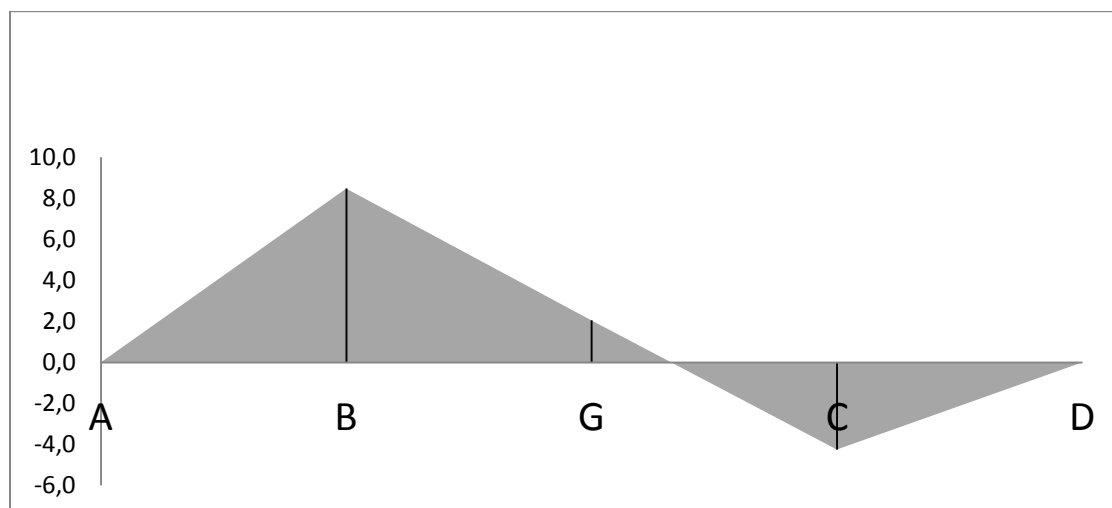
$$M_A = 0Nm \quad (7.23)$$

$$M_B = F_{AY}AB = 8.5Nm \quad (7.24)$$

$$M_G = F_{AY}AG - F_{BY}BG = 2Nm \quad (7.25)$$

$$M_C = F_{AY}AC - F_{BY}BC - F_{GY}GC = -4.2Nm \quad (7.26)$$

$$M_D = F_{AY}AD - F_{BY}BD - F_{GY}GD + F_{CY}CD = 0Nm \quad (7.27)$$



Σχήμα 78 : Καμπτικές Ροπές (Nm) Κατακόρυφο επίπεδο

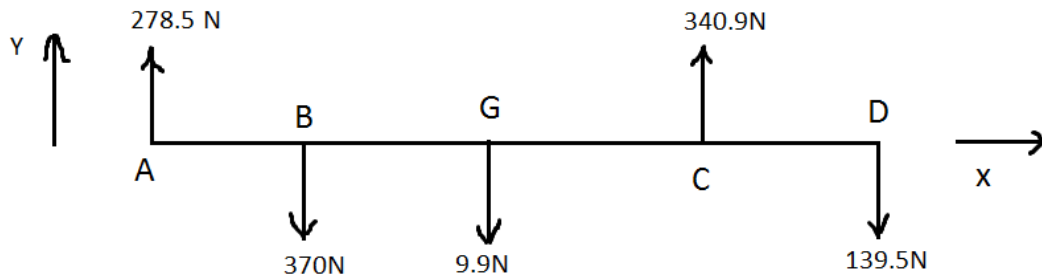
Οριζόντιο επίπεδο

$$\Sigma M_Z^B = F_{AZ}AB + F_{GZ}BG - F_{CZ}BC + F_{DZ}BD = 0 \quad (7.28)$$

$$F_{DZ} = 713N \quad (7.29)$$

$$\Sigma F_Z = F_{AZ} - F_{BZ} - F_{GZ} + F_{CZ} - F_{DZ} = 0 \quad (7.30)$$

$$F_{BZ} = 270N \quad (7.31)$$



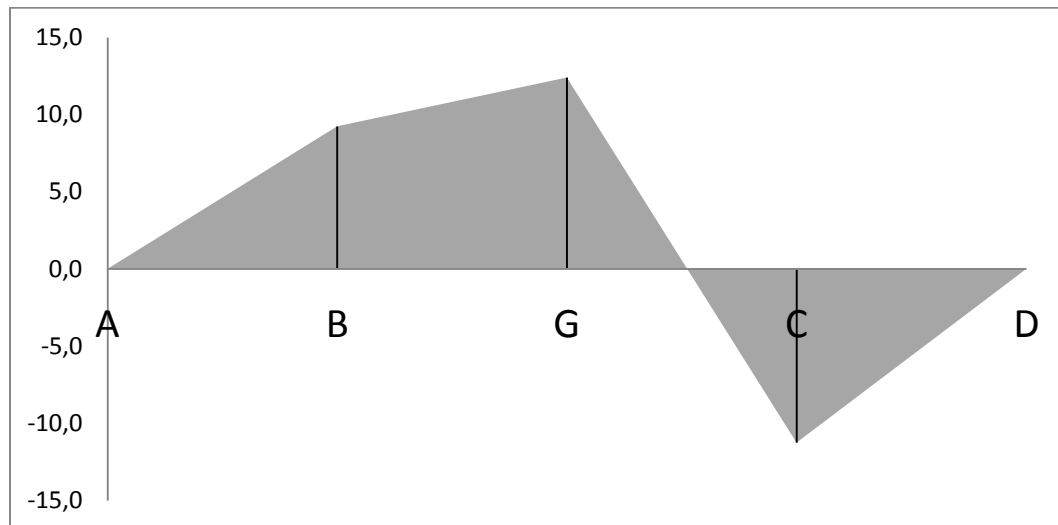
$$M_A = 0Nm \quad (7.32)$$

$$M_B = F_{AZ}AB = 9.2Nm \quad (7.33)$$

$$M_G = F_{AZ}AG - F_{BZ}BG = 12.4Nm \quad (7.34)$$

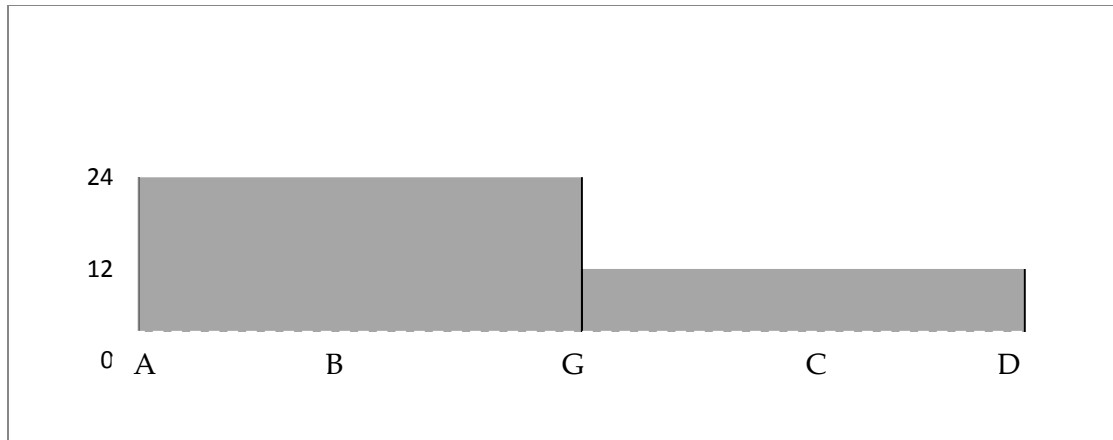
$$M_C = F_{AZ}AC - F_{BZ}BC - F_{GZ}GC = -11.2Nm \quad (7.35)$$

$$M_D = F_{AZ}AD - F_{BZ}BD - F_{GZ}GD + F_{CZ}CD = 0Nm \quad (7.36)$$



Σχήμα 79 : Καμπτικές Ροπές (Nm) Οριζόντιο επίπεδο

Διάγραμμα στρεπτικών ροπών



Σχήμα 80 : Στρεπτικές Ροπές (Nm)

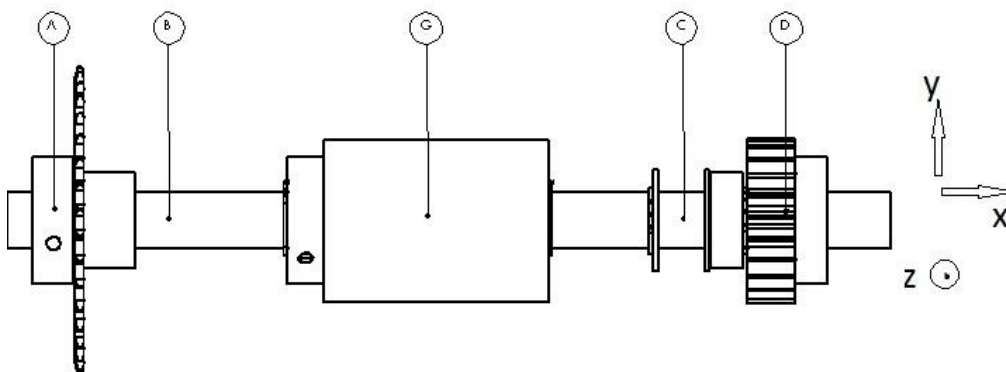
Οι συνισταμένες καμπτικές ροπές για κάθε θέση είναι:

$$M_B = \sqrt{8.5^2 + 9.2^2} = 12.6 Nm$$

$$M_G = \sqrt{2^2 + 12.4^2} = 12.6 Nm$$

$$M_C = \sqrt{4.2^2 + 11.2^2} = 12 Nm$$

Ακολουθεί η ανάλυση για τις φορτίσεις στο άξονα του τροχού αποδιαμόρφωσης ο οποίος μεταφέρει φορτίο και στο δεύτερο μέλος, Σχήμα.

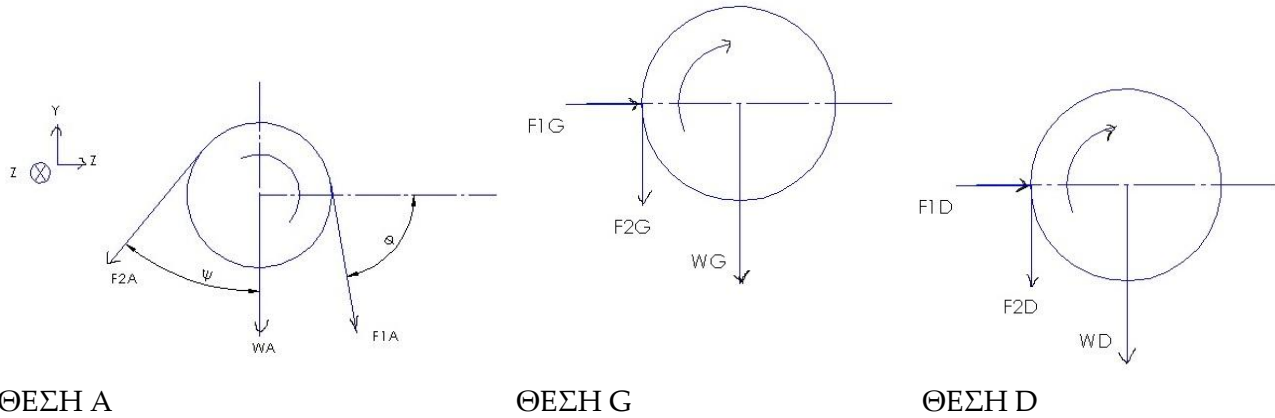


Σχήμα 81: άξονας τροχού αποδιαμόρφωσης

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι θέσεις από Α έως D είναι οι θέσεις επιβολής φορτίων.

Πιο αναλυτικά, για τις θέσεις Α, G και D ισχύει:



- Λόγω του τροχού διαμόρφωσης είναι:

Από τους υπολογισμούς παραπάνω απαιτείται ροπή στρέψης ίση με 2.5Nm,

$$M_{ROLLER}^x = F_{2G} R_{ROLLER} = 2.5Nm \quad (7.37)$$

$$F_{2G} = \frac{M_{ROLLER}^x}{R_{ROLLER}} = \frac{2.5}{0.0256} = 98N \quad (7.38)$$

Και ροπή κάμψης ίση με 0,025Nm,

$$M_{ROLLER}^y = F_{1G} \frac{L_{ROLLER}}{2} = 0.8Nm \quad (7.39)$$

$$F_{1G} = \frac{2M_{ROLLER}^y}{L_{ROLLER}} = \frac{0.05}{0.06} = 0.8N \quad (7.40)$$

$$W_{ROLLER} = 0.4Kg = 4N \quad (7.41)$$

- Λόγω του αλυσοτροχού είναι:

$$M_{SPRO} = (F_{1A} - F_{2A}) R_{SPRO} \quad (7.42)$$

$$M_{SPRO} = M_{ROLLER} + M_{SPUR} = 2.5 + 2.5 = 5Nm \quad (7.43)$$

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπου F_{2A} η δύναμη που απαιτείται για την περιστροφή του άξονα του τροχού διαμόρφωσης άρα η δύναμη αυτή από την προηγούμενη ανάλυση είναι ίση με: 417N

Και M_{SPRO} η ροπή που απαιτείται να παραληφθεί από τον κινητήρα ώστε να τροφοδοτηθεί τόσο ο τροχός αποδιαμόρφωσης όσο και ο μετωπικός οδοντωτός τροχός, ο οποίος με τη σειρά του κινεί τον δεύτερο τροχό αποδιαμόρφωσης.

$$F_{1A} = \frac{M_{SPRO}}{R_{SPRO}} + F_{2A} = \frac{5}{0.046} + 417 = 526N \quad (7.44)$$

$$W_{SPRO} = 0.5Kg = 5N \quad (7.45)$$

- Λόγω του μετωπικού:

$$M_{SPUR} = F_{2D}R_{SPUR} = 2.5Nm \quad (7.46)$$

$$F_{2D} = \frac{M_{SPUR}}{R_{SPUR}} = \frac{2.5}{0.0255} = 98N \quad (7.47)$$

$$W_{SPUR} = 0.27Kg = 2.7N \quad (7.48)$$

$$F_{1D} = F_{2D} \tan \varphi_o = 32N \quad (7.49)$$

Δυνάμεις στο οριζόντιο επίπεδο z στη θέση A,

$$F_{AZ} = F_{1A} \cos 88^\circ - F_{2A} \sin 51^\circ = -220N \quad (7.50)$$

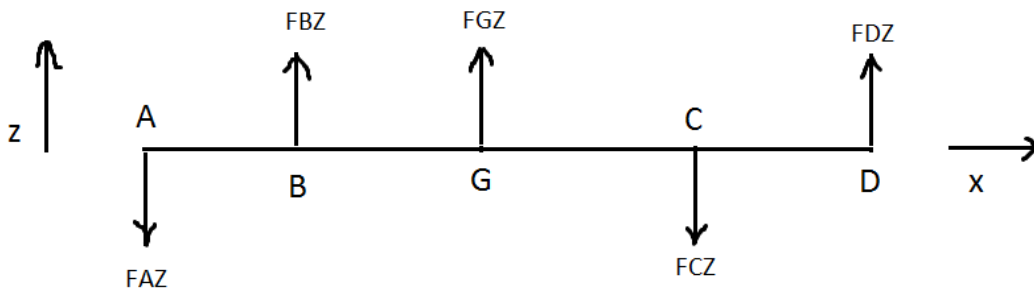
Θέση G,

$$F_{GZ} = F_{1G} = 0.8N \quad (7.51)$$

Θέση D,

$$F_{DZ} = F_{1D} = 32N \quad (7.52)$$

Οπότε προκύπτει το μονογραμμικό του επιπέδου z



Σχήμα 82 : Μονογραμμικό του επιπέδου z

Δυνάμεις στο κατακόρυφο επίπεδο Y στη θέση A,

$$F_{AY} = F_{2A} \cos 51^\circ + F_{1A} \sin 88^\circ + W_{SPRO} = 760N \quad (7.53)$$

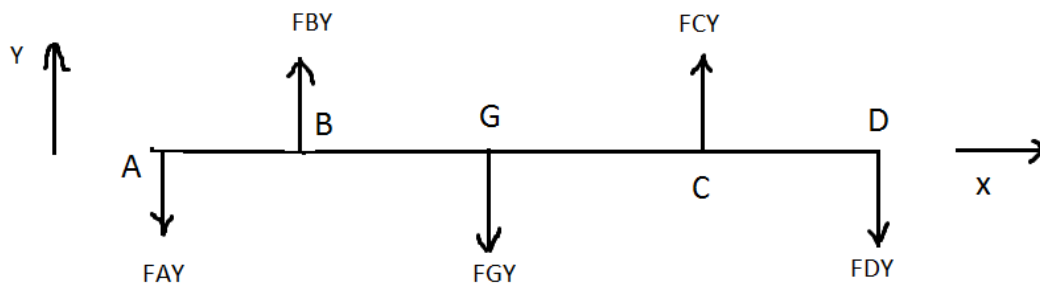
Θέση G,

$$F_{GY} = F_{2G} = 98N \quad (7.54)$$

Θέση D,

$$F_{DY} = F_{2D} + W_{SPUR} = 103N \quad (7.55)$$

Οπότε προκύπτει το μονογραμμικό του επιπέδου y.



Σχήμα 83 : Μονογραμμικό του επιπέδου y

Διαγράμματα δυνάμεων και ροπών

Κατακόρυφο επίπεδο

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

$$\Sigma M_Y^B = -F_{AY}AB + F_{GY}BG - F_{CY}BC + F_{DY}BD = 0 \quad (7.56)$$

$$F_{DY} = 40N \quad (7.57)$$

$$\Sigma F_Y = -F_{AY} + F_{BY} - F_{GY} + F_{CY} - F_{DY} = 0 \quad (7.58)$$

$$F_{BY} = 920N \quad (7.59)$$

Για τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών:

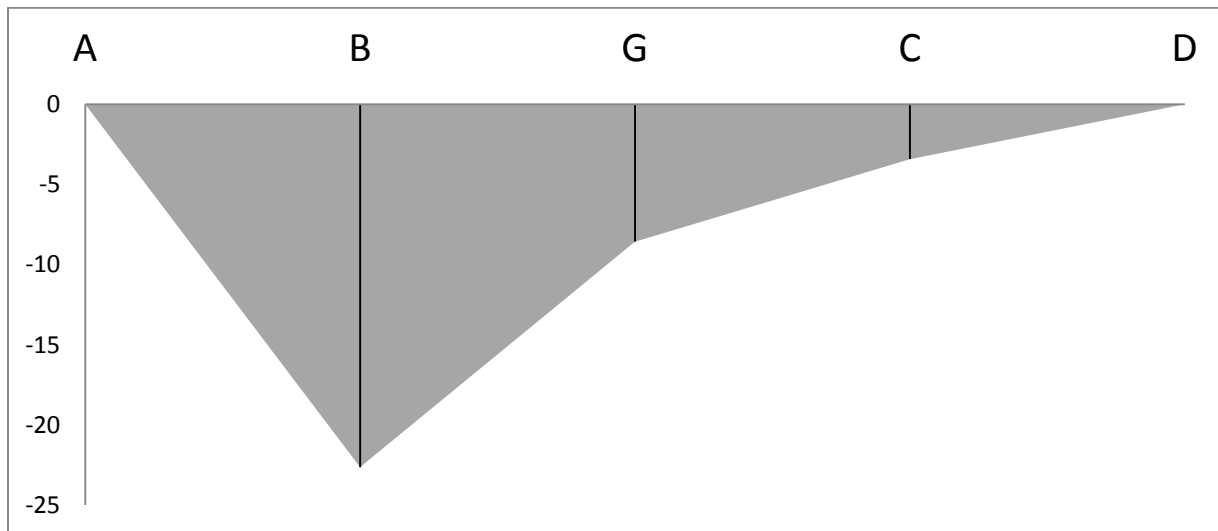
$$M_A = 0Nm \quad (7.60)$$

$$M_B = -F_{AY}AB = -22.6Nm \quad (7.61)$$

$$M_G = -F_{AY}AG + F_{BY}BG = -8.5Nm \quad (7.62)$$

$$M_C = -F_{AY}AC + F_{BY}BC - F_{GY}GC = -3.4Nm \quad (7.63)$$

$$M_D = -F_{AY}AD + F_{BY}BD - F_{GY}GD + F_{CY}CD = 0Nm \quad (7.64)$$



Σχήμα 84 : Καμπτικές Ροπές (Nm) Κατακόρυφο Επίπεδο

Οριζόντιο επίπεδο

$$\Sigma M_Z^B = -F_{AZ}AB - F_{GZ}BG + F_{CZ}BC - F_{DZ}BD = 0 \quad (7.65)$$

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

$$F_{DZ} = 83N \quad (7.66)$$

$$\Sigma F_Z = -F_{AZ} + F_{BZ} + F_{GZ} - F_{CZ} + F_{DZ} = 0 \quad (7.67)$$

$$F_{BZ} = 260N \quad (7.68)$$

Για τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών:

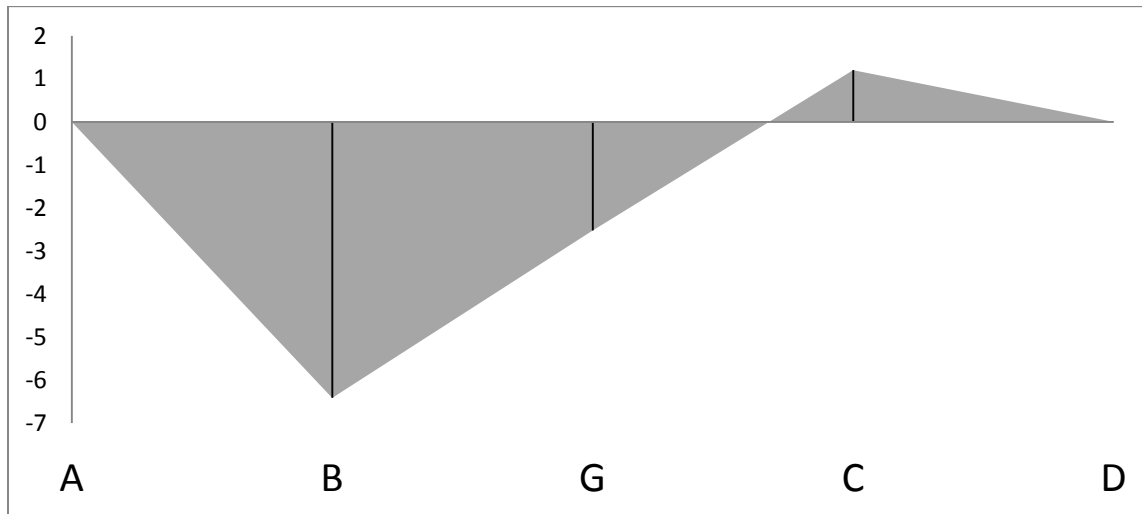
$$M_A = 0Nm \quad (7.69)$$

$$M_B = F_{AZ}AB = -6.4Nm \quad (7.70)$$

$$M_G = F_{AZ}AG - F_{BZ}BG = -2.5Nm \quad (7.71)$$

$$M_C = F_{AZ}AC - F_{BZ}BC - F_{GZ}GC = 1.2Nm \quad (7.72)$$

$$M_D = F_{AZ}AD - F_{BZ}BD - F_{GZ}GD + F_{CZ}CD = 0Nm \quad (7.73)$$



Σχήμα 85: Καμπτικές Ροπές Επίπεδο (Nm) Οριζόντιο επίπεδο

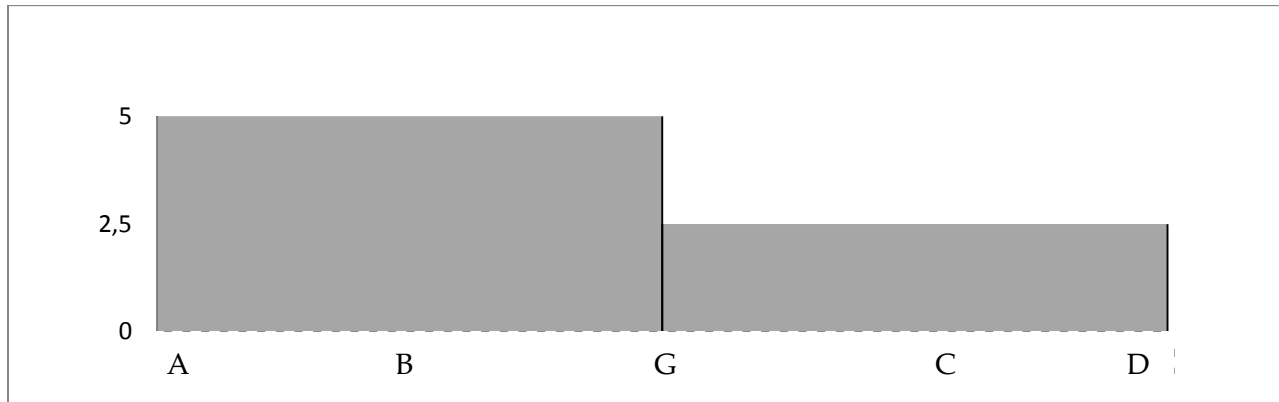
Οι συνισταμένες καμπτικές ροπές για κάθε θέση είναι:

$$M_B = \sqrt{22.6^2 + 6.4^2} = 23.5Nm$$

$$M_G = \sqrt{8.5^2 + 2.5^2} = 8.9Nm$$

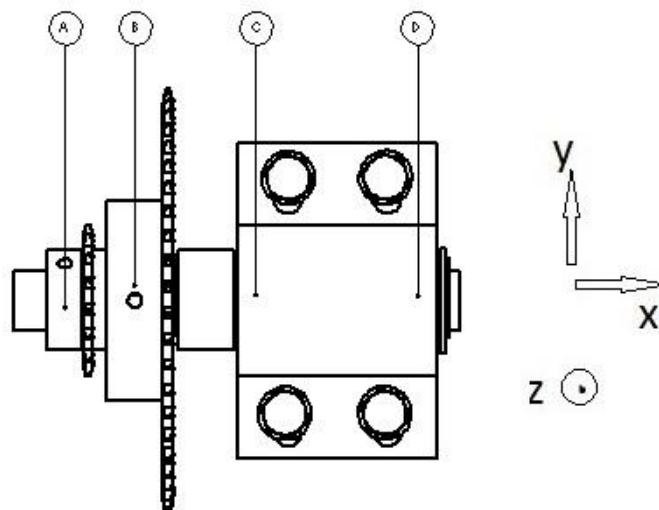
$$M_C = \sqrt{3.4^2 + 1.2^2} = 3.6Nm$$

Διάγραμμα στρεπτικών ροπών



Σχήμα 86 : ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (Nm)

Ακολουθεί τέλος η ανάλυση για τις φορτίσεις στο άξονα του επιπλέον συστήματος για την μείωση της ροπής, Σχήμα .

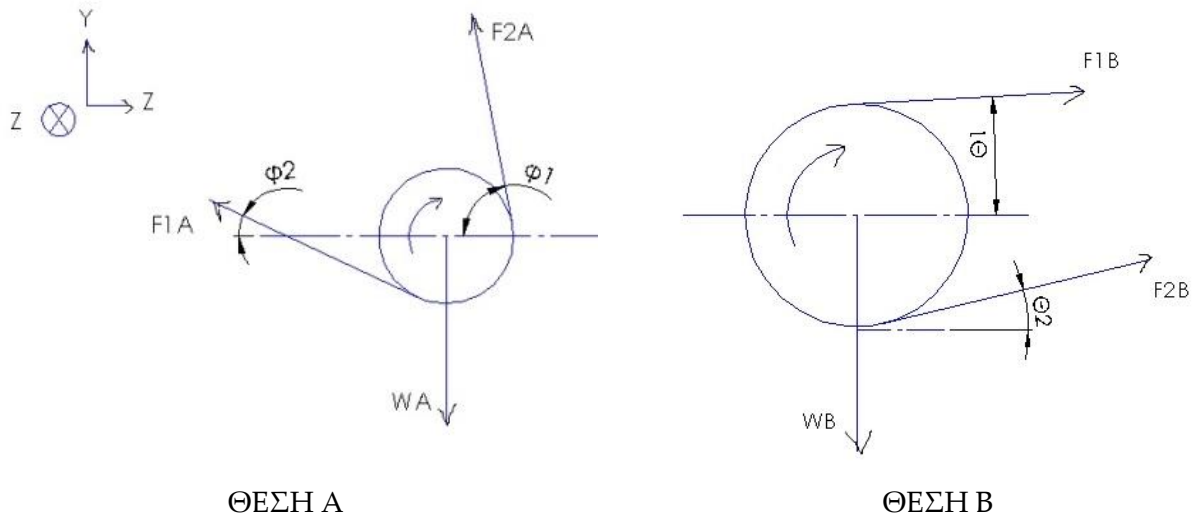


Σχήμα 87: άξονας μονάδας μείωσης της ροπής

Οι θέσεις από A έως D είναι οι θέσεις επιβολής φορτίων.

Πιο αναλυτικά, για τις θέσεις A και B ισχύει:

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



- Λόγω του αλυσοτροχού στη θέση Α είναι:

Από τους υπολογισμούς παραπάνω απαιτείται ροπή στρέψης ίση με 10.7Nm,

$$M_{SPRO,A}^x = F_{2A} R_{SPRO,A} = 10.7 Nm \quad (7.74)$$

$$F_{2A} = \frac{M_{SPRO,A}^x}{R_{SPRO,A}} = \frac{10.7}{0.02} = 535 N \quad (7.75)$$

$$W_A = 0.590 Kg = 5.9 N \quad (7.76)$$

Η δύναμη F_{1A} είναι αμελητέα καθώς ο κινητήρας έλκει την αλυσίδα, για να μεταδώσει την απαραίτητη ροπή, δεξιόστροφα.

- Λόγω του αλυσοτροχού στη θέση Β είναι:

Από τους υπολογισμούς παραπάνω απαιτείται ροπή στρέψης ίση με 10.7Nm,

$$M_{SPRO,B}^x = F_{1B} R_{SPRO,B} = 10.7 Nm \quad (7.77)$$

$$F_{1B} = \frac{M_{SPRO,B}^x}{R_{SPRO,B}} = \frac{10.7}{0.0575} = 186 N \quad (7.78)$$

$$W_b = 0.15Kg = 1.5N \quad (7.79)$$

Η δύναμη F_{1A} είναι αμελητέα καθώς ο κινητήρας έλκει την αλυσίδα, για να μεταδώσει την απαραίτητη ροπή, δεξιόστροφα.

Δυνάμεις στο οριζόντιο επίπεδο z

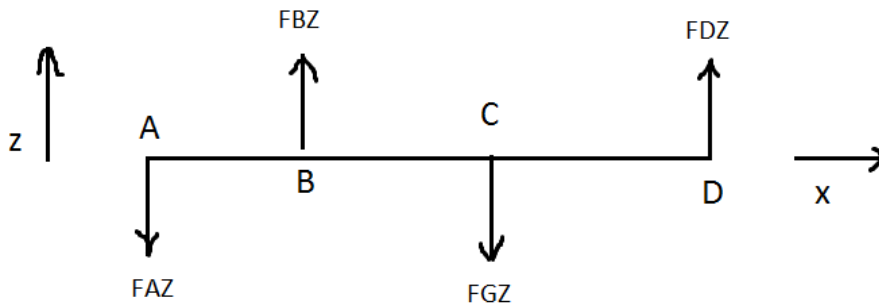
στη θέση A,

$$F_{AZ} = F_{2A} \cos 78^\circ = 111N \quad (7.80)$$

Θέση B,

$$F_{BZ} = F_{1B} \cos 3^\circ = 186N \quad (7.81)$$

Το μονογραμμικό του επιπέδου z



Σχήμα 88 : Μονογραμμικό επίπεδου z

Δυνάμεις στο κατακόρυφο επίπεδο Y

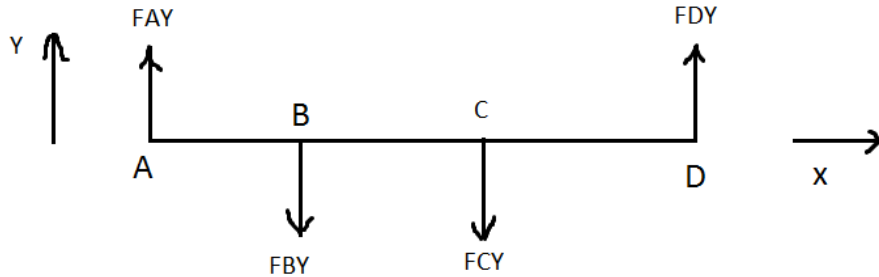
στη θέση A,

$$F_{AY} = F_{1A} \cos 78^\circ - W_{SPUR} = 522N \quad (7.82)$$

Θέση B,

$$F_{BY} = F_{2B} \sin 3^\circ = 16N \quad (7.83)$$

Οπότε προκύπτει το μονογραμμικό του επιπέδου y .



Σχήμα 89 : Μονογραμμικό του επιπέδου y

Διαγράμματα δυνάμεων και ροπών

Κατακόρυφο επίπεδο

$$\Sigma M_Y^C = F_{AY}AC + F_{BY}BC - F_{CY}BC - F_{DY}CD = 0 \quad (7.84)$$

$$F_{DY} = 513N \quad (7.85)$$

$$\Sigma F_Y = F_{AY} - F_{BY} - F_{CY} + F_{DY} = 0 \quad (7.86)$$

$$F_{BY} = 1019N \quad (7.87)$$

Για τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών:

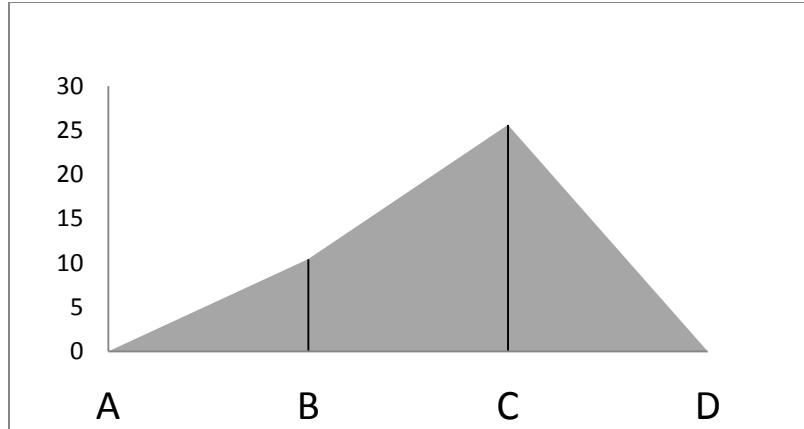
$$M_A = 0Nm \quad (7.88)$$

$$M_B = F_{AY}AC = 10.4Nm \quad (7.89)$$

$$M_C = F_{AY}AC - F_{BY}BC = 25.6Nm \quad (7.90)$$

$$M_D = F_{AY}AC - F_{BY}BC - F_{CY}CD = 0Nm \quad (7.91)$$

$$M_D = -F_{AY}AD + F_{BY}BD - F_{CY}CD + F_{DY}CD = 0Nm \quad (7.92)$$



Σχήμα 90 : Καμπτικές Ροπές Επίπεδο ΧΥ (Nm)

Οριζόντιο επίπεδο

$$\Sigma M_Z^C = -F_{AZ}AC + F_{BZ}BC - F_{DZ}CD = 0 \quad (7.93)$$

$$F_{DZ} = 0.3N \quad (7.94)$$

$$\Sigma F_Z = -F_{AZ} + F_{BZ} - F_{CZ} + F_{DZ} = 0 \quad (7.95)$$

$$F_{CZ} = 75N \quad (7.96)$$

Για τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών:

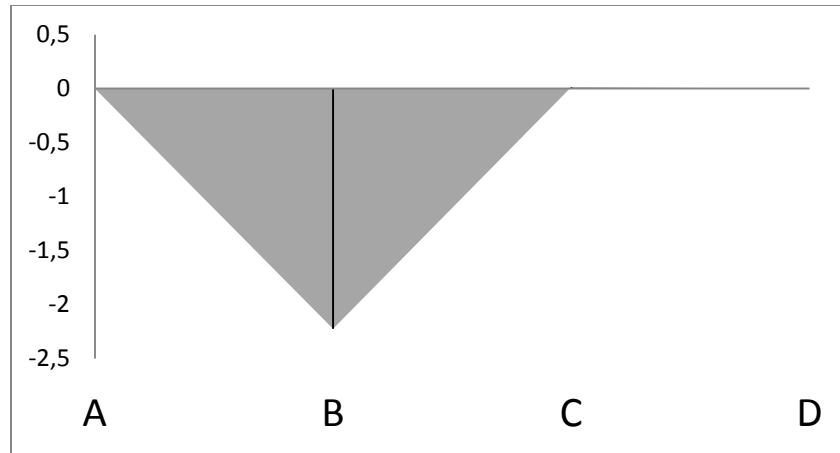
$$M_A = 0Nm \quad (7.97)$$

$$M_B = -F_{AZ}AB = -2.2Nm \quad (7.98)$$

$$M_G = -F_{AZ}AC + F_{BZ}BC = 0.01Nm \quad (7.99)$$

$$M_C = -F_{AZ}AD + F_{BZ}BD - F_{CZ}CD = 0Nm \quad (7.100)$$

$$M_D = F_{AZ}AD - F_{BZ}BD - F_{CZ}GD + F_{CZ}CD = 0Nm \quad (7.101)$$



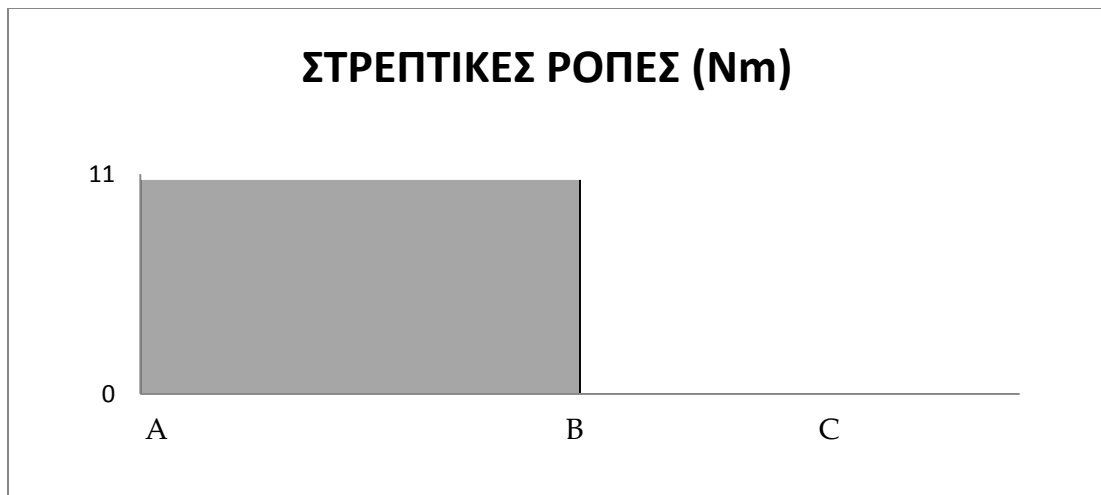
Σχήμα 91 : Καμπτικές Ροπές Επίπεδο ΧΖ (Nm)

Οι συνισταμένες καμπτικές ροπές για κάθε θέση είναι:

$$M_B = \sqrt{10.4^2 + 2.2^2} = 10.7 Nm$$

$$M_C = \sqrt{25.6^2 + 0.01^2} = 25.6 Nm$$

Διάγραμμα στρεπτικών ροπών



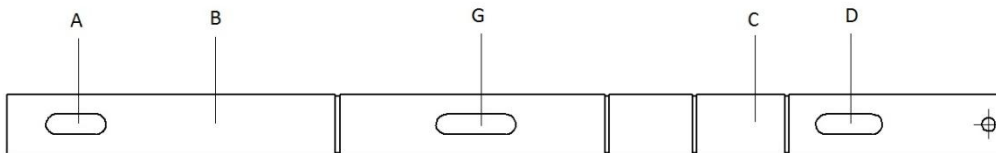
Σχήμα 92 : Στρεπτικές Ροπές (Nm)

8. Διαστασιολόγηση διαμέτρων αξόνων.

Θα εξεταστούν οι τρεις άξονες που παρουσιάστηκαν παραπάνω καθώς σε αυτούς ασκούνται τα πιο μεγάλα φορτία. Έτσι βάσει της μεγαλύτερης τιμής που θα προκύψει θα επιλεγεί και η τελική διάμετρος των αξόνων. Οι άξονες που θα χρησιμοποιηθούν είναι επιχρωμιωμένου χάλυβα Ck45 έτσι δεν απαιτείται κατεργασία στην επιφάνειά του και εξασφαλίζεται η σκληρότητα αλλά και η αύξηση της αντοχής. Επίσης η τραχύτητά της είναι τέτοια ώστε να συνεργάζονται χωρίς φθορές με τα στοιχεία στα οποία έρχονται σε επαφή.

8.1 Άξονας τροχού διαμόρφωσης

Ο σχεδιασμός του άξονα αυτού παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Οι θέσεις στις οποίες πρέπει να επικεντρωθεί η ανάλυση είναι αυτές στις οποίες υπάρχουν διαβαθμίσεις.



Σχήμα 93 : Άξονας τροχού διαμόρφωσης, Σχήμα

Από τα διαγράμματα καμπτικών και στρεπτικών ροπών και τη σχεδίαση του άξονα αυτού παρατηρείται ότι η πιο επικίνδυνη θέση είναι η G, όπου υπάρχει σφήνα οπότε και συγκέντρωση των τάσεων. Στη θέση αυτή ο άξονας καταπόνεται με εναλλασσόμενη κάμψη και σταθερή στρεπτική ροπή.

Ο υπολογισμός θα γίνει βάσει της θεωρίας Μέγιστων Διατμητικών Τάσεων και του κριτηρίου Soderberg. Για να μην υπάρξει λοιπόν αστοχία πρέπει:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi S_{yp}} \sqrt{\left(M_m + k_f M_r \frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + k_{fs} T_r \frac{S_{sy}}{S_{se}}\right)^2}} \quad (8.1)$$

Όπου εδώ $M_m = 0$ και $T_r = 0$

Οπότε η σχέση υπολογισμού της διαμέτρου γίνεται:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi S_y} \sqrt{\left(k_f M_r \frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} (T_m)^2}} \quad (8.2)$$

Όπου,

$M_r = M_G$ η καμπτική ροπή και $T_m = 24 \text{ Nm}$ η στρεπτική

Συντελεστής ασφαλείας N επιλέγεται ίσος με 1,5 ώστε να καλυφθούν και οι όποιες μηχανικές και λόγω τριβών απώλειες του συστήματος.

Χρησιμοποιείται ένθετη σφήνα 6x6 με βάθος σφηνόδρομου 3,5mm.

Ο δυναμικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων στον σφηνόδρομο, k_f είναι ίσος με $k_f = 1 + q(k_i - 1)$

Όπου $q = 0,8$ για ακτίνα εγκοπής $r = 0,5$

και $r/d = 0,03$.

Λόγω της κάμψης $K_t = 2$ ΟΠΟΤΕ $K_f = 1,8$

Λόγω της στρέψης $K_t = 2,3$ ΟΠΟΤΕ $K_f = 2,04$

Ελέγχοντας την πιο ακραία τιμή μένει η μεγαλύτερη τιμή του $K_t = 2,3$

Άρα $K_f = 2,04$

S_y το όριο διαρροής του υλικού του άξονα σε εφελκυσμό, 750 MPa

S_e το όριο διαρκούς αντοχής του υλικού του άξονα, 370 MPa

Ισχύει $S_e = C_F C_R C_S S_n'$

Όπου

S_n' το όριο διαρκούς εργαστηριακής αντοχής,

C_F ο συντελεστής επιφανειακής κατεργασίας, ίσος με 1 καθώς ο άξονας είναι επιχρωμιωμένος, τύπου βάκτρο.

C_R ο συντελεστής αξιοπιστίας, ίσος με 0,81 για αξιοπιστία υλικού 99%.

C_S ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους, για διάμετρο άξονα ίση με 18mm, ίσος με 0,83.

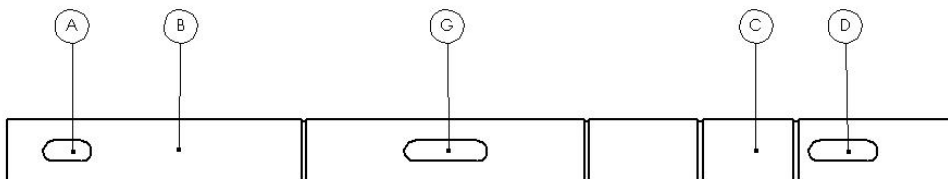
Επομένως προκύπτει:

$D = 17.3$ και τυποποιώντας προς τα πάνω προκύπτει

$D = 18 \text{ mm}$

8.2 Άξονας τροχού αποδιαμόρφωσης

Ο σχεδιασμός του άξονα αυτού παρουσιάζεται στην εικόνα ταδε. Οι θέσεις στις οποίες πρέπει να επικεντρωθεί η ανάλυση είναι αυτές στις οποίες υπάρχουν διαβαθμίσεις.



Σχήμα 94 : Άξονας αποδιαμόρφωσης

Από τα διαγράμματα καμπτικών και στρεπτικών ροπών και τη σχεδίαση του άξονα αυτού παρατηρείται ότι η πιο επικίνδυνη θέση είναι η θέση της εγκοπής ανάμεσα στις θέσεις B, G. Στη θέση αυτή ο άξονας καταπόνεται με εναλλασσόμενη κάμψη και σταθερή στρεπτική ροπή.

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ο υπολογισμός θα γίνει βάσει της θεωρίας Μέγιστων Διατμητικών Τάσεων και του κριτηρίου Soderberg. Για να μην υπάρξει λοιπόν αστοχία πρέπει:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi S_{yp}} \sqrt{\left(M_m + k_f M_r \frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + k_{fs} T_r \frac{S_{sy}}{S_{se}}\right)^2}} \quad (8.3)$$

Όπου εδώ $M_m = 0$ και $T_r = 0$

Οπότε η σχέση υπολογισμού της διαμέτρου γίνεται:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi S_y} \sqrt{\left(k_f M_r \frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} (T_m)^2}} \quad (8.4)$$

Όπου,

$M_r = 16.5 \text{ Nm}$ η καμπτική ροπή και $T_m = 5 \text{ Nm}$ η στρεπτική

Ο δυναμικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων στην εγκοπή, k_f είναι ίσος με $k_f = 1 + q(k_i - 1)$

Όπου $q = 0,8$ για ακτίνα εγκοπής $r = 0.5$

$r/d = 0.03$ και $D/d = 1.05$

Λόγω της κάμψης $K_t = 2.3$ ΟΠΟΤΕ $K_f = 2.13$

Λόγω της στρέψης $K_t = 1.7$ ΟΠΟΤΕ $K_f = 1.6$

Ελέγχοντας την πιο ακραία τιμή μένει η μεγαλύτερη τιμή του $K_t = 2.13$

Άρα $K_f = 2.13$

S_y το όριο διαρροής του υλικού του άξονα σε εφελκυσμό, 750 MPa

S_e το όριο διαρκούς αντοχής του υλικού του άξονα, 370 MPa

Ισχύει $S_e = C_F C_R C_S S_n'$

Όπου

S_n' το όριο διαρκούς εργαστηριακής αντοχής,

C_F ο συντελεστής επιφανειακής κατεργασίας, ίσος με 1 καθώς ο άξονας είναι επιχρωμιωμένος, τύπου βάκτρο.

C_R ο συντελεστής αξιοπιστίας, ίσος με 0,81 για αξιοπιστία υλικού 99%.

C_S ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους, για διάμετρο άξονα ίση με 18mm, ίσος με 0,83.

Επομένως προκύπτει:

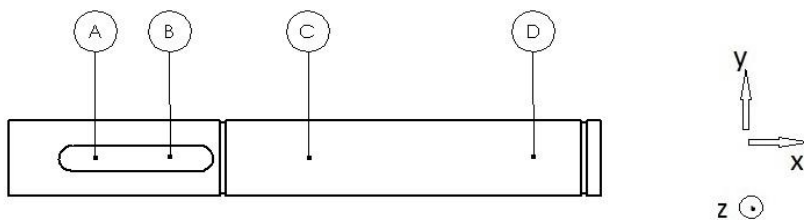
$D = 17.7$ και τυποποιώντας προς τα πάνω προκύπτει

$D = 18 \text{ mm}$

Οπότε έχοντας υπολογίσει την ελάχιστη διάμετρο των αξόνων για τις βαριά φορτισμένες περιπτώσεις, εκλέγεται ενιαία διάμετρος των αξόνων για τις μονάδες αυτές ίση με 18mm.

8.3 Άξονας μονάδας μείωσης ροπής

Ο σχεδιασμός του άξονα αυτού παρουσιάζεται στην εικόνα. Οι θέσεις στις οποίες πρέπει να επικεντρωθεί η ανάλυση είναι αυτές στις οποίες υπάρχουν διαβαθμίσεις.



Σχήμα 95 : Άξονας μονάδας αύξησης ροπών

Από τα διαγράμματα καμπτικών και στρεπτικών ροπών και τη σχεδίαση του άξονα αυτού παρατηρείται ότι η πιο επικίνδυνη θέση είναι η G, όπου υπάρχει σφήνα οπότε και συγκέντρωση των τάσεων. Στη θέση αυτή ο άξονας καταπόνεται με εναλλασσόμενη κάμψη και σταθερή στρεπτική ροπή.

Ο υπολογισμός θα γίνει βάσει της θεωρίας Μέγιστων Διατμητικών Τάσεων και του κριτηρίου Soderberg. Για να μην υπάρξει λοιπόν αστοχία πρέπει:

Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32N}{\pi S_{yp}} \sqrt{\left(M_m + k_f M_r \frac{S_y}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + k_{fs} T_r \frac{S_{sy}}{S_{se}}\right)^2}} \quad (8.5)$$

$M_r = M_B$ η καμπτική ροπή και $T_m = 10.7 \text{ Nm}$ η στρεπτική

Συντελεστής ασφαλείας N επιλέγεται ίσος με 1,5 ώστε να καλυφθούν και οι όποιες μηχανικές και λόγω τριβών απώλειες του συστήματος.

Χρησιμοποιείται ένθετη σφήνα 6x6 με βάθος σφηνόδρομου 3,5mm.

Ο δυναμικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων στον σφηνόδρομο, k_f είναι ίσος με $k_f = 1 + q(k_i - 1)$

Όπου $q = 0,85$ για ακτίνα εγκοπής $r = 0.5$

και $r/d = 0.03$.

Λόγω της κάμψης $K_t = 2$ ΟΠΟΤΕ $K_f = 1.8$

Λόγω της στρέψης $K_t = 2.2$ ΟΠΟΤΕ $K_f = 1,9$

Ελέγχοντας την πιο ακραία τιμή μένει η μεγαλύτερη τιμή του $K_t = 2,2$

Άρα $K_f = 1,9$

S_y το όριο διαρροής του υλικού του άξονα σε εφελκυσμό, 750 MPa

S_e το όριο διαρκούς αντοχής του υλικού του άξονα, 370 MPa

Ισχύει $S_e = C_F C_R C_S S_n'$ Όπου

S_n' το όριο διαρκούς εργαστηριακής αντοχής,

C_F ο συντελεστής επιφανειακής κατεργασίας, ίσος με 1 καθώς ο άξονας είναι επιχρωμιωμένος, τύπου βάκτρο.

C_R ο συντελεστής αξιοπιστίας, ίσος με 0,81 για αξιοπιστία υλικού 99%.

C_S ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους, για διάμετρο άξονα ίση με 18mm, ίσος με 0,83.

Επομένως προκύπτει:

$D = 18,3$ και τυποποιώντας προκύπτει

$D = 18 \text{ mm}$

9. Έλεγχοι αντοχής

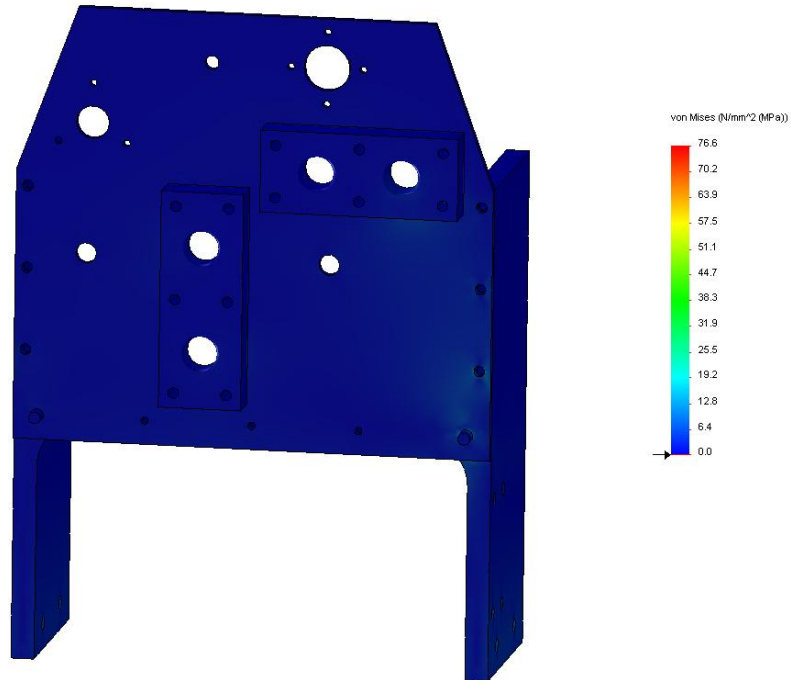
Έχοντας υπολογίσει της φορτίσεις που καταπονούν τους άξονες σε κάθε βαθμίδα πρέπει να γίνει έλεγχος των εξαρτημάτων που έχουν εκλεχθεί επιμέρους. Τα στοιχεία μηχανών αυτά είναι: οι αλυσοτροχοί, οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί, τα έδρανα ολίσθησης η αλυσίδα μετάδοσης κίνησης από τον κυρίως κινητήρα και των σφηνών.

9.1 Έλεγχος αντοχής πλακών

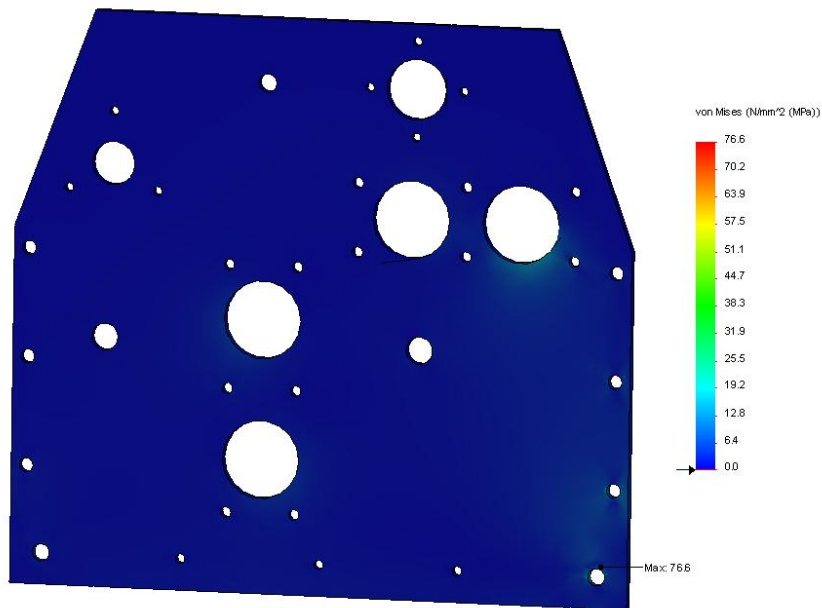
Για τον έλεγχο αντοχής των ορθογώνιων κουζινέτων τα οποία παραλαμβάνουν μέσω των εδράνων ολίσθησης αλλά και αυτόν των πλακών εξετάστηκε η εξής περίπτωση:

Σε πρώτη φάση βάσει των αποτελεσμάτων από τις δυνάμεις που παραλαμβάνουν οι άξονες παρατηρείται ότι η πλευρά της κατασκευής που είναι οι αλυσοτροχοί δέχεται τα μεγαλύτερα φορτία. Οπότε έγινε ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία στην πλευρά αυτή και πιο συγκεκριμένα στην πλάκα αυτής σε σχέση με τις επιφάνειες επαφής τόσο των κουζινέτων όσο και των πείρων που συνδέουν την πλάκα με τη δοκό HEA.

Θεωρήθηκε ότι τα τεμάχια μεταξύ τους δεν μπορούν να εισχωρήσουν το ένα μέσα στο άλλο. Έπειτα τοποθετήθηκαν οι στηρίξεις. Τα κουζινέτα τοποθετήθηκαν στις θέσεις τους και για να εξεταστεί η χειρότερη περίπτωση δεν λήφθηκαν υπόψη τα φορτία συγκράτησης των κοχλιών παρά τοποθετήθηκε κύλιση στην ελεύθερη πλευρά τους. Έτσι τα φορτία θα μεταφέρονται μονάχα μέσω των κυκλικών τομέων που έχουν σχεδιαστεί για την κέντρωσή τους. Στην πλάκα τοποθετήθηκε κύλιση στις θέσεις μόνο των κοχλιών των οποίων και λειτουργία είναι η συγκράτηση της πλάκας επάνω στο ήτα. Επίσης τοποθετήθηκε πάκτωση στο κάτω μέρος του ήτα. Τα φορτία τοποθετήθηκαν στις επιφάνειες όπου τοποθετούνται τα έδρανα ολίσθησης. Επομένως η παραλαβή των φορτίων στην περίπτωση αυτή γίνεται μονάχα από τους πείρους χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το φορτίο που θα απορροφούν οι κοχλίες συγκράτησης των πλακών ώστε να εξεταστεί η χειρόστη περίπτωση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζουν μέγιστες τάσεις von Mises της τάξης των 77 MPa στο σημείο επαφής της πλάκας με τον δεξιό πείρο. Η τιμή της τάσης αυτής δεν είναι ανησυχητική καθώς είναι πολύ χαμηλότερη από το όριο διαρροής του υλικού της πλάκας St37 235 MPa.

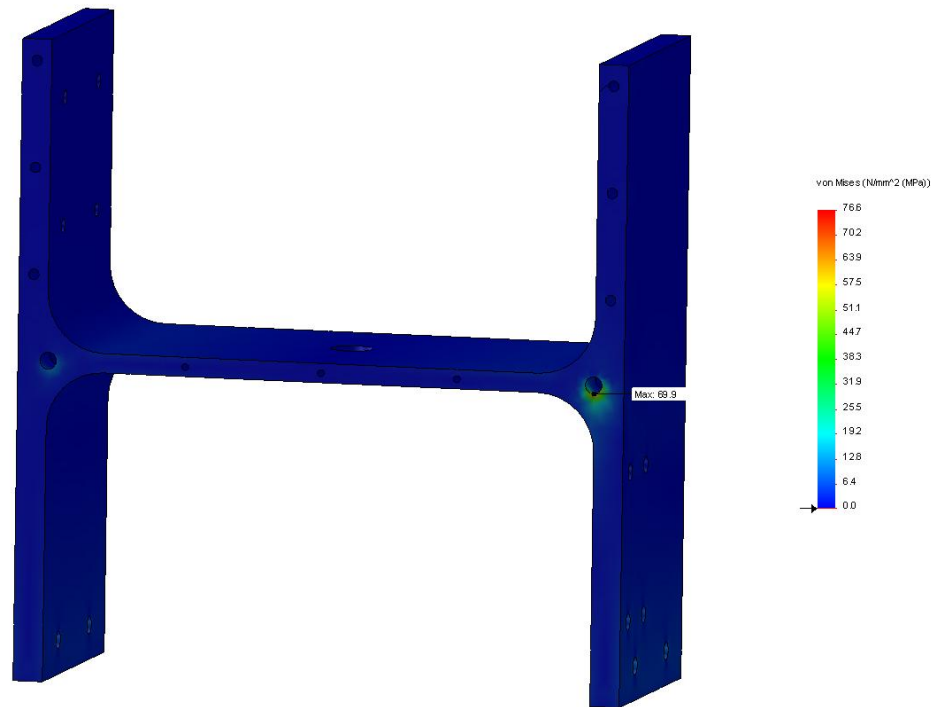


Σχήμα 96 : Κατανομή τάσεων von Mises



Σχήμα 97 : Κατανομή τάσεων von Mises στο έλασμα στήριξης

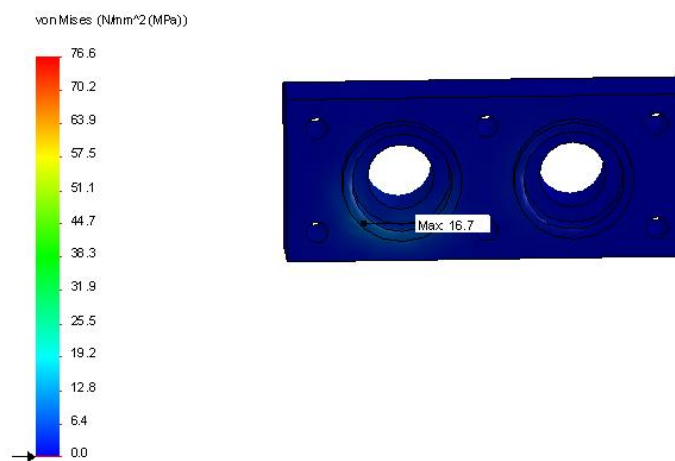
Οι αναπτυσσόμενες ροπές στην οπή τοποθέτησης της δοκού είναι επίσης πολύ χαμηλές 60,9 MPa (μέγιστη) όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 98



Σχήμα 98: Κατανομή τάσεων von Mises στη δοκό HEA

9.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΥΖΙΝΕΤΩΝ

Για τα κουζινέτα παρατηρείται μικρή ανάπτυξη τάσεων von Mises της τάξης των 16,7 MPa. Το υλικό τους υπενθυμίζεται ότι είναι αλουμίνιο 6082 με όριο διαρροής 150 MPa.



Σχήμα 99: Κατανομή τάσεων von Mises στο έδρανο των κανονικών κυλίνδρων

9.3 Έλεγχος αντοχής της μονάδας αύξησης ροπής

Για τον έλεγχο της αντοχής στα επιβαλλόμενα του κουζινέτου παραπλεύρως της πλατύπελμης δοκού ΗΕΑ έγινε επίσης ανάλυση μέσω πεπερασμένων στοιχείων. Τα στοιχεία για τις φορτίσεις που παραλαμβάνει ο άξονας του συλλέχθηκαν από την ανάλυση που έγινε για τον υπολογισμό της διαμέτρου του.

Στο σημείο όμως αυτό έπρεπε να συμπεριληφθεί στην ανάλυση που έγινε και οι κοχλίες πρόσδεσης του κουζινέτου αυτού. Οι κοχλίες μέσω της ροπής σύσφιξης που τους επιβάλλεται πρέπει να μην επιτρέψουν την ολίσθηση του κουζινέτου καθώς η ολίσθησή του θα στρέψει τους αλυσοτροχούς με αποτέλεσμα να έχουμε αστοχία. Ο έλεγχος της ολίσθησης λόγω των χαμηλών ταχυτήτων θα γίνει στατικά. Πιο συγκεκριμένα θεωρούμε ότι επιβάλλοντας ροπή σύσφιξης 0,5 της μέγιστης επιτρεπόμενης για κοχλίες Μ8 προκύπτει από την βιβλιογραφία δύναμη πρότασης ίση με 4,5 kN. Οι δυνάμεις που δέχεται το κουζινέτο όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι κατακόρυφες. Η μέγιστη είναι 1 kN οπότε γνωρίζοντας ότι ο συντελεστής στατικής τριβής μεταξύ αλουμινίου και χάλυβα είναι 0,6 έχουμε:

$$F_{friction}^{STATIC} = \mu_s N \quad (9.1)$$

όπου

$$N = F^{πρότασης} = 4,5kN \quad (9.2)$$

Άρα

$$F_{friction}^{STATIC} = 0.6 * 4,5 = 2.7kN \quad (9.3)$$

Οπότε η δύναμη αυτή της πρότασης είναι αρκετή ώστε να παραλάβει τα φορτία μέσω τις τριβής των τεσσάρων κοχλιών που συγκρατούν το κουζινέτο.

Στην ανάλυση λοιπόν που έγινε τοποθετήθηκε το κουζινέτο με οριακές συνθήκες: πάκτωση στη θέση των ροδελών που εδράζονται οι κοχλίες και στην επιφάνεια έρχεται σε επαφή με τη δοκό ΗΕΑ. Έπειτα εφαρμόστηκαν τέλος τα φορτία που λαμβάνει το κουζινέτο μέσω των στοιχείων ολίσθησης, όπως αυτά υπολογίσθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι τάσεις που προέκυψαν ήταν κατά πάρα πολύ μικρότερες του ορίου του υλικού.

9.4 ΣΦΗΝΕΣ

Για τον έλεγχο των σφηνών θα επιλεγεί για ανάλυση η σφήνα που δέχεται τη μεγαλύτερη στρεπτική ροπή και έχει το μικρότερο μήκος. Αυτή βρίσκεται στο τροχο διαμόρφωσης με τον αλυσοτροχό. Στον αλυσοτροχό λοιπόν υπάρχει σφήνα πρισματική 6x6 με μήκος 14mm με πίεση επιφανείας:

$$p = \frac{F}{(h-t)l} \quad (9.4)$$

Άρα

$$p = \frac{F}{(h-t)l} = \frac{2M_T}{d(h-t)l} = \frac{2 \cdot 24}{18 \cdot (6-3) \cdot 14} = 63.5 \cdot 10^7 \text{ N / mm}^2 \quad (9.5)$$

όπου

$$F = \frac{M_T}{d/2} \quad (9.6)$$

Άρα

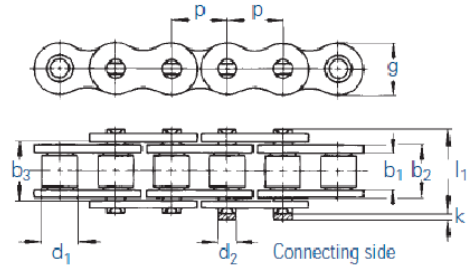
$$p = \frac{F}{(h-t)l} = \frac{2M_T}{d(h-t)l} = \frac{2 \cdot 24}{18 \cdot (6-3) \cdot 14} = 63.5 \cdot 10^7 \text{ N / mm}^2 \quad (9.7)$$

$$p_{\varepsilon\pi}(ck45) = 100 \text{ N / mm}^2$$

Άρα δεν υπάρχει περίπτωση αστοχίας στην πίεση επιφανείας της σφήνας στον άξονα περιστροφής.

9.4 Αλυσίδα μετάδοσης κίνησης

Η αλυσίδα κίνησης όπως έχει αναφερθεί είναι τυποποιημένη κατά DIN 8187, με βήμα 8mm.



Chain		Pitch		Inner width	Inner link width	Outer plate width	Roller Ø	Pin Ø	Plate height	Projection over connecting link	Width over pin	Bearing area	Minimum tensile strength DIN	Minimum tensile strength	Weight	Connecting links	
⚙		p		b ₁ min.	b ₂ max.	b ₃ min.	d ₁ max.	d ₂ max.	g max.	k max.	l ₁ max.	f	F _B min.	F _B min.	q ≈	No.	
No.	Ind.	No.	mm	inch	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kN	kN	kg/m	No.	
450		05 B-1	8,0	-	3,00	4,77	4,90	5,00	2,31	7,1	3,1	8,6	0,11	5,0	5,5	0,18	11,15

Σχήμα 100 : Αλυσίδα κίνησης

Από τη ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι η αλυσίδα καταπονείται με μέγιστη εφελκιστική δύναμη ίση με 536N. Η δύναμη αυτή είναι κατά πολύ μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης.

9.5 Έδρανα κυλίσεως

Τα έδρανα κυλίσεως που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτολιπαντα, το υλικό ολίσθησης είναι γραφίτης και η κατασκευάστρια εταιρία BARBIERI. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Max static load	150N/mm ²
Max dynamic load	1,5N/mm ² x m/sec.
Max sliding speed	2,5m/sec.
Working temperature	-200/+290°C
Thermal conductivity	46W/mxK
Friction factor	0,03-0,25
Linear expansion coefficient	10x10 ⁻⁶ /K



Σχήμα 101 : Έδρανα ολίσθησης

Το πιο φορτισμένο έδρανο ολίσθησης καταπονείται από στατική δύναμη 1kN και είναι τοποθετημένο στο κουζινέτο των τροχών αποδιαμόρφωσης. Το έδρανο αυτό καταπονείται με μέση πίεση ίση με:

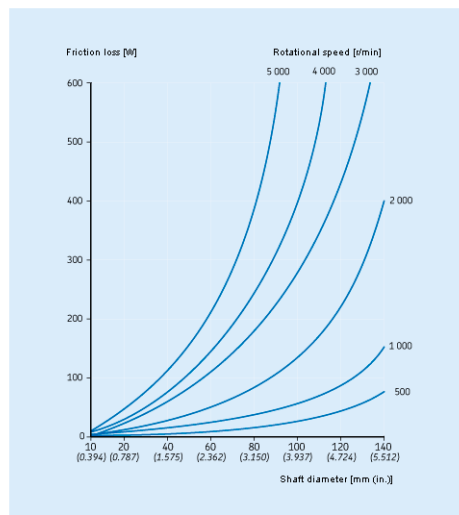
$$p_m = \frac{F}{2rl} = \frac{1000}{2 \cdot 9 \cdot 12} = 4.63 \text{MPa} \leq 150 \text{MPa} \quad \text{δεκτή.}$$

9.5 Τσιμούχες περιστροφής

Οι τσιμούχες περιστροφής που χρησιμοποιήθηκαν είναι υλικού NBR το οποίο δεν αντιδράει με την ρητίνη πολυεστέρα. Η απώλεια ισχύος συναρτήσει των στροφών δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 102 : Τσιμούχα περιστροφής



Σχήμα 103 : Απώλειες ισχύος τσιμούχας συναρτήσει των στροφών

Για στροφές αξόνων γύρω στις 200 rpm στις οποίες λειτουργούν παρατηρούμε ότι οι απώλειες ισχύος είναι κάτω των 5 W ανά τσιμούχα. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό μέσω του συντελεστή ασφαλείας στην διαστασιολόγηση των αξόνων.

10. Διεξαγωγή πειράματος

10.1 Γενικά

Το πείραμα το οποίο θα πραγματοποιηθεί έχει ως στόχο την σύγκριση του βαθμού εμπότισης της υαλοταινίας ανάμεσα στη χρήση διαμορφωτικών οδοντωτών τροχών και απλών κυλινδρικών τροχών. Σχεδιάστηκε επιπρόσθετα για το μηχανισμό που ήδη έχει επεξηγηθεί, ζεύγος απλών κυλίνδρων διαμέτρου 64mm ο καθένας. Το ζεύγος αυτό θα τοποθετηθεί στη θέση που βρίσκονται οι οδοντωτοί τροχοί διαμόρφωσης έτσι ώστε να συλληχθεί εμποτισμένο υαλοϋφασμα ως μέτρο σύγκρισης.

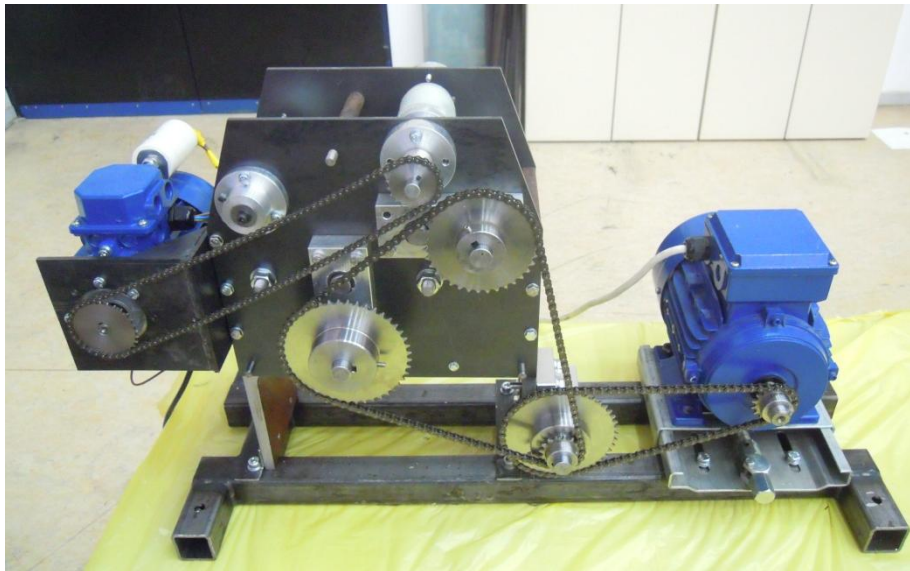
10.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί είναι η εξής:

1. Συναρμολόγηση, προετοιμασία και συγχρονισμός μηχανισμού
2. Προετοιμασία πολυεστέρα
3. Διεξαγωγή πειράματος με απλούς κυλινδρικούς τροχούς
4. Διεξαγωγή πειράματος με οδοντωτούς τροχούς
5. Καθαρισμός εξαρτημάτων και μηχανισμού

1. Συναρμολόγηση, προετοιμασία και συγχρονισμός μηχανισμού

Η συναρμολόγηση, η προετοιμασία και ο συγχρονισμός έγινε βάσει σχεδίων και όλων όσων αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο των μερών του μηχανισμού. Η ταχύτητα στην οποία ρυθμίστηκε ο ελεγκτής στροφών ήταν της τάξης των 100 rpm. Επίσης τοποθετήθηκε μήκος υαλοϋφάσματος περί τα 2 μέτρα.



Σχήμα 104 : Μηχανισμός

2. Προετοιμασία πολυεστέρα

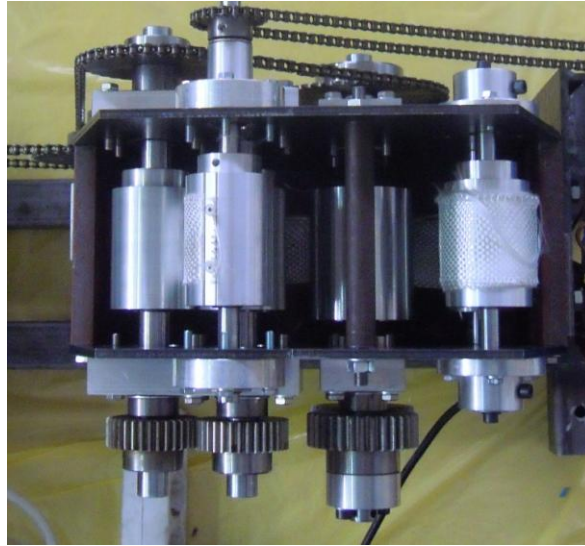
Έχοντας έτοιμη την διάταξη του εμποτισμού επόμενο βήμα είναι η προσθήκη κατάλληλης ποσότητας καταλύτη που απαιτείται για τον ταχύ πολυμερισμό της ρητίνης πολυεστέρα. Η απαιτούμενη ποσότητα πολυεστέρα για τη διενέργεια ενός πειράματος είναι 2,4 lt. Ο καταλύτης προστίθεται σε ποσοστό 1-2% κατά βάρος σε σχέση με τον πολυεστέρα. Όσο πιο λίγος προστεθεί τόσο πιο αργός θα είναι ο πολυμερισμός του πολυεστέρα και λόγω αυτού θα επιτευχθούν καλύτερες μηχανικές αντοχές στο τελικό προϊόν. Η ποσότητα του καταλύτη όπως και η ταχύτητα πολυμερισμού εξαρτάται και από τις συνθήκες του χώρου όπου διεξάγεται το πείραμα.



Σχήμα 105: Προετοιμασία πολυεστέρα

3. Διεξαγωγή πειράματος με απλούς κυλινδρικούς τροχούς

Αρχικά τοποθετήθηκε η ο πολυεστέρας στη δεξαμενή του μηχανισμού και τέθηκαν σε λειτουργία ταυτόχρονα οι δύο κινητήρες. Μόλις ολοκληρώθηκε ο εμποτισμός, περισυλλέχθηκε το εμποτισμένο ύφασμα και εκκενώθηκε ο πολυεστέρας μέσω της σπής στο κάτω μέρος της δεξαμενής.



Σχήμα 106 : Διεξαγωγή πειράματος με απλούς κυλινδρικούς τροχούς

4. Διεξαγωγή πειράματος με οδοντωτούς τροχούς

Στη συνέχεια αποσυναρμολογήθηκε η μία λαμαρίνα από την πλευρά των μετωπικών γραναζιών. Έγινε η αντικατάσταση των απλών κυλίνδρων με τους οδοντωτούς, επανασυναρμολογήθηκε ο μηχανισμός και τοποθετήθηκε ξανά γρήγορα ο πολυεστέρας στην δεξαμενή. Κατόπιν τέθηκαν ξανά οι κινητήρες σε λειτουργία και μόλις ολοκληρώθηκε ο εμποτισμός περισυλλέχθηκε το τελικό προϊόν.



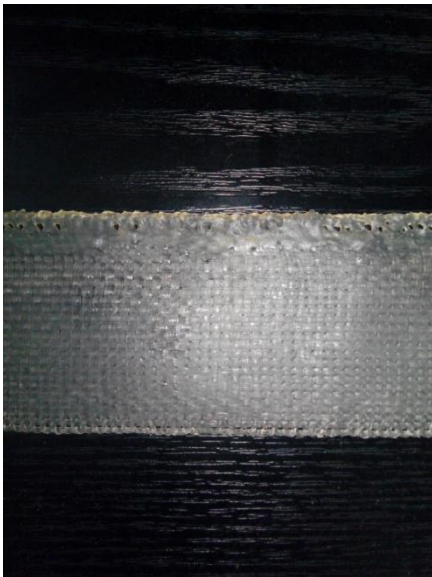
Σχήμα 107: Διεξαγωγή πειράματος με οδοντωτούς τροχούς

5. Καθαρισμός εξαρτημάτων και μηχανισμού

Τέλος εκκενώθηκε ο πολυεστέρας και ψεκάστηκαν τα μέρη του μηχανισμού που είχαν επικαλυφθεί με ρητίνη με καθαριστικό ECO-SOLV. Το καθαριστικό αυτό είναι υποκατάστατο της ακετόνης και έχει 100% βάση υδρογονάνθρακες. Επιλέχθηκε καθώς ήταν το μόνο το οποίο δεν προκαλούσε αλλοίωση στις περιστροφικές τσιμούχες. Κατόπιν αποσυναρμολογήθηκε όλος ο μηχανισμός και καθαρίστηκε κάθε επιμέρους εξάρτημα.

11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει την πειραματική διαδικασία και περισυλλέξει τα εμποτισμένα υαλοϋφάσματα και για τις δύο περιπτώσεις εμποτισμού, ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τα τελικά προϊόντα παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 108: Εμποτισμένη υαλοταινία με κανονικούς τροχούς



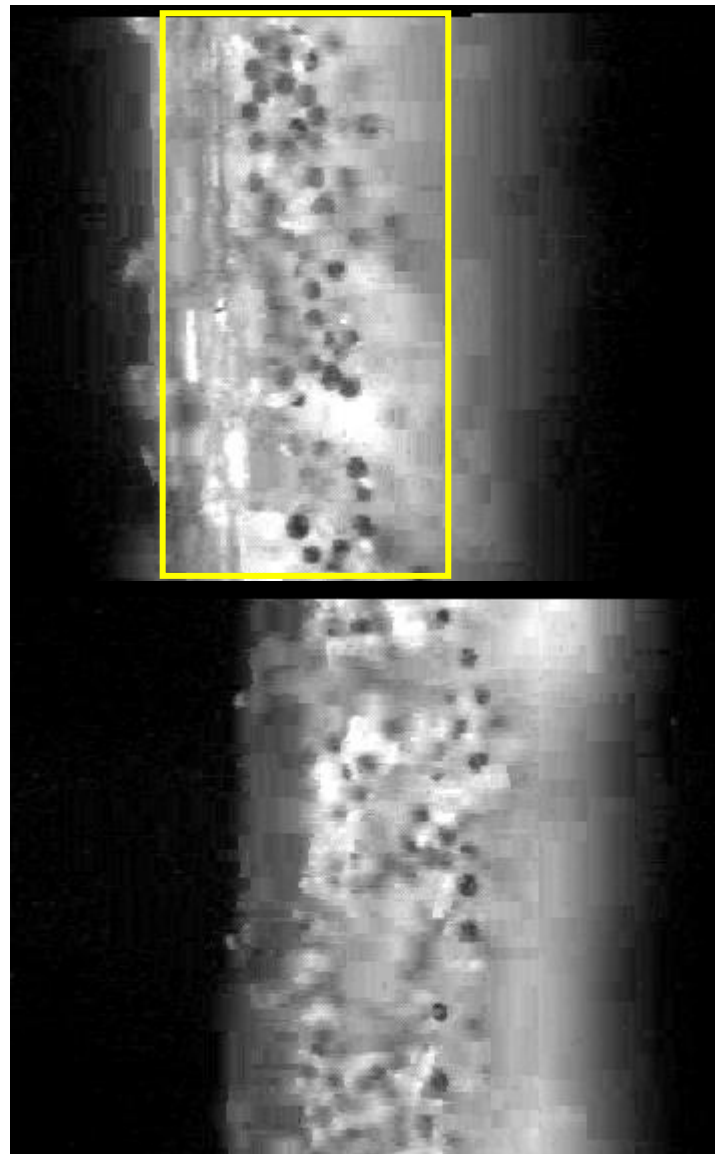
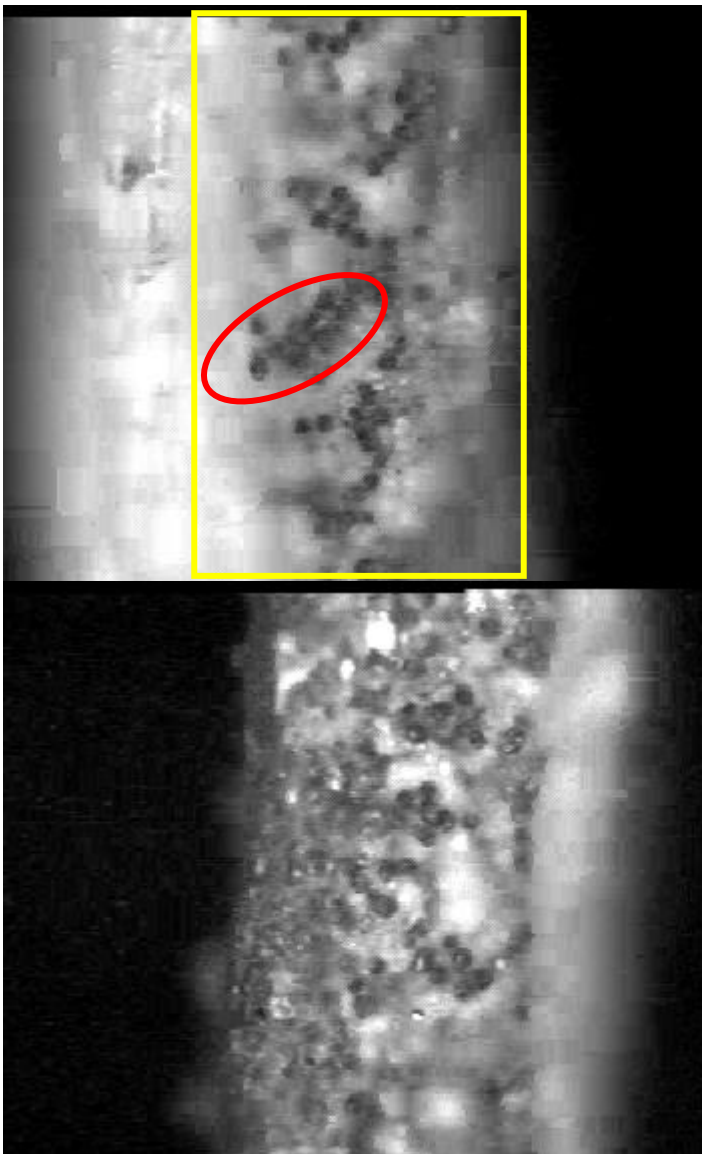
Σχήμα 109: Εμποτισμένη υαλοταινία με οδοντωτούς τροχούς

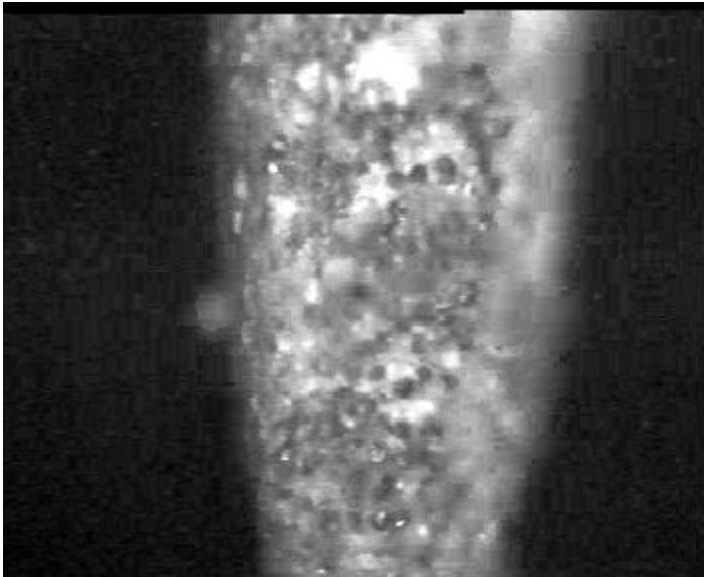
Ένα πρώτο στοιχείο που παρατηρείται και θα πρέπει να επισημανθεί, είναι ότι ο εμποτισμός του υαλοϋφάσματος με τους οδοντωτούς τροχούς δεν καταστρέφει ούτε προκαλεί κάποια φθορά στο τελικό προϊόν. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει την αρχική μελέτη, ότι δηλαδή η εφαρμογή ενός ινώδους υλικού πάνω στην διπλή ημιτονοειδή κατατομή που παρουσιάστηκε, ενώ προκαλεί τη διαφορική μετακίνηση των ινών, άρα και την αύξηση των διακένων τους, δεν προκαλεί καμία φθορά στις ίνες.

Η βελτίωση του εμποτισμού αλλά και ο αναμενόμενος μικροδιαχωρισμός μεταξύ των ινών θα εξεταστεί σε πρώτη φάση μόνο σε ποιοτικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα έγιναν τομές μετωπικά στις εμποτισμένες υαλοταινίες και για τις δύο περιπτώσεις, σε θέσεις όπου

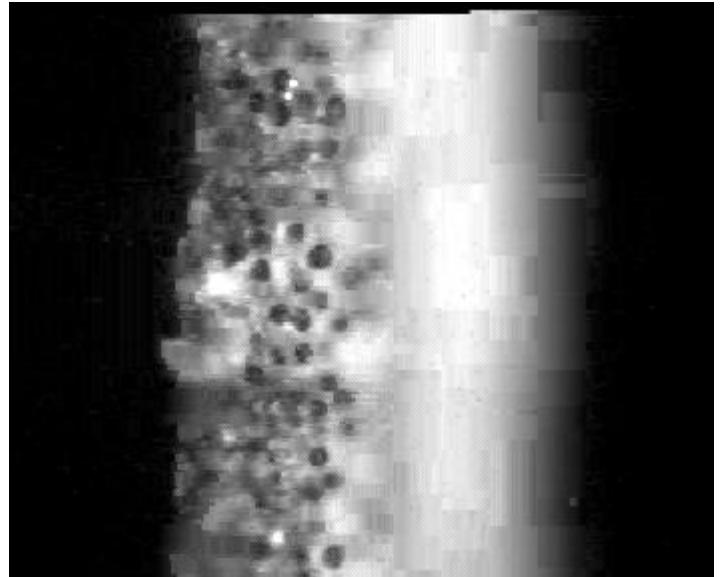
Γ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΑΚΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΙΝΩΔΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

παρατηρήθηκε πολύ καλό επίπεδο εμποτισμού. Έπειτα στο εργαστήριο του τομέα Κατεργασιών των Υλικών ελήφθησαν φωτογραφίες στα μέτωπα αυτά των τομών μέσω μικροσκοπίου. Οι φωτογραφίες είναι σε κλίμακα κατά την οποία 1 mm αντιστοιχεί σε 5μm. Ενώ αυτές που είναι πιο μακρινές (όπου Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο χαρακτηριστικές εικόνες από αυτή τη διαδικασία.





Σχήμα 110: Εικόνες τομής υαλοταινίας με κανονικούς τροχούς



Σχήμα 111: Εικόνες τομής υαλοταινίας με οδοντωτούς τροχούς

Παρατηρείται ότι στη τομή τους προϊόντος εμποτισμού με οδοντωτούς τροχούς έχει επιτευχθεί όπως αναμενόταν μικροδιαχωρισμός των ινών, παρατήρηση που γίνεται ξεκάθαρη εάν κοιτάξει κανείς προσεκτικά τις εικόνες της τομής από τον εμποτισμό με τους απλούς τροχούς. Στις οποίες παρατηρείται ότι οι ίνες δημιουργούν κατά την εμπότισή τους ομάδες-συσσωματώματα όπως σημειώνεται με τους κόκκινους κύκλους. Το φαινόμενο αυτό δυσχεραίνει την ήδη απαιτητική διαδικασία εισχώρησης της ρητίνης ανάμεσα τους.

Συμπεραίνεται ότι η χρήση μη συνεργαζόμενων οδοντωτών τροχών διπλής ημιτονοειδής κατατομής οδηγεί σε βελτίωση του εμποτισμού επιβεβαιώνοντας την διερεύνηση που έχει πραγματοποιηθεί για τη χρήση τους.

Σε επόμενο στάδιο προτείνεται η βελτιστοποίηση των γεωμετρικών στοιχείων των τροχών (αριθμός οδόντων – διάμετρος – ύψος οδόντων), η μετέπειτα κατασκευή τους από μεταλλικούς κυλίνδρους. Έτσι ώστε να αποφευχθούν οι αποκλίσεις που παρουσιάστηκαν μέσω της κατασκευής τους από τη μηχανή ταχείας προτυποποίησης.

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βάιος Αραμπατζής, «Σχεδιασμός συστήματος οδοντωτών κυλίνδρων διπλής ημιτονοειδούς κατατομής για βελτιωμένο συνεχή εμπότισμό ινωδών υλικών μέσω μικροδιαχωρισμού των ινών», Αθήνα 2013
- [2] Μελέτιος Βούλαρης, «Μηχανολογικό Σχέδιο», εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2004
- [3] Θεόδωρος Κωστόπουλος, «Οδοντώσεις και μειωτήρες στροφών», εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005
- [4] Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, «Στοιχεία Μηχανών» 2^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2014
- [5] Ευάγγελος Παπαδόπουλος, «Ηλεκτρομηχανικά Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2001