



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΕΝΟΥ (VACUUM-FORMER).



ΜΠΙΚΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Στους γονείς μου, Γιώργο Μπίκο και Μαρία Μπίκου.
Στον αγαπημένο μου αδελφό, Θάνο Μπίκο.

Που με στήριξαν σε όλους μου του αγώνες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου **Αριστομένη Αντωνιάδη** για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που μου έδειξε και η οποία με τιμά ιδιαίτερα.

Θερμό ευχαριστώ θέλω επίσης να εκφράσω στον καθηγητή **Παναγιώτη Παρτσινέβελο** για την εξαιρετική πολυετή συνεργασία μας, τις πολύτιμες συμβουλές του, ακαδημαϊκές και μη, και την πίστη του σε εμένα, ακόμα και όταν εγώ δεν πίστευα στον εαυτό μου.

Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή μου **Νικόλαο Μπιλάλη** του οποίου τα μαθήματα αποτέλεσαν πάντα για εμένα πηγή έμπνευσης.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους αγαπημένους φίλους, μέσα και έξω από το Πολυτεχνείο Κρήτης, που με στήριζαν διαρκώς στην πορεία μου μέχρι εδώ. Ειδικά θέλω να ευχαριστήσω τους **κ. Στέλιο Λαμπαθάκη, Κωνσταντίνο Ψίχα, Θεοδόση Καρπούζη και Αργύρη Στρατουδάκη**.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαδικασία της κενοδιαμόρφωσης είναι μια μέθοδος κατεργασίας θερμοπλαστικών με ευρύ φάσμα εφαρμογών. Στη διαδικασία αυτή το υλικό, σε μορφή φύλλου, θερμαίνεται πάνω από την θερμοκρασία ευπλαστότητάς του (αλλά όχι τήξης του) και κατόπιν εφαρμόζεται πάνω σε κατάλληλο καλούπι. Ο αέρας μεταξύ του καλουπιού και του φύλλου αναρροφάται και έτσι η ατμοσφαιρική πίεση υποχρεώνει το φύλλο του υλικού να εφαρμόσει στο καλούπι. Ύστερα το υλικό επιστρέφει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να αποκτήσει ξανά την ακαμψία του και αφαιρείται από το καλούπι για τυχόν περεταίρω κατεργασία, πχ αποκοπή της φύρας κτλ. Οι μηχανές κενοδιαμόρφωσης ποικίλουν σε μορφή, μέγεθος και δυνατότητες και καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα από μικρές χειροκίνητες επιτραπέζιες μηχανές, με ικανότητα διαμόρφωσης φύλλων πάχους μερικών δέκατων του χιλιοστού, έως μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, πλήρως αυτοματοποιημένες, με δυνατότητα διαμόρφωσης φύλλων μερικών τετραγωνικών μέτρων και/ή μεγάλου πάχους έως και λίγων εκατοστών. Η μέθοδος χαίρει ευρείας υιοθέτησης στον τομέα της παραγωγής συσκευασιών αλλά επίσης στην παραγωγή πολλών εξαρτημάτων για προϊόντα κάθε κλίμακας.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση και κατασκευή μιας μηχανής κενοδιαμόρφωσης, χωρίς καθοδήγηση από κάποιο βιομηχανικό πρότυπο και με κύριο κριτήριο την καλύτερη δυνατή απόδοση στο ελάχιστο δυνατό κόστος καθώς και η διαχείριση των προβλημάτων/προκλήσεων που ακολουθούν ένα τέτοιο εγχείρημα.

Η μηχανή, έχει μορφή σταθερής τράπεζας/πλατώ, με σταθερό φούρνο υπεράνω αυτών και πλαίσιο συγκράτησης του προς διαμόρφωση φύλλου κινούμενο μεταξύ τους και είναι ικανή για διαμόρφωση φύλλων υλικού διάστασης 50cm x 70cm. Είναι εξοπλισμένη με ενσωματωμένο σύστημα αναρρόφησης υψηλού κενού αλλά διαθέτει και επιπλέον δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερική διάταξη αναρρόφησης. Έχει ψηφιακό έλεγχο ακριβείας για την ένταση θέρμανσης και σύστημα διπλής τροφοδοσίας ισχύος, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει απρόσκοπτα τόσο από συμβατική παροχή 230V 16A (οικιακή πρίζα schuko) όσο και από βιομηχανική μονοφασική παροχή 230V 32A, ρυθμίζοντας αυτόματα τη μέγιστη ισχύ της, ανάλογα με την επιλεγόμενη τροφοδοσία. Είναι σχεδιασμένη να καταλαμβάνει μικρό εμβαδό, μόλις 100cm x 80cm, και το κόστος της είναι αρκετές φορές μικρότερο από αντίστοιχης κλίμακας εμπορικές μηχανές.

Στην εργασία περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής της μηχανής και αναλύονται τα επιμέρους συστήματα αυτής, όπως το δομικό, το πνευματικό και το ηλεκτρολογικό και ηλεκτρικό της σύστημα και δίδεται μια περιγραφή της διαδικασίας χειρισμού της. Έπειτα παρουσιάζονται και αξιολογούνται παραδείγματα χρήσης της και γίνεται τελικός απολογισμός κόστους σε σύγκριση με εμπορικά μοντέλα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	2
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	2
1.2 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας	2
1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας	3
2. Στάθμη Γνώσεων	4
2.1 εισαγωγή	4
2.2 πεδίο εφαρμογών	4
2.3 Τύποι μηχανών, Διατάξεις	7
3. Κατασκευή Πρωτοτύπου	8
3.1 Σκελετός-Σασσί	9
3.1.1 Κάτω πλαίσιο	10
3.1.2 Άνω πλαίσιο	13
3.2 Φούρνος	15
3.3 Μηχανισμός Συγκράτησης	19
3.4 Πνευματικό Σύστημα	26
3.5 Ηλεκτρική εγκατάσταση	36
3.6 Πίνακας ελέγχου	52
4. Λειτουργία και Δοκιμές	58
4.1 Περιγραφή και λειτουργίας της μηχανής	58
4.1.1 Σύνδεση σε παροχή και επιλογή ισχύος	61
4.1.2 Γενική διαδικασία χειρισμού	62
4.2 Δοκιμή, αποτελέσματα και συμπεράσματα	63
4.2.1 Δοκιμή με ABS, πάχους 1.5mm	63
4.2.2 Δοκιμή με Βινύλιο, πάχους 2.2mm	64
4.2.3 Δοκιμή με Πολυκαρβονικό, πάχους 2mm	64
4.2.4 Δοκιμή με PET, πάχους 1.25mm	65
5. Απολογισμός Βάση αποτελεσμάτων	66
5.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων, συγκεκριμένες παρατηρήσεις.	66
5.2 Σημεία της κατασκευής που επιδέχονται βελτίωσης.	67
5.3 Αδύναμα σημεία. Τι θα μπορούσε να έχει γίνει καλύτερα.	68
5.4 Αξιολόγηση κόστους.	69
6. Σύνοψη	70
7. Βιβλιογραφία	71

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι Κενο-Διαμορφωτές (Κ/Δ, vacuum-forming machine, vacuum-former ή vacuform) είναι μηχανές επεξεργασίας θερμοπλαστικών υλικών οι οποίες χρησιμοποιούν θερμότητα και αναρρόφηση αέρα, για να υποχρεώσουν την πρώτη ύλη να συμμορφωθεί στο σχήμα μίας πρότυπης μήτρας (καλουπιού).

Οι μηχανές αυτές, σε βιομηχανικό περιβάλλον και κλίμακα, χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την δημιουργία πλαστικών συσκευασιών προϊόντων (blister packs) αλλά και για πιο απαιτητικές εφαρμογές όπως πχ η διαμόρφωση του εσωτερικού κελύφους ενός οικιακού ψυγείου τροφίμων ή μεγάλα πλαστικά τμήματα της καμπίνας ενός αεροσκάφους.

Σε μικρότερη κλίμακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές προτυποποίησης, όπως για παράδειγμα η δημιουργία ενός θερμοπλαστικού καλύμματος από Lexan για ένα πρωτότυπο μη επανδρωμένο αεροσκάφος, με χειροποίητη μήτρα κατασκευασμένη από πολυστερίνη (φελιζόλ).

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας αφορά στην κατασκευή μηχανήματος κενο-διαμόρφωσης, κατά το δυνατόν με χαμηλό κόστος και με υλικά διαθέσιμα στην ελληνική αγορά.

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας στοχεύει να εξυπηρετήσει εφαρμογές αυτής της τελευταίας κλίμακας καθώς και άλλες παρόμοιου μεγέθους.

1.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κατασκευή της μηχανής έγινε σύμφωνα με τις εξής βασικές προδιαγραφές/απαιτήσεις:

- **Ικανότητα διαμόρφωσης επίπεδων φύλλων πρώτης ύλης, διαστάσεων 50cm x 70cm.** Οι διαστάσεις αυτές δίνουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε μήτρες αρκετά μεγάλες, για τον σχηματισμό τμημάτων ατράκτου μη επανδρωμένων οχημάτων, τάξης μεγέθους έως 1200mm, από άξονα σε άξονα, για πολυκόπτερα (multicopters) και ανοίγματος φτερών 1.2-1.5m για οχήματα σταθερής πτέρυγας (fixed-wing UAVs, gliders). Παράλληλα επιτρέπουν στο φύλλο της πρώτης ύλης, αρχικών διαστάσεων περίπου 205x305cm, να αποδώσει αρκετά κομμάτια υλικού με σχετικά χαμηλή φύρα.
- **Δυνατότητα λειτουργίας με δύο πηγές ισχύος αναρρόφησης.** Η μηχανή να έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει τόσο με την δική της διάταξη αναρρόφησης υψηλού κενού (αντλία κενού και ταμιευτήρα), όσο και με εξωτερική προσαρμογή οικιακής ή/και βιομηχανικής ηλεκτρικής σκούπας, είτε ανεξάρτητα (μόνο με ένα σύστημα κάθε φορά), είτε και ταυτόχρονα, με συνδυασμό των δύο συστημάτων. Η συνθήκη αυτή βελτιώνει τόσο την αξιοπιστία της μηχανής (δυνατότητα λειτουργίας όταν το ένα σύστημα αστοχήσει,) όσο και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της, αφού θα επιτρέπει τον συνδυασμό των υψηλών cfm της οικιακής σκούπας με το υψηλό κενό της αντλίας.

- **Ικανότητα διαμόρφωσης φύλλων πρώτης ύλης από ακρυλικό υλικό (plexiglass) ή/και πολυκαρβονικό (PC) με πάχος τουλάχιστον 1.5mm, με χρήση υψηλού κενού.** Φύλλα τέτοιων χαρακτηριστικών θα επιτρέπουν την παραγωγή τελικών κομματιών για χρήση ως τμήματα ατράκτου μη επανδρωμένων αεροσκαφών, με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά αντοχής σε μηχανική καταπόνηση.
- **Επίτευξη χαμηλού κόστους κατασκευής.** Στόχος, το κόστος κατασκευής να είναι μικρότερο από τη δαπάνη αγοράς ενός εμπορικού μηχανήματος παρόμοιων χαρακτηριστικών.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται γενική παρουσίαση της φιλοσοφίας των μηχανών κενοδιαμόρφωσης και μια σύντομη αναφορά σχετική με την διαδικασία της μεθόδου αυτής. Ο αναγνώστης αποκτά εικόνα σχετικά με τα εξής:

- Τί είναι στη γενική του μορφή ένας κενοδιαμορφωτής.
- Πώς λειτουργεί η διαδικασία της κενοδιαμόρφωσης.
- Πώς συγκρίνεται η διαδικασία αυτή με άλλες συγγενικές τεχνικές διαμόρφωσης θερμοπλαστικών,
- Πού χρησιμοποιείται η μέθοδος και γιατί επιλέγεται έναντι άλλων.
- Ποιά είναι τα κύρια είδη διατάξεων που μπορεί να έχει ένας κενοδιαμορφωτής;

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η κατασκευή της μηχανής που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Αναλύεται η διαδικασία κατασκευής και το σκεπτικό πίσω από συγκεκριμένες αποφάσεις που λήφθηκαν κατά την κατασκευή. Η διαδικασία παρουσιάζεται τμηματικά και περιγράφει την υλοποίηση όλων των επιμέρους συστημάτων της μηχανής:

- **Τα δομικά της μέρη:** Τα μέρη εκείνα που συνθέτουν το στατικό και μηχανικό κομμάτι της μηχανής, το σασί, το πλαίσιο συγκράτησης των προς κατεργασία τεμαχίων, την κατασκευή του θερμαντικού σώματος κτλ.
- **Το πνευματικό σύστημα:** Το σύνολο των επιμέρους εξαρτημάτων που συνθέτουν τον μηχανισμό αναρρόφησης και διαχείρισης «κενού αέρος»
- **Το ηλεκτρολογικό/ηλεκτρικό σύστημα:** Τον σχεδιασμό και την κατασκευή των διατάξεων διανομής και ελέγχου ισχύος που χρειάζεται η μηχανή.
- **Το σύστημα διεπαφής με το χρήστη:** Τα μέρη της μηχανής που επιτρέπουν τον ασφαλή χειρισμό της μηχανής από τον χρήστη.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας της μηχανής και δίδεται ένα σύντομο εγχειρίδιο χρήσης της. Κατόπιν παρουσιάζονται παραδείγματα από πειράματα που έγιναν με αυτή, για να διαπιστωθεί η καλή λειτουργία της και αξιολογούνται τα αποτελέσματα αυτών, επιγραμματικά.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται περεταίρω ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών, ειδικά εκείνων που έφεραν λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Γίνεται απολογισμός των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από αυτές, και περιγράφονται οι τρόποι με τους οποίους αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιώσεις της υπάρχουσας μηχανής ή/και της διαδικασίας χρήσης της. Τέλος, γίνεται αναφορά σε σημεία της κατασκευής τα οποία κρίνεται ότι μπορούν να υλοποιηθούν καλύτερα σε επόμενη έκδοση μιας παρόμοιας μηχανής, εξηγείται

επίσης γιατί αυτά κατασκευάστηκαν με τους παρόντες συμβιβασμούς και γιατί δεν έχει νόημα να βελτιωθούν στην παρούσα πλατφόρμα.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη γενική τους μορφή οι Κ/Δ αποτελούνται από μία τράπεζα ή πλατό, όπου τοποθετείται η μήτρα προς αντιγραφή, ένα σύστημα θέρμανσης της πρώτης ύλης και ένα σύστημα αναρρόφησης αέρα, με ικανότητα χαμηλού έως και υψηλού κενού. Οι απόλυτες τιμές πίεσης του συστήματος μπορεί να είναι από 0.8 bar έως και μερικά χιλιοστά στήλης υδραργύρου, ανάλογα με τον ακριβή τύπο της μηχανής, την πολυπλοκότητα της μήτρας και το είδος της πρώτης ύλης προς διαμόρφωση.

Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αντιγραφής μήτρας («καλουπώματος») θερμοπλαστικών, όπως πχ η έγχυση υπό πίεση (injection molding), στην κενοδιαμόρφωση η πρώτη ύλη δεν θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία τήξης της και δεν υγροποιείται ποτέ. Αντίθετα θερμαίνεται σε θερμοκρασία ανώτερη της Θερμοκρασίας «ευπλαστότητας» του υλικού (Vicat softening temperature), ώστε να γίνει μορφοποιήσιμο. Το θερμό πλαστικό, το οποίο είναι προσαρμοσμένο σε κινητό πλαίσιο συγκράτησης, τοποθετείται επάνω στη μήτρα με τρόπο τέτοιο ώστε το πλαίσιο να έρθει σε επαφή με την τράπεζα και ο ενδιάμεσος χώρος να σφραγιστεί αεροστεγώς. Στη συνέχεια ενεργοποιείται η μηχανή αναρρόφησης και ο αέρας μεταξύ της τράπεζας και της πρώτης ύλης αναρροφάται με ελεγχόμενο τρόπο. Λόγω της χαμηλότερης πίεσης στο εσωτερικό, η ατμοσφαιρική πίεση έξω από το φύλλο της πρώτης ύλης την υποχρεώνει σε συμμόρφωση με την εξωτερική επιφάνεια της μήτρας.

Η συμμόρφωση αυτή μπορεί να είναι,

- προσεγγιστική, επιτυγχάνεται δηλαδή το γενικό σχήμα του αντικειμένου αλλά όχι ενδεχόμενες μικρές λεπτομέρειες ή υφές του, πχ σε περίπτωση φύλου πρώτης ύλης μεγάλου πάχους ή/και με χρήση χαμηλού κενού,
- απόλυτη, οπότε επιτυγχάνεται έως και η υφή των επιφανειών της μήτρας στην εξωτερική επιφάνεια της πρώτης ύλης, πχ σε περίπτωση φύλου μικρού πάχους ή/και με χρήση υψηλού κενού.

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η κατεργασία αυτή καθώς και η συγγενική και αντίστροφή της, η πιεζοδιαμόρφωση (pressure forming) όπου η πρώτη ύλη υποχρεώνεται σε συμμόρφωση με τη μήτρα με εφαρμογή αέρα υψηλής πίεσης αντί κενού, είναι περισσότερο συγγενικές με την υδροδιαμόρφωση (hydroforming), διεργασία που εφαρμόζεται σε μεταλλικά ελάσματα, παρά με την έγχυση ή την έγχυση υπό πίεση (casting, injection molding).

2.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Εν γένει η μέθοδος είναι άριστη για παραγωγή λεπτών, ομοιόμορφου πάχους πλαστικών τεμαχίων, τα οποία θα ήταν δύσκολο να παραχθούν αξιόπιστα με άλλες μεθόδους, ειδικά σε περιπτώσεις αντικειμένων πολύπλοκης και απαιτητικής γεωμετρίας, παράγει δε τεμάχια τα οποία μετά την αποκοπή τους είναι έτοιμα για χρήση και δεν χρειάζονται επιπλέον

φινίρισμα ή κατεργασία της επιφάνειάς τους (finishing). Ακολουθούν μερικά παραδείγματα του πως αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως:

- **Παραγωγή συσκευασιών Blister.** Η σε όλους αναγνωρίσιμη συσκευασία blister, είναι εκείνη που αποτελείται από λεπτό διαφανές πλαστικό φύλλο, που περικλείει το προϊόν. Το πάχος του φύλλου μπορεί να είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο ανάλογα με την ευαισθησία του περιεχομένου της συσκευασίας και αν αυτό χρειάζεται προστασία ή όχι. Πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας συσκευασίας είναι οι καρτέλες φαρμάκων όπου το κάθε δισκίο ή κάψουλα περικλείεται σε ξεχωριστό κατάλληλα διαμορφωμένο διαμέρισμα της ίδιας συσκευασίας (σχήμα 2.1). Οι συσκευασίες blister μπορούν επίσης να αποτελούνται από μια μεγάλη κοιλότητα που περιέχει όλα τα μεμονωμένα τεμάχια, όπως στο σχήμα 2.2. Γενικά η διαμόρφωση της συσκευασίας μπορεί να έχει από μία απλή γεωμετρική κοιλότητα, πχ κύβος ή κύλινδρος, μέσα στην οποία χωράει το προϊόν, έως να είναι απολύτως σύμμορφη με τη γεωμετρία του.



Σχήμα 2.1: «Καρτέλα» δισκίων φαρμάκου, με πίσω όψη από φύλλο αλουμινίου



Σχήμα 2.2: Τυπική συσκευασία «blister» με πίσω όψη από χαρτόνι

- **Κατασκευή του εσωτερικού κελύφους οικιακών ψυγείων.** Πολλοί κατασκευαστές λευκών συσκευών χρησιμοποιούν μεγάλης κλίμακας μηχανές κενοδιαμόρφωσης για τον σχηματισμό του κελύφους που χρησιμοποιείται στο εσωτερικό των οικιακών ψυγείων. Τα κελύφη αυτά έχουν πολύπλοκες διαμορφώσεις μεταξύ των οποίων οι ράγες για την τοποθέτηση των ραφιών, σημάνσεις σχετικά με την κατανομή των ζωνών ψύξης στο εσωτερικό του ψυγείου και άλλες, ανάλογα με την περίπτωση. Οι διαμορφώσεις αυτές σχηματίζονται μια φορά σε μεταλλικές μήτρες, με τη βοήθεια παραδοσιακών μεθόδων κατεργασίας και κατόπιν το σχήμα αναπαράγεται μαζικά με πολύ χαμηλό κόστος με τη βοήθεια της κενοδιαμόρφωσης. Το αποτέλεσμα είναι ένα κομμάτι χωρίς ραφές, χωρίς κενά μεταξύ των διαφόρων επιφανειών και άρα με πολύ μικρές ανάγκες περεταίρω επεξεργασίας και ειδικά μόνωσής τους.

- **Κατασκευή πλαστικών μερών για οχήματα.** Τα μικρά ΙΧ αυτοκίνητα έως και τα μεγαλύτερα από τα επιβατικά αεροσκάφη φέρουν στα σαλόνια τους μεγάλα πάνελ, που έχουν διαμορφωθεί με κενοδιαμόρφωση. Τα μεγάλα πλαστικά τμήματα που καλύπτουν το εσωτερικό τοίχωμα της καμπίνας ενός επιβατικού αεροσκάφους είναι κατασκευασμένα με αυτόν τον τρόπο. Σε πολλά ΙΧ αυτοκίνητα, η εξωτερική επιφάνεια του ταμπλό αποτελείται από μια θερμοπλαστική επικάλυψη, μερικές φορές παχύ βινύλιο, η οποία είναι προσαρμοσμένη σύμμορφα πάνω στον σκελετό του ταμπλό. Με ειδικούς κενοδιαμορφωτές που φέρουν κατάλληλες φόρμες πάνω στις οποίες συναρμολογούνται τα διάφορα στατικά μέρη της κονσόλας, που συνήθως έχουν σχηματιστεί με injection molding, η επιφάνεια αυτή, αφού επιχριστεί με κατάλληλο θερμοευαίσθητο συγκολλητικό παράγοντα, θερμαίνεται και προσαρμόζεται επάνω στη φόρμα, όπου ταυτόχρονα παίρνει το επιθυμητό τελικό σχήμα αλλά και συγκολλάται μόνιμα στα διάφορα υποστρώματα, ώστε να σχηματιστεί ένα ενιαίο τεμάχιο. Αν και δεν θα ήταν το πρώτο υλικό που κάποιος θα σκεπτόταν για αυτήν τη μέθοδο κατεργασίας, κάποιοι παραγωγοί τη χρησιμοποιούν για να σχηματίσουν τις συνθετικές μοκέτες για το σαλόνι ΙΧ οχημάτων. Όταν το όχημα έχει δάπεδο με πολύπλοκη γεωμετρική διαμόρφωση η διαδικασία αυτή κάνει την εγκατάσταση της μοκέτας πολύ πιο εύκολη και το αποτέλεσμα πολύ πιο καλαίσθητο. Τέλος, αν και δεν είναι η συνήθης μέθοδος για την κατασκευή αυτών, υπάρχουν εταιρείες οι οποίες τη χρησιμοποιούν για να κατασκευάσουν αντίγραφα για μεγάλα εξωτερικά μέρη οχημάτων, όπως προφυλακτήρες ΙΧ αυτοκινήτων, είτε σαν ανταλλακτικά είτε σαν προϊόντα αισθητικής τροποποίησης.
- **Παραγωγή πλαστικών θηκών, δίσκων και άλλων δοχείων.** Πλαστικοί δίσκοι τροφίμων, πλαστικές θήκες για σκεύη διατροφής, πλαστικά πιάτα μίας χρήσης, θήκες για συσκευασία και μεταφορά μικρών γλαστρών και άλλων παρόμοιων αντικειμένων, θήκες αυγών και εκατοντάδες άλλες συσκευασίες παράγονται σχεδόν αποκλειστικά με τη μέθοδο της κενοδιαμόρφωσης, καθώς αυτή επιτρέπει παραγωγή τεμαχίων με εξαιρετικά λεπτά τοιχώματα και άρα μεγάλη οικονομία υλικού.
- **Εσωτερικά καθίσματα κανό, από πλαστικά.** Το αρκετά δημοφιλές χόμπι του κανόε/καγιάκ, χρησιμοποιεί συχνά την διαδικασία της κενοδιαμόρφωσης για να σχηματίσει την εσωτερική διαμόρφωση, το κάθισμα δηλαδή, του κανό.

Αν και τα παραδείγματα είναι πολλά, και τα παραπάνω είναι κάποια από τα πιο κύρια, στην πραγματικότητα η διαδικασία έχει χιλιάδες εφαρμογές, και χρόνο με το χρόνο οι εταιρίες που εφαρμόζουν το σύστημα της κενοδιαμόρφωσης προσφέρουν όλο και περισσότερες υπηρεσίες στους πελάτες τους. Επίσης, καθώς η μέθοδος βελτιώνεται, έχει αρχίσει να αντικαθιστά την έγχυση σε κενό σε διάφορες εφαρμογές. Τεμάχια που παραδοσιακά γίνονταν μόνο με την τελευταία, πλέον έχουν αρχίσει να αλλάζουν λογική σχεδίασης ώστε να γίνονται όλο και πιο συμβατά με την κενοδιαμόρφωση.

Ένας μεγάλος παράγοντας που έχει οδηγήσει σε αυτή την μεταστροφή είναι ότι, καθώς η κενοδιαμόρφωση απαιτεί για την πλειοψηφία των εφαρμογών της μόνο μία μήτρα, είναι εξαιρετικά οικονομικότερη και άρα πιο προσβάσιμη. Παλαιότερα για παράδειγμα, για την κατασκευή ενός καλύμματος για τον χώρο αποσκευών ενός ΙΧ που θα φέρει και εσοχή για τον πέμπτο τροχό (ρεζέρβα) και το γρύλο του οχήματος, θα χρειαζόμασταν μία μήτρα δύο τεμαχίων, μία για την πάνω και μία για την κάτω πλευρά της διαμόρφωσης, καθώς και μια ισχυρή μηχανή εξώθησης για της παραγωγή του τεμαχίου με την μέθοδο της έγχυσης με

πίεση (injection moulding). Πλέον όμως, με την χρήση μόνο μίας πολύ απλούστερης μήτρας ενός τεμαχίου, μόνο για την μία πλευρά της διαμόρφωσης, μπορούμε με κενοδιαμόρφωση να σχηματίσουμε ένα αντίστοιχο τεμάχιο με πολύ χαμηλότερο κόστος.

2.3 ΤΥΠΟΙ ΜΗΧΑΝΩΝ, ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Οι μηχανές κενοδιαμόρφωσης (συχνά αποκαλούμενες στην καθομιλουμένη του εμπορίου «πρέσες κενού») απαντώνται σε διάφορες μορφές, αλλά ανάμεσά τους κάποιες είναι συχνότερες ή/και ορίζουν την γενική διάταξη ανεξαρτήτως μεγέθους. Έτσι για παράδειγμα έχουμε της εξής κύριες οικογένειες:

- **Σταθερό πλατό, σταθερός φούρνος, κινούμενο πλαίσιο συγκράτησης.** Στην οικογένεια αυτή, στην οποία ανήκει και η μηχανή που διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία, υπάρχει ένα σταθερό πλατό, πάνω στο οποίο τοποθετείται η μήτρα προς αντιγραφή. Ο φούρνος βρίσκεται είτε πάνω από το πλατό, ή παράπλευρά του, αλλά είναι πάντα σταθερός στον χώρο. Το τεμάχιο συγκρατείται από ένα κινούμενο πλαίσιο, το οποίο είτε βρίσκεται σε διαμήκεις οδηγούς (φούρνος επάνω) είτε σε μεντεσέδες (φούρνος παράπλευρα) και σύρεται ή περιστρέφεται ώστε να μεταβεί από τον φούρνο στο πλατό. Η υλοποίηση αυτή είναι η απλούστερη και οικονομικότερη, καθώς το πλαίσιο συγκράτησης είναι το πιο εύκολο μέρος της συσκευής για να γίνει κινητό. Η υλοποίηση αυτή αφορά κυρίως ιδιοκατασκευές και εμπορικές συσκευές μικρής και μέσης κλίμακας που αφορούν ερασιτέχνες, χομπίστες και επαγγελματίες, οι οποίοι παράγουν σε μικρή κλίμακα. Τέτοιες υλοποιήσεις συνήθως δεν αυτοματοποιούνται και αποτελούν χειροκίνητες μηχανές. Ένα πλεονέκτημα του σταθερού πλατό είναι ότι απλά καλούπια δεν χρειάζεται να προσδεθούν σε αυτό, απλά μπορούν να τοποθετηθούν ελεύθερα επάνω του.
- **Σταθερό πλαίσιο συγκράτησης, κινούμενος φούρνος και πλατό.** Σε αυτή την οικογένεια έχουμε μηχανές όλων σχεδόν των κλιμάκων, από μικρές έως και μεγάλες βιομηχανικής κλίμακας. Εδώ, το πλαίσιο συγκράτησης του φύλλου είναι σταθερό στον χώρο, ενώ ο φούρνος βρίσκεται σε κινητή διάταξη, συνήθως οριζόντιες ράγες και κινείται «συρταρωτά», ώστε να έρθει επάνω από το φύλλο του υλικού. Το πλατό βρίσκεται κάτω από το φύλλο, με την μήτρα τοποθετημένη επάνω και σταθεροποιημένη με κατάλληλο τρόπο. Όταν η θέρμανση ολοκληρωθεί, ο φούρνος αποσύρεται και το πλατό ανέρχεται, χειροκίνητα ή/και πνευματικά σε μικρότερες μηχανές και υδραυλικά σε μεγαλύτερες, ώστε το καλούπι να ανέβει μέσα στο πλαίσιο συγκράτησης και κατόπιν να εφαρμοστεί το κενό. Οι μηχανές αυτές είναι πολύ ακριβότερες και συχνά διαθέτουν πολύ εξεζητημένες διατάξεις, όπως συστήματα μέτρησης όγκου αναρρόφησης, ρύθμιση ταχύτητας αναρρόφησης και άλλες διευκολύνσεις. Απαιτούν συνήθως, αν και όχι πάντα, την ύπαρξη διάταξης συμπίεσμένου αέρα για την λειτουργία τους, είτε αυτό σημαίνει ότι την έχουν ενσωματωμένη είτε ότι απαιτείται η σύνδεσή τους με υπάρχουσα. Χρησιμοποιούν τον συμπίεσμένο αέρα τόσο για την κίνηση του πλατό όσο και για την απελευθέρωση του τεμαχίου μετά τη λήξη της διαμόρφωσης. Πρέσες με αυτή τη διάταξη μπορεί να είναι πλήρως αυτοματοποιημένες, με δυνατότητα ρύθμισης κάθε λεπτομέρειας κάθε σταδίου της διαδικασίας, όπως τη θερμοκρασία του φύλλου, την ταχύτητα ανύψωσης την μήτρας, την ταχύτητα αναρρόφησης, την αναρρόφηση σε διακριτά στάδια με ενδιάμεσες αναμονές κτλ. Έχουν ένα μεγάλο πλεονέκτημα στο ότι μπορούν να προεντείνουν το φύλλο του υλικού, συμπιέζοντας ελαφρά τον χώρο κάτω από αυτό. Η προένταση βοηθά στην καλύτερη εφαρμογή του φύλλου στο

καλούπτι. Παραδείγματα τέτοιων μηχανών είναι η 725FLB και άλλες της εταιρίας «CRCClarke» και οι μηχανές της εταιρίας «FORMECH», η οποία παράγει από επιτραπέζιες, όπως η 450DT, έως μεγάλης κλίμακας μηχανές π.χ. η 2440 καθώς και πλήρως αυτοματοποιημένες, όπως η HD686

- **Εξειδικευμένες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.** Πρόκειται για μεγάλες μηχανές, με σκοπό την παραγωγή χιλιάδων ή και εκατομμυρίων τεμαχίων, μπορούν να κατασκευαστούν δε με δυνατότητα να λειτουργούν με τροφοδοσία υλικού σε μορφή ρολού (μπομπίνας). Οι μηχανές αυτού του τύπου συνδυάζονται με πρέσες αποκοπής των τελικών τεμαχίων και κατά κάποιο τρόπο αποτελούν μικρές γραμμές παραγωγής. Μπορεί να έχουν μέγεθος αρκετών τετραγωνικών μέτρων, να διαθέτουν συστήματα διπλής θέρμανσης (άνω και κάτω), διπλής μήτρας, όπου εκτός από την μήτρα προς αντιγραφή, χρησιμοποιείται επιπλέον πλαίσιο διαμόρφωσης από την αντίθετη πλευρά του τεμαχίου για την καλύτερη εφαρμογή του υλικού κτλ. Τέτοιες μηχανές συνήθως κατασκευάζονται συγκεκριμένα για τον σκοπό που θα χρησιμοποιηθούν και δεν αξίζει ιδιαίτερη αναφορά σε διαφορετικές διατάξεις τους.
- **Μικρής κλίμακας ιδιοκατασκευές.** Μικρές συσκευές, πολύ απλές σε μορφή, κατασκευάζονται από χομπίστες ανά τον κόσμο και υπάρχουν διαθέσιμες ακόμα και σαν kit για αγορά. Στην απλούστερη μορφή τους αποτελούνται από απλοϊκά κουτιά με διάτρητη οροφή που συνδέονται σε μια ηλεκτρική σκούπα και το πλαίσιο συγκράτησης έχει τη μορφή ξεχωριστού τεμαχίου που εφαρμόζεται χειροκίνητα. Πραγματικά οι μορφές τους περιορίζονται μόνο από τη φαντασία του δημιουργού τους.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ

Πρώτες αποφάσεις για τον σχεδιασμό της μηχανής ήταν η επιλογή της γενικής διάταξης αυτής, καθώς και ο προσδιορισμός των κύριων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών της. Τα παραπάνω πρέπει να συνάδουν με τα εξής κριτήρια:

- Η μηχανή πρέπει να καταλαμβάνει το δυνατόν μικρό εμβαδό δαπέδου ώστε να εξυπηρετεί ακόμα και σε περίπτωση περιορισμένου χώρου.
- Το κόστος κατασκευής πρέπει να είναι κατά το δυνατόν χαμηλό.
- Η μηχανή πρέπει να μπορεί να λυθεί σε επιμέρους τεμάχια ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής μεταφορά της χωρίς τη χρήση ειδικού οχήματος.

Με βάση τα παραπάνω, αποφασίστηκε ότι η μηχανή θα έχει διάταξη σταθερής τράπεζας-πλατώ, με εγκατάσταση θέρμανσης σταθερά τοποθετημένη υπεράνω αυτών και με πλαίσιο συγκράτησης του προς διαμόρφωση υλικού που θα κινείται μεταξύ των δύο. Αυτό έγινε διότι άλλες δημοφιλείς διατάξεις, όπως για παράδειγμα αυτή του κινουμένου φούρνου, απαιτούν την ύπαρξη προβόλου στο πίσω μέρος της μηχανής όπου θα αποσύρεται ο φούρνος όταν ολοκληρωθεί η θέρμανση. Αυτό αντιτίθεται στο πρώτο παραπάνω κριτήριο καθώς διπλασιάζει το απαιτούμενο εμβαδό δαπέδου της μηχανής. Με τη διάταξη που επελέγη, ο

φούρνος καταλαμβάνει το ίδιο εμβαδό με αυτό της τράπεζας και άρα η κατασκευή είναι πιο συμπαγής.

Περεταίρω, η διάταξη αποφεύγει την ανάγκη κατασκευής συστήματος ανύψωσης του πλατώ, μια διάταξη που θα ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκη στην υλοποίηση και άρα κοστοβόρα. Αντίθετα, η κατασκευή κινούμενου πλαισίου συγκράτησης είναι σημαντικά πιο απλή στην υλοποίηση.

Για την επίτευξη του τρίτου κριτηρίου, να μπορεί δηλαδή η μηχανή να λύνεται, αποφασίστηκε ο διαχωρισμός της κατασκευής σε κάποια κύρια μέρη. Έτσι, το άνω πλαίσιο με τον φούρνο αποτελεί μια ενιαία μονάδα καθώς ο όγκος του είναι εύκολα διαχειρίσιμος, αλλά το κάτω πλαίσιο, που είναι σημαντικά μεγαλύτερο, σχεδιάστηκε να διαιρείται στα επιμέρους τμήματά του, δηλαδή το δάπεδο, τα τοιχώματα και την τράπεζα-πλατώ, κάποια από τα οποία φέρουν μαζί και μέρη από τα λειτουργικά συστήματα της μηχανής (τα οποία θα δούμε αναλυτικά παρακάτω), για διευκόλυνση της συναρμολόγησης αλλά και την ευκολία μεταφοράς.

Έτσι για παράδειγμα, η τράπεζα έχει προσαρμοσμένο σε αυτή τον πνευματικό συλλέκτη, το δεξιό τοίχωμα, τον ηλεκτρολογικό πίνακα, ενώ η πρόσοψη τον πίνακα ελέγχου. Οι συνδυασμοί αυτοί θα αντιμετωπίζονται κατά την αποσυναρμολόγηση και συναρμολόγηση της μηχανής σαν αυτοτελείς μονάδες και έτσι μειώνεται η πολυπλοκότητα της διαδικασίας, αλλά και εξασφαλίζεται η ασφάλεια κάποιων εξαρτημάτων κατά τη μεταφορά.

Ξεχωριστά τμήματα αποτελούν επίσης το πλαίσιο συγκράτησης του υλικού και οι μοχλοί ανύψωσης αυτού, στοιχεία τα οποία μπορούν να αποσυναρμολογηθούν πολύ εύκολα και δεν καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο.

Ως υλικό για τα κύρια δομικά στοιχεία της μηχανής, δηλαδή το άνω και κάτω πλαίσιο, επιλέχθηκε το MDF κυρίως για λόγους κόστους, αλλά και ευκολίας κατεργασίας, καθώς η ενδεχόμενη χρήση προφίλ χάλυβα που εξετάστηκε, απαιτούσε μηχανές που δεν ήταν άμεσα διαθέσιμες, όπως για παράδειγμα μηχανές συγκόλλησης.

Έτσι, η κατασκευή του πρωτοτύπου χωρίζεται στα εξής βασικά μέρη:

- **Σκελετός:** Το πλαίσιο του μηχανήματος, ο φορέας όλων των συστημάτων.
- **Φούρνος:** Το σύστημα θέρμανσης των φύλλων πλαστικού που ενσωματώνεται στο άνω μέρος του σκελετού. Περιλαμβάνει τα θερμαντικά στοιχεία.
- **Μηχανισμός συγκράτησης:** Το πλαίσιο που συγκρατεί τα θερμοπλαστικά φύλλα και τα μετακινεί από το φούρνο στο πλατό.
- **Πνευματικό σύστημα:** Το σύστημα παραγωγής και ελέγχου κενού αέρος.
- **Ηλεκτρολογική εγκατάσταση:** Το σύνολο της εγκατάστασης που αφορά στην τροφοδοσία της αντλίας και του φούρνου καθώς και τον έλεγχο της ισχύος θέρμανσης.
- **Front-end:** Ο πίνακας ελέγχου, τα χειριστήρια του μηχανήματος καθώς και η συνδεσμολογία τους,

3.1 ΣΚΕΛΕΤΟΣ-ΣΑΣΣΙ

Ο σκελετός του μηχανήματος αποτελείται από τα εξής μέρη:

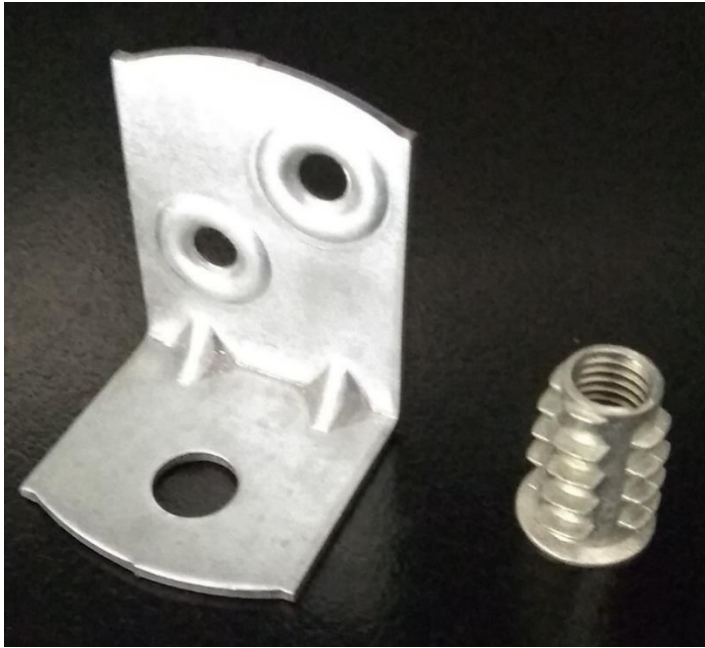
- **Κάτω πλαίσιο/βάση:** Το κάτω μέρος του μηχανήματος, αποτελείται από ένα έπιπλο που στεγάζει την πνευματική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Φέρει τροχούς που επιτρέπουν την εύκολη μετακίνηση του. Στο επάνω μέρος του είναι προσαρμοσμένο το αφαιρούμενο πλατό **πλατό**.
- **Άνω πλαίσιο:** Φέρει την εγκατάσταση θέρμανσης των φύλλων πλαστικού. Στο άνω τμήμα συγκαταλέγονται και οι κολώνες στήριξης αυτού.

3.1.1 ΚΑΤΩ ΠΛΑΙΣΙΟ

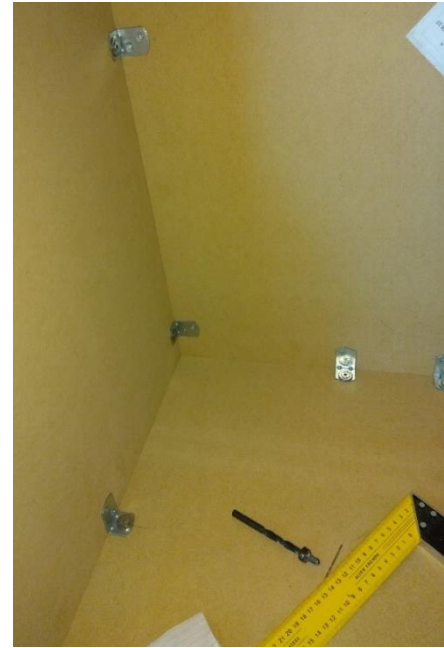


Σχήμα 3.1: Κάτω Πλαίσιο/βάση

Το κάτω πλαίσιο αποτελείται από ένα τροχήλατο ντουλάπι, κατασκευασμένο από MDF πάχους 16mm. Οι διαστάσεις του ντουλαπιού είναι εξωτερικά 80cm x 60cm x 94,7cm χωρίς να προστίθεται το πλατό, το οποίο στερεώνεται στην επάνω οριζόντια επιφάνειά του. Το τμήμα αυτό αποτελεί την μεγαλύτερη μονάδα όγκου του μηχανήματος και δημιουργεί τη μεγαλύτερη δυσκολία στη μεταφορά. Για τον λόγο αυτόν έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε να μπορεί να λύνεται για μεταφορά και να επανασυναρμολογείται, οσεςδήποτε φορές, χωρίς φθορά. Δεν έχει γίνει χρήση κόλλας και οι βίδες συναρμολόγησης (σχεδιασμένες να αφαιρούνται) δεν περνάνε διαμπερώς το φύλλο του MDF αλλά στερεώνονται μέσα του με «παξιμάδια ξύλου», πιο σωστά «threaded wood inserts». Τα «παξιμάδια» αυτά είναι ουσιαστικά μεταλλικοί κύλινδροι με εσωτερικό σπείρωμα M6 και εξωτερικά αδρό σπείρωμα σχεδιασμένο για μαλακά υλικά, όπως μοριοσανίδες, MDF κτλ. Αυτά τα παξιμάδια δίνουν την δυνατότητα να μην φθείρεται το MDF κάθε φορά που αποσυναρμολογούμε-συναρμολογούμε την κατασκευή, καθώς το παξιμάδι βιδώνεται μία φορά, σταθερά, μέσα στη σανίδα και ύστερα οι λοιπές εφαρμογές και αφαιρέσεις της βίδας «φθείρουν» το παξιμάδι, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του σπειρώματος, όπως θα μπορούσε εύκολα να συμβεί αν βιδώναμε επανειλημμένα βίδες ξύλου μέσα σε ήδη εξασθενημένο MDF.



Σχήμα 3.2: Έλασμα συναρμολόγησης και Παξιμάδι ξύλου



Σχήμα 3.3: Λεπτομέρεια κάτω πλαισίου. Παράδειγμα του τρόπου συναρμολόγησης των πάνελ

Το επάνω μέρος του ντουλαπιού αποτελείται από το «τραπέζι», ένα φύλλο MDF διαστάσεων 80cm x 60cm x 3cm. Το τραπέζι φέρει στο κέντρο του διαμπερή οπή διάστασης 40mm, όπου από την κάτω πλευρά του συνδέεται η φλάτζα του συλλέκτη του συστήματος αναρρόφησης (θα περιγραφεί στο αντίστοιχο τμήμα της αναφοράς/). Για την πρόσδεση της φλάτζας υπάρχουν τέσσερις (4) αναμονές, που έχουν την μορφή τεσσάρων insert, τα οποία περιγράψαμε παραπάνω.

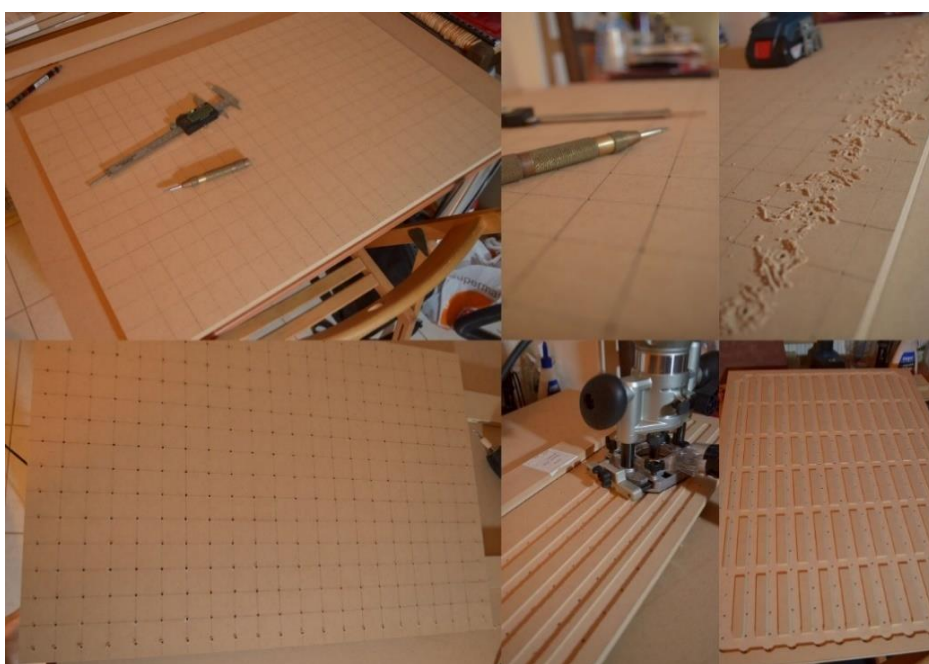
Στο επάνω μέρος του τραπέζιου προσαρμόζεται το πλατό, πάλι με την βοήθεια τεσσάρων insert ένα σε κάθε γωνία, και τεσσάρων βιδών M6 με κωνικές κεφαλές.

Το πλατό εξυπηρετεί ουσιαστικά δύο σκοπούς. Αφενός λειτουργεί σαν επιφάνεια εφαρμογής/στερέωσης του αντικειμένου προς αντιγραφή, αφετέρου δε και ταυτόχρονα λειτουργεί σαν «ακροφύσιο» διαιρώντας την επιφάνεια της κεντρικής οπής αναρρόφησης σε πολλές μικρές και κανονικά διατεταγμένες οπές.

Στην πρωτότυπη μορφή του, αποτελείται από ένα φύλλο MDF, με διαστάσεις 65cm x 45cm x 1,6cm, στο οποίο δημιουργούνται διάφορες διαμορφώσεις. Στην επάνω επιφάνειά του ανοίχτηκαν διαμπερείς οπές διαμέτρου 3mm, σε ορθογώνια διάταξη 21 x 15 οπών κατά τις δύο διαστάσεις. Οι γωνιακές τέσσερις οπές έχουν διανοιχθεί στα 6mm και η επάνω πλευρά τους φέρει κωνική διαμόρφωση, με περιεχόμενη γωνία 90 μοιρών, για να δεχτεί την κεφαλή της βίδας συγκράτησης του πλατό στο τραπέζι. Η ακρίβεια στην θέση των διαμπερών οπών, με προφανή εξαίρεση της οπές των βιδών, δεν χρειάζεται να υψηλή. Στην κάτω πλευρά του πλατό δημιουργήθηκε ένα δίκτυο από αύλακες, βάθους 3mm και πλάτους 12mm, οι οποίοι συνδέουν μεταξύ τους όλες τις οπές αφήνοντας όμως «νησίδες» υλικού ενδιάμεσα.

Η συγκεκριμένη διάταξη οπών/καναλιών εφαρμόστηκε για την ισοκατανομή του φορτίου στην επιφάνεια του πλατό, διότι κατά την λειτουργία της αναρρόφησης η συνολική δύναμη

που μπορεί να αναπτυχθεί πάνω στο πλατό είναι σημαντική. Μπορούμε γρήγορα να υπολογίσουμε για παράδειγμα ότι σε απόλυτη πίεση 300mbar, πίεση που η αντλία κενού μας πολύ εύκολα φτάνει, το διαφορικό πίεσης είναι της τάξης των 0.7bar. Σε αυτή την πίεση, η επιφάνειά μας, που έχει εμβαδό 0,2925m² θα φέρει ένα συνολικό διαμοιρασμένο φορτίο 20.475N! Δηλαδή σαν να έχουμε μοιράσει ομοιόμορφα επάνω στην επιφάνειά της 2 τόνους! Ακόμη και στην περίπτωση της χρήσης ηλεκτρικής σκούπας, με επίπεδο κενού της τάξης των -220mbar (δηλαδή απόλυτη πίεση 780mbar), το αντίστοιχο φορτίο ανέρχεται στα 643,5 kgf. Καθόλου αμελητέο φορτίο. Απλά να αναλογιστούμε ότι στις τελευταίες αυτές συνθήκες, το κέντρο μόνο του πλατό, μια επιφάνεια πχ 20cm x 40cm φέρει φορτίο 176kgf. Δηλαδή σαν να τοποθετούμε δύο ενήλικους άνδρες ακριβώς στη μέση μιας πλάκας MDF με μήκος 65cm! Καταλαβαίνουμε λοιπόν την ανάγκη να έχουμε ένα πυκνό δίκτυο υποστηρικτικού υλικού κάτω από αυτό το βάρος.



Σχήμα 3.4: Στάδια κατασκευής του Πλατό

Οι ακμές του πλατό είναι καμπυλωμένες, τόσο για αισθητικούς λόγους όσο για να μειωθεί η πιθανότητα να «τραυματιστεί» η πλαστική διαφάνεια από αιχμηρά άκρα. Το πλατό δεν φέρει κάποια ιδιαίτερη διάταξη στεγανότητας μεταξύ αυτού και του τραπεζιού, καθώς η στεγνότητα που μας ενδιαφέρει είναι μεταξύ του κάτω πλαισίου συγκράτησης και του τραπεζιού και άρα θα αντιμετωπιστεί εκεί.

Στο κάτω μέρος του επίπλου/βάσης υπάρχουν τέσσερις στρεπτοί τροχοί για να μπορεί το μηχάνημα να μετακινηθεί εύκολα, και φέρουν φρένα ώστε να μπορεί να ασφαλιστεί στη θέση του κατά τη χρήση.

Στο εμπρός μέρος άνω μέρος της βάσης υπάρχει λωρίδα MDF/πρόσοψη που φέρει όλα τα χειριστήρια του μηχανήματος, τα οποία παρουσιάζονται στο τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

3.1.2 ΑΝΩ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το άνω πλαίσιο είναι κατασκευασμένο; όπως το κάτω, επίσης από MDF 16mm. Αντίθετα όμως με το κάτω πλαίσιο και επειδή οι διαστάσεις του επιτρέπουν την σχετικά εύκολη μεταφορά του δεν είναι λυόμενο και οι συνδέσεις του είναι μόνιμες. Τα τμήματά του είναι κολλημένα με κοινή κόλλα ξύλου (PVA, PolyVinyl Acetate) αλλά και στερεώνονται με ένα μικρό αριθμό βιδών. Οι βίδες τοποθετήθηκαν κυρίως για διευκόλυνση της συναρμολόγησης αφού η κόλλα θα ήταν αρκετή.

Στη συνέχεια ο μεταλλικός φούρνος στερεώνεται στο πλαίσιο με βίδες, οι οποίες βιδώνονται στο πάχος 16mm των κατακόρυφων πλαισίων του. Επειδή το μικρό πάχος των φύλλων και το γεγονός ότι το MDF είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε βιδώματα και πιθανές αστοχίες στα «σόκορα»/πάχη του, οι στενές αυτές επιφάνειες ενισχύθηκαν με λωρίδες κοντραπλακέ πάχους 6mm και πλάτους 25mm (μηδενικό κόστος, από αποκόμματα ξυλουργείου).



Σχήμα 3.5: Ολοκληρωμένο Άνω πλαίσιο στην τελική του θέση



Σχήμα 3.6: Ενίσχυση του χείλους του άνω πλαισίου με σόκορο από κόντρα πλακέ

Το άνω πλαίσιο στηρίζεται στη θέση του με τέσσερις κολώνες, από προφίλ αλουμινίου τετράγωνης διατομής με μήκος ακμής 30mm εξωτερικά και πάχος τοιχώματος 1.5mm. Στα άκρα τους, οι κολώνες, στερεώνονται με δύο βίδες M6x20, δηλαδή τέσσερις στο σύνολο. Στο άνω πλαίσιο αυτές βιδώνουν σε παξιμάδια ξύλου ενσωματωμένα στο MDF. Καθώς το αλουμίνιο είναι σχετικά μαλακό υλικό και δεν πρέπει να συνθλίβεται το προφίλ, κάθε βίδα δεν στερεώνεται στην εξωτερική αλλά στην εσωτερική πλευρά του, δηλ. εκείνη σε επαφή με το πλαίσιο. Για τον λόγο αυτόν το προφίλ έχει για κάθε βίδα μία οπή 6mm για το στέλεχος της βίδας στη μία πλευρά του και μία ακόμα οπή 12mm στην αντίθετη πλευρά, ώστε να μπορεί να περνάει το κεφάλι της βίδας.

Στις ξύλινες παρειές του άνω πλαισίου, στις αντίστοιχες θέσεις, χρησιμοποιήθηκαν παξιμάδια ξύλου επειδή δεν υπάρχει πρόσβαση στην εσωτερική πλευρά του πλαισίου μετά τη μόνιμη ενσωμάτωση του φούρνου στο εσωτερικό του. Όμως, τα παξιμάδια ξύλου μπορεί να παρουσιάσουν ελαφριά εκκεντρότητα ή/και κακή καθετότητα κατά την εφαρμογή τους, ειδικά σε μαλακά υλικά όπως το MDF. Και ενώ σε άλλα σημεία της κατασκευής αυτή η ανακρίβεια δεν ενοχλεί εδώ οφείλουμε να αποκλείσουμε αυτό το πιθανό σφάλμα, ώστε το άνω πλαίσιο να είναι σε θέση απόλυτα παράλληλη με το τραπέζι και το πλατό.. Για τον λόγο αυτόν, αφού τοποθετηθούν όλες οι κολώνες στις θέσεις τους και αφού σημαδευτεί κάθε κολώνα και η θέση της ως προς τον φούρνο και το πλαίσιο, σημειώνεται σε κάθε μία από αυτές η ακριβής απόσταση 70cm, από την κάτω ακμή του άνω πλαισίου, μη συμπεριλαμβανομένου του χείλους του αλουμινένιου ελάσματος του φούρνου. Τα τέσσερα αυτά σημάδια δηλώνουν το ακριβές επίπεδο του τραπεζιού και από αυτά είναι δυνατό να μετρηθούν με βεβαιότητα οι θέσεις των βιδών του κάτω πλαισίου. Οι οπές στο έπιπλο για τις βίδες αυτές έχουν πανομοιότυπη σχεδίαση με τις αντίστοιχες του άνω πλαισίου. Στην κάτω πλευρά όμως, οι βίδες διαπερνούν το τοίχωμα MDF του κάτω πλαισίου και ασφαλίζουν με παξιμάδι και ροδέλα. Αυτό γίνεται για τρεις λόγους:

Ο πρώτος λόγος είναι ότι, όπως αναφέραμε πριν, τα παξιμάδια ξύλου δημιουργούν ένα ενδεχόμενο μικρού σφάλματος. Το οποιοδήποτε σφάλμα στο άνω πλαίσιο εξαλείφεται με τον τρόπο με τον οποίο, σημαδεύονται στις κολώνες οι θέσεις για τις κάτω βίδες, όπως ήδη περιγράφηκε. Επειδή όμως, ένα νέο σφάλμα στα κάτω παξιμάδια δεν θα μπορεί πλέον να ρυθμιστεί, χρησιμοποιώντας διαμπερείς οπές αυτό αποφεύγεται τελείως.

Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι διαμπερείς οπές διευκολύνουν εξαιρετικά στη συναρμολόγηση της κατασκευής. Διότι, κατά την συναρμολόγηση, πρέπει το άνω πλαίσιο με τις κολώνες να κρατηθεί στο σωστό ύψος και θέση έως ότου εφαρμοστούν τουλάχιστον τρεις ή τέσσερις βίδες. Όταν οι βίδες είναι διαμπερείς μπορούν να τοποθετηθούν γρήγορα και πρόχειρα σαν πείροι στις οπές τους, ώστε να κρατήσουν το βάρος της κατασκευής και κατόπιν να βιδωθούν τόσο αυτές όσο και οι υπόλοιπες βίδες. Εάν χρησιμοποιηθούν παξιμάδια ξύλου η διαδικασία θα είναι πολύ πιο δύσκολη καθώς κάθε βίδα θα πρέπει όχι μόνο να βιδωθεί έστω και λίγα χιλιοστά, αλλά θα πρέπει αυτό να γίνει και με εγκάρσιο φορτίο, το οποίο αυξάνει την πιθανότητα κακής έναρξης και καταστροφής του σπειρώματος. Με τις διαμπερείς οπές η διαδικασία γίνεται πολύ πιο απλή. Πλέον μπορεί ακόμα και να στηριχθεί η άνω συνδεσμολογία πλάγια σε ένα παράπλευρο έπιπλο, να ευθυγραμμιστούν δύο πρώτες οπές, συγκεκριμένα η κάτω οπή κάθε μίας από τις πίσω κολώνες, να περαστούν οι βίδες σαν πείροι, και κατόπιν η συνδεσμολογία να περιστραφεί γύρω από αυτές έως την όρθια θέση και να τοποθετηθούν οι βίδες στις εμπρός κολώνες.

Στο σχήμα 3.7 φαίνονται οι οπές για τις βίδες συγκράτησης, και συγκεκριμένα η διαμπερής κοχλίωση στο κάτω μέρος της κολώνας.



Σχήμα 3.7: Λεπτομέρειες από τις κολώνες του άνω πλαισίου.

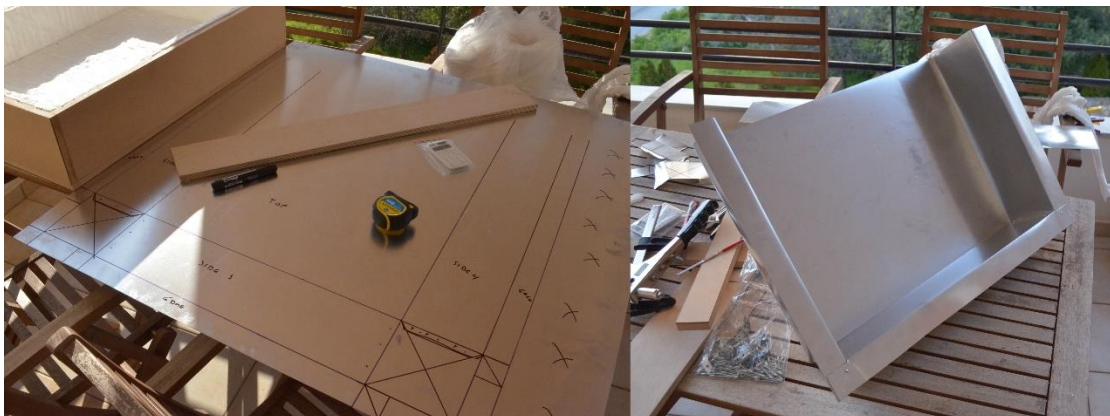
Στην εμπρός, πίσω αλλά και πάνω πλευρά του πλαισίου, έχουν διανοιχθεί με ρούτερ και κονδύλι ίσιο 6mm κατάλληλα κανάλια τα οποία στην φάση της καλωδίωσης λειτουργούν ως οδηγοί, τόσο για τα καλώδια που θα ηλεκτροδοτούν τα θερμαντικά στοιχεία (εμπρός και πίσω) όσο και τις «ράγες» ισχύος (επάνω) στις οποίες αυτά συνδέονται.

Στις πλευρές του πλαισίου προσαρμόζονται τέσσερα μεταλλικά ελάσματα, δύο σε κάθε πλευρά, τα οποία λειτουργούν σαν σημεία εμπλοκής του μαγνητικού μηχανισμού συγκράτησης του κινητού πλαισίου, όπως περιγράφεται στο 3.3.

3.2 ΦΟΥΡΝΟΣ

Το σύστημα θέρμανσης των φύλλων πλαστικού αποτελείται από έναν φούρνο λαμπτήρων χαλαζία. Οι λαμπτήρες αυτοί δεν είναι τίποτα παραπάνω από μια κοινή αντίσταση από σύρμα χρωμίου-νικελίου που περικλείεται σε ένα κυλινδρικό πλαίσιο από χαλαζιακό γυαλί. Στα δύο άκρα κάθε κυλίνδρου υπάρχει μία κεραμική κάψουλα και μία ηλεκτρική σύνδεση. Η μορφή αυτή είναι ασφαλέστερη από μια κοινή γυμνή αντίσταση, αφού δεν υπάρχουν γυμνά ηλεκτροφόρα σύρματα και επίσης, αν μια αντίσταση κοπεί κατά τη λειτουργία της δεν θα κρεμάσει ώστε να εισβάλει στον χώρο του χειριστή, πράγμα που θα ήταν επικίνδυνο αφού θα είχε ακόμα τάση. Το ανοιχτό κιβωτιοειδές πλαίσιο του φούρνου είναι κατασκευασμένο από φύλλο αλουμινίου πάχους 0.7 χιλιοστών. Το αλουμίνιο επιλέχθηκε διότι, καθώς οι εργασίες μορφοποίησής του γίνονται στο χέρι, αφενός είναι ελαφρύτερο και διευκολύνει στους χειρισμούς, αφετέρου επιτρέπει, επειδή είναι αρκετά μαλακό, τόσο το στρατζάρισμα με μεγάλη ακρίβεια (χαράσσοντας τις ακμές με ένα κοινό κοπίδι χαρτιού), όσο και την κοπή του με ένα ικανά ανθεκτικό ψαλίδι χαρτοκοπτικής. Παρότι η σκληρότητά του είναι χαμηλή και είναι ιδιαίτερα εύκαμπτο, έχει υπέρ-αρκετή μηχανική αντοχή για να διατηρήσει το σχήμα του αφού στρατζαριστεί και στερεωθεί. Επίσης, το λαμπτερό του φινίρισμα σε σύγκριση με τα περισσότερα φύλλα κοινού χάλυβα τα οποία σκουριάζουν και χάνουν την στιλπνότητά τους ή είναι γαλβανισμένα, αυξάνει την ανακλαστικότητά του στην υπέρυθρη ακτινοβολία των λαμπτήρων, ένα πολύ θετικό χαρακτηριστικό για τη συγκεκριμένη χρήση.. Είναι μάλιστα εξαιρετικά γνωστό το πρόβλημα, ότι τα θερμόμετρα

υπέρυθρων έχουν εξαιρετικά μεγάλη δυσκολία να διαβάσουν σωστά την θερμοκρασία στιλπνών μεταλλικών επιφανειών, με το αλουμίνιο και τον ανοξείδωτο χάλυβα από τα βασικότερα προβληματικά υλικά.



Σχήμα 3.8: Σχεδιασμός και στρατζάρισμα του σώματος του φούρνου

Περιμετρικά του φούρνου αλλά και στην επάνω του πλευρά, ανάμεσα σε αυτόν και το άνω πλαίσιο, παρεμβάλλεται θερμομονωτικό υλικό σε μορφή μαλακού κεραμοβάμβακα. Η χρήση του θερμομονωτικού δεν είναι αυστηρά απαραίτητη, καθώς η ανακλαστικότητα του αλουμινίου θα ήταν επαρκής για να προστατέψει το άνω πλαίσιο από την θερμότητα των λαμπτήρων. Όμως, για να γίνει αυτό, θα έπρεπε το άνω πλαίσιο να έχει σημαντική απόσταση από την επιφάνεια του φούρνου, έτσι ώστε ο αέρας στο ενδιάμεσο κενό να προστατεύει το ξύλο. Επειδή αυτό θα έκανε το άνω πλαίσιο ογκώδες ή τον φούρνο αρκετά μικρότερο, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο κεραμοβάμβακας, ο οποίος επίσης είναι μη αναφλέξιμος και παρέχει υψηλό βαθμό προστασίας, επιτρέπει δε να κατασκευαστεί μια ασφαλής και συμπαγής συσκευή.



Σχήμα 3.9: Τοποθέτηση κεραμοβάμβακα

Για το αλουμινένιο σώμα του φούρνου αρχικός στόχος ήταν να γίνει ένα ενιαίο στραντζαριστό κομμάτι, χωρίς ραφές, εκτός φυσικά από τις γωνίες του. Όμως, λόγω κακής συνεννόησης με τον προμηθευτή, το φύλο αρχικής διάστασης 1m x 2m κόπηκε για την ευκολία μεταφοράς του, σε δύο τεμάχια 1m x 1m, αντί για 0.8m x 1m και 1.2m x 1. Έτσι δεν υπήρξε τεμάχιο το οποίο να καλύπτει το μήκος 106cm του φούρνου, πριν διαμορφωθεί.

Επόμενη επιλογή ήταν ο φούρνος να φτιαχτεί από δυο πανομοιότυπα κομμάτια, με ελάχιστη υπερκάλυψη, ώστε να υπάρχει μια ραφή μεταξύ τους. Η λύση αυτή όμως είχε ως προϋπόθεση να σχηματιστεί κάθε ένα ήμισυ από κάθε ένα από τα δύο κομμάτια 1m x 1m της πρώτης ύλης, με αποτέλεσμα υπόλοιπα υλικού σχετικά μικρών και άβολων διαστάσεων αλλά μεγάλης συνολικής επιφάνειας.

Ως τελική επιλογή, ο φούρνος σχηματίστηκε με τρία κομμάτια, δύο μεγάλα στις άκρες και ένα ενδιάμεσο φιλέτο, με δύο ραφές. Το αποτέλεσμα είναι κατώτερο αισθητικά αλλά απολύτως λειτουργικό, συνδυάστηκε δε με οικονομία σε εκμεταλλεύσιμο υλικό.

Οι λαμπτήρες στηρίζονται στις πλευρές του φούρνου σε κατάλληλα διαμορφωμένες οπές. Οι οπές έχουν διάμετρο 15mm. Λόγω της παρουσίας του φιλέτου στο μέσον του φούρνου, το πλάτος του σε αυτό το σημείο είναι μικρότερο κατά δύο φορές το πάχος του φιλέτου. Για να διορθωθεί αυτή η διαφορά στα σημεία στα οποία η απόσταση είναι μεγαλύτερη, τοποθετήθηκαν πάνω στα τοιχώματα λεπτοί αποστάτες, κατασκευασμένοι από το ίδιο φύλο αλουμινίου.

Οι κάλυκες των λαμπτήρων τοποθετούνται μέσα σε αυτές τις οπές, και κατόπιν συγκρατούνται στη θέση τους με τη βοήθεια ενός αλουμινένιου ελάσματος, το οποίο φέρει σχισμές πλάτους 12mm και οι οποίες ασφαλίζουν στην εγκοπή του κάλυκα κάθε λάμπας. Κάθε φιλέτο στερεώνει δύο γειτονικούς λαμπτήρες, ή τρεις στην περίπτωση των δύο μεσαίων ελασμάτων και κατόπιν στερεώνεται στον τοίχο του φούρνου με μια βίδα M5x15. Το βίδωμα γίνεται σε ένα πριτσίνι με σπείρωμα το οποίο στερεώνεται στον τοίχο του φούρνου.

Η επιλογή να ασφαλίζουν πολλαπλοί λαμπτήρες σε ένα έλασμα έγινε για λόγους μείωσης της κατασκευαστικής πολυπλοκότητας και του κόστους σε βίδες και πριτσίνια σπειρώματος. Θα μπορούσε εναλλακτικά να υπάρχει ένα έλασμα για κάθε κάλυκα, δηλαδή 14 στο σύνολο.

Καθώς η κατασκευή αποτελείται από πολύ μαλακό υλικό και έχει στραντζαριστεί στο χέρι για οικονομία, είναι αναμενόμενο η διαστασιολογική της ακρίβεια να μην είναι απόλυτη. Για τον λόγο αυτόν, το κάθε έλασμα είναι φτιαγμένο να ταιριάζει σωστά στις συγκεκριμένες θέσεις στις οποίες συναρμολογείται. Έτσι αν χρειαστεί να αφαιρεθεί, πρέπει να τοποθετηθεί ξανά στην ίδια θέση. Για την αποφυγή οποιουδήποτε λάθους επανατοποθέτησης, τα ελάσματα αλλά και οι θέσεις τους είναι σημαδεμένες με χαρακτηριστικά σημάδια, όπως ακριβώς και οι κολώνες που αναφέρθηκαν στο 3.2.1.

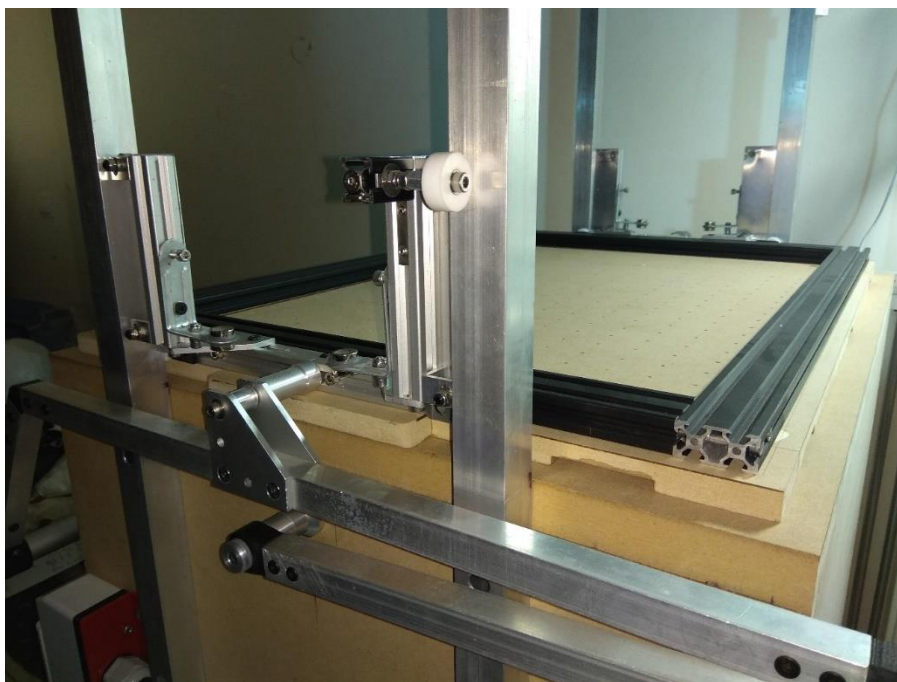


Σχήμα 3.10: Λεπτομέρειες από την έδραση των λαμπτήρων. Σήμανση ελασμάτων

Κατά τη λειτουργία του φούρνου, είναι λογικό, μετά από ικανά μεγάλο διάστημα, ο αέρας που περικλείεται μεταξύ του θερμαινόμενου υλικού προς μορφοποίηση και του σώματος του φούρνου να θερμαίνεται. Καθώς αυτή η θερμότητα μεταφέρεται υπάρχει η περίπτωση να σχηματιστεί ένα κύμα θερμού αέρα το οποίο να ανέρχεται περιμετρικά του φούρνου με πιθανή συνέπεια να υπερθερμάνει τα διάφορα εξαρτήματα που είναι στερεωμένα περιμετρικά. Για να αποκλειστεί αυτό το ενδεχόμενο, το κέντρο της οροφής του φούρνου φέρει διαμόρφωση, η οποία θυμίζει καμινάδα, με μια κατακόρυφη διαμπερή οπή διαμέτρου 22mm και ένα κατακόρυφο τμήμα σωλήνα αλουμινίου διαμέτρου 30mm. Ο σωλήνας περνά μέσα από ομόκεντρη με την πρώτη οπή στο ξύλινο κάλυμμα του φούρνου διαμέτρου 68mm και διασφαλίζει ότι ο θερμός αέρας που θα παγιδεύονταν μέσα στον φούρνο θα ανέλθει αργά μέσω της καμινάδας και άρα δεν θα χρειαστεί να διαφύγει από κάπου αλλού, δημιουργώντας τα προαναφερθέντα προβλήματα. Για να μην υπάρχει απώλεια υπέρυθρης ακτινοβολίας διαμέσου της οπής στην οροφή του φούρνου, αυτή είναι καλυμμένη με μικρή «ασπίδα» από στρανζαριστό έλασμα αλουμινίου το οποίο επιτρέπει στον αέρα να εισέλθει στην οπή από τα πλάγια, αλλά ανακλά την υπέρυθρη ακτινοβολία κανονικά.



Σχήμα 3.11: Λεπτομέρεια, Εσωτερική όψη της οπής εξαερισμού του φούρνου.



Σχήμα 3.12: Γενική όψη του Μηχανισμού Συγκράτησης.

Ο μηχανισμός συγκράτησης αποτελείται στην βασική του μορφή από δύο τελάρα ορθογώνιου σχήματος τα οποία συγκρατούν μεταξύ τους το υλικό προς διαμόρφωση. Στις περισσότερες υλοποιήσεις αυτού του τύπου της εφαρμογής, δηλαδή της σταθερής τράπεζας όπου το υλικό προς διαμόρφωση μεταφέρεται μεταξύ φούρνου και πλατό, το κάτω τελάρο είναι αυτό που κινείται και το άνω λειτουργεί απλώς σαν ένα συγκρατητήρας του υλικού επάνω στο πρώτο. Αυτή η λύση αν και λειτουργεί, έχει κατά τη γνώμη μου ένα βασικό μειονέκτημα, ότι δηλαδή, για να φορτώσει ο χειριστής ένα τεμάχιο στη μηχανή θα πρέπει να αφαιρέσει το επάνω τελάρο τελείως, να τοποθετήσει το τεμάχιο στο κάτω τελάρο, και ύστερα να επαναφέρει το επάνω τελάρο και να το τοποθετήσει από πάνω. Σε μηχανήματα αυτής της διάστασης αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι αρκετά άβολη και σίγουρα δεν είναι εξυπηρετική. Έτσι στην λύση που υλοποιήθηκε επιλέχθηκε να είναι το επάνω τελάρο αυτό που κινείται με τους βραχίονες ανύψωσης, και το κάτω τελάρο να είναι το ελεύθερο πλαίσιο που συγκρατεί το φύλλο. Με τον τρόπο αυτόν, αν ο χειριστής αποδεσμεύσει μεταξύ τους τα τελάρα και ανυψώσει τον μηχανισμό, το κάτω τελάρο μένει επάνω στην τράπεζα του μηχανήματος και μπορεί απλά να φορτωθεί το τεμάχιο φύλλου επάνω στη μηχανή, και μάλιστα χωρίς να έχει ο χειριστής εμπρός του τον οριζόντιο μοχλό του μηχανισμού ανύψωσης. Έπειτα μπορεί απλώς να ξανακατέβει ο μηχανισμός και να δεθούν τα τελάρα μεταξύ τους. Έτσι, σε κανένα σημείο δεν χρειάζεται ο χειριστής να μετακινήσει ογκώδη εξαρτήματα της μηχανής από και προς την τράπεζα.

Το επάνω τελάρο αποτελείται από προφίλ αλουμινίου τύπου v-slot 2040 τα οποία έχουν διατομή 20mm x 40mm. Συγκεκριμένα έχουν χρησιμοποιηθεί τέσσερα τεμάχια, δύο με μήκος 740mm και δύο με μήκος 460mm. Τα μακριά τεμάχια φέρουν στα άκρα τους εγκάρσιες διαμπερείς οπές 5mm κατά μήκος της μεγάλης διάστασης της διατομής του προφίλ καθώς και διάνοιξη του καναλιού στα 7mm για να υποδεχθούν τις κεφαλές από τις βίδες που θα χρησιμοποιηθούν για τη συναρμολόγηση. Αντίστοιχα στα κοντά τεμάχια και στις δύο οπές που φέρουν τα προφίλ έχει διανοιχθεί σπείρωμα M5. Τα τεμάχια

συναρμολογούνται περνώντας μακριούς κοχλίες μήκους 55mm μέσα από τις οπές στα άκρα των μακριών προφίλ, το σπείρωμα των οποίων εισέρχεται στο «πρόσωπο» του κοντού προφίλ.



Σχήμα 3.13: Λεπτομέρεια από το άνω τελάρο, όπου φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης των προφίλ αλλά και η διατομή αυτών.

Μια μικρή δυσκολία που αξίζει αναφοράς είναι όσον αφορά την προαναφερθείσα διάνοιξη στον αύλακα του προφίλ, από την πλευρά που βρίσκεται το κεφάλι της βίδας. Καθώς αυτή η διαδικασία της διαμπερούς κοχλίωσης θα την συναντήσουμε συχνά σε διάφορα σημεία της κατασκευής, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος να γίνεται κατά το δυνατόν ευκολότερα. Υπό διαφορετικές συνθήκες μια τέτοια εργασία θα γινόταν σε μια φρέζα, όπου μετά τη διάνοιξη της οπής για το στέλεχος της βίδας, θα χρησιμοποιούσαμε ένα ίσιο κονδύλι για να ανοίξουμε την οπή για την κεφαλή της βίδας. Καθώς δεν υπήρχε διαθέσιμη φρέζα για τις ανάγκες της εργασίας, η επόμενη λύση που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα σταθερό δράπανο, όπου για κάθε οπή, αφότου ανοίχθηκε πρώτα η οπή των 5mm, χρησιμοποιήθηκε ένα αυτοσχέδιο κονδύλι, κατασκευασμένο από τρυπάνι 9mm κοβαλτίου, το οποίο αποκόπηκε και τροχίστηκε η άκρη του έως ότου γίνει επίπεδη. Έπειτα τροχίστηκαν οι πίσω πλευρές των ελίκων (reliefs) ώστε να μπορεί να κόψει. Θα μπορούσε να έχει φυσικά χρησιμοποιηθεί ένα κανονικό κονδύλι 9mm αλλά η τιμή του είναι κατά πολύ υψηλότερη και δεν θα είχε και κάποιο νόημα καθώς η κακή ακρίβεια του δράπανου θα εξάλειφε οποιοδήποτε πλεονέκτημα θα είχε η χρήση ενός τέτοιου κοπτικού. Παρότι η μέθοδος δούλεψε ικανοποιητικά, ήταν πολύπλοκη και χρονοβόρα, αφού απαιτούσε διαρκείς αλλαγές κοπτικών για κάθε οπή (τρυπάνι εκκίνησης → τρυπάνι τελικής διάστασης → «κονδύλι»), με δεδομένο ότι κάθε διαμόρφωση έπρεπε να ολοκληρωθεί για κάθε τρύπα χωριστά ώστε να μην χαθεί η θέση του κομματιού στη μέγγενη του δραπάνου. Μετά από έρευνα βρέθηκε μια πιο πρακτική λύση στη μορφή ενός έτοιμου «φρεζοτρύπανου» ξυλουργικών εργασιών το οποίο αποτελείται από ένα κοινό τρυπάνι σκληρού ξύλου 4mm και το οποίο φέρει επάνω του ένα φρεζάκι 90° διαμέτρου 9mm ρυθμιζόμενου βάθος. Ο ρόλος αυτού του εργαλείου είναι η εύκολη διάνοιξη οπών για βίδες με κωνική (φρεζάτη) κεφαλή. Η σκληρότητα της φρέζας, η οποία είναι σχεδιασμένη για σκληρά ξύλα είναι αρκετή για κοπή μαλακού αλουμινίου οπότε αντικαθιστώντας απλώς το τρυπάνι με ένα κανονικό τρυπάνι μετάλλου σχηματίστηκε ένα

εργαλείο ιδανικό για την εφαρμογή αυτή. Πλέον οι διαδικασίες προδιάτρησης και φρεζαρίσματος ενσωματώθηκαν σε μία διεργασία, αφαιρώντας μεγάλο αριθμό αλλαγών εργαλείου και εξοικονομώντας πολύ χρόνο. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται τα εργαλεία που αναφέρθηκαν.



Σχήμα 3.14: Τα δύο εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την διάνοιξη των εδρών για τις βίδες. Αριστερά και κέντρο το αυτοσχέδιο κονδύλι, δεξιά το φρεζοτρύπανο

Το άνω τελάρο, κατά την άνω-κάτω κίνησή του ανάμεσα στις κολώνες που στηρίζουν το άνω πλαίσιο, οδηγείται με τη βοήθεια δύο συνόλων τα οποία στο εξής θα ονομάζονται «**ανυψωτές**» χάριν ευκολίας. Ο κάθε ανυψωτής αποτελείται από ένα οριζόντιο προφίλ v-slot 2020 μήκους 250mm, και δύο κατακόρυφα προφίλ ίδιου τύπου μήκους 125mm, συνδεδεμένα μεταξύ τους σε διάταξη ενός ανάποδου «Π». Τα δύο κατακόρυφα βρίσκονται σε διαφορετικό κατακόρυφο επίπεδο από το οριζόντιο, 30mm πιο «έξω», ώστε τα πρώτα να ευθυγραμμίζονται με τις κολώνες και το τελευταίο να εφάπτεται στο τελάρο. Μεταξύ τους συνδέονται με επίπεδα τεμάχια χυτού αλουμινίου, πάχους 4mm και τριγωνικού σχήματος. Τα εξαρτήματα στερεώνονται μεταξύ τους τόσο με μετωπικές κοχλιώσεις όσο και με χρήση πλακιδίων σπειρώματος τα οποία εισέρχονται στα αυλάκια των v-slot και λειτουργούν ως σημεία αγκύρωσης για τους διάφορους κοχλίες. Αυτή η ιδιότητα των v-slot, και φυσικά η υψηλή ακαμψία τους, ήταν οι βασικοί λόγοι που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή. Στο μέσον του οριζόντιου προφίλ είναι προσαρμοσμένος ένας αποστάτης, σχηματισμένος σε τόρνο από αλουμίνιο 2027, ο οποίος από την άλλη του πλευρά λειτουργεί ως το σημείο πρόσδεσης μεταξύ του τελάρου και των βραχιόνων ανύψωσης. Στην πλευρά κάθε κατακόρυφου προφίλ και προς την κατεύθυνση της αντίστοιχης κολώνας, είναι τοποθετημένοι δύο μικροί τροχοί από πολυκαρβονικό υλικό που εδράζονται σε δύο έδρανα κύλισης και λειτουργούν σαν ράουλα μεταξύ του ανυψωτή και της κολώνας, επιτρέποντας στο τελάρο να ανεβαίνει και να κατεβαίνει με μεγάλη ελευθερία. Για επιπλέον ασφάλεια από την εκπεμπόμενη θερμότητα του φούρνου που θα μπορούσε ίσως να προσβάλλει το υλικό των τροχών, έχουν χρησιμοποιηθεί φύλλα αλουμινίου πάχους 0.7mm ως ασπίδες θερμότητας που καλύπτουν τους τροχούς από την ακτινοβολία. Από την απέναντι πλευρά αυτής της διαμόρφωσης, βρίσκεται, σε κάθε κατακόρυφο προφίλ, ένα τεμάχιο που λειτουργεί ως άγκυρα για την στερέωση του μηχανισμού στην άνω θέση του, στον φούρνο. Το τεμάχιο αποτελείται από σιδηρογωνιά πλευράς 60mm, στο ένα άκρο της οποίας είναι προσαρμοσμένοι δύο μαγνήτες νεοδυμίου N52 σχήματος σωλήνα, με διάσταση 15OD x 6ID x 6H mm εκατέρωθεν του ελάσματος. Οι μαγνήτες είναι στερεωμένοι με χρήση εποξειδικής κόλλας, η οποία δεν είναι αυστηρά απαραίτητη, καθώς ο μαγνήτης συγκρατείται

πάνω στο έλασμα και μόνο με τη δική του δύναμη, αλλά χρησιμοποιήθηκε για παραπάνω διασφάλιση, τόσο πως δεν θα φύγει ο μαγνήτης από πιθανό χτύπημα, όσο για να είναι βέβαιο ότι σε κάθε απελευθέρωση του μηχανισμού ο μαγνήτης θα μένει στην ίδια πλευρά του μηχανισμού και όχι μια στο πάνω έλασμα του άνω πλαισίου και μία στο κάτω του κινούμενου πλαισίου. Το τεμάχιο είναι έτσι διαμορφωμένο ώστε να μπορεί αφενός να έχει μια μικρή ελευθερία κίνησης γύρω από την επιλεγμένη θέση του, ώστε να μπορεί να ευθυγραμμίζεται ο μαγνήτης με το άνω έλασμα κατά την εμπλοκή του μηχανισμού και αφετέρου να μπορεί να ρυθμιστεί η θέση του καθ' ύψος ώστε να μπορεί αν χρειαστεί να αλλαχθεί το διάκενο ανάμεσα στο πλαίσιο και στον φούρνο στην άνω θέση. Για τον έλεγχο της κίνησης του τελάρου κατά μήκος του εγκάρσιου άξονα έχουν χρησιμοποιηθεί τεμάχια από PTFE τα οποία λειτουργούν σαν έδρανα ολίσθησης επάνω στις πλευρικές κολόνες στήριξης, και είναι στερεωμένα στα άκρα των ανυψωτών μέσω αλουμινένιων πλακιδίων. Η ρύθμιση της αξονικής χάρης του τελάρου γίνεται με λεπτούς αποστάτες πίσω από τα τεμάχια αυτά.



Σχήμα 3.15: Μορφή των ανυψωτών. Κάτω τα κατακόρυφα από την έξω (αριστερά) και έσω (δεξιά) όψη.

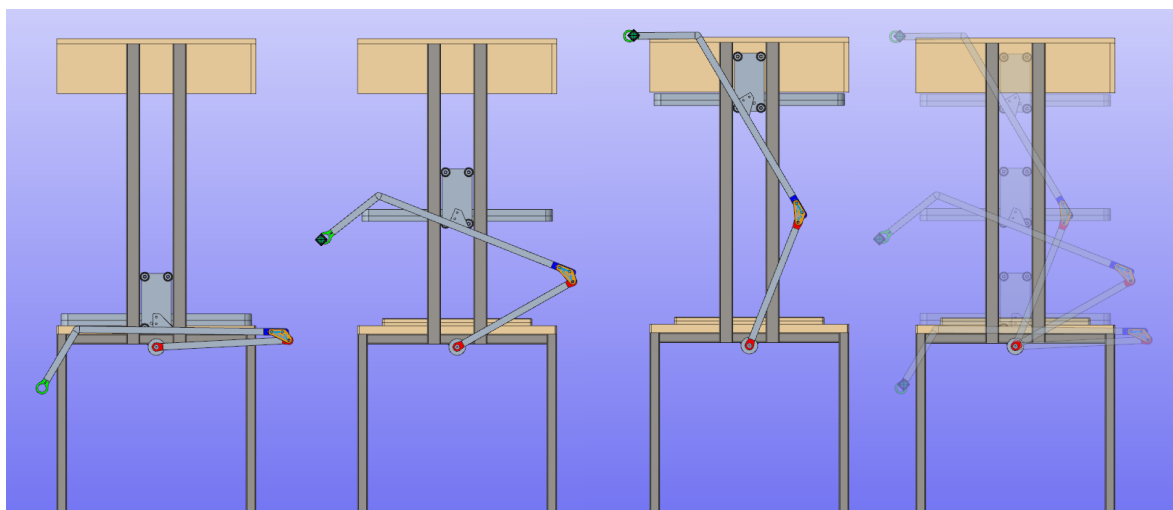
Για την ανύψωση και την κάθοδο του κινητού πλαισίου, έχει κατασκευαστεί ένα σύστημα δύο μοχλών, εκατέρωθεν του σώματος του μηχανήματος, που αποτελούνται από προφίλ αλουμινίου τετραγωνικής διατομής, πλευράς 20mm και πάχους τοιχώματος 1.5mm. Στις αρθρώσεις των μοχλών έχουν χρησιμοποιηθεί σύνδεσμοι από πλαστικό υλικό τύπου ASA, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για την εφαρμογή αυτή και κατασκευαστεί σε 3D εκτυπωτή με τη μέθοδο FDM. Στις αρθρώσεις όπου υπάρχει κίνηση, έχουν κατασκευαστεί στον τόρνο έδρανα ολίσθησης από nylon PA6 τα οποία έχουν προσαρτιστεί στις οπές των αντίστοιχων

αρθρώσεων. Αυτά κινούνται επάνω σε πείρους από αλουμίνιου που επίσης κατασκευάστηκαν στον τόρνο. Οι μοχλοί συνδέονται με του ανυψωτές με δύο αλουμινένια τριγωνικά ελάσματα πάχους 4mm σε κάθε πλευρά, όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στα κατακόρυφα προφίλ, όμως εδώ η μια οπή κάθε ελάσματος έχει διανοιχτεί στα 10mm και στη θέση αυτή έχουν πρεσαριστεί μικρά ρουλεμάν 10mm OD x 5mm ID x 4mm W. Τα δύο ρουλεμάν έχουν μεταξύ τους έναν κυλινδρικό αποστάτη αλουμινίου. Μια μακριά βίδα 5mm περνάει μέσα από τις εσωτερικές διαμέτρους των ρουλεμάν και του αποστάτη και βιδώνει στον κυλινδρικό αντάπτορα των ανυψωτών που περιγράφηκε παραπάνω. Στο εμπρός μέρος της μηχανής οι δύο πλευρικοί μοχλοί ενώνονται μεταξύ τους με ένα οριζόντιο τμήμα αλουμινένιου προφίλ κυκλικής διατομής εξωτερικής διαμέτρου 26mm και πάχους τοιχώματος 0.6mm. Αυτή την εγκάρσια ράβδο μεταχειρίζεται ο χειριστής για να ανυψώσει ή να κατεβάσει το κινητό πλαίσιο.



Σχήμα 3.16: Λεπτομέρειες από τα εξαρτήματα των μοχλών. Αριστερά: Πίσω άρθρωση, Κέντρο: Πρόσδεση στον ανυψωτή και κάτω άρθρωση. Δεξιά: Εμπρός σταθεροί σύνδεσμοι

Τα μήκη των μοχλών έχουν επιλεγεί μετά από μοντελοποίηση του συστήματος σε πρόγραμμα CAD, έτσι ώστε η οριζόντια λαβή να προεξέχει όσο το δυνατόν λιγότερο εμπρός από το μηχάνημα σε όλη τη διαδρομή του μηχανισμού και παράλληλα το ύψος της στην επάνω θέση του να μην ξεπερνάει αισθητά το ύψος του μηχανήματος.



Σχήμα 3.17: Μοντελοποίηση του συστήματος των μοχλών.

Το κάτω τελάρο αποτελείται από τμήματα MDF, πάχους 16mm και πλάτους 50mm, και τα μήκη είναι τέτοια ώστε η εσωτερικές παρειές του τελάρου να συμπίπτουν με εκείνες του άνω τελάρου. Οι γωνίες είναι συνδεδεμένες με κόλλα ξύλου, αλλά, καθώς οι συνδέσεις με κόλλα στο σόκορο του MFD δεν είναι απόλυτα αξιόπιστες, γιατί το υλικό είναι πολύ πορώδες και απορροφά την κόλλα αποδυναμώνοντας την κόλληση, έχουν γίνει δύο ενέργειες. Η πρώτη είναι η προετοιμασία των επιφανειών προς σύνδεση με επάλειψη με μίγμα κόλλας-νερού 80-20% ώστε να εισχωρήσει η κόλλα, να ενισχύσει τη δομή του υλικού και να σφραγίσει την επιφάνεια και η δεύτερη είναι να σκαφτεί με ρούτερ από κάθε πλευρά του τελάρου ένα διαγώνιο αυλάκι, μέσα όπου μπαίνει ένα «μπισκότο» από ξύλο, το οποίο έχει κολληθεί επίσης με κόλλα ξύλου.

Να σημειωθεί ότι συνήθως τα «μπισκότα» τοποθετούνται «μέσα» στην ένωση, αφού σκαφτεί ένα κρυφό αυλάκι στο μέσον της επιφάνειας προς σύνδεση. Εδώ τοποθετήθηκαν επιφανειακά για δύο λόγους. Ο ένας ήταν ότι δεν υπήρχε διαθέσιμη «μπισκοτιέρα», το ειδικό ηλεκτρικό εργαλείο που δημιουργεί τα αυλάκια, ενώ ο δεύτερος ότι η λύση που δόθηκε είναι καλύτερη καθώς η τοποθέτηση δύο τεμαχίων στις δύο πλευρές της σύνδεσης, έχει πολύ καλύτερο αποτέλεσμα ενάντια στα φορτία κάμψη μεταξύ των δύο τεμαχίων.



Σχήμα 3.18: Λεπτομέρεια από την σύνδεση του κάτω τελάρου. Εγκατάσταση «μπισκότου». (παρατηρητές μπορεί να προσέξουν ότι τα «μπισκότα» είναι μικρά ξυλάκια για παγωτά).

Περιφερειακά, στην κάτω πλευρά του τελάρου έχουν ανοιχθεί εγκοπές ύψους 6mm και επιφάνειας 55mm x 16mm.

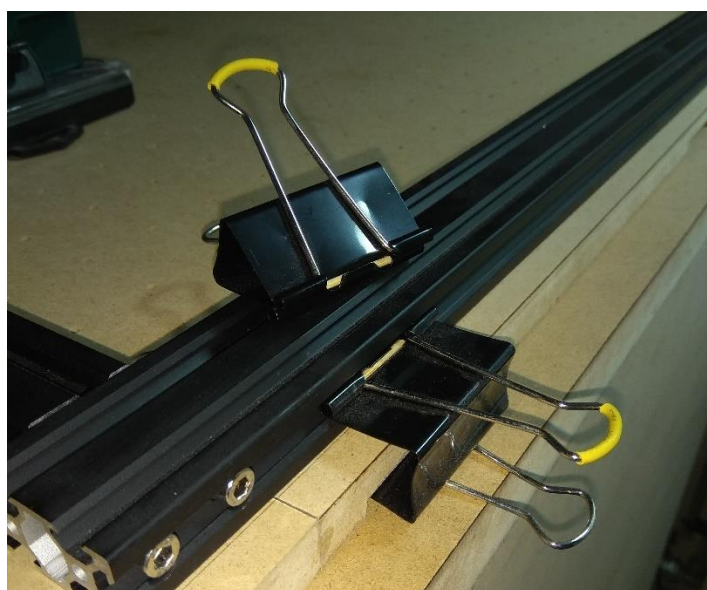
Τα αυλάκια αυτά λειτουργούν σαν πατούρες για να δεχτούν το κάτω χείλος των συνδετήρων που θα χρησιμοποιήσουμε για να δένουμε τα δύο τελάρα μεταξύ τους. Οι εγκοπές έχουν και αυτές ανοιχθεί με ρούτερ.

Καθώς η κατεργασία αυτή αφαιρεί την σκληρή επιφάνεια του MDF ο συνδετήρας θα πατούσε επάνω στο μαλακό εσωτερικό του. Αν και κατά πάσα πιθανότητα δεν θα μας δημιουργούσε αυτό μεγάλο πρόβλημα, τουλάχιστον σε σύντομο χρόνο, για μεγαλύτερη βεβαιότητα η επιφάνεια δέχτηκε πολλαπλές επαλείψεις με μίγμα κόλλας και νερού 80-20% έως ότου να σχηματιστεί στιλπνή επιφάνεια από την στεγνή κόλλα. Η διαδικασία αυτή σταθεροποιεί την επιφάνεια του MDF ώστε να μην μπορεί να τριφτεί ή να υποχωρήσει εύκολα.



Σχήμα 3.19: Εγκοπές για την εισαγωγή συνδετήρων

Η σύνδεση των δύο τελάρων για την συγκράτηση του τεμαχίου γίνεται με σειρά από μεγάλου μεγέθους συνδετήρες χάρτου, οι οποίοι έχουν στο ένα τους άκρο τροποποιηθεί πολύ ελαφρά ώστε να έχουν μια μικρή προεξοχή για να «δαγκώνουν» καλύτερα στο αυλάκι του άνω μεταλλικού πλαισίου. Οι συνδετήρες δοκιμάστηκαν με ζυγαριά για να μετρηθεί η δύναμη των σιαγόνων τους στο άνοιγμα που θα έχουν όταν συγκρατούν τα τελάρια. Η δύναμη που μετρήθηκε είναι κατά μέσο όρο 3.5Κρ χωρίς φύλλο υλικού και φτάνει έως και 4.3 Κρ με φύλλο 3mm ανάμεσα στα τελάρια. Αρχικά η δύναμη αυτή κρίθηκε ικανοποιητική, και πράγματι είναι για τεμάχια από υλικά όπως το PET και το HIPS. Όμως, είδαμε στην πράξη ότι σε πιο απαιτητικά υλικά προκύπτουν κάποια ζητήματα τα οποία θα συζητηθούν σε επόμενο κεφάλαιο. Οι συνδετήρες φαίνονται στο σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.20: Συνδετήρες συγκράτησης των τελάρων

3.4 ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το πνευματικό σύστημα είναι ένα από τα δύο πιο πολύπλοκα μέρη της κατασκευής.

Στις περισσότερες εφαρμογές DİY αυτής της κλίμακας, το σύστημα λειτουργεί με μία από δύο πιθανές πηγές κενού αέρα.

Η απλούστερη υλοποίηση χρησιμοποιεί μια κοινή ηλεκτρική σκούπα, οποιουδήποτε τύπου. Σε αυτή την υλοποίηση δεν υπάρχει καμία πολυπλοκότητα και τα μόνα εξαρτήματα που χρειάζονται είναι ένα διάτρητο πλατό και ένα μικρό κομμάτι σωλήνα που να δίνει τη δυνατότητα να συνδεθεί η σκούπα με το πλατό.

Η αμέσως πιο πολύπλοκη λύση είναι η χρήση αντλίας κενού, συνήθως τύπου rotary-vein, όπως εκείνες που χρησιμοποιούνται για την εκκένωση συστημάτων κλιματισμού.

Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται εκτός από την αντλία, μια δεξαμενή, μια βαλβίδα μεγάλης διαμέτρου και κατάλληλη σωλήνωση.

Η δεξαμενή είναι αναγκαία καθώς οι αντλίες κενού έχουν πολύ χαμηλή ταχύτητα αναρρόφησης για την εφαρμογή και άρα δεν είναι σε θέση να παρέχουν τη μεγάλη ροή που είναι αναγκαία στην αρχική φάση της αναρρόφησης.

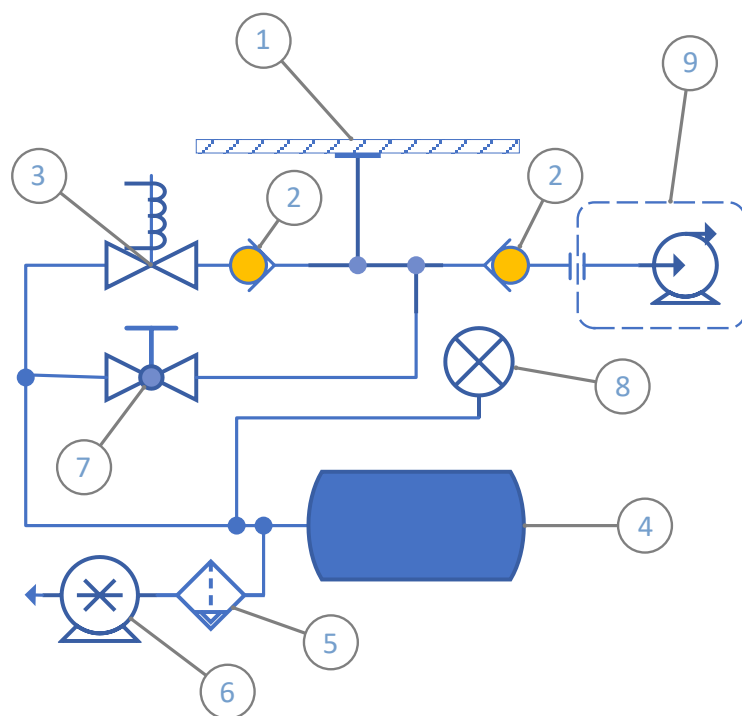
Η ύπαρξη της δεξαμενής δίνει τη δυνατότητα στην αντλία να λειτουργήσει με την αργή αυτή παροχή για αρκετή ώρα, αδειάζοντάς την από αέρα, ώστε η τελευταία αργότερα να δώσει μια ταχεία αναρρόφηση μέχρι να ξεπεραστεί αυτή η αρχική φάση, όπου ο όγκος αναρροφώμενου αέρα ανά μονάδα χρόνου είναι μεγάλος και να περάσει στη δεύτερη φάση, όπου σημαντική γίνεται η χαμηλή τελική πίεση, χαρακτηριστικό στο οποίο η αντλία διαπρέπει.

Στην απλούστερη μορφή της αυτή η υλοποίηση χρησιμοποιεί απλούς εύκαμπτους σωλήνες κενού και μια απλή χειροκίνητη ένσφαιρη βάνα (ball-valve). Ο χειριστής ενεργοποιεί το σύστημα ανοίγοντας την βάνα αφού η δεξαμενή έχει εκκενωθεί.

Στην παρούσα εφαρμογή όμως, αποφασίστηκε να δοθεί η δυνατότητα στο μηχάνημα να κάνει χρήση και των δύο μεθόδων αναρρόφησης και επιπρόσθετως, η μεταγωγή ανάμεσα στα δύο συστήματα να μην απαιτεί κανέναν ειδικό χειρισμό από τον χρήστη.

Οι αποφάσεις αυτές δημιούργησαν την ανάγκη για κάποια επιπλέον εξαρτήματα, κυρίως την χρήση κατάλληλων ανεπίστροφων βαλβίδων, που εξασφαλίζουν ότι το κάθε σύστημα είναι ανεξάρτητο, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη μηχανικής απομόνωσης του ενός για να λειτουργήσει το άλλο.

Στο **σχήμα 3.4.1** παρουσιάζεται η κύρια συνδεσμολογία του πνευματικού μέρους του συστήματος αναρρόφησης και τα κύρια μέρη του.



id	Εξάρτημα
1	Πλατό
2	Βαλβίδα αντεπιστροφής
3	Ηλεκτροβάνα
4	Δεξαμενή Κενού
5	Υδατοπαγίδα/Φίλτρο
6	Αντλία Κενού
7	Χειροκίνητη Βάνα
8	Μανόμετρο
9	Εξωτερική Μονάδα Κενού

Σχήμα 3.21: Πνευματική εγκατάσταση συστήματος αναρρόφησης

Η συνδεσμολογία αυτή είναι σχεδιασμένη για δύο τελείως ανεξάρτητα συστήματα αναρρόφησης και οι δύο αντεπίστροφες βαλβίδες εξασφαλίζουν ότι αφενός το κάθε σύστημα μπορεί να τραβήξει αέρα ΜΟΝΟ από την τράπεζα, χωρίς να ανταγωνίζεται το άλλο και αφετέρου ότι σε κάθε δεδομένη στιγμή, από την τράπεζα, θα τραβάει αέρα το σύστημα εκείνο που μπορεί να επιτύχει την χαμηλότερη απόλυτη πίεση (υψηλότερο κενό). Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο όπου η εφαρμογή είναι πολύ απαιτητική και χρειαζόμαστε και μεγάλη αρχική ροή και στη συνέχεια πολύ γρήγορα πολύ ψηλό κενό, μπορεί να ενεργοποιηθεί το σύστημα εξωτερικής αναρρόφησης, το οποίο μέσω της δεξιάς αντεπίστροφης να αναρροφά συνεχώς αέρα από την τράπεζα. Ταυτόχρονα έχουμε θέσει σε λειτουργία την αντλία κενού, ώστε η δεξαμενή να βρίσκεται σε πολύ υψηλό κενό, πχ -0.9bar μανομετρική πίεση. Μπορούμε τώρα να κατεβάσουμε το κινητό πλαίσιο και η αναρρόφηση θα ξεκινήσει αμέσως μόλις το πλαίσιο έρθει σε επαφή με την τράπεζα. Η πίεση θα κατέβει πολύ γρήγορα σε περίπου -0.22bar μανομετρική, δηλαδή στην πίεση της σκούπας. Στο σημείο αυτό ο χειριστής μπορεί να πατήσει απλά και μόνο τον διακόπτη της ηλεκτροβάνας, ή να ανοίξει την σφαιρική βάνα, και το τεμάχιο θα εκτεθεί αμέσως στην πίεση

της δεξαμενής. Έτσι, δεν υπάρχει άνοδος της πίεσης στη δεξαμενή από την αναρρόφηση του αρχικού όγκου, και έχουμε πετύχει και ταχύτατη αναρρόφηση, και υψηλό κενό, πολύ γρήγορα, και χωρίς ανάγκη για κανέναν δύσκολο ή χρονικά κρίσιμο χειρισμό.

Αξίζει να εξηγηθεί εδώ, το γιατί είναι αναγκαία η παρουσία της αριστερής αντεπίστροφης, καθώς όταν η ηλεκτροβάνα είναι κλειστή, η πρώτη μοιάζει να μην εξυπηρετεί κάποιο ρόλο. Όμως, το πρόβλημα είναι, ότι οι διαφραγματικές βάνες αυτού του τύπου, επειδή λειτουργούν με διαφορική πίεση, βασίζονται σε αυτή για να παραμείνουν κλειστές. Σε ένα σενάριο που εμείς είτε δεν έχουμε κατεβάσει την πίεση στη δεξαμενή, είτε για κάποιο λόγο έχουμε αφαιρέσει κάποιο μέρος της αριστερής διάταξης, για παράδειγμα για συντήρηση, τότε η ηλεκτροβάνα θα έχει στην κατάντι πλευρά της διεύθυνσης ροής της ατμοσφαιρική πίεση και στην ανάντι κάποια χαμηλότερη πίεση. Σε αυτές τις συνθήκες η διαφορική πίεση στη μεμβράνη είναι αντίστροφη από αυτή για την οποία έχει σχεδιαστεί η βάνα και αυτή θα ανοίξει. Έτσι θα χαθεί η στεγανότητα του συστήματος και δεν θα μπορεί να λειτουργήσει. Θα μπορούσε το πρόβλημα αυτό να λυθεί με χρήση μιας εμβολοφόρας βαλβίδας, αλλά τέτοιου τύπου βαλβίδες, με τόσο μεγάλη διάμετρο, θα είχε κόστος πολλαπλάσιο του κόστους του ζεύγους ηλεκτροβάνας - αντεπίστροφης βαλβίδας. Για αυτόν τον λόγο εφαρμόστηκε η λύση που περιγράφηκε, η οποία έχει ικανοποιητική επίδοση και χαμηλό κόστος.

Το σύστημα κενού χωρίζεται σε δύο πολύ γενικά μέρη. Το πρώτο είναι το άνω σύστημα, Αποτελείται από τον συλλέκτη, ο οποίος είναι μια συνδεσμολογία που ενσωματώνει σε ένα μεγάλο εξάρτημα την φλάτζα σύνδεσης με το τραπέζι/πλατό, τις αντεπίστροφες βαλβίδες, την ηλεκτροβάνα, τα σημεία σύνδεσης του αγωγού παράκαμψης της ηλεκτροβάνας (για χειροκίνητο μικρομετρικό έλεγχο του κενού), το σημείο σύνδεσης του εξωτερικού συστήματος κενού, και το σημείο σύνδεσης με τη δεξαμενή. Το δεύτερο είναι το κάτω σύστημα, αρκετά πιο απλό στην μορφή του, που αποτελείται από την δεξαμενή κενού, την αντλία κενού, το φίλτρο και διαχωριστή συμπυκνωμάτων/νερού, το τελικό φίλτρο και τις σωληνώσεις μεταξύ τους.

Ο συλλέκτης αποτελείται κυρίως από εξαρτήματα PVC, με πίεση σχεδίασης 16 bar. Η επιλογή εξαρτημάτων με τόσο υψηλή πίεση σχεδίασης φαίνεται αρχικά περιττή αφού η μηχανή θα λειτουργεί σε πίεση -1 έως 0 bar (σχετική), έγινε όμως για δύο βασικούς λόγους. Ο πρώτος και σημαντικότερος είναι πως αυτός ο τύπος σωλήνωσης διαθέτει στην γκάμα εξαρτημάτων κοχλιωτούς συνδέσμους, χαρακτηριστικό πολύ βολικό για την εφαρμογή, αφού τα διάφορα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνται από διάφορα υλικά, όχι μόνο PVC και άρα θα ήταν αδύνατο να συνδεθούν με κόλλα. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι κάποια από τα εξαρτήματα χρειάστηκαν κατεργασία σε τόρνο για να γίνουν συμβατά και άρα θεωρούμε ότι τα χαρακτηριστικά αντοχής τους θα επηρεάζονταν κατά πολύ. Εκτός από τα συνδετικά μέρη από PVC, έχει χρησιμοποιηθεί μια διαφραγματική ηλεκτροβάνα (solenoid valve) διαμέτρου 1", που προέρχεται από σύστημα άρδευσης και δύο βαλβίδες αντεπιστροφής από ορείχαλκο, τύπου εμβόλου.

Ενδιαφέρον ως προς την κατασκευή παρουσιάζουν αφενός η κύρια φλάτζα, και αφετέρου οι κοχλιωτές συνδέσεις στην ηλεκτροβάνα και τις αντεπίστροφες βαλβίδες.

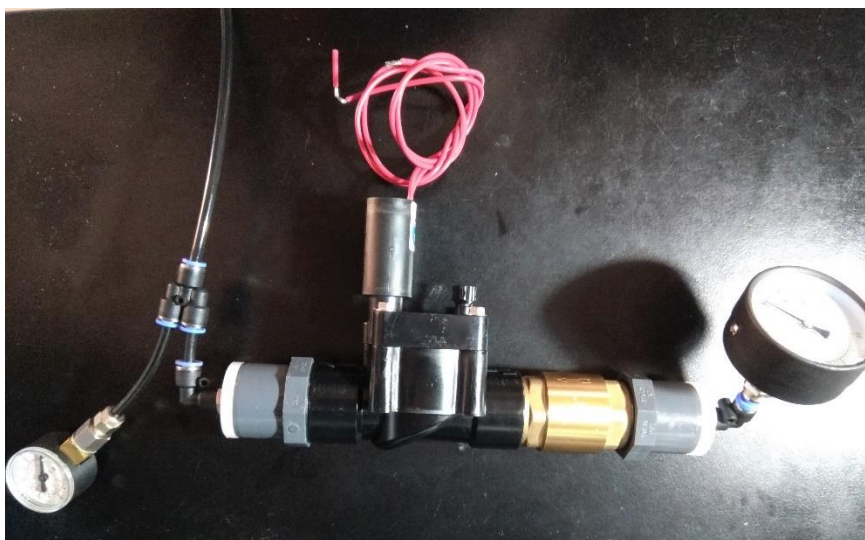
Στην πρώτη έπρεπε αυτή να τροποποιηθεί στην κάτω πλευρά της, ώστε να δεχτεί τον λαιμό για τη σύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο και στην άνω επιφάνεια, ώστε να δεχτεί κατάλληλο o-ring για την στεγανοποίηση μεταξύ αυτής και της τράπεζας. Στις δεύτερες έπρεπε και πάλι τα κοχλιωτά PVC εξαρτήματα να τροποποιηθούν, ώστε να μικρύνει το μήκος του σπειρώματός τους, αλλά και να ανοιχτεί κατάλληλο αυλάκι για την τοποθέτηση

στεγανωτικού δακτυλίου (o-ring). Για όλες αυτές τις διαμορφώσεις χρησιμοποιήθηκε τόνος.



Σχήμα 3.22: Διαμορφώσεις στην κύρια φλάτζα

Καθώς ο προσανατολισμός της ηλεκτροβάνας είναι σημαντικός, ώστε να μπορεί ο συλλέκτης να τοποθετηθεί κάτω από την τράπεζα, η συναρμολόγηση ξεκινά από τα κοχλιωτά εξαρτήματα, των οποίων η τελική θέση δεν μπορεί να προβλεφθεί. Έτσι, αφού το χείλος της ηλεκτροβάνας διαμορφωθεί στον τόννο ώστε να φέρει κατάλληλο αυλάκι για την τοποθέτηση κυκλικού δακτυλίου στεγάνωσης, συναρμολογείται με την αντίστοιχη αντεπίστροφη βαλβίδα μέσω ενός αυτοσχέδιου μαστού χωρίς «παξιμάδι» που κατασκευάστηκε στον τόννο από PVC. Ο μαστός, αντί κεντρικού παξιμαδιού, φέρει απλώς ένα ρηχό αυλάκι για τον στεγανωτικό δακτύλιο. Κατόπιν κοχλιώνονται στα άκρα της συνδεσμολογίας δύο αντάπτορες με 1" σπείρωμα σε 32mm κολλητό PVC. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο **σχήμα 3.4.3** όπου είναι συνδεδεμένη σε σύστημα κενού για έλεγχο στεγανότητας.



Σχήμα 3.23: Συγκρότημα ηλεκτροβάνας – αντεπίστροφης – συνδέσμων

Η ηλεκτροβάννα και η βαλβίδα της μπορούν πλέον να αντιμετωπιστούν σαν ένα κοινό κολλητό PVC εξάρτημα και ο προσανατολισμός τους μπορεί να επιλεγεί εύκολα. Κατά τα λοιπά μπορεί ο συλλέκτης να συναρμολογηθεί με απλές κολλήσεις/ κοχλιώσεις, και η τελική διάταξη που σχηματίζεται όπως φαίνεται στο [σχήμα 3.24](#) στερεώνεται στο κάτω μέρος της τράπεζας με τη βοήθεια αφενός τεσσάρων κοχλιωτών συνδέσεων στην κύρια φλάτζα, αλλά και τριών ειδικών βάσεων που σχεδιάστηκαν σε CAD και κατασκευάστηκαν σε 3D εκτυπωτή. Οι βάσεις αυτές αποτελούνται κάθε μια από δύο μέρη, μία τριγωνική βάση που βιδώνεται στην τράπεζα και ένα δακτύλιο που συγκρατεί περιμετρικά τον συλλέκτη σε διάφορα κατάλληλα σημεία. Οι βάσεις αυτές έχουν μεγάλη σημαία γιατί χωρίς αυτές οποιαδήποτε δύναμη εφαρμοστεί στον συλλέκτη, τόσο από την βαριά σωλήνωση της δεξαμενής, όσο και από κραδασμούς κτλ, θα μεταφερθεί στις συνδέσεις και την έδραση της φλάτζας με κίνδυνο να προκαλέσει ζημιές. Οι βάσεις είναι κατάλληλα σχεδιασμένες ώστε να μπορούν να ρυθμιστούν σε κατάλληλο ύψος, όπου ο συλλέκτης θα βρει τη φυσική του θέση αφού κοχλιωθεί η φλάτζα, κατόπιν δε να σφίχτούν οι κοχλίες τους και αυτές να κρατήσουν σταθερά αυτή τη θέση. Έτσι οι ίδιες οι βάσεις δεν εφαρμόζουν καμία επιπλέον ροπή ή δύναμη στον συλλέκτη. Οι βάσεις φαίνονται στο [σχήμα 3.25](#).



Σχήμα 3.24: Τελική θέση του συλλέκτη κάτω από την τράπεζα



Σχήμα 3.25: Λεπτομέρεια από τον συλλέκτη: Βάσεις στερέωσης πλέον της κύριας φλάτζας.

Στο Σχήμα 3.24 φαίνονται επίσης, σε σημεία εκατέρωθεν της ηλεκτροβάνας, δύο λευκά πώματα μέσα στα οποία είναι κοχλιωμένοι δύο ταχυσύνδεσμοι 90° με σωλήνες PA12 10mm. Τα πώματα αυτά και οι σωλήνες είναι μέρος του συστήματος χειροκίνητου ελέγχου του κενού. Τα πώματα είναι κατασκευασμένα σε τόρνο από PA6 και φέρουν ένα απλό αυλάκι με κυκλικό δακτύλιο. Καθώς ο συλλέκτης βρίσκεται πάντα σε πίεση, από -1bar έως ατμοσφαιρική, τα πώματα μένουν στη θέση τους με την ατμοσφαιρική πίεση και δεν υπάρχει ανάγκη για κάποια άλλη διαμόρφωση συγκράτησης. Κατά τα λοιπά, το σύστημα παράκαμψης αποτελείται από μια απλή σφαιρική βάνα στον πίνακα ελέγχου που θα περιγράφεται σε επόμενο υποκεφάλαιο. Στα δεξιά του σχήματος φαίνεται η σύνδεση με την εξωτερική αναμονή για την εξωτερική αντλία κενού (ηλεκτρική σκούπα). Η σύνδεση αποτελείται από ένα τμήμα σωλήνα για ηλεκτρικές σκούπες διαμέτρου 40mm. Ο σωλήνας είναι στερεωμένος με απλούς σφιγκτήρες nylon (zip-ties) οι οποίοι είναι αρκετοί για τις ανάγκες της εφαρμογής, αφού λόγω του πολύ υψηλού ρυθμού/όγκου αναρρόφησης μικρές διαρροές σε αυτό το σημείο δεν έχουν καμία μετρήσιμη επιρροή στη λειτουργία του μηχανήματος.

Ο σωλήνας καταλήγει σε ένα μικτό μαστό 32mm σε 1" σπείρωμα στην εσωτερική πλευρά του πλαϊνού τοιχώματος. Από την εξωτερική πλευρά του ίδιου τοιχώματος, τοποθετείται 3D εκτυπωμένο εξάρτημα, με σπείρωμα επίσης 1" που βιδώνει στον παραπάνω μαστό. Το τελευταίο αυτό εξάρτημα υποδέχεται το στόμιο αναρρόφησης της ηλεκτρικής σκούπας.

Η θέση της ηλεκτροβάνας έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε, αφενός να μην καταλαμβάνει μεγάλο χώρο προς τα κάτω και αφετέρου να μπορεί το πηνίο της αλλά και το καπάκι και η μεμβράνη της να αποσυναρμολογηθούν χωρίς να χρειάζεται να λυθεί ο συλλέκτης ή να βγει το σώμα της ηλεκτροβάνας από τη θέση του. Έτσι, αυτή μπορεί να επισκευαστεί στη θέση της πολύ εύκολα, σε περίπτωση ζημιάς σε κάποιο κινητό εξάρτημά της, καθώς το σώμα της δεν έχει κάποιο χαρακτηριστικό που να υπόκειται σε φθορά.

Το κάτω μέρος του συστήματος είναι αρκετά απλό και αποτελείται, όπως ήδη αναφέρθηκε, από την δεξαμενή, την αντλία και τις αντίστοιχες σωληνώσεις, η συνδεσμολογία των οποίων φαίνεται στο σχήμα 3.21. Η δεξαμενή που αρχικά χρησιμοποιήθηκε προήλθε από ένα παλαιό παροπλισμένο δοχείο διαστολής συστήματος κεντρικής θέρμανσης. Η επιλογή αυτή, αν και φάνηκε αρχικά καλή λύση για μείωση του κόστους, δεν θα αναλυθεί ιδιαίτερα καθώς κρίθηκε εν τέλει ακατάλληλη, αφού η εκτεταμένη οξείδωση στο εσωτερικό της ήταν αδύνατο να καθαριστεί παρά της προσπάθειες, με αποτέλεσμα η αντλία να τραβάει τόσο σκόνη η οποία στραγγάλιζε τα φίλτρα, όσο και υγρασία που μόλυνε το λάδι της. Επισημαίνεται πάντως ότι η αρχική αυτή επιλογή έγινε με τη λογική ότι, ακόμη και αν ο η φθορά ήταν εκτεταμένη, επειδή η εφαρμογή μας έχει να κάνει αποκλειστικά με κενό αέρος, μια πιθανή καταστροφική αστοχία της δεξαμενής θα προκαλούσε κατάρρευσή της προς τα έσω, και άρα δεν θα ήταν επικίνδυνη. Στο σημείο εκείνο της κατασκευής αποφασίστηκε συνειδητά, τα πώματα που αναφέραμε παραπάνω, τα οποία λειτουργούν ως σημεία εφαρμογής των σωλήνων του συστήματος παράκαμψης της ηλεκτροβάνας, να έχουν την μορφή βυσμάτων, και όχι κοχλιωτών ή κολλητών συνδέσμων. Αυτό εξασφάλιζε ότι σε κανένα απολύτως σενάριο δεν θα υπάρξει περίπτωση να συμπιεστεί το σύστημα σε πίεση παραπάνω από περίπου μερικά εκατοστά του 1bar, καθώς τα πώματα θα πετάγονταν από τις θέσεις τους ανοίγοντας το σύστημα.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση, ήταν αναγκαία η χρήση κάποιου άλλου ταμιευτήρα, και έτσι επιλέχθηκε ένα δοχείο διαστολής 50 λίτρων πιεστικού συγκροτήματος, που αγοράστηκε ειδικά για τον σκοπό αυτόν. Για ευκολία επιλέχθηκε δοχείο με εσωτερικό αφαιρούμενο πνεύμονα (μπαλόνι) και όχι με ενσωματωμένο διάφραγμα. Το μπαλόνι αφαιρέθηκε και

αποκόπηκε το χείλος του ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ελαστικό παρέμβυσμα για την στεγανοποίηση της φλάντζας του δοχείου. Επίσης αφαιρέθηκε η βαλβίδα πλήρωσης με άζωτο και η οπή σφραγίστηκε με κατάλληλο πώμα. Καθώς τα δοχεία αυτά είναι σχεδιασμένα να είναι πληρωμένα με άζωτο δεν φέρουν αντιοξειδωτική επικάλυψη στο εσωτερικό τους. Στις δικές μας συνθήκες χρήσης αυτό μπορεί να επιτρέψει οξείδωση του εσωτερικού. Για την αποφυγή αυτής της περίπτωσης εξετάστηκε η πιθανότητα βαφής του εσωτερικού της δεξαμενής με κατάλληλο μίνιο. Όμως, καθώς τα υλικά αυτά περιέχουν πτητικά συστατικά, πολλές φορές εύφλεκτα, κρίθηκε η λύση όχι βέλτιστη διότι θα χρειαζόνταν πολλές μέρες αερισμού ώστε να είμαστε σίγουροι ότι η αντλία μας δεν θα προσβληθεί από τέτοια χημικά. Επίσης, αν αργότερα η μόνωση «έσπαγε» και ξεφλούδιζε θα είχαμε να αντιμετωπίσουμε και οξείδωση και ελεύθερα σωματίδια που θα μπλόκαραν τα φίλτρα μας. Σαν εναλλακτική λύση επιλέχθηκε να επαλειφθεί το εσωτερικό του δοχείου με λάδι, συμβατό με την αντλία κενού, ως βασική προστασία. Η λύση αυτή κατά πάσα πιθανότητα θα είναι επαρκής για κάποια χρόνια, δεν δημιουργεί κανέναν κίνδυνο για την αντλία και αν κριθεί αναγκαίο επιτρέπει τον σχετικά εύκολο καθαρισμό από τυχόν μικρές οξειδώσεις με επακόλουθη επανεφαρμογή του λαδιού ανά διαστήματα, πχ κάθε 12 μήνες.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που προκύπτει σε αυτό το σημείο έχει να κάνει με την αντλία κενού και την σύνδεσή της με το σύστημά μας. Η αντλία που έχει χρησιμοποιηθεί είναι σχεδιασμένη για εκκενώσεις κλειστών συστημάτων κλιματισμού από φρέον. Τα συστήματα αυτά, σε μεγάλο βαθμό, υπακούουν στο πρότυπο SAE J513 για τους συνδέσμους υψηλής πίεσης. Το πρότυπο ορίζει όλα τα χαρακτηριστικά του κάθε συνδέσμου, συμπεριλαμβανομένου και του σπειρώματος, αλλά δεν έχει καμία ευθεία αντιστοιχία με κανένα πρότυπο σπειρώματος. Για παράδειγμα ένας σύνδεσμος SAE $\frac{1}{4}$ 45° δεν είναι συμβατός με κανέναν άλλον σύνδεσμο που χαρακτηρίζεται ως $\frac{1}{4}$, όπως πχ ο BSPP/BSPT, NPT και ούτε μετράει σαν ένα κανονικό UNC $\frac{1}{4}$ (ή UNF, UNEF κτλ). Δυστυχώς, δεν στάθηκε δυνατό να πάρουμε στα χέρια μας το πρότυπο ώστε να έχουμε σίγουρη εικόνα, καθώς ο SAE (Society of Automotive Engineers) χρεώνει ένα διόλου ευκαταφρόνητο ποσό για κάθε PDF. Όμως, με μετρήσεις αλλά και δοκιμή και σφάλμα, διαπιστώθηκε ότι ο αντάπτορας SAE 5/16 που έρχεται μαζί με την αντλία (η ίδια η αντλία είναι SAE $\frac{1}{4}$) έχει σπείρωμα που είναι αρκετά παρόμοιο με το $\frac{1}{4}$ BSP έτσι ώστε μια μούφα με αυτό το σπείρωμα να μπορεί να «ανέβει» μερικές σπείρες επάνω στον αντάπτορα. Έτσι τελικά χρησιμοποιήθηκε αυτή η διάσταση σπειρώματος για τη σύνδεση με την αντλία.

Αν και τα σπειρώματα ήταν αρκετά παρόμοια ώστε να βιδώσουν, δεν ήταν σε καμία περίπτωση αρκετά συμβατά για να στεγανώσουν ικανοποιητικά, είτε με κόλλα, είτε με τεφλόν. Ακόμα και αν ήταν, θα χρειαζόντουσαν αρκετά εξαρτήματα ώστε να πάμε από το σπείρωμα αυτό σε μια ουρά για τον σωλήνα που θα χρησιμοποιούνταν και το αποτέλεσμα θα ήταν ένας μακρύς αντάπτορας, ο οποίος σε πιθανή κρούση, πχ από κάποιο ατύχημα, θα μπορούσε να βάλει σε κίνδυνο το χυτό σώμα της αντλίας ή στην καλύτερη περίπτωση την σύνδεσή της. Αποφασίστηκε εν τέλει να κατασκευαστεί ένας ειδικός αντάπτορας που θα πατούσε επάνω σε αυτόν της αντλίας, θα στεγανοποιούνταν με o-ring και θα κατέληγε απευθείας σε ουρά κατάλληλης διαμέτρου. Επιπροσθέτως θα είχε δυνατότητα ελεύθερης περιστροφής ώστε να διευκολύνει στην τακτοποίηση του σωλήνα.

Ο σύνδεσμος κατασκευάστηκε σε τέσσερα μέρη. Το κύριο σώμα, το πώμα του, τον εξωτερικό κύλινδρο και την ουρά. Κάθε μέρος κατασκευάστηκε στον τόρνο και τα επιμέρους εξαρτήματα ενώθηκαν μεταξύ τους. Το υλικό που επελέγη ήταν ο ορείχαλκος, αποκλειστικά για τον λόγο ότι έδινε την δυνατότητα να συγκολληθούν τα εξαρτήματα πολύ εύκολα με

μαλακή κόλληση κασσίτερου και φλόγιστρο καυσίμου-αέρα, πράγμα που έκανε την διαδικασία πολύ απλή και γρήγορη.



Σχήμα 3.26: Στιγμιότυπα από την κατασκευή του αντάπτορα για την αντλία κενού.

Για την προστασία της αντλίας από τυχόν συμπυκνώματα, που μπορεί να προκύψουν κατά τη λειτουργία του μηχανήματος, εγκαταστάθηκε ανάμεσα σε αυτήν και τη δεξαμενή μια υδατοπαγίδα με φίλτρο σωματιδίων 20μm. Η συγκεκριμένη υδατοπαγίδα είναι σχεδιασμένη για συστήματα θετικής πίεσης, κάτι το οποίο δημιουργεί πρόβλημα καθώς διαθέτει βαλβίδα εκκένωσης συμπυκνωμάτων, η οποία σφραγίζει σωστά μόνο σε θετικές πιέσεις. Στην παρούσα εφαρμογή, η βαλβίδα δεν θα μπορούσε να στεγανώσει και για αυτό τον λόγο αφαιρέθηκε και αντικαταστάθηκε με ένα βιδωτό πώμα, κατασκευασμένο στον τόρνο από POM, το οποίο στερεώνεται εξωτερικά με ένα περικόχλιο M12. Το πώμα δεν προσφέρει δυνατότητα εκκένωσης και για να αδειάσουν τυχόν συμπυκνώματα πρέπει να αφαιρεθεί το ίδιο το σώμα της παγίδας. Αυτό ούτως ή άλλως δεν είναι πρόβλημα καθώς, αφενός το σώμα είναι προσβάσιμο εύκολα, αφετέρου δε δεν θα μπορούσε σε οποιαδήποτε περίπτωση η παγίδα να εκκενωθεί σε συνθήκες κενού, για ευνόητους λόγους. Η συγκεκριμένη λύση επιλέχθηκε σαν οικονομικά εναλλακτική, αφού το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος διαχωρισμού νερού, κατάλληλο για κενό, θα ήταν πολλαπλάσιο.

Αμέσως μετά την υδατοπαγίδα υπάρχει και μια μικρή βάνα απομόνωσης της αντλίας. Ο ρόλος της είναι διπλός. Ο πρώτος, για να μπορεί το επίπεδο κενού στο σύστημα να διατηρηθεί σταθερό οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς να χρειάζεται να σταματήσει η αντλία την λειτουργία της, σε περίπτωση που πρέπει να ξαναλειτουργήσει άμεσα (καθώς τέτοιοι κύκλοι διακοπής-έναρξης την φθείρουν). Και ο δεύτερος επειδή θέλουμε, για λόγους διαχείρισης

της αντλίας, να μπορεί να φτάσει πολύ γρήγορα σε πολύ υψηλό κενό, όταν για παράδειγμα χρειάζεται να λειτουργήσει παρατεταμένα με ανοιχτό ballast για λόγους αφύγρανσης.

Η παγίδα και ο διακόπτης της αντλίας είναι εγκατεστημένα στο πλευρικό τοίχωμα του κάτω πλαισίου με δύο ειδικές βάσεις τυπωμένες σε 3D εκτυπωτή.

Η αντλία κενού που έχει χρησιμοποιηθεί είναι μια Rothenberger Roairvac 3.0, σχεδιασμένη, όπως προαναφέρθηκε, για εκκενώσεις συστημάτων κλιματισμού. Πρόκειται για υγρού τύπου διβάθμια αντλία rotary-vein, με κινητήρα 1/3Hp. Δεν ήταν αυστηρά απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί διβάθμια αντλία, αλλά η τιμή της είναι ανταγωνιστική και η επιπρόσθετη αύξηση στην ταχύτητα αναρρόφησης ευπρόσδεκτη. Καθώς η αντλία, κατά τη λειτουργία της, εκπνέει ένα νέφος από σταγονίδια λαδιού, με την πάροδο του χρόνου η επιφάνειά της παρουσιάζει μια λιπαρότητα που μπορεί να δημιουργήσει σταγόνες. Για την αποφυγή της σχηματισμού λεκέδων στο MDF η αντλία στέκεται επάνω σε μια βάση που αποτελείται από φύλλο αλουμινίου σε σχήμα μικρής λεκάνης, της οποίας το εμπρός χείλος προεξέχει από το πάτωμα του μηχανήματος. Έτσι, τυχόν σταγόνες λαδιού θα πέσουν στην λεκάνη και τυχόν διαρροές δεν θα προσβάλουν το υλικό του πλαισίου. Στο διαμέρισμα της δεξαμενής και της αντλίας υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος για την αποθήκευση δοχείων λαδιού, για την περιοδική συμπλήρωση και αντικατάσταση του λαδιού της αντλίας, όταν και όπως αυτό είναι αναγκαίο.

Ο αγωγός αναρρόφησης της αντλίας που την συνδέει με την δεξαμενή είναι απλός πλαστικός σωλήνας καυσίμου, διαμέτρου 7mm εσωτερικά και 12mm εξωτερικά. Για την στερέωσή του έχουν χρησιμοποιηθεί κοινές ουρές αέρος 8mm και απλοί σφικτήρες με κοχλία.

Αμέσως πριν την είσοδο της αντλίας και σε ρόλο φίλτρου αέρα, υπάρχει ένα φίλτρο καυσίμου από χαρτί, του οποίου ο ρόλος είναι καθαρά εφεδρικός και σημείο τελικής σύλληψης για τυχόν σταγονίδια, που μπορεί να σχηματιστούν μέσα στους αγωγούς. Το φίλτρο αυτό δεν είναι αυστηρά απαραίτητο.

Η δεξαμενή κενού διαθέτει μόνον ένα μεγάλο σημείο εισόδου και αυτό είναι το 1" BSPT σπείρωμα στη φλάτζα της. Στο σημείο αυτό έπρεπε να εγκατασταθεί ο αγωγός σύνδεσης με τον συλλέκτη, για λόγους παροχής. Για τον ρόλο αυτό κατασκευάστηκε ένας αντάπτορας ο οποίος αποτελείται αρχικά από μία γωνία 90° 1" PVC με σπειρωτομημένα άκρα. Στο ένα άκρο είναι βιδωμένος και κολλημένος ένας μαστός PVC με σπείρωμα 1" σε κολλητό 32mm, στον οποίο με τη σειρά του έχει κολληθεί μικρό κομμάτι σωλήνα PVC 32mm OD. Το μήκος του λειτουργεί σαν ουρά για την πρόσδεση του αγωγού αναρρόφησης που θα αναφερθεί πιο κάτω. Το εξάγωνο του μαστού έχει αφαιρεθεί με τονάρισμα και έπειτα, στην μία πλευρά της συνδεσμολογίας έχουν σχηματιστεί δύο επίπεδες έδρες, με τη βοήθεια αυτοσχέδιου κονδυλίου (αναφέρθηκε στην κατασκευή του ανω τελάρου του μηχανισμού συγκράτησης) και κάθετου δράπανου σε ρόλο αυτοσχέδιας φρέζας, καθώς δεν υπήρχε πραγματική φρέζα διαθέσιμη. Το τεμάχιο συγκρατήθηκε σε μέγγενη δραπάνου, η οποία με πολύ προσοχή οδηγήθηκε χειροκίνητα επάνω στο τραπέζι του δραπάνου ώστε να σχηματιστούν οι έδρες. Η διαδικασία σίγουρα δεν ήταν η βέλτιστη από άποψη ασφάλειας και δεν προτείνεται. Ήταν όμως επιτυχής. Στις επίπεδες έδρες ανοίχτηκαν δύο οπές και έπειτα σπειρώματα BSP 1/4", για να υποδεχτούν μια ουρά 8mm, για την πρόσδεση του αγωγού αναρρόφησης της αντλίας καθώς και ένας ταχυσύνδεσμος 6mm για σωλήνα PA12, για την σύνδεση με το μανόμετρο ελέγχου. Ο σύνδεσμος βιδώνει τελικά επάνω στη δεξαμενή και στεγανώνει με τη χρήση στεγανωτικού νήματος. Πρόκειται για ειδικό νήμα εμποτισμένο με στεγανωτικό σπειρωμάτων σε ημιστέρεη μορφή και όχι ο γνωστός κετσές.



Σχήμα 3.27: Στιγμιότυπα από την κατασκευή του αντάπτορα για την αντλία κενού.

Η σύνδεση του σωλήνα αναρρόφησης της αντλίας, θα μπορούσε να γίνει και στην αντίθετη πλευρά της δεξαμενής, εκεί όπου είχε αφαιρεθεί η βαλβίδα ελέγχου αζώτου. Όμως επιλέχθηκε να μην γίνει κάτι τέτοιο για δύο λόγους. Ο ένας είναι ότι το σημείο εκείνο είναι πολύ μακρύτερα από την αντλία και ο αγωγός θα ήταν πολύ πιο μακρύ, ενώ έτσι όπως έγινε η σύνδεση φαίνεται πολύ πιο «καθαρή» και καλαίσθητη. Και ο δεύτερος λόγος και σημαντικότερος είναι ότι η θέση της βαλβίδας αζώτου θα έβαζε την αναρρόφηση της αντλίας και την είσοδο της δεξαμενής σε μια ευθεία. Σε ένα πιθανό σενάριο όπου ένα σωματίδιο έχει αναρροφηθεί κάπου από το σύστημα και ταξιδεύει προς τη δεξαμενή, κατά την ενεργοποίηση της ηλεκτροβάνας, αυτό το σωματίδιο είναι πιο πιθανό να βρει μια ευθεία διαδρομή και να μπει στον αγωγό αναρρόφησης της αντλίας. Με το να είναι εγκατεστημένος ο τελευταίος στον λαιμό της δεξαμενής, το σωματίδιο θα έπρεπε να μπει στη δεξαμενή και μετά να βγει πάλι και να κατευθυνθεί προς την αντλία, πράγμα πολύ δύσκολο. Ο προβληματισμός είναι πολύ θεωρητικός και σε οποιαδήποτε περίπτωση αφορούσε πολύ περισσότερο το σενάριο με χρήση του παλαιού δοχείου το οποίο παρουσίαζε οξείδωση και άρα περιστατικά τέτοιου τύπου ήταν πιο πιθανά. Όμως δεν υπήρχε λόγος να μην υλοποιηθεί η πιο ασφαλής διάταξη και άρα έγινε έτσι. Η σύνδεση του μανόμετρου θα μπορούσε να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο, αλλά απλά η θέση αυτή διευκολύνει και σε αυτήν τοποθετήθηκε. Τέλος, όπως αναφέραμε, στην «ουρά» των 32mm είναι συνδεδεμένος ένα σωλήνας κενού, διαμέτρου 32mm ID – 40mm OD, διάφανος, ο οποίος με τον ίδιο ακριβώς τρόπο συνδέεται στην άλλη του άκρη με τον συλλέκτη και στερεώνεται και στις δύο πλευρές με βαρέως τύπου βιδωτούς σφιγκτήρες. Ο σωλήνας αυτός, αν και θεωρητικά «εύκαμπτος»,

είναι αρκετά δύσκαμπτος και γενικά αντιστέκεται σε σχηματισμό τόξων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ακόμα και με σχετικά μικρές εκτροπές να προσπαθεί να επιφορτίσει τα σημεία έδρασής του με σημαντικά φορτία. Αυτός είναι και ο λόγος που ήταν τόσο σημαντικό να στερεωθεί ο συλλέκτης επιμελώς με τις ειδικές βάσεις που συζητήθηκαν στο αντίστοιχο υποκεφάλαιο.



Σχήμα 3.28: Τελική μορφή του κάτω πνευματικού συστήματος

3.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η ηλεκτρική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση έχει και αυτή με τη σειρά της αυξημένη πολυπλοκότητα, την μεγαλύτερη από όλα τα μέρη της μηχανής και αυτό οφείλεται σε μια πληθώρα παραγόντων, που είναι δύσκολο να αναλυθούν με πολλές λεπτομέρειες, καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος να πλατειάσει η όλη περιγραφή. Όμως στη συνέχεια, αναφέρονται επιγραμματικά κάποιες βασικές αρχές οι οποίες οδήγησαν σε λύσεις που αρχικά φαίνονται υπερβολικές, αλλά εξυπηρετούν σημαντικούς περιορισμούς, οι οποίοι στο σύνολό τους έχουν να κάνουν πρώτα απ' όλα με την ασφάλεια του χειριστή, επιπλέον δε με την επιθυμία, να είναι η μηχανή όσο το δυνατόν πιο ευέλικτη, τόσο σε γκάμα χρησιμοποιούμενων υλικών όσο και σε εύρος συνθηκών κάτω από τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία.

Έτσι για παράδειγμα, η μηχανή διαθέτει δύο, ανεξάρτητες μεταξύ τους, πηγές ισχύος, και οι δύο μονοφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος 230V 50Hz, αλλά διαφορετικής προδιαγραφής ρεύματος, μία στα 16A μέγιστο και μια στα 32A μέγιστο.

Η πρώτη και κύρια είσοδος ισχύος είναι εκείνη των 32A, και παίρνει τη μορφή ενός βύσματος τύπου 523-6 PCE. Όταν το μηχάνημα τροφοδοτείται από αυτή την παροχή, έχει μέγιστη ικανότητα ισχύος θέρμανσης 4200W. Για την λειτουργία της μηχανής από αυτή την είσοδο απαιτείται να υπάρχει διαθέσιμη στο χώρο κατάλληλη βιομηχανική πρίζα τύπου 323-6 PCE, συνδεδεμένη σε μονοφασικό δίκτυο 230V 50Hz, με ικανότητα συνεχούς παροχής ρεύματος έντασης τουλάχιστον 32A (ονομαστικό ρεύμα μικρο-αυτόματου).

Η δεύτερη, και τρόπον τινά δευτερεύουσα, είσοδος ισχύος έχει τη μορφή ενός βύσματος τύπου IEC60320 – C20. Όταν συνδέσουμε τη μηχανή σε αυτή την παροχή, έχουμε τη δυνατότητα να την τροφοδοτήσουμε από κοινή πρίζα schuko, αφού η μέγιστη ισχύς του φούρνου μειώνεται στα 2100W.

Η διάταξη επιτρέπει μόνο σε ένα βύσμα να είναι συνδεδεμένο κάθε στιγμή.



Σχήμα 3.29: Βύσματα παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος. Επάνω (μπλέ) 523-6 PCE (32A), κάτω (μαύρο) IEC60320 – C20 (16A). Η διάταξη επιτρέπει μόνο σε ένα βύσμα να είναι συνδεδεμένο κάθε στιγμή.

Η μείωση στην ισχύ της μηχανής γίνεται με τη χρήση ενός μεταγωγικού διακόπτη τεσσάρων θέσεων, ο οποίος ταυτόχρονα επιλέγει τόσο την είσοδο ισχύος όσο και την μέγιστη ισχύ του φούρνου, με τρόπο που θα γίνει προφανής παρακάτω.

Σημειώνεται ότι κάθε είσοδος ισχύος διαθέτει δικό της ανεξάρτητο μικροαυτόματο κατάλληλου ρεύματος για την συγκεκριμένη είσοδο. Έτσι η εξασφάλιση της ασφάλειας της πρίζας παροχής γίνεται ενεργά μέσα από τον πίνακα του μηχανήματος και όχι απλά από τον περιορισμό της ισχύος του φούρνου!

Θα γίνει προφανές το γιατί αυτό είναι απολύτως σημαντικό κατά την ανάλυση λειτουργίας της πρίζας παρελκόμενων (Auxiliary), που υπάρχει για τη σύνδεση της εξωτερικής πηγής αναρρόφησης (ηλεκτρική σκούπα κτλ).

Με εξαίρεση τον πίνακα ελέγχου (front-end), τον κύριο διακόπτη λειτουργίας και φυσικά τις συνδέσεις των λαμπτήρων, η ηλεκτρική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση του μηχανήματος (την οποία στο εξής θα αποκαλούμε απλώς «ηλεκτρική» για ευκολία) βρίσκεται εγκατεστημένη μέσα σε επίτοιχο ηλεκτρολογικό πίνακα 2x12 DIN ο οποίος είναι στερεωμένος εξωτερικά του κάτω πλαισίου (επίπλου) και στο δεξιό τοίχωμα αυτού.

Ο πίνακας περιέχει εξαρτήματα ράγας όσο και άλλα εξαρτήματα που δεν είναι σχεδιασμένα για εγκατάσταση σε ράγα, αλλά τοποθετήθηκαν με τη βοήθεια ειδικών για το σκοπό 3D εκτυπωμένων βάσεων.

Έγινε προσπάθεια όλα τα εξαρτήματα του συστήματος, τα οποία, είτε τροφοδοτούνται από, είτε διαχειρίζονται υψηλή τάση, να περιέχονται στον πίνακα.

Αυτό, όπως φαίνεται παρακάτω, επηρέασε την επιλογή του συστήματος ρύθμισης ισχύος του φούρνου (TRIAC Dimmer), αλλά και γενικά το μέγεθος του πίνακα, αφού αν μεγάλα μέρη της διάταξης, όπως το dimmer αλλά και η τροφοδοσία των 12V έβγαιναν εκτός πίνακα θα μπορούσε αυτός να είναι αρκετά μικρότερος. Όμως για λόγους ασφαλείας αυτά τελικά ενσωματώθηκαν στον πίνακα.

Επομένως, τα μόνα σημεία όπου υπάρχει υψηλή τάση εκτός του κύριου πίνακα είναι οι κύριοι καταναλωτές, δηλαδή ο φούρνος και η αντλία, αλλά και ο κύριος διακόπτης της συσκευής ο οποίος όμως είναι και αυτός εγκατεστημένος σε δικό του υποπίνακα 1x2 DIN. Τα λοιπά εξαρτήματα και χειριστήρια του μηχανήματος, όπου αυτά υπάρχουν, διαχειρίζονται χαμηλές τάσεις, 24V AC ή 12V DC.

Η επιλογή να υπάρχουν δύο διαφορετικές χαμηλές τάσεις ήταν κάπως αμφιλεγόμενη. Αρχικά έγινε μεγάλη προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί μόνο μία τάση, αυτή των 24V AC, καθώς είναι ουσιαστικά αναγκαστικό να υπάρχει στο σύστημα.

Διευκρινίζεται ότι στο εμπόριο δεν μπορεί να βρεθεί εύκολα ηλεκτρονόμος ισχύος ράγας επαρκούς ικανότητας ισχύος για τα 4.2KW του φούρνου, που να έχει πηνίο 12V, και όταν κάτι τέτοιο υπάρχει, το κόστος είναι πολύ μεγάλο.

Να σημειωθεί εδώ, ότι οι ηλεκτρονόμοι έχουν δύο προδιαγραφές όσον αφορά την ικανότητά τους. Η μια αφορά το μέγιστο ρεύμα επαφής που δίνεται σε A και η άλλη τη μέγιστη ισχύ διακοπής/αποκατάστασης που δίνεται σε KW.

Για τους περισσότερους ηλεκτρονόμους που αφορούν τα 230 και 400V οι τιμές αυτές ΔΕΝ αντιστοιχούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ο οικονομικότερος ηλεκτρονόμος με ικανότητα ισχύος πάνω από 4200W, που ήταν αναγκαίος για την εφαρμογή, έχει ονομαστικό μέγιστο ρεύμα επαφών 40A, που θεωρητικά αντιστοιχεί σε φορτίο 9200W στα 230V. Όμως, αν ελέγξουμε τις προδιαγραφές του κατασκευαστή εκείνος δίνει μέγιστο φορτίο λαμπτήρα πυράκτωσης μόλις 5000W και ακόμα χαμηλότερο για λαμπτήρες φθορισμού, επαγωγικά φορτία (κινητήρες) κτλ.

Αυτό αναφέρεται γιατί κάποιος εύλογα μπορεί να αναρωτηθεί για την ακρίβεια του ανωτέρω συλλογισμού, όταν το εμπόριο έχει πληθώρα επιλογών σε ηλεκτρονόμους 20A με πηνία 12V. Οι επιλογές αυτές, δεν είναι κατάλληλες για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Άλλος σημαντικός παράγοντας για την επιλογή των 24V AC είναι η λειτουργία του πηνίου της ηλεκτροβάνας, που είναι επίσης σχεδιασμένο για αυτή την τάση.

Τα μόνα εξαρτήματα που έχουν μείνει, τα οποία επίσης χρειάζονται χαμηλή τάση, είναι οι ενδεικτικές λυχνίες, οι οποίες θα μπορούσαν να λειτουργήσουν με οποιαδήποτε από τις δύο

τάσεις και ο ανεμιστήρας ψύξης που είναι απαραίτητος για την διαχείριση της θερμότητας, τόσο της διόδου ισχύος, όσο και του ρυθμιστή ισχύος.

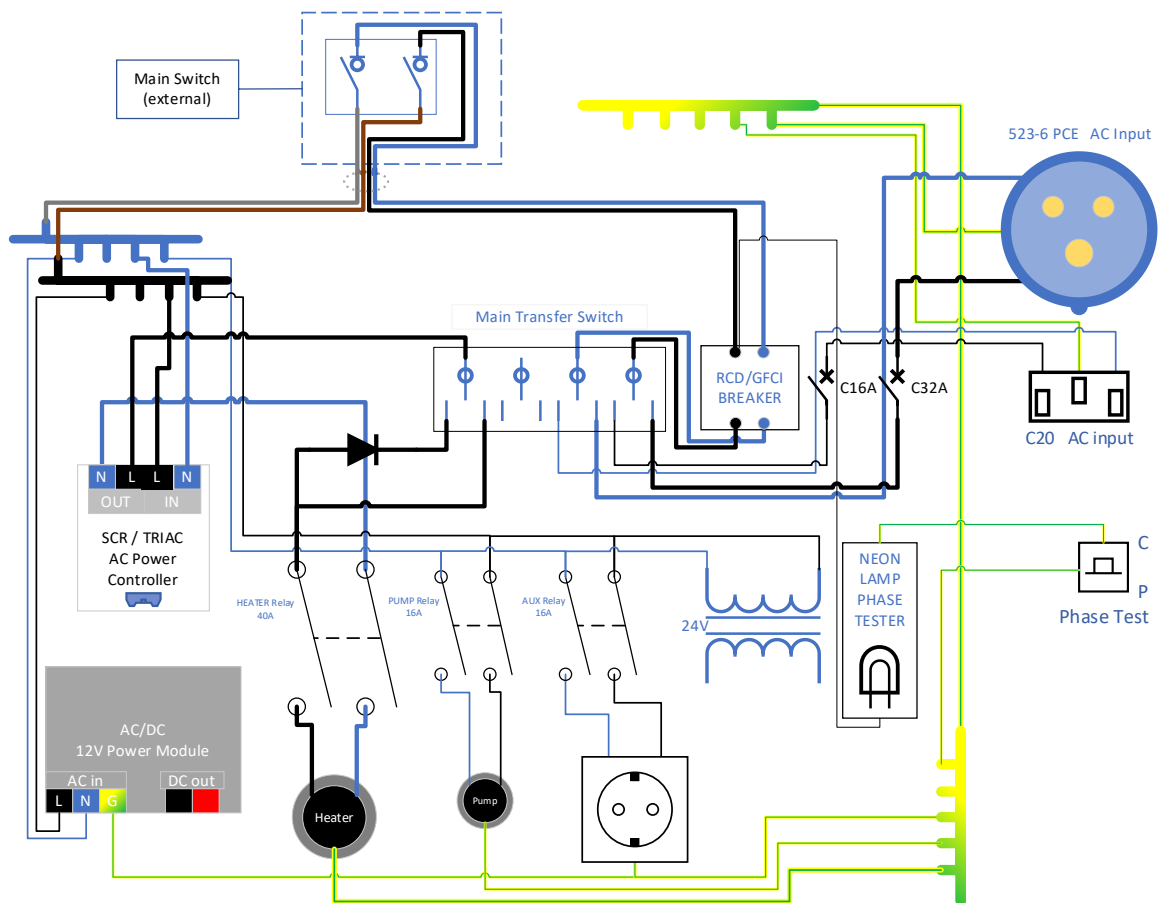
Εδώ προκύπτει ένα δίλλημα καθώς η τροφοδοσία του ανεμιστήρα από τον μετασχηματιστή θα σήμαινε αφενός χαμηλότερη πολυπλοκότητα αφετέρου δε ότι πρέπει να βρούμε ανεμιστήρα 24V AC με κατάλληλα χαρακτηριστικά για την εφαρμογή και επιπλέον να ανεβάσουμε την ισχύ του μετασχηματιστή ώστε να μπορεί να διαχειριστεί το παραπάνω φορτίο.

Μετά από έρευνα στην αγορά, διαπιστώθηκε ότι η επιλογή ενός ανεμιστήρα με χαρακτηριστικά αρκετά κοντά στα επιθυμητά, αν και πάλι όχι βέλτιστα, μαζί με την διαφορά κόστους ενός μεγαλύτερου μετασχηματιστή, ήταν υψηλότερη από την επιλογή της αγοράς ενός ανεμιστήρα 12V, ο οποίος θα είχε καλύτερα χαρακτηριστικά και ενός μικρού τροφοδοτικού 12V DC για την τροφοδοσία του.

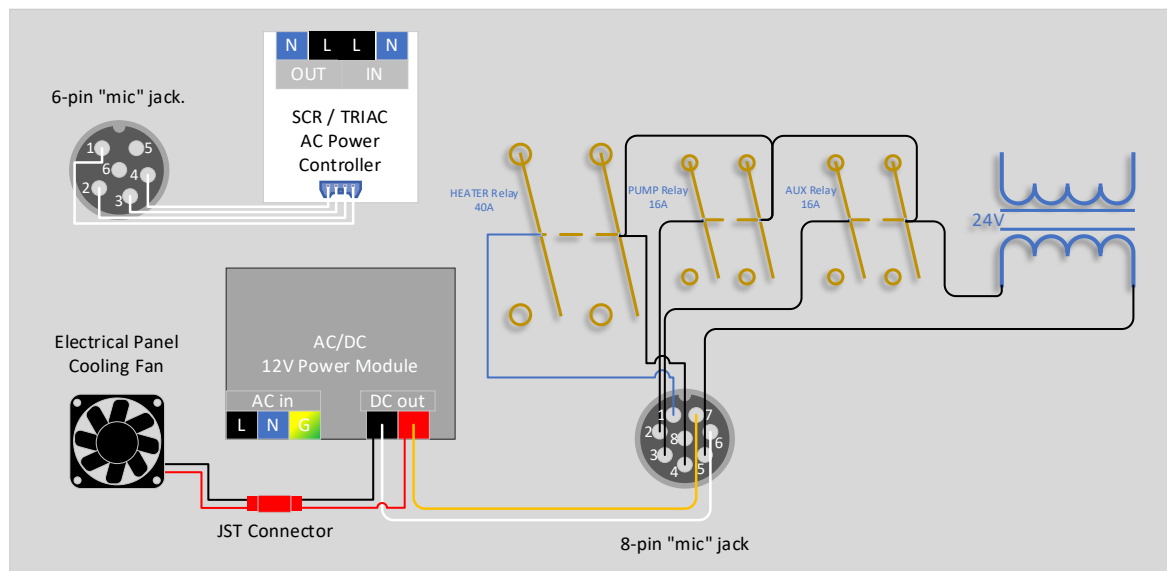
Έτσι, και ουσιαστικά μόνο για λόγους κόστους, επιλέχθηκε να ενσωματωθούν και οι δύο τάσεις, το οποίο όμως, ειρήσθω εν παρόδω, έχει το επιπλέον πλεονέκτημα της ύπαρξης μιας παροχής 12V DC για ένα μελλοντικό εξάρτημα, για παράδειγμα ένα μικρό φως εργασίας LED.

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση του πίνακα διαθέτει επίσης δικό της ρελέ διαρροής (RCD/GFCI), για επιπλέον ασφάλεια του χειριστή, η οποία εξασφαλίζεται, είτε σε περίπτωση ολικής απουσίας άλλου μηχανισμού ελέγχου διαρροής, είτε σε αστοχία του ρελέ του πίνακα της κτηριακή εγκατάστασης, κάτι το οποίο δεν αποκλείεται να συμβεί σε παλαιούς πίνακες, όταν τα ρελέ δεν δοκιμάζονται περιοδικά και αναπτύσσουν «κόλλημα» (stiction).

Στο σχήμα 3.30 και σχήμα 3.31, και πριν την σχετική διεξοδική ανάλυση, παρουσιάζεται γραφικά η συνδεσμολογία του πίνακα της κατασκευής



Σχήμα 3.30: Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία κύριου πίνακα (230V)



Σχήμα 3.31: Ηλεκτρική συνδεσμολογία κύριου πίνακα (12V DC, 24V AC). Παρουσιάζεται μόνο το υποσύνολο των σχετικών εξαρτημάτων

Στο σχήμα 3.30 φαίνεται το μέρος της συνδεσμολογίας που αφορά στην διανομή της υψηλής τάσης. Παρατηρούμε τις δύο ανεξάρτητες εισόδους, **C20** και **523-6 PCE**, που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η φάση κάθε εισόδου περνάει πρώτα από έναν μικροαυτόματο (**C16A** και **C32A**), με προδιαγραφή κατάλληλη για την ανάλογη προδιαγεγραμμένη ισχύ: 16A για την C20, 33A για την 523-6 PCE, και έπειτα τόσο η φάση όσο και ο ουδέτερος κάθε εισόδου συνδέονται στις θέσεις 10, 14 και 12, 16, του διακόπτη μεταγωγής (**Main Transfer Switch**).

Δηλαδή ένα κανάλι του διακόπτη λαμβάνει τις δύο φάσεις και ένα τους δύο ουδέτερους. Από τις αντίστοιχες εξόδους των θέσεων του διακόπτη (9 και 13) αναχωρούν πλέον, μία φάση και ένας ουδέτερος, οι οποίοι καταλήγουν στην είσοδο του ρελέ διαρροής (**RCD/GFCI Breaker**). Από την έξοδο του ρελέ, αναχωρούν εκ νέου οι δύο γραμμές αυτές και αφού διακοπούν από τον γενικό διακόπτη λειτουργίας της συσκευής (**Main Switch**), ο οποίος βρίσκεται σε δικό του μικρότερο απομακρυσμένο πίνακα, επιστρέφουν στον κύριο πίνακα και συνδέονται με τις ράγες διανομής.

Ο απομακρυσμένος πίνακας συνδέεται με τον κύριο μέσω ενός καλωδίου 5x4mm² όπου, ένα ζεύγος καλωδίων, μαύρο και μπλέ, φεύγει από το ρελέ προς τον διακόπτη και ένα ζεύγος καφέ και γκρί, επιστρέφει από τον διακόπτη και συνδέεται με τις ράγες.

Ο πέμπτος αγωγός, αυτός της γείωσης, δεν εξυπηρετεί κάποιο σκοπό καθώς ο απομακρυσμένος πίνακας είναι όλος από πλαστικό και δεν διαθέτει σύνδεση γείωσης. Όμως επιλέχθηκε καλώδιο 5x4mm² αντί του 4x4mm² επειδή όλα τα καλώδια 4^{ων} αγωγών διαθέτουν 3 χρώματα και ένα γείωσης, άρα αν χρησιμοποιούταν τέτοιο καλώδιο θα έπρεπε αυτό της γείωσης να αποτελεί αγωγό ουδέτερου ή φάσης. Κάτι τέτοιο θα ήταν κυριολεκτικά επικίνδυνο και επομένως δεν εφαρμόστηκε. Ο υποπίνακας είναι τοποθετημένος στο δεξιό τοίχωμα του κάτω πλαισίου/επίπλου, με τη βοήθεια μικτής βάσης, αποτελούμενης από ένα «έλασμα» από ακρυλικό πλαστικό το οποίο έχει καμφθεί σε σχήμα «L» με τη βοήθεια θερμού αέρα και μία 3D εκτυπωμένη βάση από ASA, η οποία λειτουργεί σαν σημείο εγκατάστασης του συτυπιοθλίπτη του καλωδίου.



Σχήμα 3.32: Υποπίνακας με τον κεντρικό διακόπτη λειτουργίας.
Στο πίσω μέρος είναι ορατή η σύνδεση με τον κύριο πίνακα.

Από τις ράγες διανομής αναχωρούν τρία ζεύγη γραμμών, εκ των οποίων ένα ζεύγος τροφοδοτεί τον ελεγκτή ισχύος (**SCR/TRIAC AC Power Controller**), ένα το τροφοδοτικό των 12V (**AC/DC 12V Power Module**) και ένα ζεύγος τροφοδοτεί τους δύο ηλεκτρονόμους 16A (**PUMP Relay** και **AUX Relay**) και τον μετασχηματιστή των **24V AC**.

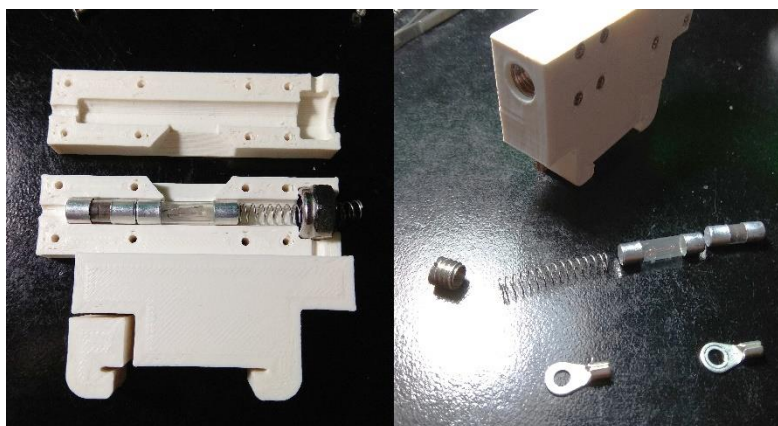
Για τον ηλεκτρονόμο του φούρνου η διαδικασία είναι πιο πολύπλοκη. Από τον ελεγκτή ισχύος αναχωρεί ένα καλώδιο φάσης, το οποίο εισέρχεται στην θέση 1, στο πρώτο κανάλι του διακόπτη μεταγωγής. Από εκεί και από την θέση 2 του διακόπτη, που αντιστοιχεί στην επιλογή της χαμηλής ισχύος της ,μηχανής, αναχωρεί ένας αγωγός ο οποίος συνδέεται στην είσοδο (καρφί) της **διόδου ισχύος**. Ένας νέος αγωγός αναχωρεί από την έξοδο (βάση) της διόδου και συνδέεται με το ένα κανάλι του ηλεκτρονόμου του φούρνου (**HEATER Relay**). Παράλληλα, ένας ακόμη αγωγός εξέρχεται από τη θέση 4 του πρώτου καναλιού του διακόπτη μεταγωγής και συνδέεται -απευθείας- στην ίδια θέση του ηλεκτρονόμου του φούρνου.

Η λογική αυτής της διαδικασίας έχει ως εξής. Ο διακόπτης μεταγωγής είναι έτσι συνδεδεμένος ώστε στην θέση I να επιλέγει την είσοδο των 32A και ταυτόχρονα να συνδέει τον ηλεκτρονόμο του φούρνου απευθείας στον ελεγκτή ισχύος. Αντίθετα, στη θέση II ο διακόπτης μεταγωγής επιλέγει την είσοδο των 16A και ταυτόχρονα διακόπτει την άμεση επικοινωνία του ηλεκτρονόμου του φούρνου με τον ελεγκτή ισχύος, ενώ παρεμβάλλει μεταξύ τους μια δίοδο ισχύος. Με αυτό τον τρόπο, όταν επιλέγεται η είσοδος των 16A, αυτόματα, η λειτουργία των αντιστάσεων περιορίζεται στο μισό ημίτονο του ρεύματος και η ισχύς μειώνεται στο 50%. Κατά συνέπεια, ο ελεγκτής ισχύος συνεχίζει κανονικά να ρυθμίζει την ισχύ που καταλήγει στο φούρνο, αλλά αλλάζει το εύρος ρύθμισης από 0 έως 4200W σε 0 έως 2100W. Παράλληλα, και επειδή κάθε είσοδος διαθέτει τον δικός της κατάλληλο μικροαυτόματο, ο διακόπτης μεταγωγής αλλάζει και το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα λειτουργίας από 32A σε 16A. Όλα αυτά με μία μόνο επιλογή στον διακόπτη μεταγωγής και χωρίς καμία πιθανότητα σφάλματος από τον χειριστή. Τέλος, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η μη χρησιμοποιούμενη είσοδος είναι απομονωμένη ηλεκτρικά και οι ελεύθερες επαφές της είναι απολύτως ακίνδυνες.

Από τον ηλεκτρονόμο του φούρνου και από εκείνον της αντλίας αναχωρούν δύο ζεύγη καλωδίων κατάλληλης διαμέτρου, μέσα από δύο στυπιοθλίπτες στο πίσω μέρος του πίνακα, ενώ από τον ηλεκτρονόμο της εξωτερικής σύνδεσης αναχωρεί ένα ζεύγος που συνδέεται με μια χωνευτή πρίζα schuko εγκατεστημένη στο αριστερό τοίχωμα του πίνακα.

Αξίζει να σημειωθεί μια προσθήκη στο κύκλωμα, που έγινε για να λύσει ένα μικρό πρόβλημα το οποίο προκύπτει με την θέση της φάσης κατά την τροφοδοσία της μηχανής από την παροχή των 16A. Παρόλο που κατά γενικό κανόνα, στο εναλλασσόμενο ρεύμα η θέση της φάσης και του ουδέτερου είναι εναλλάξιμες, αν και υπάρχουν ειδικές εξαιρέσεις, στην παρούσα περίπτωση μας απασχόλησε ιδιαίτερα ότι οι μικροαυτόματοι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι μιας θέσης και άρα διακόπτουν μόνο τη φάση. Αν και στις συνδέσεις με φίς PCE όσο και IEC60320 C13-14, C19-20 κτλ οι πρίζες είναι πολωμένες, δηλαδή δεν μπορούν να μπουν ανάποδα, το φίς schuko, (CCE 7/3 και 7/4, αλλιώς type F) μπορεί να μπει ανάποδα καθώς το ίδιο δεν είναι πολωμένο. Μπορεί κάποιος λοιπόν να συνδέσει το μηχάνημα έτσι ώστε σε λειτουργία 16A ο μικροαυτόματος να διακόπτει τον ουδέτερο και όχι τη φάση. Παρόλο που αυτό δεν επηρεάζει τίποτα λειτουργικό, και κυρίως όχι την λειτουργία του ρελέ διαρροής που είναι το σημαντικότερο, και παρόλο που θεωρείται εύλογα ότι κανείς λογικός άνθρωπος δεν θα επιχειρήσει ποτέ να αποσυναρμολογήσει τον πίνακα μιας τέτοιας συσκευής ενώ είναι ακόμη στην πρίζα, περισσότερο από την επιθυμία να γίνει το έξτρα βήμα προς την κατεύθυνση της ασφάλειας, εγκαταστάθηκε ένα απλό σύστημα

επιβεβαίωσης της σωστής πολικότητας της συσκευής. Το σύστημα αυτό, εκτός του ότι επιτρέπει την επιβεβαίωση της σωστής σύνδεσης της πρίζας schuko, επιτρέπει και την δυνατότητα επιβεβαίωσης της ορθής πολικότητας της χρησιμοποιούμενης εξόδου 323-6 PCE, όπου αυτή υπάρχει, αφού αν το σύστημα δείχνει λάθος πολικότητα σημαίνει λάθος καλωδίωση της πρίζας. Η συσκευή αποτελείται από ένα 3D εκτυπωμένο κέλυφος, μέσα στο οποίο έχουν τοποθετηθεί μια λυχνία αίγλης από δοκιμαστικό κατσαβίδι μαζί με τις κατάλληλες αντιστάσεις άνθρακα και κατάλληλα σχεδιασμένες επαφές καθώς και ένα μπουτόν που συνδέει την μια πλευρά της λυχνίας στην γείωση της μηχανής. Η άλλη πλευρά της λυχνίας είναι συνδεδεμένη με την έξοδο του ρελέ διαρροής από την πλευρά στην οποία πρέπει να βρίσκεται η φάση. Με τον τρόπο αυτό ο χειριστής πιέζοντας το μπουτόν ελέγχει εύκολα την σωστή πολικότητα της μηχανής.

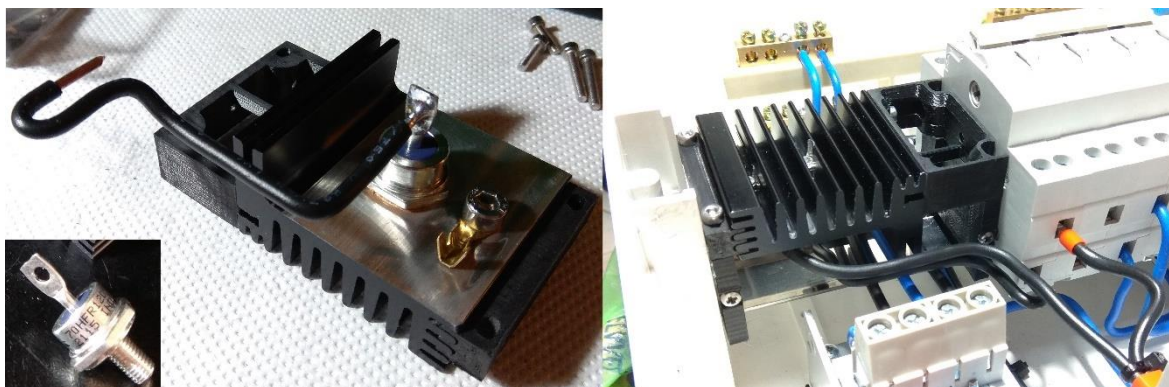


Σχήμα 3.33: Η λυχνία αίγλης για την δοκιμή φάσης, με την ιδιοκατασκευή που την περικλείει.

Η συσκευή είναι χρήσιμη για έναν ακόμα σημαντικό λόγο, ότι δηλαδή κάνει χρήση της τοπικής γείωσης για τον έλεγχο και όχι το σώμα του χειριστή (όπως κάνει ένα δοκιμαστικό κατσαβίδι). Εάν ο χειριστής συνδέσει την πρίζα και με τις δύο πιθανές κατευθύνσεις, και ενώ η μηχανή έχει ρεύμα η λυχνία δοκιμής δεν ανάβει, αυτό μαρτυρά πρόβλημα στη γείωση της εγκατάστασης! Για όλους τους παραπάνω λόγους, η συσκευή θεωρήθηκε αξιόλογη προσθήκη και γι' αυτό υλοποιήθηκε.

Όσον αφορά τη δίοδο ισχύος χρησιμοποιήθηκε μια Vishay 70HFR120. Η συγκεκριμένη επιλέχθηκε καθώς έχει ιδιαίτερα χαμηλή πτώση τάσης στο μέσο ρεύμα που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ της λειτουργίας στα 16A max, δηλαδή περίπου 0.70-0.75V στα 10A, έναντι περίπου 1 με 1.5V για αντίστοιχες διόδους με χαμηλότερο κόστος. Αυτό προφανώς δεν ενδιαφέρει σε σχέση με την ισχύ, καθώς αφορά σε λιγότερο από 1% της συνολικής ισχύος. Για παράδειγμα, ακόμα και στην ακραία εκδοχή του 1.5V στα 10A αναφερόμαστε σε 15W σε σύνολο 2100W, το οποίο δε είναι σημαντική απώλεια. Όμως, το εξαιρετικά κρίσιμο είναι ότι, αυτά τα 15W παράγονται στην δίοδο και αν δεν απαχθούν, τότε αυτή θα αστοχήσει πολύ σύντομα από υπερθέρμανση, ενδεχομένως προκαλώντας κίνδυνο σε άλλα εξαρτήματα και όχι μόνο. Προκύπτει επομένως ότι αυτή η διαφορά στην πτώση τάσης είναι εξαιρετικά σημαντική, αφού στα 0.75V έχουμε μόλις 7,5W να απάγουμε, ισχύ διόλου ευκαταφρόνητη για τόσο μικρό εξάρτημα, αλλά σημαντικά πιο διαχειρίσιμη. Οι διόδους τύπου «καρφί» (stud), όπως η συγκεκριμένη, είναι σχεδιασμένες να βιδώνουν επάνω στο σύστημα ψύξης τους μέσω ενός ενσωματωμένου σπειρώματος. Επιλέχθηκε λοιπόν μια ψήκτρα τύπου SK610-50SA με θερμική αντίσταση 5.8K/W (η μονάδα δεν περιέχει επιφάνεια γιατί

λαμβάνεται υπόψη η επιφάνεια της ψήκτρας από τον κατασκευαστή). Για την σύνδεση της διόδου απαιτούνταν να ανοιχτεί κατάλληλο σπείρωμα, εν προκειμένω με πάσο 1/4-28 UNF, το οποίο έγινε με κατάλληλο σπειροτόμο. Προτιμότερο θα ήταν μετρικό σπείρωμα αλλά η αντίστοιχη δίοδος δεν ήταν διαθέσιμη. Η επιφάνεια της ψήκτρας είναι ανοδιωμένη, γεγονός το οποίο δημιουργεί πρόβλημα αφού επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί ως πόλος σύνδεσης και άρα ως καλή ηλεκτρική επαφή μεταξύ αυτής και τους σώματος της διόδου, όμως το οξείδιο του αλουμινίου (Al_2O_3) είναι ηλεκτρικά μη αγώγιμο. Έτσι η σχετική επιφάνεια της ψήκτρας τρίφτηκε με γυαλόχαρτο μέχρι να φύγει τελείως το στρώμα οξειδίου και να γίνει η επιφάνεια στιλπνή. Κατόπιν η δίοδος και το σπείρωμα επαλείφθηκαν ελαφρά με κατάλληλο θερμοαγώγιμο υλικό και η δίοδος τοποθετήθηκε με κατάλληλη ροπή. Μετρήθηκε η ηλεκτρική αντίσταση της σύνδεσης και ήταν αρκετά χαμηλή ώστε να είναι κάτω από την ελάχιστη ένδειξη του διαθέσιμου πολύμετρου, άρα ελάχιστα mΩ. Τέλος ανοίχθηκε σπείρωμα M4 παράπλευρα της διόδου για την πρόσδεση του πόλου βάσης και ο άλλος πόλος κολλήθηκε στο «μάτι» της διόδου με καλάι. Επιπλέον σχεδιάστηκε και εκτυπώθηκε κατάλληλη βάση για την εγκατάσταση της διόδου στην ράγα του πίνακα.



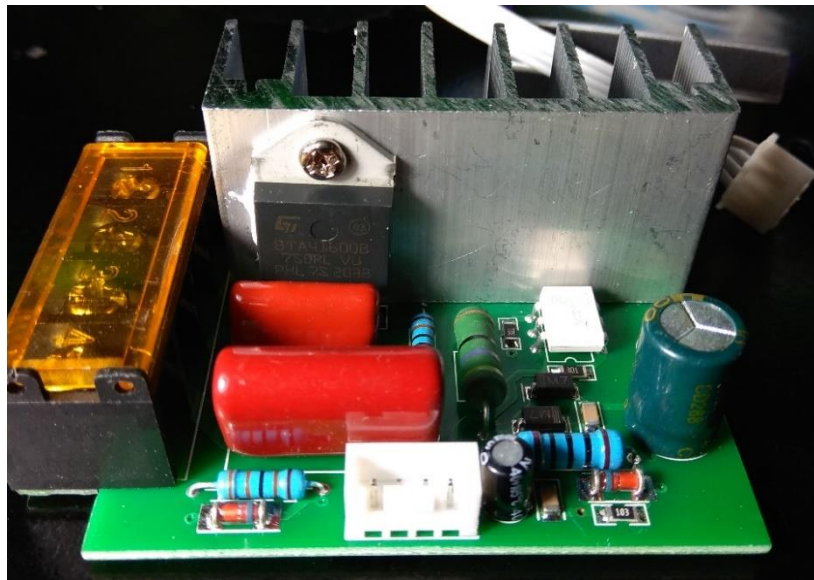
Σχήμα 3.34: Η δίοδος ισχύος, με τα παρελκόμενά της. Δεξιά εγκατεστημένη στην τελική της θέση μέσα στον πίνακα με την 3D εκτυπωμένη βάση.

Το επόμενο εξάρτημα, το οποίο περιγράφεται, είναι ο ελεγκτής ισχύος του φούρνου. Μια εύκολη μέθοδος που συχνά χρησιμοποιείται για αυτό τον σκοπό είναι ο διαχωρισμός των αντιστάσεων σε ομάδες, συνήθως δύο, που μπορούν να ενεργοποιηθούν ανεξάρτητα ή μία από την άλλη, οπότε υπάρχει η επιλογή πλήρους ισχύος ή $\frac{1}{2}$ της ισχύος της εγκατάστασης. Αυτή η μέθοδος, αν και συνήθως επαρκής, δεν είναι εφαρμόσιμη εδώ, αφού έχουμε επιλέξει τις λάμπες χαλαζία σαν θερμαντικό σώμα. Διότι, αν παραδείγματος χάριν επιλέγαμε να είναι δύο τα σύνολα, ένα με τρεις και ένα με τέσσερις λάμπες, που θα έδινε τη δυνατότητα τριών επιπέδων ισχύος, 1800W, 2400W και 4200W, ειδικά στην πρώτη περίπτωση θα είχαμε μια πολύ αραιή διάταξη των ενεργών θερμαντικών σωμάτων με αποτέλεσμα η θέρμανση να είναι ανομοιόμορφη. Για αυτό τον λόγο αλλά και για μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή της ισχύος χρησιμοποιήθηκε τελικά ένας ψηφιακός ελεγκτής τάσης βασισμένος σε TRIAC, με ψηφιακό έλεγχο.

Σε αυτό το σημείο παρουσιάστηκε αρκετή δυσκολία, καθώς στην ελληνική αγορά αυτός ο τύπος ελεγκτή, εκείνος δηλαδή με τον ψηφιακό ροοστάτη, είναι σχετικά δυσεύρετος, με πιο δημοφιλή τον αναλογικό τύπο με απλό μηχανικό περιστρεφόμενο ροοστάτη. Αναζητώντας τον στην διεθνή αγορά αρχικά βρέθηκε μόνο ένα μοντέλο ψηφιακού ελεγκτή, με ονομαστική όμως τάση 4kW. Με επιφύλαξη, καθώς αυτή η προδιαγραφή δεν μας δίνει μεγάλο

συντελεστή ασφάλειας, προμηθευτήκαμε τον ελεγκτή, με σκοπό να τον εξετάσουμε από κοντά και να κρίνουμε αν μας δίνει ή όχι τα απαραίτητα περιθώρια για ασφαλή λειτουργία. Προέκυψε ασάφεια καθώς οι περιγραφές του ελεγκτή αφενός δεν προσδιόριζαν αν η ισχύς είναι μέγιστη (peak) ή συνεχής και αφετέρου δεν διευκρίνιζαν αν πρόκειται για φορτίο γραμμικό (resistive) ή επαγωγικό (inductive), καθώς το δεύτερο παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στην στιγμιαία ισχύ (για παράδειγμα, μεγάλα φορτία στην έναρξη και διακοπή της λειτουργίας). Είναι σύνηθες, ελεγκτές που προσδιορίζονται για τέτοια φορτία να αναγράφουν ονομαστική ισχύ πολύ μικρότερη από αυτή που μπορούν να δώσουν σε γραμμικά φορτία.

Μετά την παραλαβή του ελεγκτή διευκρινίστηκε ότι χρησιμοποιεί ένα τύπου BTA41-600B TRIAC της STPower. Σύμφωνα με το φύλλο χαρακτηριστικών του εξαρτήματος, αυτό είναι ικανό για ένα $I_{T(RMS)} = 40A$ σε θερμοκρασία πακέτου $T_c = 80\text{ }^{\circ}C$. Το ίδιο φύλλο αναφέρει ότι το εξάρτημα είναι ικανό να διαχειριστεί φορτίο έως 9kW «με την κατάλληλη ψύξη» (Σελίδα 1 φύλλου χαρακτηριστικών: «When used with the properly dimensioned heatsink, the BTA40, BTA41 and BTB41 can enable AC switching systems up to 9 kW» ^[2]). Το εξάρτημα επίσης έχει μέγιστη θερμοκρασία σύζευξης $T_J=125\text{ }^{\circ}C$



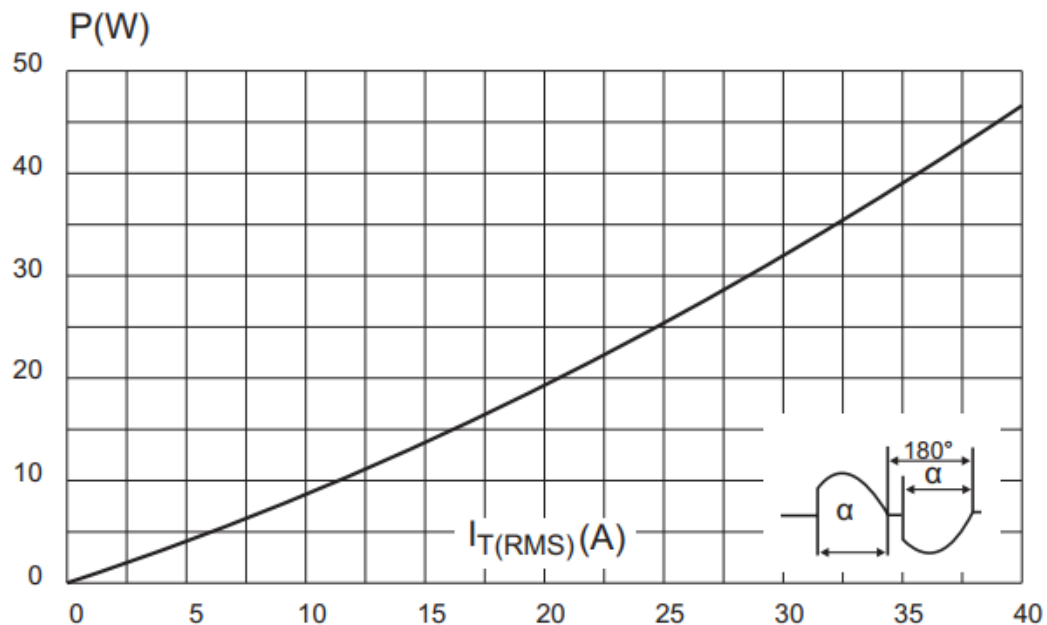
Σχήμα 3.35: Ελεγκτής ισχύος «4kW» (χωρίς το κέλυφος)

Κατά τα λοιπά, ο ελεγκτής αποτελείται από ένα απλό κύκλωμα χρονισμού βασισμένο σε έναν MOC3023 οδηγό TRIAC με οπτική αποσύζευξη και απλά παθητικά εξαρτήματα που δεν φέρουν φορτίο και άρα δεν μας απασχολούν όσον αφορά την ικανότητα διαχείρισής του.

Έτσι επικεντρωνόμαστε αποκλειστικά στο BTA41-600B για να αποφανθούμε συνολικά για την καταλληλότητα του ελεγκτή. Δεδομένου ότι, όπως προαναφέρθηκε, το εξάρτημα είναι γενικά ικανό για το φορτίο που θέλουμε να διαχειριστεί, αλλά ο περιοριστικός παράγοντας είναι η ψύξη, πρέπει να προσδιοριστεί αν αυτή είναι επαρκής. Για ένα TRIAC, η θερμότητα που εκπέμπεται συναρτίζεται του φορτίου δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{2\sqrt{2}}{p} V_{t0} * I_{T(RMS)} + R_d * I_{T(RMS)}^2$$
 ^[3]. Όλες οι σταθερές είναι γνωστές από το φύλλο χαρακτηριστικών, αλλά το ίδιο φύλλο έχει έτοιμο ένα γράφημα αυτού του τύπου όπου φαίνεται η εκπεμπόμενη θερμότητα συναρτίζεται του $I_{T(RMS)}$ (σχήμα 3.36)

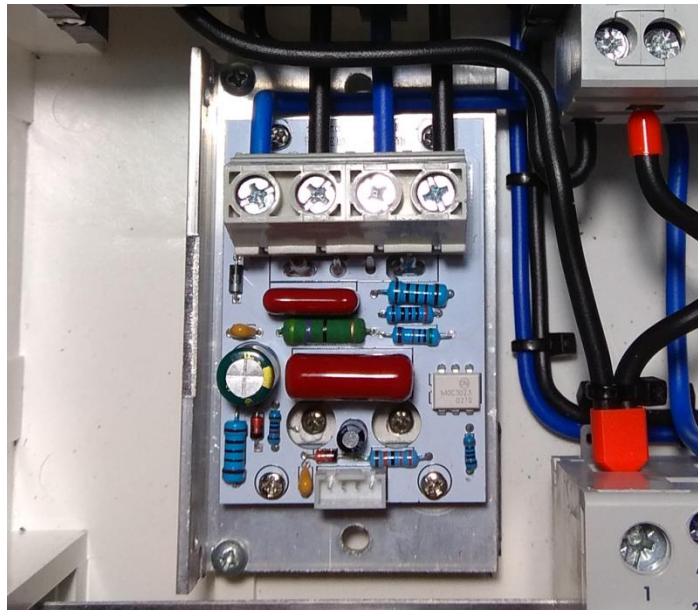
Figure 1. Maximum power dissipation versus on-state RMS current (full cycle)



Σχήμα 3.36: Μέγιστη εκπεμπόμενη θερμική ισχύς του TRIAC συναρτήσει του ρεύματος λειτουργίας (από το φύλο χαρακτηριστικών του BTA41-600B, STPower^[2])

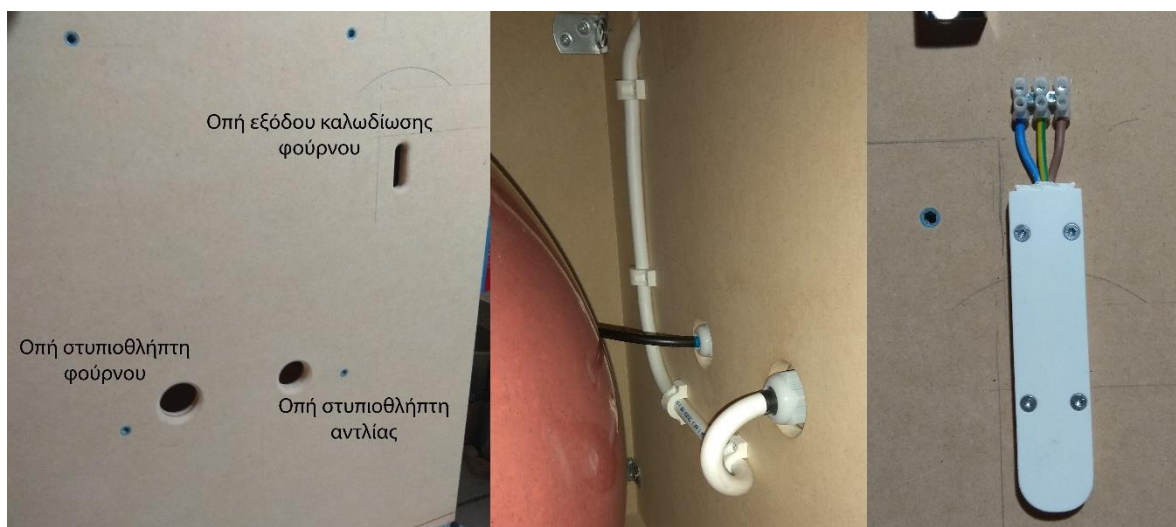
Από το γράφημα αυτό βλέπουμε ότι για την ισχύ των 4.2kW που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, η οποία αντιστοιχεί σε 18,2A, η εκπεμπόμενη θερμική ισχύς είναι περίπου 18W. Θα κάνουμε όμως υπολογισμούς με ισχύ 20W, για να έχουμε περιθώριο ασφαλείας.

Μοντελοποιούμε τα πτερύγια ψύξης σε CAD και δημιουργούμε μια θερμική ανάλυση FEM για να λάβουμε μια εικόνα της συμπεριφοράς τους, σε κάποιες πιθανές συνθήκες χρήσης. Για το μοντέλο, οι παραδοχές που κάνουμε είναι οι εξής: Το εξάρτημα αποδίδει όλη του τη θερμική ισχύ στην επιφάνεια επαφής με τα πτερύγια με ομοιόμορφη κατανομή, η θερμική ισχύς είναι 20W, ο συντελεστής συναγωγής των πτερυγίων είναι 15 W/m²K και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 30°C. Η επιλογή του συντελεστή συναγωγής είναι εν μέρει αυθαίρετη και αντιστοιχεί σε εμπειρική εκτίμηση για ελεύθερη συναγωγή σε πτερύγια με αρκετά ανοιχτή διάταξη (μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των πτερυγίων). Για μια πρώτη επιβεβαίωση ανατρέξαμε και στον πίνακα 12.2 του βιβλίου των Philip Kosky, Robert Balmer, William Keat και George Wise, με τίτλο Exploring engineering, όπου δίδεται μια εκτίμηση του συντελεστή συναγωγής για διάφορα σενάρια, εν προκειμένω δε, για ελεύθερη συναγωγή με αέρα δίδεται ένα εύρος 2.5-25 W/m²K. Δεδομένου ότι το σασί του ελεγκτή είναι ελεύθερο και τα πτερύγια αραιά, μια τιμή στη μέση αυτού του εύρους είναι ασφαλής εκτίμηση. Το μοντέλο μας δείχνει ξεκάθαρα ότι τα πτερύγια δεν θα μπορέσουν μακροπρόθεσμα να διαχειριστούν αυτό το θερμικό φορτίο, αφού η εκτίμησή του δείχνει, στην επιφάνεια επαφής μέγιστη θερμοκρασία της τάξης των 170°C. Δεν χρειάζεται καν να υπολογίσουμε την θερμοκρασία της σύζευξης για να ξέρουμε ότι ο ελεγκτής μας θα έχει καταστραφεί.



Σχήμα 3.38: Ο νέος ελεγκτής 10kW.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, οι δύο καλωδιώσεις για τον φούρνο και για την αντλία εξέρχονται από το πίσω μέρος του πίνακα. Για τον λόγο αυτόν, πριν την τοποθέτηση του πίνακα διανοίχθηκαν κατάλληλες οπές στο τοίχωμα του κάτω πλαισίου έτσι ώστε οι στυπιοθλήπτες και οι καλωδιώσεις να περάσουν και να βρεθούν μέσα στο κάτω πλαίσιο. Η καλωδίωση της αντλίας παραμένει φυσικά μέσα στο πλαίσιο, όπου τοποθετείται και η αντλία, ενώ αυτή του φούρνου οδηγείται σε σημείο κατάλληλο ώστε να γίνεται εύκολα κατά τη συναρμολόγηση η σύνδεση με το κομμάτι της καλωδίωσης που έρχεται από τον φούρνο. Έτσι έχει ανοιχθεί και μια επιμήκης οπή παράπλευρα του πίνακα. Η οπή έχει αυτό το σχήμα γιατί επιτρέπει στην καλωδίωση που είναι σχετικά δύσκαμπτη να εξέρχεται εφαιπτομενικά της επιφάνειας του τοιχώματος χωρίς να κάνει έντονο τόξο, καθώς αυτό θα μας εμπόδιζε. Στο σημείο εξόδου της έχει καλυφθεί το τμήμα του καλωδίου με ένα καπάκι σχεδιασμένο και 3D εκτυπωμένο το οποίο την προστατεύει αλλά και την κρατάει στη θέση της.



Σχήμα 3.39: Λεπτομέρειες από την εγκατάσταση του πίνακα. Οπές διέλευσης για τις καλωδιώσεις (αριστερά, κέντρο) και αναμονή για την σύνδεση με τον φούρνο (δεξιά)

Η καλωδίωση της αντλίας καταλήγει σε βύσμα IEC60320 - C13 που είναι κατάλληλο για απευθείας σύνδεση με την αντλία (φίς C14) ενώ αυτή του φούρνου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.39 καταλήγει σε ηλεκτρολογική κλέμμα, με μία όμως διαφορά. Σε κανονική χρήση οι κλέμμες έχουν δύο βίδες σύνδεσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κάθε κάλυκας της κλέμμες έχει κολληθεί με καλαί κατευθείαν στο άκρο του καλωδίου και έτσι και οι δύο βίδες κάθε κάλυκα ασφαλίζουν τον εισερχόμενο αγωγό από την πλευρά του φούρνου. Αυτό έγινε γιατί η σταθερή κόλληση έχει χαμηλότερη αντίσταση από την κοχλιωτή σύνδεση, και αφού η κλέμμα εν προκειμένω είναι απλά ένας ακροδέκτης δεν θα αποσυναρμολογηθεί ποτέ από αυτή την πλευρά. Επίσης, στις κοχλιωτές συνδέσεις η αντίσταση εξαρτάται και από την καλή, σφιχτή επαφή των αγωγίμων επιφανειών και την συνολική τους επιφάνεια. Με την μέθοδο που επιλέχθηκε το ακροχιτώνιο του αγωγού μπορεί να εισέλθει πλήρως στην κλέμμα και να στερεωθεί σε μεγαλύτερη επιφάνεια με περισσότερη δύναμη. Το αποτέλεσμα είναι καλύτερη επαφή με λιγότερη ωμική αντίσταση, παράγοντας σημαντικός αφού το ρεύμα είναι μεγάλο και σημειακές αντιστάσεις μπορούν να δημιουργήσουν θέρμανση. Ο αγωγός κατάντι του συνδέσμου αυτού εισέρχεται μέσα στην πίσω δεξιά κολώνα του μηχανήματος. Η σύνδεση στο σημείο αυτό είναι καλυμμένη με ένα καπάκι σχεδιασμένο και 3D εκτυπωμένο για αυτόν τον σκοπό. Η σύνδεση και το κάλυμμα αυτής φαίνονται στο σχήμα 3.40.

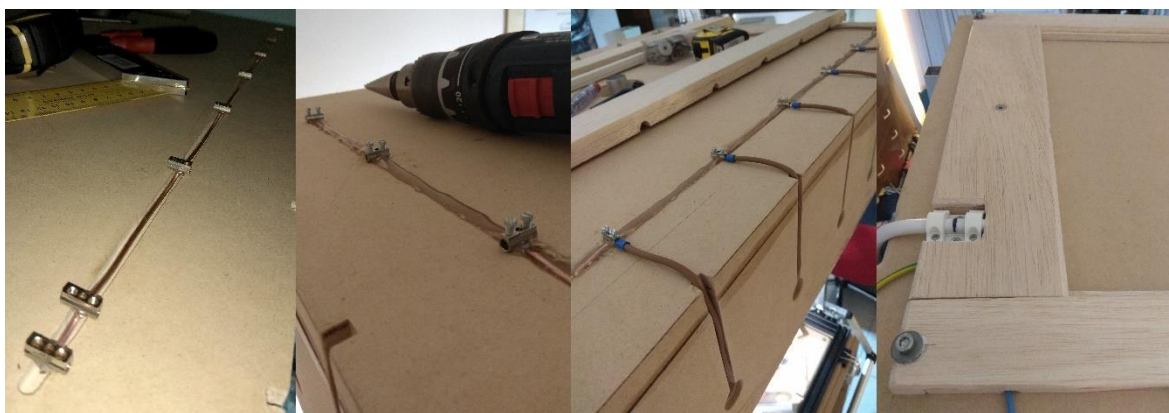


Σχήμα 3.40: Λεπτομέρειες από τη σύνδεση του φούρνου.

Το τριπολικό καλώδιο ανέρχεται εσωτερικά της κολώνας έως την οροφή του φούρνου, όπου το εξωτερικό του περίβλημα ασφαρίζεται σε μια 3D εκτυπωμένη βάση. Έπειτα απογυμνώνεται αρκετό μήκος καλωδίου για κάθε ένα από τα καλώδια της φάσης, του ουδέτερου και της γείωσης.

Για την φάση και τον ουδέτερο απαιτούνταν δύο συλλέκτες ώστε να διαμοιραστεί η ισχύς στους λαμπτήρες. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δυο μήκη συμπαγούς καλωδίου χαλκού 4mm^2 τα οποία γυμνώθηκαν από την μόνωσή τους, καθώς και κάλυκες από αποσυναρμολογημένες κλέμμες. Οι κάλυκες, αφού τρίφτηκαν με γυαλόχαρτο για να αφαιρεθεί η εξωτερική επικάλυψη που εμποδίζει την καλή ροή της κόλλησης, στερεώθηκαν σε κατάλληλες αποστάσεις επάνω στο μήκος κάθε καλωδίου με καλαί. Έτσι σχηματίστηκαν δύο ηλεκτρικές ράγες, μια για τη φάση και μια για τον ουδέτερο. Για να στερεωθούν αυτές ανοίχθηκαν στην οροφή του φούρνου δύο αυλάκια διάστασης 6mm πλάτος, 6mm βάθος και μήκος περίπου 68cm , μέσα στα οποία τοποθετήθηκαν οι ράγες, έτσι ώστε οι κάλυκες

να εξέχουν του αυλακιού. Το κάθε αυλάκι γεμίστηκε με HMA (hot-melt adhesive) έτσι ώστε η ράγες να καλυφθούν τελείως και να ενσωματωθούν στο αυλάκι. Αυτό εξυπηρετεί τρεις σκοπούς, την ηλεκτρική μόνωση της ράγας, την στερέωσή της μέσα στο αυλάκι και την ψύξη της αφού το υλικό της κόλλας είναι καλός αγωγός της θερμότητας και διευκολύνει την απαγωγή της. Σχηματίστηκαν επίσης 14 τεμάχια καλωδίων με κατάλληλο μήκος, τα οποία φέρουν ένα ακροχιτώνιο 4mm² στο ένα άκρο και πεπλατυσμένο σύνδεσμο (sprade connector) στο άλλο, τα οποία ανά δύο χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τα άκρα κάθε λαμπτήρα στις δύο ράγες. Τα καλώδια αυτά βρίσκονται μέσα σε αυλάκια που επίσης ανοίχθηκαν στα εμπρός και πίσω τοιχώματα του φούρνου, ώστε να είναι προφυλαγμένα και να μην προεξέχουν. Το επάνω μέρος της καλωδίωσης έπρεπε να καλυφθεί γιατί οι κάλυκες δημιουργούν κίνδυνο ηλεκτροπληξίας και για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκαν καπάκια από ξύλο μπάλας. Το υλικό επιλέχθηκε κυρίως για την ευκολία μορφοποίησης και επειδή ήταν ήδη διαθέσιμο. Θα μπορούσε ακόμα καλύτερα να κατασκευαστεί από κάποιο πλαστικό υλικό, ίσως με τη μέθοδο της κενοδιαμόρφωσης... Σε οποιαδήποτε περίπτωση τα καλύμματα είναι επαρκή για την παρούσα φάση. Τα καπάκια είναι τρία, ένα για κάθε ράγα και ένα που καλύπτει τα μήκη των καλωδίων από το σημείο που εξέρχονται από το κέλυφος της καλωδίωσης μέχρι το σημείο που εισέρχονται σε κάθε καπάκι κάθε ράγας. Το τρίτο καπάκι δεν είναι αυστηρά απαραίτητο αλλά βελτιώνει την ασφάλεια και την αισθητική της εγκατάστασης. Τέλος, κάθε σημείο σύνδεσης του κάθε λαμπτήρα «ταπώνεται» με ένα πώμα ειδικά σχεδιασμένο για τον σκοπό και 3D εκτυπωμένο, από ASA πλαστικό. Το πώμα είναι σχεδιασμένο να έχει μορφή ελάσματος ώστε να αφαιρείται εύκολα για την αλλαγή του λαμπτήρα, αλλά να μένει σταθερά στη θέση του κατά τα άλλα.



Σχήμα 3.41: Λεπτομέρειες από την καλωδίωση του φούρνου και την σύνδεση των λαμπτήρων.

Συνεπώς, μετά και τη σύνδεση της αντλίας στην αναμονή που ήδη αναφέρθηκε (και στο σχήμα 3.39), ολοκληρώνεται η ηλεκτρολογική εγκατάσταση, δηλαδή η διανομή, των 230V. Για την συνδεσμολογία των χαμηλών τάσεων, αλλά και τη σύνδεση του απομακρυσμένου ποτενσιόμετρου του ελεγκτή ισχύος, έχουν χρησιμοποιηθεί από την πλευρά του πίνακα δύο βύσματα 6 και 8 επαφών αντίστοιχα, τα οποία απαντώνται στο εμπόριο σαν «βύσματα μικροφώνου» (microphone jack/plug,) αλλά δεν πρόκειται ούτε για RCA ούτε για το γνωστό «καρφί». Παρόλα αυτά, δεν είναι σαφές στον γράφοντα σε πιο πρότυπο υπακούουν, ούτε έχει σταθεί δυνατό να απαντηθεί αυτό με έρευνα. Από εμπειρία όμως αναφέρω ότι αυτός ο τύπος βύσματος, ο οποίος διατίθεται με αριθμό επαφών από 2 έως και τουλάχιστον 8, χρησιμοποιείται κατά κόρον σε συνδεσμολογίες ήχου, ισχύος εξοπλισμού ήχου (χαμηλής

τάσης), ειδικών εφαρμογών όπως καλωδιώσεις για κολλητήρια σταθμών κόλλησης με έλεγχο θερμοκρασίας κλειστού βρόγχου, σε κάποια παλιότερα τροφοδοτικά υπολογιστών (PSU) για την διανομή χαμηλής τάσης 12V, 5V και 3V και πάρα πολλές άλλες εφαρμογές. Όπου τα έχουμε συναντήσει προς πώληση απλώς αναφέρονται με κάποιος ειδικό κωδικό ανάλογα με το κατάστημα και πάντα με την περιγραφή «mic jack» και τον αριθμό των επαφών.

Για την παρούσα εφαρμογή χρειάστηκαν δύο τύποι του βύσματος, με 4 και με 7 επαφές. Όμως αυτά τα νούμερα δεν ήταν διαθέσιμα και έτσι αγοράστηκαν με 6 και με 8 επαφές αντίστοιχα. Η αγορά θεωρήθηκε ασφαλής επιλογή, αφού επέτρεψε και περιθώριο αύξησης των αγωγών αν κρινόταν αργότερα απαραίτητο, και ούτως ή άλλως η τιμή ήταν κατ' ουσίαν η ίδια για όλα τα αντίστοιχα νούμερα. Στο βύσμα των 6 επαφών συνδέονται οι 4ις επαφές της σύνδεσης του ελεγκτή ισχύος, στις επαφές 1 έως 4 και στο βύσμα των 8 επαφών συνδέονται όλα τα καλώδια που σχετίζονται με τον πίνακα ελέγχου, σύμφωνα με την συνδεσμολογία που φαίνεται στο σχήμα 3.31 και για διευκόλυνση εξηγείται και στο σχήμα 3.42:

A/A Επαφής	Σύνδεση	Κύκλωμα
1	Επαφή ηλεκ/μου φούρνου	24V
2	Επαφή ηλεκ/μου αντλίας	24V
3	Επαφή ηλεκ/μου AUX	24V
4	Πηνίο μετ/στη θέση 7	24V
5	Πηνίο μετ/στη θέση 12	24V
6	0V	12V
7	12V	12V
8	n/c	n/a

Σχήμα 3.42: Pin-out βύσματος 8 επαφών.

Η συνδεσμολογία και λογική των κυκλωμάτων σχετίζεται περισσότερο με την κατασκευή του πίνακα ελέγχου της μηχανής και για τον λόγο αυτόν η περαιτέρω ανάλυσή της θα γίνει στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Τα δύο βύσματα είναι εγκαταστημένα στο αριστερό τοίχωμα του πίνακα, επάνω από την εξωτερική πρίζα (AUX) και για την σύνδεσή τους με τον πίνακα ελέγχου έχουν κατασκευαστεί οι αντίστοιχες καλωδιώσεις. Ο λόγος που υπάρχουν δύο συνδέσεις με τον πίνακα ελέγχου είναι πως κρίθηκε σημαντικό, να μην συνυπάρξουν μέσα στο ίδιο καλώδιο η ενδεχομένως ευαίσθητη σε θόρυβο σύνδεση του ψηφιακού ποτενσιόμετρου του ελεγκτή ισχύος και η εξαιρετικά θορυβώδης σύνδεση των 24V εναλλασσόμενου ρεύματος. Η τελευταία μάλιστα θα φέρει και πληθώρα από απότομες αυξομειώσεις ρεύματος κατά την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων και του ρελέ έλξης της ηλεκτροβάνας, καθώς η επίδραση της στην πρώτη μπορεί να επηρεάζε αρνητικά την αξιοπιστία της ρύθμισης του ελεγκτή ισχύος. Τέλος, στο πλάι του τροφοδοτικού 12V έχει προσαρμοστεί, με τη βοήθεια 3D εκτυπωμένης βάσης, ένα βύσμα JST με παροχή 12V DC για τον ανεμιστήρα ψύξης του πίνακα ελέγχου, αφού αυτός είναι τοποθετημένος στο εμπρός μέρος του πίνακα, και άρα για να λυθεί η πρόσοψη του τελευταίου πρέπει ο ανεμιστήρας να μπορεί να αποσυνδεθεί εύκολα. Στο καπάκι του πίνακα έχει ανοιχθεί οπή κατάλληλης

διαμέτρου για να μπορεί αέρας ψύξης να εισέλθει στον πίνακα. Ο ανεμιστήρας ψύξης είναι ένας SUNNOR PMD1207PTB1AF, 70x70x25mm ισχύος 4.4W με ικανότητα μέγιστης στατικής πίεσης 9,14mm H₂O, χαρακτηριστικό πολύ κρίσιμο για την εφαρμογή, αφού η διαδρομή του αέρα μέσα στον πίνακα είναι μακριά και πολύπλοκη και έχει μεγάλες αντιστάσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που η επιλογή του ήταν αρκετά σημαντική για να επηρεάσει την απόφασή μας να συμπεριλάβουμε τα 12V στο σχεδιασμό μας.

3.6 ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η κατασκευή και συνδεσμολογία του πίνακα ελέγχου της μηχανής. Περιγράφεται τόσο η κατασκευή του δομικού μέρους του πίνακα, δηλαδή η κατασκευή της ξύλινης πρόσοψης και οι διαμορφώσεις για την υποδοχή των διαφόρων εξαρτημάτων, όσο και τα χειριστήρια, η τοποθέτησή τους και η συνδεσμολογία τους.

Ξεκινώντας με την γενική μορφή και πρόσθια όψη του πίνακα, αναφέρεται ότι ο πίνακας αποτελείται από ένα κομμάτι MDF πάχους 16mm και διαστάσεων πρόσοψης 76,8cm x 14cm, το οποίο στερεώνεται στη θέση του με την ίδια μέθοδο όπως γίνεται και η συναρμολόγηση του υπόλοιπου κάτω πλαισίου, δηλαδή με «γωνιές», βίδες και παξιμάδια ξύλου. Μια μικρή ιδιαιτερότητα, που ίσως αξίζει αναφοράς, είναι ότι, με στόχο την ακριβή ευθυγράμμιση της όψης του πίνακα με την όψη της βάσης (κάτω πλαίσιο) κατασκευάστηκαν στον 3D εκτυπωτή μικροί ρυθμιστές, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα τοιχώματα του κάτω πλαισίου, πίσω από την πρόσοψη και φέρει έκαστος ρυθμιστικό κοχλία σε ρόλο «τερματικού» ή «στοπ». Οι κοχλίες ρυθμίζονται εκ των προτέρων στο κατάλληλο διάκενο και έτσι η σύσφιξη των άνω κοχλίων της πρόσοψης δεν χαλάει πλέον την ευθυγράμμιση. Στην πράξη φάνηκε ότι αυτή η μικρή προσθήκη έκανε μεγάλη διαφορά στην ευκολία της συναρμολόγησης και επίσης βοηθά την πρόσοψη να μην μετακινηθεί με τον καιρό, λόγω των κραδασμών κατά την μετακίνηση της μηχανής πάνω σε όχι τέλειο δάπεδο.



Σχήμα 3.43: Πίνακας ελέγχου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.43, τα χειριστήρια του μηχανήματος αποτελούνται, από αριστερά προς τα δεξιά, από έναν μεγάλο κυκλικό διακόπτη-μπουτόν για τον χειρισμό της ηλεκτροβάνας, μια χειροκίνητη σφαιρική βαλβίδα για τον έλεγχο της αναρρόφησης προς την δεξαμενή κενού, ένα κενόμετρο για την επιτήρηση της πίεσης στη δεξαμενή, το ψηφιακό ποτενσιόμετρο ελέγχου ισχύος του φούρνου και τρεις διακόπτες με τις αντίστοιχες

ενδεικτικές λυχνίες ενεργοποίησης, που ελέγχουν την ενεργοποίηση του φούρνου, της αντλίας κενού και της εξωτερικής παροχής ισχύος (πρίζα schuko). Για κάθε χειριστήριο χρειάστηκαν κάποιες ενδιαφέρουσες παρεμβάσεις για να γίνει δυνατή η τοποθέτησή τους με καλαίσθητο και πρακτικό τρόπο που αναλύονται ανά εξάρτημα:

Για το μπουτόν της ηλεκτροβάνας, το οποίο πρόκειται για έναν φωτιζόμενο διακόπτη 50mm κόκκινου χρώματος, που προορίζεται για χρήση σαν πλήκτρο μηχανής ηλεκτρονικών παιχνιδιών (Arcade machine), χρειάστηκε η διάνοιξη μίας οπής 25mm με ποτηροτρύπανο για να περάσει το σώμα του διακόπτη, αλλά και το άνοιγμα στην εμπρός όψη του πίνακα μιας κυκλικής πατούρας διαμέτρου περίπου 52mm για να μπει ο διακόπτης χωνευτός, καθώς φέρει ένα «σκαλοπάτι» με αυτή τη διάμετρο. Για τον σχηματισμό της πατούρας χρησιμοποιήθηκε ρούτερ, καθώς και ένας οδηγός (ιδιοκατασκευή) σχεδιασμένος για τον σκοπό αυτό και 3D εκτυπωμένος, ο οποίος αποτελείται από δύο τεμάχια. Το πρώτο τοποθετείται κεντρικά στην αρχική οπή των 25mm για «κεντράρισμα» και το δεύτερο τοποθετείται γύρω από το πρώτο και κολλιέται στην πρόσοψη με ταινία διπλής όψεως. Κατόπιν το πρώτο εξάρτημα αφαιρείται και πλέον έχουμε έναν οδηγό τέλεια κεντραρισμένο για να ακολουθήσουμε με το ρούτερ. Η διαδικασία φαίνεται σχηματικά στο [σχήμα 3.44](#). Ο φωτισμός του διακόπτη λειτουργεί και σαν ένδειξη ότι η μηχανή είναι αναμμένη, μαζί με τον ήχο του ανεμιστήρα.



Σχήμα 3.44: Αυτοσχέδιος οδηγός για τον σχηματισμό της φωλιάς του διακόπτη.

Για την σφαιρική βαλβίδα, καθώς ο διακόπτης της είναι αρκετά μικρός και θα ήταν αδύνατο να τοποθετηθεί εξωτερικά με έναν αισθητικά τακτοποιημένο τρόπο, αντικαταστάθηκε ο διακόπτης με έναν νέο, σχεδιασμένο για τη συγκεκριμένη χρήση και 3D εκτυπωμένο σε δύο τεμάχια: Ένα κυλινδρικό στέλεχος αρκετά μακρύ ώστε να μπορεί η βάνα να τοποθετηθεί πίσω από την πρόσοψη και ο διακόπτης να είναι προσβάσιμος στην εμπρός πλευρά και το σώμα του διακόπτη το οποίο συναρμολογείται πάνω στο στέλεχος, αφού ο διακόπτης τοποθετηθεί στη θέση του. Για την τοποθέτηση του διακόπτη τυπώθηκε επίσης μια ειδική βάση, η οποία συγκρατεί το σώμα της βάνας και βιδώνεται η ίδια στο πίσω μέρος του πίνακα. Η μορφή της εγκατάστασης φαίνεται στο [σχήμα 3.45](#). Γύρω από τον μοχλό του διακόπτη έχει σχεδιαστεί ένα γραφικό, με σχήμα που δείχνει την ανοιχτή και κλειστή θέση της βάνας καθώς και την διαδρομή της. Το γραφικό έγινε με σπρέι χρώματος και τη βοήθεια ενός 3D εκτυπωμένου stencil, το οποίο σχεδιάστηκε για τον σκοπό αυτόν και φέρει διαμόρφωση για την σωστή ευθυγράμμισή του.



Σχήμα 3.45: Τροποποίηση και εγκατάσταση της σφαιρικής βαλβίδας.

Για το κενόμετρο των 63mm διανοίχθηκε οπή κατάλληλης διαμέτρου με ποτηροτρύπανο, και κατόπιν σχεδιάστηκε και εκτυπώθηκε κατάλληλη βάση, η οποία συγκρατεί το σώμα του οργάνου και επιτρέπει ελευθερία στη θέση τοποθέτησης, έτσι ώστε να μπορεί να κεντραριστεί στην οπή. Είναι απλή κατασκευή και δεν θα αναλυθεί παραπάνω. Αυτό που αξίζει όμως αναφοράς είναι ότι, καθώς για λόγους κόστους είναι ένα απλό κενόμετρο χωρίς γλυκερίνη, υπήρξε ανησυχία ότι, επειδή η διάμετρός του είναι μεγάλη, μπορεί αυτό να υποφέρει από τυχόν απότομες αλλαγές πίεσης. Με σκοπό να προστατευτεί από τέτοιου είδους φαινόμενα, τοποθετήθηκε στην οπή του, η οποία είχε ήδη σπείρωμα M3, μια μικρή ακέφαλη βίδα, στην οποία είχε διανοιχθεί μικρό αυλάκι ώστε να μένει μια πολύ μικρή οπή ανοιχτή. Έτσι δημιουργείται στένωση η οποία δεν επιτρέπει απότομες αλλαγές στην πίεση στο εσωτερικό του οργάνου και προστατεύει τον μηχανισμό του.

Για το ποτενσιόμετρο του ελεγκτή ισχύος διανοίχθηκε κατάλληλη εσοχή, ορθογώνιου σχήματος, με ρούτερ και επίσης διανοίχθηκε μικρή οπή για να περάσει το καλώδιο του.



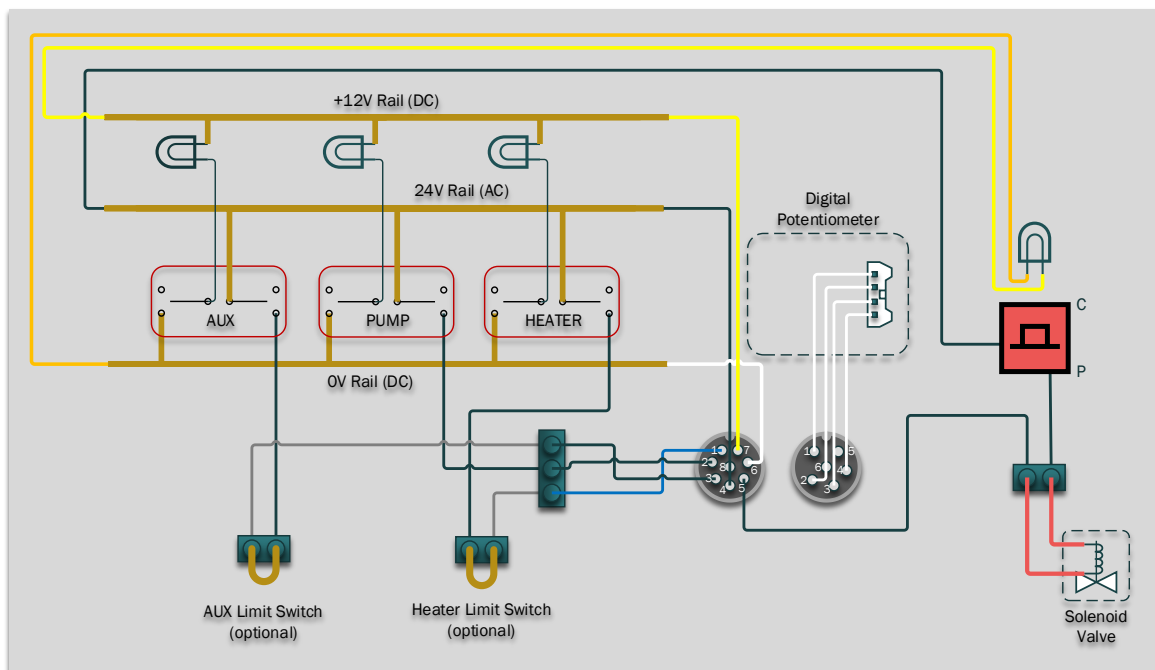
Σχήμα 3.46: Εγκατάσταση του ψηφιακού ποτενσιόμετρου.

Για την ομάδα των διακοπών, καθώς και των λυχνιών τους, επειδή το σώμα τους είναι πολύ κοντό για να διαπεράσει τα 16mm της πρόσοψης χρειάστηκε να ανοιχτεί μια «τσέπη» (rocket) στο πίσω μέρος της πρόσοψης ώστε να μειωθεί το πάχος σε εκείνο το σημείο στα 6mm. Η διάσταση της τσέπης επιλέχθηκε να χωράει σε κάθε περίπτωση και το κατάλληλο «καρυδάκι» για να μπορούν να σφικτούν τα περικόχλια συγκράτησης. Επίσης διανοίχθηκαν, προφανώς, κατάλληλες οπές για όλα τα εξαρτήματα.



Σχήμα 3.47: Πίσω όψη από την τοποθέτηση των διακοπών και των ενδεικτικών λυχνιών.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο κύκλωμα ελέγχου της μηχανής, πλην φυσικά του μέρους που συζητήθηκε ανωτέρω και αφορά την επιλογή ισχύος κτλ. Το κύκλωμα αυτό είναι ενσωματωμένο στο πίσω μέρος του πίνακα ελέγχου, η συνδεσμολογία του παρουσιάζεται στο σχήμα 3.48, και ακολουθούν η περιγραφή και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες που σχετίζονται με αυτό.



Σχήμα 3.48: Συνδεσμολογία πίνακα ελέγχου. Κύκλωμα ελέγχου μηχανής.

Στο πίσω μέρος του πίνακα ελέγχου βρίσκονται τα ίδια δύο βύσματα που συναντώνται και στον ηλεκτρολογικό πίνακα. Η συνδεσμολογία των βυσμάτων για κάθε καλώδιο είναι ένα προς ένα. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στο κάθε καλώδιο η ακίδα #1 του ενός βύσματος αντιστοιχεί στην ακίδα #1 του δεύτερου βύσματος κτλ, επομένως δεν προκύπτουν αναντιστοιχίες. Η λογική της συνδεσμολογίας γίνεται εύκολα αντιληπτή από τη μελέτη των σχημάτων, κρίνεται καλό όμως να επεξηγηθούν περεταίρω οι εξής λεπτομέρειες:

Οι διακόπτες ελέγχου των συσκευών, δηλαδή οι «AUX», «PUMP», και «HEATER» έχουν διάταξη DPDT (double pole, double throw), δηλαδή έχουν δύο ηλεκτρικά ανεξάρτητα σετ επαφών και κάθε σετ αποτελείται από δύο πιθανές συνδέσεις, 1-2 3 και 1 2-3. Όμως έχει σημασία - γιατί μπορεί να μην είναι απόλυτα προφανές στο σχήμα – ότι σε αυτού του τύπου τους διακόπτες τα δύο σετ επαφών είναι «μηχανικά» αλληλεξαρτημένα. Δηλαδή οι γλωτίδες τους κινούνται πάντα ταυτόχρονα.

Με αυτό το δεδομένο, επισημαίνουμε ότι σε κάθε διακόπτη, το ένα σετ επαφών μεταχειρίζεται το αντίστοιχο κύκλωμα λειτουργίας που του αναλογεί στα 24V AC και το άλλο σετ την αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία λειτουργίας στα 12V DC. Έτσι μπορούμε να έχουμε λυχνίες να λειτουργούν στα 12V και να αφαιρέσουμε ένα μικρό φορτίο από το κύκλωμα των 24V. Χαρακτηριστικό θετικό, αν και όχι ιδιαίτερα κρίσιμο.

Όμως, ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο έχει γίνει η επιλογή ο εξής:

Παρατηρείται ότι οι γραμμές των επαφών 1 και 3 «διακόπτονται» από δύο terminal blocks, ονομαζόμενα στο σχήμα ως «AUX», και «HEATER» «Limit Switch». Αυτά τα blocks φαίνονται στο σχήμα 3.48 και στο πρωτότυπο είναι προς το παρόν «βραχυκυκλωμένα», με ένα μικρό μήκος καλωδίου. Πρόκειται για αναμονές στις οποίες σε επόμενο στάδιο μπορούν να τοποθετηθούν τερματικοί διακόπτες που θα εμποδίζουν, ο ένας τη λειτουργία του φούρνου όταν το πλαίσιο συγκράτησης δεν είναι στην επάνω θέση και ο δεύτερος την εξωτερική παροχή ισχύος να λειτουργήσει όταν το πλαίσιο δεν είναι αντίστοιχα κάτω. Αυτοί οι τερματικοί διακόπτες θα συνδέονται σε σειρά με τους διακόπτες ελέγχου και θα τους αναιρούν, αλλάζοντας τον ρόλο τους από διακόπτες «λειτουργίας-διακοπής» σε διακόπτες «όπλισης». Αυτό έχει σαν στόχο να αφαιρέσει από τον χειριστή τον φόρτο εναλλαγής των δύο αυτών λειτουργιών κατά το κατέβασμα του πλαισίου, για ευκολότερη και ταχύτερη εργασία. Ως έχει, οι διακόπτες έχουν καθολική και απόλυτη εξουσία στη λειτουργία του αντίστοιχου κυκλώματος. Εδώ γίνεται προφανές γιατί αποφασίστηκε οι ενδεικτικές λυχνίες να βρίσκονται σε ξεχωριστό κύκλωμα. Αν αυτές ήταν στην ίδια γραμμή με τον διακόπτη λειτουργίας τότε, καθώς αυτός επίσης βρίσκεται σε σειρά με τους τερματικούς, η αντίστοιχη λυχνία δεν θα μπορούσε να ενημερώσει τον χειριστή ότι το κύκλωμα είναι «οπλισμένο». Επομένως η κατάστασή της δεν θα ήταν συγχρονισμένη με τη θέση του διακόπτη του πίνακα, αλλά γενικά με την τρέχουσα κατάσταση του αντίστοιχου κυκλώματος. Αντίθετα, με τον τρόπο που έχει υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διάταξη και όταν εγκατασταθούν οι τερματικοί διακόπτες, η λυχνία θα ενημερώνει τον χειριστή ότι το αντίστοιχο κύκλωμα είναι «οπλισμένο» και άρα θα λειτουργήσει όταν πρέπει.

Έχοντας ολοκληρώσει την κυκλωματική λογική των συνδέσεων, θα περιγραφούν, όπως προειπώθηκε, κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες σχετικές με τη συνδεσμολογία.

Έτσι, αναφορικά με τις τρεις ηλεκτρικές ράγες που εμφανίζονται στο σχήμα 3.48 (Rails) αυτές είναι κατασκευασμένες από τμήματα αγωγού χαλκού διάστασης 2.5mm².

Ένα κύριο μέρος αποτελεί το οριζόντιο τμήμα της ράγας και επάνω του έχουν κολληθεί με καλώς διάφορες διαμορφώσεις, που αποτελούνται επίσης από το ίδιο ακριβώς υλικό και

σχηματίζουν τόσο του κλάδους σύνδεσης με τους διακόπτες, όσο και τα «μάτια» που χρησιμοποιήθηκαν για να βιδωθεί κάθε ράγα στη θέση της. Τέλος στο ένα άκρο κάθε ράγας είναι κολλημένος, επίσης με καλαί, ένας κάλυκας κλέμματος, ο οποίος αποτελεί το σημείο σύνδεσης με τα καλώδια του βύσματος.

Εκτός από την προφανή ευκολία που προσφέρουν αυτές οι ράγες στην διαδικασία της καλωδίωσης, η μεγάλη τους μηχανική αντοχή και ακαμψία διασφαλίζει και την μηχανική αντοχή των σχετικά ευαίσθητων ακροδεκτών των διακοπών, αφού ακόμα και εκείνοι οι ακροδέκτες που είναι συνδεδεμένοι με τέτοια καλώδια, στερεώνονται σε αυτούς που είναι κολλημένοι στις ράγες με HMA.

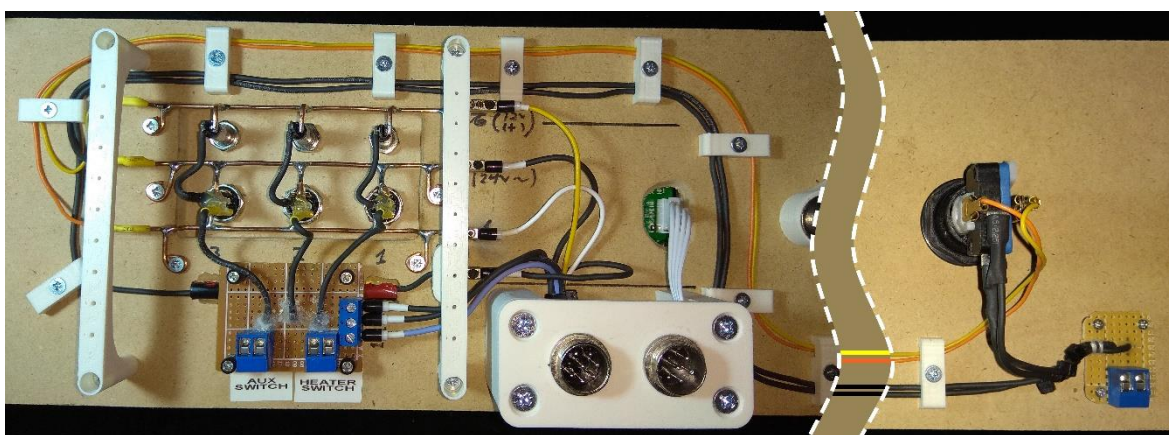
Το αποτέλεσμα είναι ένα συμπαγές και αξιόπιστο σύστημα επαφών καθώς, η συνολική εφαρμογή είναι σχεδιασμένη να λύνεται και να μεταφέρεται. Ήταν λοιπόν βασικός στόχος να παίρνονται μέτρα και για την αξιοπιστία των συνδέσεων.

Για την έδραση των terminal blocks, όπου αυτά χρειάστηκαν, έχουν κατασκευαστεί μικρές πλακέτες ώστε αυτά να τοποθετηθούν σταθερά.

Για την τοποθέτηση των δύο βυσμάτων, έξι και οκτώ επαφών, σχεδιάστηκε και εκτυπώθηκε μια απλή βάση. Σε 3D εκτυπωτή τυπώθηκαν επίσης δύο γέφυρες που χρησιμοποιήθηκαν ως βάσεις για την τοποθέτηση ενός καλύμματος από ξύλο μπάλας το οποίο καλύπτει όλη τη συνδεσμολογία, για προστασία από τυχόν επαφές κατά τη μετακίνηση του εξαρτήματος. Ακόμα ένα αριθμός από μικρά πλαστικά κλιπ τακτοποίησης καλωδίων τυπώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για να στερεώσουν τις καλωδιώσεις της ηλεκτροβάνας και της λυχνίας του διακόπτη της

Στο σχήμα 3.49 παρουσιάζονται τόσο η υλοποίηση του κυκλώματος όσο και οι παραπάνω κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

Σημειώνεται ότι έχει παραλειφθεί από το σχήμα το ενδιάμεσο τμήμα του πίνακα καθώς δεν φέρει ενδιαφέρουσες διατάξεις που να σχετίζονται με το υποκεφάλαιο αυτό.



Σχήμα 3.49: Πίσω όψη του πίνακα ελέγχου, όσον αφορά την ηλεκτρική εγκατάσταση. Στο σχήμα δεν εμφανίζονται τυχόν καλύμματα της κατασκευής.

4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η γενική περιγραφή του πρωτοτύπου, εξηγείται η λειτουργία του και προβάλλονται διάφορες δοκιμές που έγιναν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Για κάθε δοκιμή αναφέρονται επιγραμματικά τυχόν ιδιαιτερότητές της και αξιολογείται, σύμφωνα με τα αποτελέσματά της συνολικά, ως:

- **«επιτυχημένη»**, δηλαδή απόλυτα σύμφωνη με το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα,
- **«ικανοποιητική»**, δηλαδή έφερε αποτελέσματα με ατέλειες, που όμως μπορούν να διορθωθούν με «post-processing» ώστε να έχουμε ένα χρησιμοποιήσιμο τελικό προϊόν, αν και με επιπλέον χρόνο εργασίας, ή
- **«αποτυχημένη»**, δηλαδή το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι μη χρησιμοποιήσιμο για τον αρχικό σκοπό και επίσης όχι διασώσιμο.

Τα επιπλέον συμπεράσματα των αποτυχημένων δοκιμών αναλύονται στο κεφάλαιο 5.

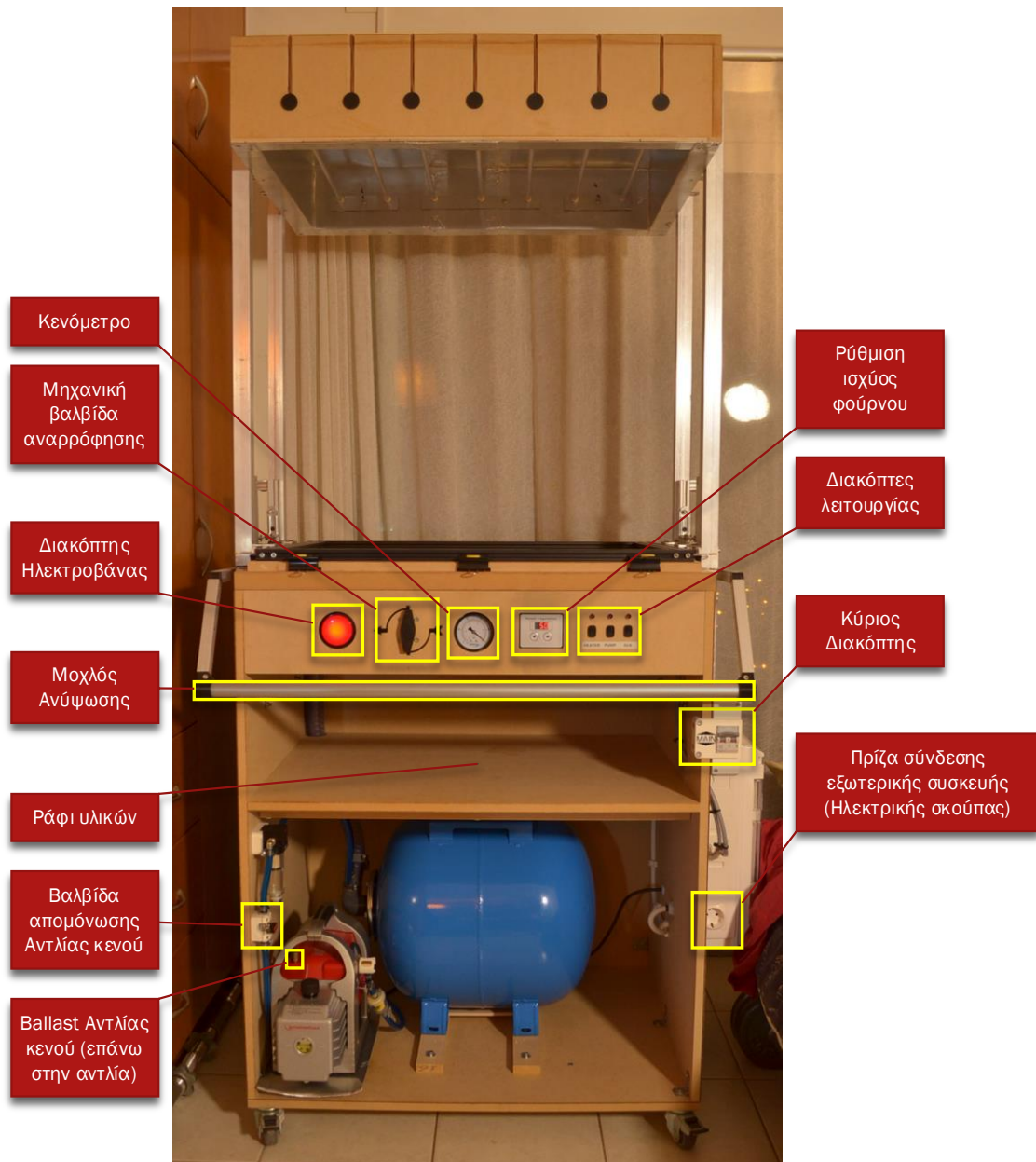
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι βασικές λειτουργίες της μηχανής και δίνονται γενικές οδηγίες χρήσης της. Σημειώνεται επίσης ότι κάποιες διαδικασίες, όπως για παράδειγμα η διαδικασία «δεσίματος» των τελάρων, ενδέχεται να αλλάξουν σε επόμενες τροποποιήσεις της συσκευής. Επομένως, το παρόν τμήμα του κειμένου δεν αποτελεί εγχειρίδιο χρήσης, αλλά περισσότερο επεξήγηση της διαδικασίας, ώστε να δοθεί η γενική εικόνα της.

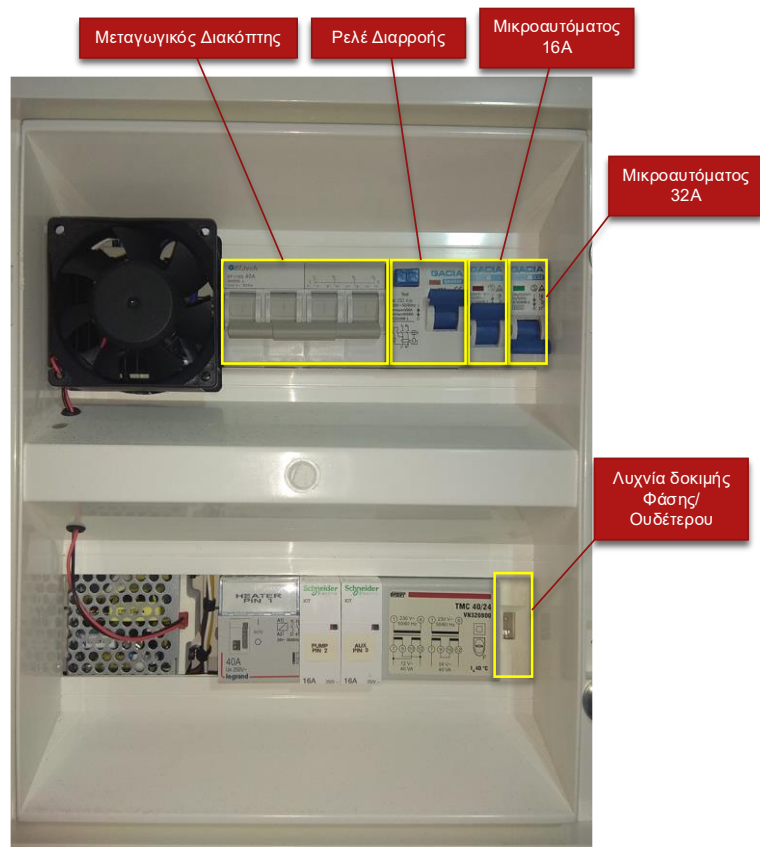
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Πρέπει να αναφερθεί ότι καταρχάς η μηχανή είναι σχεδιασμένη για λειτουργία στην επιλογή των 32A. Η λειτουργία των 16A έχει προστεθεί ως επιπλέον διευκόλυνση σε περιπτώσεις που καθίσταται αδύνατη η σύνδεση της μηχανής σε κατάλληλη παροχή 32A, έτσι ώστε να αυξάνεται κατά πολύ η ευελιξία χρήσης της. Αυτό βέβαια, σε καμία περίπτωση, δεν σημαίνει ότι η λειτουργία των 16A είναι σε οποιονδήποτε βαθμό λιγότερο προσεκτικά σχεδιασμένη ή ότι αποτελεί λύση τελευταίας στιγμής. Αντίθετα η υλοποίησή της αποτελεί μέρος του σχεδιασμού από την πρώτη στιγμή. Δεν αλλάζει όμως το γεγονός ότι η ισχύς των 2.1kW είναι σχετικά χαμηλή για την θέρμανση φύλων μεγάλου πάχους ή/και υλικών που μαλακώνουν σε υψηλές θερμοκρασίες όπως το PC (πολυκαρβονικό). Επίσης είναι λογικό ότι, όταν χρησιμοποιείται εξωτερική αντλία κενού (σκούπα) και η ισχύς της είναι για παράδειγμα 1600W, τότε αν ήδη χρησιμοποιείται ο φούρνος σε πλήρη ισχύ, πράγμα πολύ πιθανό σε αυτή τη λειτουργία, εξαντλείται αμέσως το όριο των περίπου 3.6kW διαθέσιμης ισχύος και άρα πρέπει να μην επιχειρείται η χρήση όλων των διαθέσιμων καταναλωτών παράλληλα γιατί θα έχουμε πτώση της ασφάλειας και ενδεχομένως να «χάσουμε» το τεμάχιό μας αν αυτό κρυώσει σε ενδιάμεση φάση της διαδικασίας! **Τονίζεται** ότι ουδένα ζήτημα ασφαλείας τίθεται αν εκ παραδρομής ξεπεραστεί το όριο ισχύος της μηχανής, καθώς οι μικροαυτόματοι, όπως έχουμε αναφέρει, θα μας προστατέψουν από οποιοδήποτε τέτοιο λάθος. Όμως θα έχουμε διακοπές στην εργασία μας και ενδεχόμενο κόστος σε αποτυχημένα τεμάχια. Αντίθετα, στην λειτουργία των 32A, το όριο των 7.3kW μας επιτρέπει ουσιαστικά να έχουμε όλες τις συσκευές σε λειτουργία ταυτόχρονα, ακόμα και με σκούπες 2.2kW, οπότε έχουμε πολύ μεγαλύτερο περιθώριο χειρισμών. **ΤΕΛΟΣ:** υπενθυμίζεται ότι παρόλα τα μέτρα που έχουν παρθεί για να είναι η μηχανή ασφαλής, δεν παύει να είναι μια χειροποίητη μηχανή με έναν φούρνο 4.2kW ! Είναι πάντα σημαντικό λοιπόν να έχουμε τις

αισθήσεις μας σε εγρήγορση για οποιοδήποτε σημάδι κακής λειτουργίας, όπως θα είχαμε με οποιαδήποτε μηχανή ή εργαλειομηχανή.

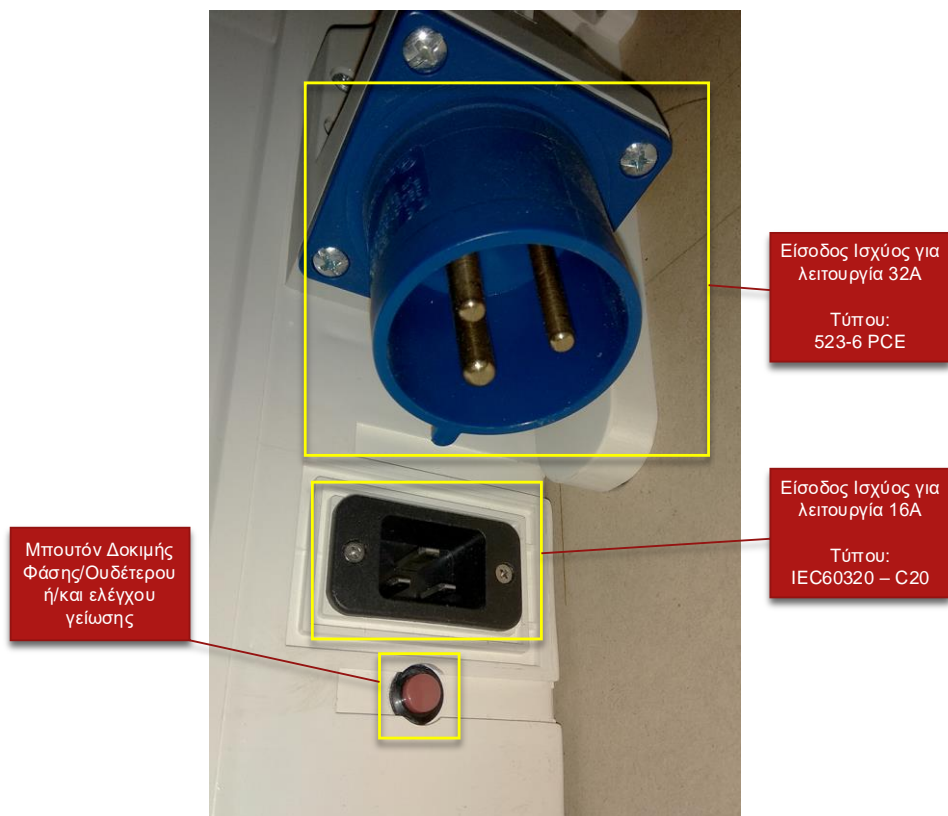
Ακολουθούν τρία σχήματα, σχήμα 4.1, σχήμα 4.2 και σχήμα 4.3, όπου υποδεικνύονται όλα τα σημεία χειρισμού της μηχανής.



Σχήμα 4.1: Γενική εικόνα και χειριστήρια στο εμπρός μέρος της μηχανής.



Σχήμα 4.2: Χειριστήρια ηλεκτρολογικού πίνακα.



Σχήμα 4.3: Είσοδοι ισχύος και μπουτόν δοκιμής.

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τα κύρια χειριστήρια της μηχανής. Αυτά θα μεταχειρίζεται ο χρήστης σε κάθε λειτουργία της μηχανής και ελέγχουν όλες τις λειτουργίες της μηχανής που σχετίζονται με την καθημερινή της χρήση.

Στο σχήμα 4.2 φαίνονται τα χειριστήρια του ηλεκτρολογικού πίνακα, τα οποία σχετίζονται με την επιλογή ισχύος λειτουργίας και εισόδου ισχύος της μηχανής. Αυτά ο χρήστης τα μεταχειρίζεται μόνο μία φορά κατά τη σύνδεση της μηχανής σε κάποια παροχή ισχύος και δεν χρειάζεται καμία περεταίρω μεταχείρισή τους, μέχρι να χρειαστεί η μηχανή να συνδεθεί σε διαφορετικού τύπου παροχή, δηλαδή από schuko σε PCE και αντίστροφα.

Στο σχήμα 4.3 φαίνονται οι δύο είσοδοι ισχύος και το πλήκτρο ελέγχου συνδεσμολογίας της μηχανής, που σε συνδυασμό με την λυχνία ελέγχου φάσης/γείωσης χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση σωστής συνδεσμολογίας της συσκευής.

4.1.1 Σύνδεση σε παροχή και επιλογή ισχύος

Καταρχάς, προσδιορίζεται ο τύπος σύνδεσης που έχουμε στη διάθεσή μας.

Για παροχή 32A, βιομηχανικό βύσμα μονοφασικού ρεύματος (μπλέ).

- Χρησιμοποιούμε κατάλληλο καλώδιο σύνδεσης και συνδέεται η μηχανή μέσω της άνω μπλε φίσας σύνδεσης. Η σύνδεση είναι πολωμένη και κανονικά φάση και ουδέτερος πρέπει να έχουν τις σωστές θέσεις.
- Ανεβάζουμε τον μικροαυτόματο 32A.
- Μετακινούμε τον μεταγωγικό διακόπτη στη θέση **II (ΠΑΝΩ)**
- Ανεβάζουμε το ρελέ διαρροής.
- Πιέζουμε το μπουτόν δοκιμής φάσης. Η λυχνία ελέγχου πρέπει να ανάψει. Εάν δεν ανάψει, έχουμε αναστροφή φάσης-ουδέτερου ή ελαττωματική γείωση. Ελέγχουμε της πρίζα παροχής. Εάν βρούμε αναστροφή φάσης ουδέτερου αλλά σωστή γείωση μπορούμε να προχωρήσουμε, αλλά με προσοχή, έχοντας επίγνωση ότι ο μικροαυτόματος σε περίπτωση υπερφόρτωσης θα διακόψει τον ουδέτερο! Εάν έχουμε κακή γείωση δεν χρησιμοποιούμε αυτήν την παροχή!
- Ανεβάζουμε τον γενικό της μηχανής και ελέγχουμε για ήχο ανεμιστήρα, ένδειξη στην οθόνη ελέγχου ισχύος και φως στον διακόπτη της ηλεκτροβάνας.
- Η μηχανή είναι έτοιμη για χρήση.

Για παροχή 16A, πρίζα schuko.

- Επιβεβαιώνουμε ότι η πρίζα στην οποία έχουμε συνδεθεί είναι σε κύκλωμα 16A.
- Συνδέουμε τη μηχανή στην κάτω μαύρη φύσα σύνδεσης με κατάλληλο καλώδιο.
- Ανεβάζουμε τον μικροαυτόματο 16A.
- Μετακινούμε τον μεταγωγικό διακόπτη στη θέση **I (ΚΑΤΩ)**
- Ανεβάζουμε το ρελέ διαρροής.
- Πιέζουμε το μπουτόν δοκιμής φάσης. Εάν η λυχνία δεν ανάψει τότε βγάζουμε το φως του καλωδίου από την πρίζα schuko (παροχή) και το γυρίζουμε ανάποδα. Ξαναπατάμε το μπουτόν. Εάν πάλι δεν ανάψει τότε έχουμε κακή γείωση και δεν χρησιμοποιούμε την συσκευή. Εάν τελικά ανάψει προχωράμε στο επόμενο βήμα.
- Ανεβάζουμε τον γενικό της μηχανής και ελέγχουμε για ήχο ανεμιστήρα, ένδειξη στην οθόνη ελέγχου ισχύος και φως στο διακόπτη της ηλεκτροβάνας.
- Η μηχανή είναι έτοιμη για χρήση.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μόνο μια φορά σε κάθε αλλαγή λειτουργίας από 32 σε 16 αμπέρ και αντίστροφα, ΠΛΗΝ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΑΣΗΣ-ΓΕΙΩΣΗΣ που πρέπει να γίνεται κάθε φορά που το μηχάνημα συνδέεται στην πρίζα αφού έχει αποσυνδεθεί.

4.1.2 Γενική διαδικασία χειρισμού.

Αρχικά χρησιμοποιούμε τον μοχλό ανύψωσης για να ανεβάσουμε το άνω τελάρο στην επάνω θέση, έως ότου κουμπώσει και μείνει σταθερό. Κατόπιν και αφού ελέγξουμε ότι το κάτω τελάρο είναι κεντραρισμένο γύρω από το πλατό, φορτώνουμε το φύλλο υλικού στο πλατό-κάτω τελάρο, έτσι ώστε τα άκρα του να πατάνε ομοιόμορφα στο κάτω τελάρο. Κατεβάζουμε το άνω τελάρο με τον μοχλό ανύψωσης και το ακουμπάμε επάνω στη διαφάνεια. Στερεώνουμε τα δύο τελάρα μεταξύ τους, είτε με τα κλιπς, είτε με άλλον τρόπο, αν τον θεωρούμε σκόπιμο. Ανεβάζουμε τη διάταξη με τον μοχλό ανύψωσης έως ότου κουμπώσει στη θέση του. Το φύλλο είναι έτοιμο για θέρμανση.

Εάν σκοπεύουμε να κάνουμε χρήση της ενσωματωμένης εγκατάστασης κενού, γυρίζουμε τον διακόπτη «PUMP» στην επάνω θέση, ώστε να ανάψει η αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία. Ελέγχουμε ότι η βαλβίδα απομόνωσης αντλίας είναι ανοιχτή και ότι το κενόμετρο αρχίζει να καταγράφει κενό αέρος. Περιμένουμε να κατέβει η ένδειξη του οργάνου σε επιθυμητά επίπεδα. Εάν θέλουμε να αφυγράνουμε την αντλία μπορούμε να αφήσουμε ανοιχτό το «ballast» της για μερικά λεπτά, αλλά αυτό ξεφεύγει κάπως του αντικειμένου της εργασίας.

Επιλέγουμε την ισχύ του φούρνου από την οθόνη ρύθμισης ισχύος μεταξύ 1 και 100%. Όταν είμαστε έτοιμοι γυρίζουμε τον διακόπτη «HEATER» στην επάνω θέση, ώστε να ανάψει η αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία. Η θέρμανση έχει αρχίσει. Τώρα παρατηρούμε προσεκτικά το υλικό μας. Όταν αρχίσει να πλησιάζει την κατάλληλη θερμοκρασία θα αρχίσει να παραμορφώνεται και να μαλακώνει. Θα αρχίσει να σχηματίζει τόξο προς τα κάτω (κοιλιά). Από εδώ και πέρα, είναι απολύτως στην κρίση του χειριστή να αποφασίσει τότε το φύλλο είναι έτοιμο για εφαρμογή.

Όση ώρα το φύλλο είναι φορτωμένο στη μηχανή ή/και όσο ακόμα θερμαίνεται, προετοιμάζουμε το/τα καλούπια τοποθετώντας τα στο πλατό, στις επιθυμητές θέσεις.

Όταν κρίνουμε ότι το υλικό είναι έτοιμο είμαστε έτοιμοι για την εφαρμογή του. *Εάν σκοπεύουμε να κάνουμε χρήση του εξωτερικού κενού, το ενεργοποιούμε από τον διακόπτη AUX σε αυτό το σημείο.* Κρατάμε τον μοχλό ανύψωσης και με τα δύο χέρια και όταν είμαστε έτοιμοι, με γρήγορες αλλά όχι βίαιες κινήσεις, κατεβάζουμε το πλαίσιο έτσι ώστε να φτάσει τελείως κάτω και να εφαρμόσει στο τραπέζι. Εάν έχει πατήσει σωστά και σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε το ενσωματωμένο σύστημα κενού, πιέζουμε το πλήκτρο της ηλεκτροβάνας και το κρατάμε πατημένο έως ότου να αναρροφηθεί όλος ο αέρας και να συμμορφωθεί καλά το υλικό στο καλούπι. Έπειτα, ανοίγουμε την χειροκίνητη βαλβίδα και απελευθερώνουμε το πλήκτρο της ηλεκτροβάνας. Επίσης κλείνουμε τον φούρνο σε οποιοδήποτε σημείο μας είναι πρακτικό. Συνεχίζουμε τη λειτουργία της αντλίας κενού έως ότου να είμαστε ικανοποιημένοι ότι το αποτέλεσμα είναι το επιθυμητό. Εάν κάναμε χρήση του εξωτερικού κενού τότε η αρχική αναρρόφηση αρχίζει αμέσως μόλις το τελάρο πατήσει στο τραπέζι, αν δε το κρίνουμε σκόπιμο, μπορούμε να βοηθήσουμε την εφαρμογή του αφήνοντας τον μοχλό και πιέζοντας το τελάρο με τα χέρια, φορώντας κατάλληλα γάντια και με προσοχή γιατί θα καίει. Το ενσωματωμένο κενό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και παράλληλα με την εξωτερική αναρρόφηση, αλλά καλό θα ήταν η τελευταία να κλείσει μετά, αφού μετά την εφαρμογή υψηλού κενού ουσιαστικά δεν προσφέρει κάποιο όφελος.

Αφού το φύλλο κρυώσει, η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί και μπορεί να μετακινηθεί και να προχωρήσουμε στην αφαίρεση του καλουπιού.

Τέλος, να σημειωθεί ότι η εξωτερική παροχή «ΑΥΧ», αν και καταρχήν σχεδιάστηκε για λειτουργία με την εξωτερική αναρρόφηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες λειτουργίες όπως ο χρήστης αποφασίσει, για παράδειγμα για έναν εξωτερικό ανεμιστήρα ψύξης του φύλλου αφού αυτό προσαρμοστεί στο καλούπι, για να μειωθεί ο χρόνος στερεοποίησης.

4.2 ΔΟΚΙΜΗ, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.2.1 Δοκιμή με ABS, πάχους 1.5mm, σε κυκλικά μπολς

Τα καλούπια της δοκιμής ήταν απλά κυκλικά μπολς, δύο κεραμικά και ένα μεταλλικό. Τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να αφήνουν μικρότερες και μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ τους για να διερευνηθεί ο τρόπος σχηματισμού ραβδώσεων μεταξύ των καλουπιών.

Χρησιμοποιήθηκε η ενσωματωμένη εγκατάσταση κενού.

Το υλικό συμπεριφέρεται εξαιρετικά για τις ανάγκες της εφαρμογής. Σε αυτό το πάχος ακόμα και η ισχύς των 2.1kW ήταν υπέρ αρκετή. Η συμμόρφωση του υλικού ήταν εξαιρετική και ριγώσεις σχηματίστηκαν για αυτό το ύψος καλουπιού (περίπου 7cm) σε απόσταση μικρότερη από 10cm. Οι ελαφρές ραβδώσεις μπορούν να αφαιρεθούν στο τελικό τεμάχιο και ούτως ή άλλος σκοπός μας ήταν η διερεύνηση της εμφάνισής τους.

Η δοκιμή θεωρείται **Επιτυχημένη**.



Σχήμα 4.4: ABS 1.5mm.

4.2.2 Δοκιμή με Βινύλιο, πάχους 2.2mm, μεγάλο κυκλικό μπολ.

Το υλικό δεν είναι ιδιαίτερα φιλικό προς την διαδικασία, αλλά είναι εν γένει διαμορφώσιμο. Κατά τη θέρμανσή του διαπιστώθηκε μεγάλη τάση του υλικού να συρρικνώνεται κατά τις Χ-Υ διαστάσεις του και να διαστέλλεται κατά την Ζ (δηλαδή στο πάχος του). Η μεγάλη του αυτή τάση είχε σαν ως αποτέλεσμα να καταφέρει το φύλλο να βγεί από το πλαίσιο συγκράτησης σε κάποια σημεία με αποτέλεσμα να χαλάσει η στεγανοποίηση. Χρειάστηκαν ειδικοί χειρισμοί (απομόνωση ενός τμήματος του πλατό με αλουμινόχαρτο και χρήση ράβδων για να σφραγίσει η ελεύθερη άκρη του φύλλου στο πλατό) ώστε να γίνει εφικτή η αναρρόφηση. Και πάλι το υλικό σχημάτισε έντονες ραβδώσεις. Το υλικό είναι επίσης ιδιαίτερα ευαίσθητο στην αλλοίωση λόγω θερμοκρασίας, με το τμήμα του που μαλακώνει να βρίσκεται πολύ κοντά στο σημείο που αρχίζει να καίγεται. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο για μικρά αντικείμενα με απλές γεωμετρίες και ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση μόνο σαν επένδυση κάποιου άλλου υλικού.

Η δοκιμή θεωρείται **αποτυχημένη**.



Σχήμα 4.5: Βινύλιο 2.2mm. Αριστερά φαίνεται ότι το υλικό κατάφερε να ελευθερωθεί από το πλαίσιο. Οι έντονες ριγώσεις κάνουν το αντίγραφο μη χρησιμοποιήσιμο.

4.2.3 Δοκιμή με Πολυκαρβονικό, πάχους 2mm, Καλούπι ιδιοκατασκευή, για κατασκευή καλύμματος για μεγάλο UAV.

Η δοκιμή θεωρήθηκε εξαιρετικά αισιόδοξη, καθώς το PC χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες για να μαλακώσει αρκετά, για αυτήν τη διαμόρφωση. Έχει επίσης, σε αυτήν του την κατάσταση αρκετά μεγάλο ιξώδες και χρειάζεται αρκετά μεγάλη δύναμη για να προσαρμοστεί σε καλούπι, ειδικά όταν δεν είναι η θερμοκρασία ιδιαίτερα υψηλή. Συνάμα, το καλούπι ήταν εξαιρετικά μεγάλο για τη μηχανή, (30cm διάμετρος, 21cm ύψος) δυσχεραίνοντας ακόμα περισσότερο την εργασία. Πράγματι, δεν στάθηκε καν δυνατό να κατέβει το πλαίσιο πάνω από το καλούπι αρκετά ώστε να σφραγίσει στο τραπέζι, και έτσι δεν κατορθώθηκε ποτέ η εφαρμογή της αναρρόφησης. Τέλος, το υλικό παρουσίασε έντονο πρόβλημα υγρασίας, σε μορφή φυσαλίδων μέσα στο υλικό.

Η δοκιμή ήταν προφανώς **αποτυχημένη**, όμως διδαχθήκαμε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με το υλικό, που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.

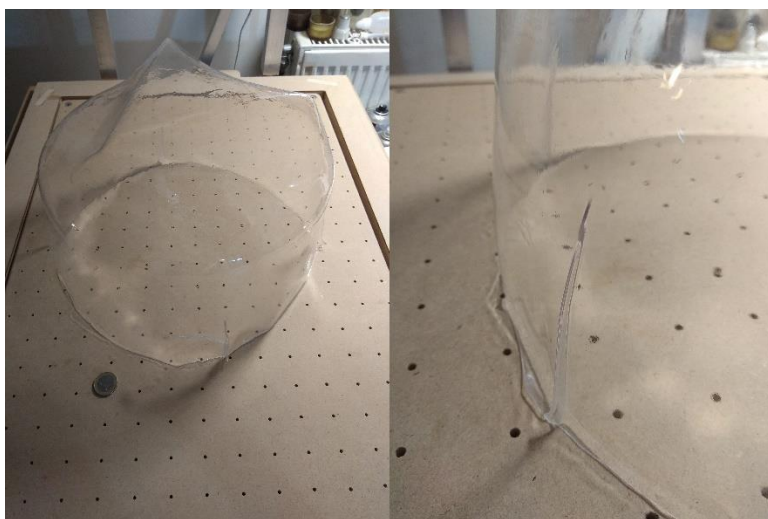


Σχήμα 4.6: Πολυκαρβονικό (PC) 2mm. Αποτυχημένη δοκιμή, έντονη υγρασία, ελλιπής ισχύς θέρμανσης στα 16A.

4.2.4 Δοκιμή με PET, πάχους 1.25mm, Καλούπι ιδιοκατασκευή, για κατασκευή καλύμματος για μεγάλο UAV.

Η δοκιμή έγινε με το ίδιο καλούπι, όπως και η 4.2.3. Αυτήν την φορά τα αποτελέσματα ήταν εξαιρετικά. Το PET είναι υλικό με χαμηλό HDT (heat deflection temperature) και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την εφαρμογή. Η αναρρόφηση έγινε με την εξωτερική αντλία (σκούπα) στα -0.22 Bar. Η συμμόρφωση με το καλούπι ήταν απόλυτη, με μόνο ελαφρές ραβδώσεις (σουρώματα) στα τελευταία εκατοστά, αποτέλεσμα λογικό αν αναλογιστούμε το μέγεθος του καλουπιού, το οποίο ξεκάθαρα εξαντλεί την χωρητικότητα της μηχανής. Οι ριγώσεις μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν με post-processing.

Η δοκιμή κρίνεται **ικανοποιητική**.



Σχήμα 4.7: PET 1.25mm. Ελαφρές ριγώσεις που αφαιρούνται εύκολα.

5. ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό διατυπώνονται τα συμπεράσματα της εργασίας, τόσο σε σχέση με τη μηχανή αυστηρά, όσο και σε σχέση με την γενικότερη διαδικασία και τα υλικά. Γίνεται αναφορά σε σημεία στα οποία κρίνεται ότι μπορούσε η κατασκευή να γίνει καλύτερη αλλά και συμπεράσματα αναφορικά με τη διαδικασία λειτουργίας. Για την συζήτηση αυτή χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις από συγκεκριμένες δοκιμές από το κεφάλαιο 4, με αναφορά στον αριθμό του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου.

5.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ, ΣΥΓΓΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών με τα διάφορα υλικά, προέκυψαν κάποιες απρόσμενες δυσκολίες, που αποτέλεσαν πηγή προβληματισμού.

Στις δοκιμές με το ABS διαπιστώθηκε ότι αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά τη θερμοκρασία εφαρμογής, παρόλο που το υλικό συμπεριφέρεται εξαιρετικά όσον αφορά τη θέρμανση. Το ABS μας «προειδοποιεί» για την στιγμή που βρίσκεται κοντά στη σωστή θερμοκρασία εφαρμογής με την συμπεριφορά του, αφού ενώ αρχικά παραμορφώνεται παίρνοντας τη μορφή «ζαρωμένου σεντονιού», όταν φτάσει τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσής του, ξαφνικά και ομοιόμορφα, «τεντώνει» και οι ριγώσεις εξαφανίζονται. Ανάλογα με την ταχύτητα θέρμανσης το φαινόμενο μπορεί να συμβεί τόσο «απότομα», ώστε να υπάρχει ελαφριά ταλάντωση καθώς το φύλλο τεντώνει και γίνεται ισότροπο. Από το σημείο αυτό και μετά όμως, καθώς δεν δίνονται άλλα προειδοποιητικά σημεία ορατά στο χρήστη, μπορεί η επάνω πλευρά του υλικού που είναι άμεσα εκτεθειμένη στον φούρνο να αρχίσει να «βράζει», εν μέρει λόγω της περιεχόμενης υγρασίας, δημιουργώντας ανεπιθύμητη τραχιά επιφάνεια από την επάνω πλευρά. Κρίνεται σκόπιμος ο έλεγχος της θερμοκρασίας με κατάλληλο θερμόμετρο υπέρυθρων, ώστε να μην ξεπεραστεί κατά λάθος αυτή η κρίσιμη θερμοκρασία, η οποία αναγκαστικά πρέπει να προσδιοριστεί, ανάλογα με το εκάστοτε φύλλο, από τον χειριστή.

Επίσης, διαπιστώθηκε σε δοκιμές με διάφανα υλικά, όπως για παράδειγμα με το πολυκαρβονικό (δοκιμή 4.2.3), ότι η απορροφημένη από το υλικό υγρασία μπορεί να δημιουργήσει πολύ σημαντικά προβλήματα στα τελικά τεμάχια, αφού ειδικά σε υλικά με μεγάλη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης η υγρασία αυτή «βράζει» στο εσωτερικό τους και δημιουργεί φυσαλίδες, οι οποίες αποδυναμώνουν το υλικό και καταστρέφουν την καλή του εμφάνιση. Αυτό το φαινόμενο δεν γίνεται να αποτραπεί κατά τη φάση της κενοδιαμόρφωσης, αφού η θερμοκρασία εμφάνισης του φαινομένου είναι συνήθως χαμηλότερη από αυτήν της εφαρμογής και άρα το φαινόμενο θα εμφανιστεί πάντα. Αυτό που μπορεί να γίνει είναι να ληφθούν μέτρα για την αφύγρανση του τεμαχίου, με τη θέρμανση αυτού σε χαμηλές θερμοκρασίες σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας, για αρκετές ώρες πριν την εφαρμογή. Αν κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν, προτείνεται το φύλλο να φορτώνεται στη μηχανή κενοδιαμόρφωσης και να ρυθμίζεται ο φούρνος σε ελάχιστη ισχύ έτσι ώστε να θερμαίνεται απαλά το υλικό για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να μαλακώνει και χωρίς να σχηματίζονται φυσαλίδες. Μετά από κάποιες ώρες μπορεί η ισχύς του φούρνου να αυξηθεί και να συνεχίσει η διαδικασία κανονικά.

Ένα άλλο θέμα που προκύπτει συχνά, ανάλογα με τη γεωμετρία και τον αριθμό των καλουπιών, είναι η εμφάνιση ανεπιθύμητων ριγώσεων στα άκρα των τεμαχίων, φαινόμενο

το οποίο αποκαλείται «webbing». Αυτό δυστυχώς είναι δύσκολο να προβλεφθεί και η αποφυγή του βασίζεται κυρίως στην εμπειρία του χειριστή. Ένας τρόπος αποφυγής του φαινομένου, καθώς το φαινόμενο τείνει να εμφανίζεται κυρίως στα πρώτα μερικά εκατοστά του ύψους του καλουπιού, είναι να τοποθετούνται αυτά επάνω σε συμπαγείς αποστάτες κατάλληλου ύψους ώστε οι ριγώσεις να σχηματίζονται στο ύψος αυτών και όχι στο επιθυμητό τεμάχιο. Άλλη μέθοδος είναι η τοποθέτηση «φραγμάτων» ανάμεσα σε γειτονικά αντικείμενα, ώστε να υποχρεούται το υλικό να «απλώσει» γύρω από αυτά και να εκτονωθεί η συγκέντρωση υλικού που δημιουργεί τις ραβδώσεις. Ένα ακόμα μέτρο που μπορεί να ληφθεί είναι η μείωση της ταχύτητας αναρρόφησης, έτσι ώστε το υλικό να προλαβαίνει να απλώσει, καθώς σε αυτή την κατάσταση το ιξώδες του δημιουργεί «αδράνεια» στην παραμόρφωσή του. Όλες οι λύσεις σε αυτό το πρόβλημα περιστρέφονται γενικά γύρω από την λογική ότι το υλικό πρέπει να «τεντώνει» επαρκώς, και δεν πρέπει να του επιτρέπεται να συγκεντρωθεί σε ανεπιθύμητα σημεία.

5.2 ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΕΧΟΝΤΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Ένα πρόβλημα που έτεινε να επανέρχεται, ειδικά με «δύσκολα» υλικά, ήταν αυτό της δύναμης συγκράτησης του φύλλου από τα τελάρα. Το πρόβλημα συναντάται έντονα σε υλικά που έχουν μεγάλη τάση συρρίκνωσης και με υλικά τα οποία χρειάζονται εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες εφαρμογής.

Το θέμα είναι διπλό. Το πρώτο σκέλος είναι η όχι επαρκής δύναμη συγκράτησης μεταξύ των τελάρων. Οι συνδετήρες, αν και θεωρητικά έχουν αρκετή δύναμη συγκράτησης, στην πράξη διαπιστώθηκε ότι δεν είναι πάντα επαρκείς.

Το δεύτερο σκέλος έχει να κάνει με την ιδιοτροπία του MDF όσον αφορά τη θέρμανση. Σε υλικά με υψηλές θερμοκρασίες εφαρμογής, το κάτω τελάρo τείνει να παραμορφώνεται από τη θερμοκρασία, σχηματίζοντας τόξo, δυσχεραίνοντας επιπλέον το έργο των συνδετήρων και μειώνοντας την καλή εφαρμογή του τελάρου στο τραπέζι, μειώνοντας κατά συνέπεια την στεγανότητα. Παρόλο που συνολικά το τελάρo ήταν ικανοποιητικό για τα περισσότερα υλικά, όπως το ABS, το PET, το HIPS και άλλα, ήταν απολύτως μη επαρκές για το PC και το βινύλιο.

Έτσι, έχει δορολογηθεί η διαδικασία αντικατάστασης του κάτω τελάρου με άλλο, που θα μιμείται την κατασκευή του άνω τελάρου, αλλά με κάποιες βελτιώσεις που θα δίνουν στεγανότητα στην επαφή του με το τραπέζι. Τα πλαίσια μπορούν κατόπιν να συσφίγγονται, τόσο με μεγαλύτερο αριθμό συνδετήρων, όσο και με κοχλιώσεις όταν αυτό είναι αναγκαίο.. Το πρώτο τελάρo από MDF μπορεί να συνεχίσει να χρησιμοποιείται για ελαφρά και μαλακά υλικά χωρίς κανένα πρόβλημα, αφού ακόμα και για λεπτό ABS η απόδοσή του ήταν λίαν ικανοποιητική.

Τέλος, ένα σημείο που καλόν είναι να βελτιωθεί αφορά στο καπάκι της βάσης, το οποίο αν και στην πίσω πλευρά υποστηρίζεται από τη σύνδεσή του με το πίσω τοίχωμα του πλαισίου, στο εμπρός μέρος είναι ελεύθερο και με τον καιρό θα τείνει να σχηματίσει ελαφρό τόξo. Θα προστεθεί μια νεύρωση, είτε με τη μορφή ενός μεταλλικού «Γ» είτε με ένα φαρδύ πηχάκι από ξύλο ώστε να αποφευχθεί αυτή η πιθανή παραμόρφωση.

Τελευταίο σημείο, που αποτελούσε μέρος της αρχικής σκέψης αλλά τελικά αφαιρέθηκε από τον σχεδιασμό, καθαρά για λόγους ταχύτητας ολοκλήρωσης της εργασίας, είναι η

εγκατάσταση διακοπών απομόνωσης μεμονωμένων λαμπτήρων του φούρνου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιλεκτική ενεργοποίηση μόνον ενός τμήματος του φούρνου κάθε φορά. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα οικονομικότερης λειτουργίας του φούρνου, όταν και αν χρησιμοποιείται τεμάχιο μικρότερο από 50x70cm, για παράδειγμα 50x35cm. Η λειτουργία υπό αυτές της συνθήκες απαιτεί και κάποιες άλλες ενέργειες, όπως η κάλυψη μέρους του πλατό, ώστε να περιορίζεται η αναρρόφηση στην χρήσιμη περιοχή, καθώς και η εφαρμογή ράβδων στα όρια του τεμαχίου, αλλά αυτά ξεφεύγουν της σημασίας της παρούσας ανάλυσης. Η υλοποίηση αυτής της ιδέας έχει προγραμματιστεί και περιλαμβάνει την αντικατάσταση των εμπρός συνδέσεων κάθε λαμπτήρα με μία 3D εκτυπωμένη διάταξη, η οποία θα διαθέτει έναν διακόπτη απομόνωσης του λαμπτήρα, ώστε να μπορεί κάθε λαμπτήρας μεμονωμένα να απενεργοποιηθεί. Η λειτουργία με μικρότερο τεμάχιο μπορεί να γίνει και τώρα, αλλά αφενός καταναλώνεται άσκοπα ενέργεια και αφετέρου το ακάλυπτο κομμάτι του φούρνου θα εκπέμπει θερμότητα δυσάρεστη στο χειριστή. Πρόκειται καθαρά για βελτιωτική ενέργεια και δεν λύνει κάποια θεμελιώδη έλλειψη της μηχανής.

5.3 ΑΔΥΝΑΜΑ ΣΗΜΕΙΑ, ΤΙ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΕ ΝΑ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΚΑΛΥΤΕΡΑ

Στο υποκεφάλαιο αυτό αναφέρονται σημεία, στα οποία θεωρείται ότι η μηχανή υστερεί σε κάποιο βαθμό, αλλά η βελτίωσή τους είτε δεν είναι αρκετά κρίσιμη για την λειτουργία, είτε η βελτίωσή τους σε αυτό το σημείο θα ήταν πολύ κοστοβόρα ή μη πρακτική, ώστε να δικαιολογείται ο κόπος και το κόστος σε σχέση με την σημασία τους.

Πρώτο πράγμα που αξίζει να αναφερθεί είναι η ακαμψία και συνολική αντοχή των μοχλών ανύψωσης του πλαισίου συγκράτησης. Παρότι η υλοποιημένη κατασκευή είναι υπεραρκετή για την απλή ανύψωση και εφαρμογή της πλειονότητας των υλικών, κάποια υλικά, όπως για παράδειγμα το PC, όταν είναι σε μεγάλα πάχη, για παράδειγμα πάνω από 2mm, παρουσιάζουν κατά την εφαρμογή μια τρόπον τινά «ανελαστικότητα». Το μεγάλο ιξώδες τους στην μεταβατική αυτή κατάσταση κάνει αυτά τα υλικά να αντιστέκονται στην γρήγορη παραμόρφωση τους και όταν αυτό συνδυάζεται με καλούπια μεγάλου ύψους και όγκου, μπορεί να παρουσιαστεί το πρόβλημα που παρουσιάστηκε και στην δοκιμή 4.2.3, όπου δεν ήταν δυνατό το πλαίσιο να κάνει επαφή με το τραπέζι και να σφραγίσει, γιατί το υλικό δεν μπορούσε να παραμορφωθεί αρκετά. Σε ένα τέτοιο περιστατικό, η δυνατότητα να εφαρμοστεί μεγάλη κάθετη δύναμη μέσω των μοχλών, ώστε να μπορέσει το πλαίσιο να έρθει σε πολύ καλή επαφή με την επιφάνεια έδρασης του πλατό, θα αύξανε την πιθανότητα να μην αποτύχει τελείως η απόπειρα.

Να σημειωθεί βέβαια, ότι σε περιστατικά όπου παρουσιάζεται τέτοια δυσκολία, συνήθως υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που την δημιουργούν, όπως για παράδειγμα η χαμηλή θερμοκρασία του υλικού ή το υπερβολικά μεγάλο μέγεθος της μήτρας προς αντιγραφή. Δεν διατυπώνεται εδώ ο ισχυρισμός ότι τέτοιου είδους αστοχίες πρέπει να λύνονται απλά εφαρμόζοντας ωμή δύναμη ενάντια στην φυσική αντίσταση του υλικού, καθώς αυτό μπορεί να σημαίνει για παράδειγμα ότι απλώς θα σκιστεί το υλικό ή ότι θα παραμορφωθεί ανομοιόμορφα. Αυτό που αναφέρεται όμως είναι ότι, σε οποιαδήποτε περίπτωση, θα ήταν επιθυμητό αυτό που θα αστοχήσει πρώτο σε ένα τέτοιο σενάριο να είναι *το υλικό* και όχι οι μοχλοί της μηχανής. Συμπερασματικά, η αντικατάσταση των μοχλών, σε αυτό το χρονικό σημείο δεν κρίνεται σκόπιμη, καθώς η μηχανή λειτουργεί ικανοποιητικά για τον μεγαλύτερο αριθμό υλικών που κάποιος θα χρησιμοποιούσε σε τέτοιας κλίμακας εξοπλισμό και το κόστος αντικατάστασής τους δεν δικαιολογείται αν αναλογιστεί κανείς τον μικρό αριθμό περιπτώσεων που αυτή η αλλαγή θα έφερνε σημαντικό όφελος.

Εξάλλου, αν χρειαστεί, μπορεί ο χρήστης να πιέσει απευθείας το μεταλλικό πλαίσιο, ως έχει, φορώντας φυσικά κατάλληλα γάντια.

Ένα άλλο θέμα που κατά τη γνώμη του γράφοντα μπορεί να υλοποιηθεί, όχι τόσο «καλύτερα» όσο πιο «ευέλικτα», είναι ο τρόπος συγκράτησης των λαμπτήρων. Όπως έχει η κατασκευή, απαιτείται οι λαμπτήρες να έχουν πολύ συγκεκριμένο μήκος για να μπορούν να τοποθετηθούν (απόκλιση αυστηρά έως $\pm 2.5\text{mm}$), διαφορετικά δεν θα μπορούν να εγκατασταθούν με ασφάλεια.

Αυτό το θέμα μπορεί να ακούγεται ασήμαντο, εξάλλου όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούν τέτοιους λαμπτήρες, δηλαδή οι θερμάστρες χαλαζία, έχουν την ίδια «απαίτηση». Όμως, το πρόβλημα είναι ότι μια θερμάστρα χαλαζία είναι ως επί το πλείστον μια φτηνή συσκευή, η οποία αν δεν μπορεί να επιδιορθωθεί θα αντικατασταθεί με μικρό κόστος. Αυτό, μαζί με το γεγονός ότι οι εταιρείες που παράγουν τέτοιες συσκευές σχεδιάζουν συνεχώς καινούργια μοντέλα για λόγους marketing, σημαίνει ότι δεν υπάρχει απόλυτη εγγύηση ότι το συγκεκριμένο μήκος λαμπτήρα, στα συγκεκριμένα watt θα είναι πάντα διαθέσιμο για αγορά σαν ανταλλακτικό.

Συνεπώς, θα ήταν καλό να δίνεται η δυνατότητα να υπάρχει μια ανοχή στο μήκος εγκατάστασης κάπως μεγαλύτερη, για παράδειγμα $\pm 7.5\text{mm}$, ώστε να αυξάνεται η πιθανότητα να βρεθεί κατάλληλο ανταλλακτικό στο μέλλον.

Και πάλι όμως, στην παρούσα κατασκευή, μπορεί να δοθεί λύση στην υποθετική περίπτωση όπου δεν μπορεί να βρεθεί ανταλλακτικό. Μπορεί να επιλεγεί μια λάμπα μεγαλύτερο μήκους και να τροχιστεί ο χαλαζίας με κατάλληλο μέσο στο σωστό μήκος. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αυτοί οι λαμπτήρες έχουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής κάνει την τωρινή υλοποίηση αρκετά βιώσιμη.

5.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Το συνολικό κόστος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της μηχανής, της παρούσας εργασίας, ήταν 900 ευρώ περίπου.

Δεν έχουν συνυπολογιστεί κόστη περισσευούμενων υλικών, όπου αυτά προέκυψαν είτε από επιλογή (παραγγελία περίσσειας για δοκιμές), είτε επειδή ήταν αναπόφευκτες (δεδομένες ποσότητες αγοράς).

Το κόστος μιας μηχανής CR Clarke 1820, ικανότητας φύλλου διάστασης 482mm x 432 mm, δηλαδή αρκετά μικρότερη από την δική μας, είναι της τάξης των 7.000 με 8.000 λιρών Αγγλίας χωρίς ΦΠΑ, δηλαδή περίπου 9.500.€ + ΦΠΑ την στιγμή της συγγραφής αυτής της. Την ίδια στιγμή η μηχανή αυτή μπορεί να βρεθεί στην αγορά μεταχειρισμένων με κόστος 2.800 λίρες Αγγλίας δηλαδή περίπου 3.300 €.

Οι παραπάνω τιμές βρέθηκαν στο κατάστημα «www.rapidonline.com»^[4] για την καινούργια μηχανή και στο «ebay.com» για την μεταχειρισμένη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η εμπορική αυτή μηχανή προσφέρει δυνατότητες που η δική μας δεν διαθέτει, όπως για παράδειγμα θέρμανση πολλαπλών ζωνών και απελευθέρωση καλουπιού με υποβοήθηση πίεσης αέρα, όμως και πάλι κρίνεται ότι η διαφορά κόστους αντισταθμίζει αυτές τις επιπλέον ανέσεις.

Τέλος, η μηχανή «FORMART 2 Smart Vacuum Former», μια χαμηλού κόστους μηχανή που απευθύνεται κυρίως σε ερασιτέχνες και έχει ικανότητα φύλλου διάστασης 50cm x 30cm, έχει τιμή λιανικής NT\$64,890 ^[5], δηλαδή περίπου 2.060 € χωρίς φόρους και έξοδα εισαγωγής.

Συνολικά θεωρείται ότι, ο στόχος που τέθηκε να κοστίσει η μηχανή λιγότερο από ένα εμπορικό προϊόν αντίστοιχης χωρητικότητας, ικανοποιήθηκε απόλυτα.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί, ότι η συγκεκριμένη υλοποίηση θα λειτουργούσε ικανοποιητικά με φύλλα μικρών απαιτήσεων (πχ φύλλα HIPS, PET και έως περίπου 1.5mm ABS) και χωρίς το ενσωματωμένο σύστημα κενού, δηλαδή την αντλία και τα παρελκόμενά της, την δεξαμενή και την ηλεκτροβάννα, μειώνοντας το κόστος περαιτέρω από τα 900€ στα περίπου 450€ συν το κόστος μιας οικιακής ηλεκτρικής σκούπας αν δεν ήταν ήδη διαθέσιμη (60-100€).

6. ΣΥΝΟΨΗ

Η διαδικασία της κενοδιαμόρφωσης είναι μια διεργασία μορφοποίησης για θερμοπλαστικά υλικά. Σε αυτήν, το προς κατεργασία υλικό, σε μορφή επίπεδου φύλλου, θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία, ώστε να γίνει εύπλαστο αλλά όχι υγρό και σε αυτήν την κατάσταση εφαρμόζεται σε καλούπι επιθυμητού σχήματος, πάνω στο οποίο υποχρεούνται να προσαρμοστεί με τη βοήθεια εφαρμογής κενού αέρος από την πλευρά του καλουπιού, το οποίο επιτρέπει στην ατμοσφαιρική πίεση να ωθήσει το υλικό επάνω στο καλούπι.

Η διαδικασία αυτή, όταν και όπου είναι κατάλληλη, κυρίως σε εξαρτήματα μικρού πάχους και μεγάλης επιφάνειας, φέρνει αποτελέσματα καλύτερα από αυτά της έγχυσης υπό πίεση (injection molding), με χαμηλότερο κόστος και για τον λόγο αυτόν είναι πολύ διαδεδομένη.

Για την εκτέλεση της διαδικασίας απαιτούνται ειδικές μηχανές, οι οποίες ποικίλουν σε μέγεθος και ικανότητες, από μικρές χειροκίνητες μηχανές ικανότητας μερικών δεκάδων τετραγωνικών εκατοστών, μέχρι τεράστιες μηχανές πολλών τετραγωνικών μέτρων, πλήρως αυτοματοποιημένης λειτουργίας, που παράγουν μεγάλα εξαρτήματα από φύλλα υλικού μεγάλου πάχους.

Αποφασίσαμε να κατασκευάσουμε μια τέτοια μηχανή, μικρού-μέσου μεγέθους, η οποία να μπορεί να διαμορφώσει φύλλα υλικού διάστασης 50x70cm και πάχους 0-2.5mm περίπου, για χρήση σε διάφορες εφαρμογές. Στόχος ήταν η μηχανή να κοστίσει λιγότερο από ένα αντίστοιχο εμπορικό προϊόν.

Επιπλέον προϋποθέσεις που τέθηκαν ήταν να μπορεί η μηχανή να λειτουργήσει τόσο με χρήση ενσωματωμένης διάταξη αναρρόφησης, όσο και με εξωτερική αναρρόφηση από απλή οικιακή ηλεκτρική σκούπα, έτσι ώστε να είναι ευέλικτη και πρακτική στη χρήση, αλλά και να είναι όσο το δυνατόν ασφαλέστερη για τον χρήστη.

Μετά την κατασκευή της μηχανής, έγινε περιγραφή της διαδικασίας τμηματικά, κατά τα βασικά μεγάλα τμήματα και υποσυστήματά της:

- Τον σκελετό
- Τον φούρνο

- Τον μηχανισμό συγκράτησης του προς διαμόρφωση υλικού
- Το πνευματικό σύστημα
- Την ηλεκτρική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση
- Τον πίνακα ελέγχου της μηχανής.

Κατόπιν, η μηχανή δοκιμάστηκε δειγματοληπτικά με φύλλα υλικού από ABS, PET, PC, Βινύλιο και έγινε περιγραφή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Αξιολογήθηκαν τα συμπεράσματα των δοκιμών, κυρίως όσον αφορά τα σημεία στα οποία μπορεί να βελτιωθεί η κατασκευή, αλλά και τι μας δίδαξε η εμπειρία ώστε να γίνει πιθανή επόμενη υλοποίηση καλύτερη.

Συνολικά, η διαδικασία ήταν επιτυχής, και η μηχανή λειτουργεί ικανοποιητικά, καλύπτει τις προσδοκίες μας και το κόστος της ήταν σημαντικά μικρότερο από μια αντίστοιχη εμπορική μηχανή ικανή για μορφοποίηση φύλλων αντίστοιχης διάστασης.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πηγές σχετικές με τη διαδικασία της κενοδιαμόρφωσης εν γένει:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_forming
- <https://formlabs.com/blog/introduction-to-vacuum-forming/>
- <https://formech.com/>

Κατασκευαστές μοντέλων παραδειγμάτων, κεφάλαιο 2.2

- <https://formech.com/category/vacuum-forming-machines>
- <https://www.crclarke.co.uk/products>

Βιβλία-Έγγραφα:

[1] «Exploring Engineering» 3rd Ed, Philip Kosky, Robert Balmer, William Keat, George Wise (μέσω της ιστοσελίδας: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/convection-heat-transfer-coefficient>)

[2] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/bta41.pdf>

[3] https://www.st.com/resource/en/application_note/an2703-parameter-list-for-scrs-triacs-ac-switches-and-diacs-stmicroelectronics.pdf

Αναφορές κοστολόγησης:

[4] <https://www.rapidonline.com/c-r-clarke-1820-230v-vacuum-former-34-8600>

[5] <https://myyardtech.com/en/product/formart/>