



ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

**“Σχεδίαση και κατασκευή πρωτοτύπου για στεγανό πλαστικό
κουτί εξωτερικού χώρου”**

Σπουδάστρια:

Μανιάδη Αθηνά

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νεκτάριος Βιδάκης

Δρ. Πετούσης Μάρκος

Ηράκλειο 2013

Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας και έχοντας εκπληρώσει πλέον όλες τις υποχρεώσεις μου στο Τμήμα Μηχανολογίας, κλείνει ένα μεγάλο κεφάλαιο στις σπουδές και στη ζωή μου .

Αρχικά , ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέπων καθηγητή μου Δρ. Πετούση Μάρκο για την πολύτιμη βοήθειά του, την καθοδήγηση και την υπέρμετρη υπομονή του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου . Είναι μεγάλη μου τιμή που μπόρεσα να μάθω δίπλα του και που μου δόθηκε η ευκαιρία εκπόνησης πτυχιακής μαζί του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου Δρ. Βιδάκη Νεκτάριο για τις ευκαιρίες που μου έδωσε , τις γνώσεις που μετέδωσε και τις εμπειρίες που μοιράστηκε .

Ευχαριστώ, τον Δρ. Σακκά Νίκο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, τον Κ. Δασκαλάκη και φυσικά τη κ. Μανιάτη Μισσέλ για τη βοήθεια που προσέφεραν για την ολοκλήρωση της πτυχιακής καθώς και για το χρόνο τους.

Θερμές ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές που με συνόδευσαν όλα αυτά τα χρόνια , για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μου μετέδωσαν καθώς και τους συμφοιτητές μου για την ανοχή και τη βοήθειά τους .

Μανιάδη Αθηνά

Ηράκλειο, Δεκέμβρης 2013

Περιεχόμενα

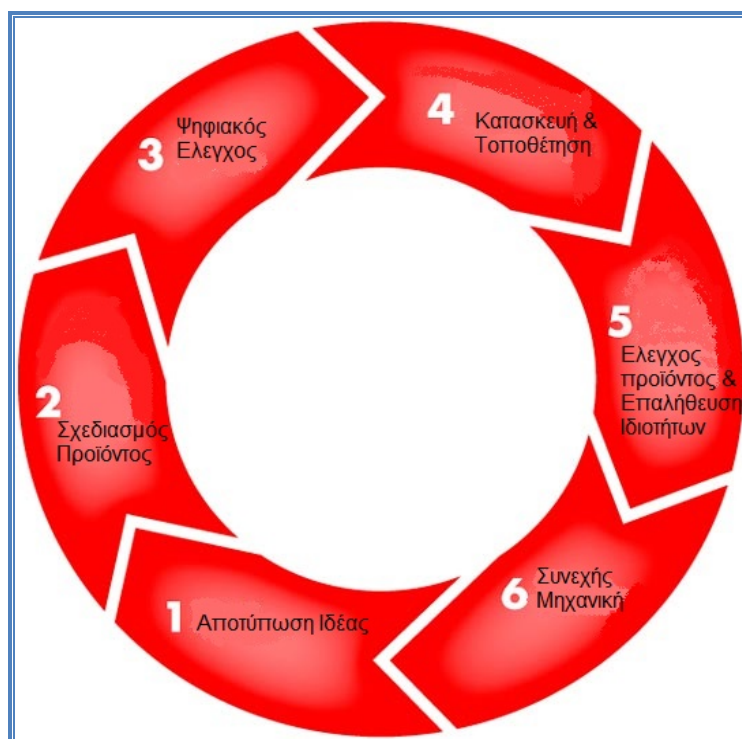
Ευχαριστίες.....	2
Περιεχόμενα.....	3
Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 1: Ανάπτυξη Προϊόντων.....	7
1.1 Χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων.....	7
1.2 Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων	8
1.3 Ο ρόλος του πρωτοτύπου στην ανάπτυξη των προϊόντων.....	10
Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός στεγανού κουτιού	12
2.1 Τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές.....	12
2.2 Το πρώτο δείγμα	13
2.3 Δείγμα 2 ^ο	15
2.4 Δείγμα 3ο	17
2.5 Δείγμα 4 & 5	17
2.6 Δείγμα 6ο	19
2.7 Δείγμα 7ο	20
2.8 Δείγμα 8ο	22
2.9 Το τελικό σχέδιο.....	24
Κεφάλαιο 3: Προτυποποίηση.....	28
3.1 Το πρωτότυπο	28
3.1.1 Η διαδικασία προς τη προτυποποίηση	28
3.2 Κατασκευή καλουπιού σιλικόνης	32
3.2.1 Το πλαίσιο του καλουπιού	32
3.2.2 Στερεώνοντας το πρωτότυπο	33
3.2.3 Προετοιμασία για το καλούπι	34
3.3 Χύτευση σιλικόνης.....	36
3.3.1 Η πρώτη προσπάθεια	36
3.3.2 Η δεύτερη προσπάθεια	42
3.4 Χύτευση πλαστικού	48
3.4.1 Προετοιμασία.....	48
3.4.2 Η πρώτη χύτευση	49

3.4.3 Η δεύτερη χύτευση.....	53
3.4.4 Η Τρίτη χύτευση και το τελικό προϊόν	54
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα	58
Βιβλιογραφία	59

Εισαγωγή

Πρόβλημα, ανάγκη, εξέλιξη, οι κινητήριοι μοχλοί της επιστήμης της μηχανολογίας. Για την ύπαρξη της συγκεκριμένης πτυχιακής, υπήρξε μία ανάγκη. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή πρωτοτύπου για αδιάβροχο, πλαστικό κουτί, εξωτερικού χώρου για το σκοπό στέγασης πλακέτας που μετρά φωτεινότητα, θερμοκρασία και υγρασία.

Η προτυποποίηση είναι μία σύνθετη και φιλοσοφημένη διαδικασία που περιλαμβάνει πάρα πολλούς τομείς μελέτης και σχεδιασμού. Για την επιτυχή προτυποποίηση του κουτιού, συγκεκριμένα βήματα έπρεπε να ακολουθηθούν (εικόνα 1). Βήματα όπως η αποτύπωση της αρχικής ιδέας στο λογισμικό, συνεχής έλεγχος και βελτιώσεις επί του σχεδίου, επιβεβαίωση του σχεδίου επί των ιδιοτήτων σε πιθανά σενάρια, έλεγχος στο ίδιο το πρωτότυπο και τέλος συνεχής μηχανική στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 1 : Βασικά βήματα για τη σωστή προτυποποίηση

Για το σχεδιασμό και τη κατασκευή αυτού του κουτιού μελετήθηκαν φαινόμενα ροής αέρα, δυναμική αέρα όπως και τεχνικές σχεδίασης για την ευκολότερη, ακριβέστερη και φθηνότερη παραγωγή.

Το κουτί έπρεπε να σχεδιαστεί ακολουθώντας αρκετές προδιαγραφές όπως να είναι ασφαλισμένο από το νερό και γενικά την υγρασία, να έχει κατάλληλη ροή αέρα γύρω από την πλακέτα, να έχει επίπεδη και λεία επιφάνεια ώστε το φως του ηλίου να περνά στον αισθητήρα κ.α. Πέρα από τις προδιαγραφές, κάθε βήμα από τη δημιουργία του καλουπιού μέχρι τη χύτευση του πλαστικού έπρεπε να είναι ιδιαίτερα προσεγμένο, διότι το παραμικρό ψεγάδι, ρωγμή, φυσαλίδα ή θαμπάδα στο πλαστικό συνεπάγονται σε αστοχία του τελικού προϊόντος.

Ο σχεδιασμός του πρωτοτύπου έγινε με τη χρήση του σχεδιαστικού λογισμικού Pro engineer wildfire 3.0 από την εταιρία PTC. Για την παραγωγή του πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκε ο 3D printer του εργαστηρίου, Dimension Elite και για τη δημιουργία του καλουπιού χρησιμοποιήθηκε η αντλία κενού της εταιρίας MK technologies σε συνδυασμό με σιλικόνη, πλαστικό και καταλύτες της εταιρίας Axson.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, περιγράφονται με λεπτομέρεια, οι ανάγκες, οι απαιτήσεις τις πτυχιακής και όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν από τον σχεδιασμό μέχρι και την παραγωγή του πρώτου πλαστικού κουτιού.

Κεφάλαιο 1: Ανάπτυξη Προϊόντων

Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων έχει μεταβληθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, λόγω της εισαγωγής νέων εργαλείων στο σχεδιασμό και την προσομοίωση προϊόντων και διαδικασιών. Τα εργαλεία αυτά βασίζονται στη χρήση υπολογιστικού εξοπλισμού και παρέχουν στους σχεδιαστές πληροφορίες για το προϊόν, οι οποίες παλαιότερα είτε δεν ήταν εφικτό να προσδιοριστούν στη φάση σχεδιασμού, ή η κατανόησή τους δεν ήταν εφικτή από όλους. Τα αποτελέσματα από τη χρήση των εργαλείων αυτών είναι η μείωση του κόστους ανάπτυξης, του κύκλου ανάπτυξης και του κύκλου ζωής του προϊόντος, με ταυτόχρονη βελτίωση της ποιότητας του. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν προφανή πλεονεκτήματα για την ανταγωνιστικότητα των εταιριών, εμπεριέχουν όμως και σημαντικούς κινδύνους.

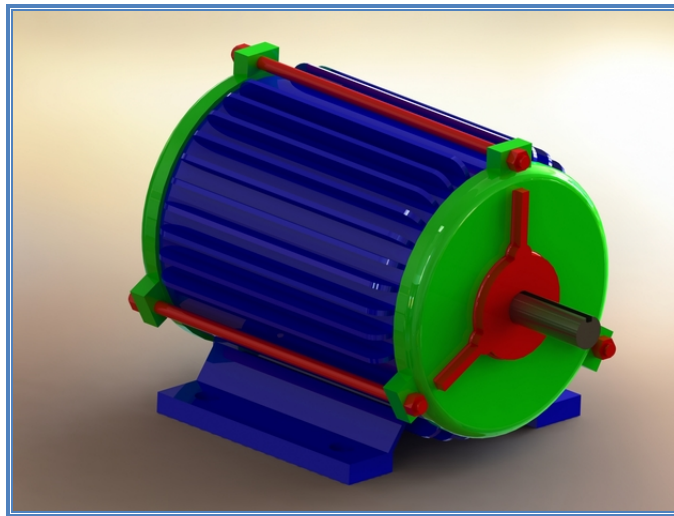
Η μείωση του κύκλου ζωής του προϊόντος επιβάλλει την απόδοση κέρδους από αυτό σε μικρότερο χρονικό διάστημα, το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη ευελιξία από τις εταιρίες και ταυτόχρονα εμπεριέχει εμπορικό ρίσκο. Το εμπορικό ρίσκο συνδέεται με διάφορους παράγοντες. Ο κύκλος ζωής, ο οποίος επηρεάζεται από τις συνθήκες της αγοράς, μπορεί να μην είναι επαρκής χρονικά, ώστε να είναι βιώσιμο το προϊόν. Υπάρχει η πιθανότητα να παραχθεί ένα προϊόν, το οποίο να μην ανταποκρίνεται στις ανάγκες της αγοράς, ή μπορεί να παραχθεί ένα προβληματικό προϊόν, που θα έχει επιπτώσεις στην εικόνα της εταιρίας προς τους πελάτες της.

1.1 Χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων

Υπολογιστικά συστήματα έχουν εισαχθεί στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, λόγω των δυνατοτήτων που παρέχουν στους σχεδιαστές. Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων έχει τροποποιηθεί, λόγω της χρήσης τέτοιων συστημάτων και συνεχίζει να τροποποιείται σε συνάρτηση με την ανάπτυξη των δυνατοτήτων και της τεχνολογίας, που παρέχουν τα συστήματα. Τα υπολογιστικά συστήματα αποτελούν το φορέα σύνδεσης των ιδεών των μηχανικών, που εμπλέκονται στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, με το προϊόν, το οποίο τελικά υλοποιείται και ταυτόχρονα αποτελούν το μέσο για την επικοινωνία των μελών της ομάδας ανάπτυξης του προϊόντος.

Τέτοιου είδους εργαλεία υπήρχαν στο παρελθόν σε διαφορετική και πιο απλοποιημένη μορφή. Το βασικό χαρακτηριστικό των λογισμικών εργαλείων, που αποτελούν βασικό συστατικό των υπολογιστικών συστημάτων, είναι ότι παρέχουν στους σχεδιαστές πληροφορίες για τα τεχνικά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος που αναπτύσσεται, πριν από την παραγωγή του φυσικού πρωτοτύπου και ακόμα περισσότερο προτού το προϊόν προωθηθεί στη γραμμή παραγωγής. Οι πληροφορίες αυτές δεν ήταν εφικτό να προσδιοριστούν με τις συμβατικές μεθόδους ανάπτυξης προϊόντων, που χρησιμοποιούνταν στο πρόσφατο παρελθόν. Η χρήση υπολογιστικών συστημάτων παρέχει πλεονεκτήματα, όπως ευελιξία στο σχεδιασμό, αξιοπιστία κ.α., τα οποία θεωρούνται πλέον προφανή και για το λόγο αυτό δε θα αναλυθούν εκτενέστερα.

Ο ηλεκτροκινητήρας της εικόνας 1.1.1 έχει σχεδιαστεί στο λογισμικό Solidworks. Οι δυνατότητες του λογισμικού που χρησιμοποιείται είναι άμεσα συνδεδεμένες με το κόστος, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την αισθητική του προϊόντος, το οποίο αναπτύσσεται. Το κόστος παραμένει ο κυριότερος παράγοντας επιτυχίας του προϊόντος. Τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του προϊόντος επηρεάζονται από τους ελέγχους, που επιτρέπει το λογισμικό προσομοίωσης να πραγματοποιηθούν στο προϊόν. Η αισθητική σχετίζεται με τις δυνατότητες μοντελοποίησης του λογισμικού που χρησιμοποιείται (παραγωγή παραμετρικού γεωμετρικού μοντέλου, ρεαλιστική απεικόνιση, κλπ.). Τα σύγχρονα λογισμικά σχεδιασμού έχουν φτάσει σε τέτοιο επίπεδο ωριμότητας, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι περιορισμοί των σχεδιαστών σε σχέση με τον προσδιορισμό αυτών των παραμέτρων του προϊόντος.



Εικόνα 1.1.1: τρισδιάστατο μοντέλο ηλεκτροκινητήρα στο Solidworks

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για ενοποίηση των επιμέρους λογισμικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό του προϊόντος. Η προσπάθεια αυτή έχει ως στόχο τη βελτίωση της οργάνωσης και της διαχείρισης των δεδομένων για το προϊόν, τα οποία σε όλο και μεγαλύτερο ποσοστό αναπτύσσονται σε ψηφιακή μορφή. Η ενοποίηση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί είτε μέσω της ολοκλήρωσης χαρακτηριστικών από διαφορετικά λογισμικά εργαλεία, για την παραγωγή νέων λογισμικών εργαλείων, είτε με την ανάπτυξη εργαλείων σύνδεσης των επιμέρους λογισμικών που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό του προϊόντος.

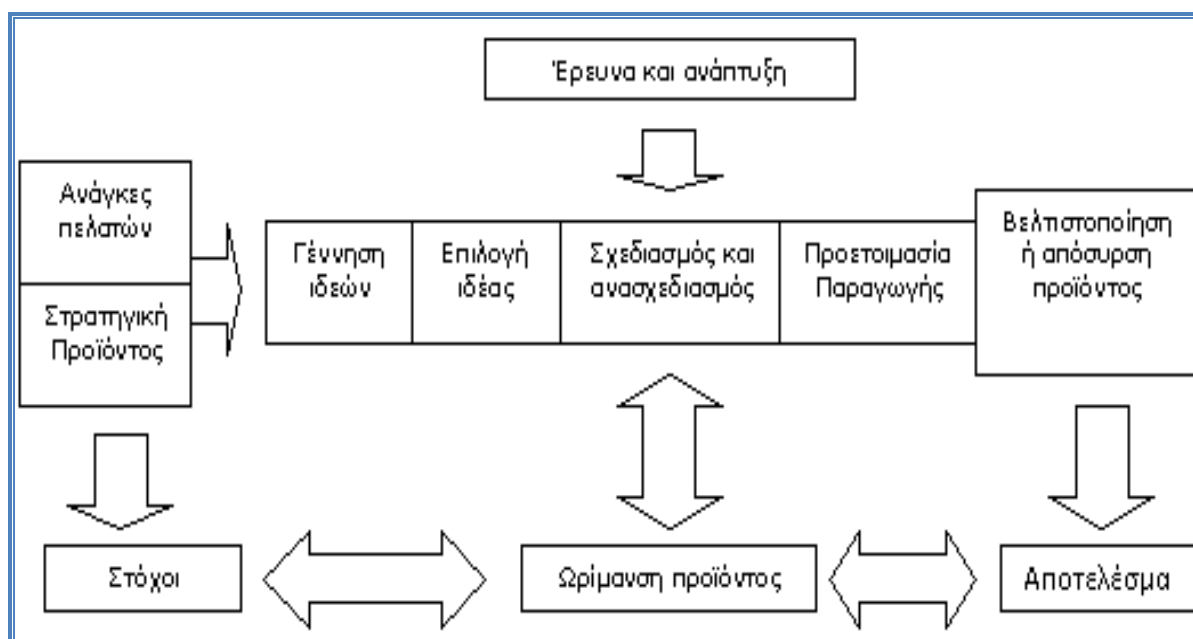
1.2 Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων

Για τη λεπτομερή ανάπτυξη ενός προϊόντος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα παρακάτω:

- Προετοιμασία του σχεδιασμού, η οποία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της μεθοδολογίας ανάπτυξης του προϊόντος.
- Σχεδίαση των γεωμετρικών μοντέλων του προϊόντος στο σύστημα CAD (συνήθως δημιουργείται παραμετρικό γεωμετρικό μοντέλο).
- Συναρμολόγηση των επιμέρους γεωμετρικών μοντέλων, για τη δημιουργία του συνολικού μοντέλου του προϊόντος.
- Απόδοση χρωμάτων, υλικών και υφής (όχι πάντα) στο προϊόν, για τη ρεαλιστική απεικόνιση του ψηφιακού πρωτοτύπου που αναπτύσσεται, κυρίως για αισθητική αξιολόγηση. Μεταφορά του γεωμετρικού μοντέλου σε σύστημα πεπερασμένων στοιχείων (FEA) για προσδιορισμό των τεχνικών του χαρακτηριστικών.
- Προσδιορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του αντικειμένου στο σύστημα FEA με τη χρήση μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων.
- Τροποποίηση της σχεδίασης, ώστε να ανταποκρίνεται στα τεχνικές, λειτουργικές και αισθητικές προδιαγραφές που έχουν τεθεί.
- Μεταφορά του τελικού γεωμετρικού μοντέλου στο σύστημα Εικονικής Παραγωγής (Virtual Manufacturing), για το σχεδιασμό της μεθοδολογίας παραγωγής του προϊόντος (μπορεί να είναι ένα σύστημα CAM ή κάποιο περισσότερο πολύπλοκο λογισμικό εργαλείο προσομοίωσης παραγωγικών διαδικασιών).
- Κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου, το οποίο συνήθως είναι από διαφορετικά υλικά σε σχέση με το πραγματικό προϊόν.

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι εταιρίες σπάνια πλέον αναπτύσσουν ένα προϊόν από την αρχή. Συνήθως χρησιμοποιούν δεδομένα από την προηγούμενη έκδοση του προϊόντος, την οποία βελτιώνουν τεχνολογικά ή αισθητικά και διορθώνουν πιθανά λάθη. Σε προϊόντα που δεν υπάρχει έτοιμη τεχνογνωσία στην εταιρία, επιδιώκεται η μεταφορά τεχνογνωσίας από άλλες εταιρίες ή υιοθετούνται επιτυχώς εφαρμοσμένες τεχνικές άλλων εταιριών. Ακόμα και τα πιο πρωτοποριακά σημερινά προϊόντα θεωρείται ότι δεν έχουν καινοτομικά στοιχεία σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5 - 10%. Το ποσοστό αυτό ίσως φαίνεται μικρό, λαμβάνοντας υπόψη όμως την πολυπλοκότητα των σύγχρονων προϊόντων, το ποσοστό αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πλήθος καινοτομιών.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2.1 η ανάπτυξη του προϊόντος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και περνά από πολλά στάδια μέχρι το τελικό, επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο βαθμός καινοτομίας ενός προϊόντος επηρεάζει σημαντικά το κόστος του προϊόντος και το χρόνο για το σχεδιασμό του. Οι εταιρίες επιδιώκουν να παράγουν καινοτομικά προϊόντα, πρέπει όμως ο βαθμός καινοτομίας για κάθε νέο προϊόν να είναι τέτοιος, ώστε το προϊόν να είναι ανταγωνιστικό με τεχνολογικά και με οικονομικά κριτήρια. Η αποθήκευση τεχνογνωσίας από τις εταιρίες συμβάλλει σημαντικά στον προσδιορισμό τέτοιων παραμέτρων για το προϊόν.



Εικόνα 1.2.1: πλάνο ανάπτυξης προϊόντων

1.3 Ο ρόλος του πρωτοτύπου στην ανάπτυξη των προϊόντων

Η ανάπτυξη πρωτοτύπων στη φάση σχεδιασμού του προϊόντος έχει ως στόχο την ανάδραση από τους πελάτες της εταιρίας και τον προσδιορισμό σχεδιαστικών λαθών, μέσω της πραγματοποίησης λειτουργικών ελέγχων. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών επανατροφοδοτούν το σχεδιασμό. Στη συνέχεια γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις και το νέο σχέδιο υποβάλλεται σε ελέγχους, για να διαπιστωθεί η συμβατότητα με τις αρχικά ορισμένες προδιαγραφές και να εντοπιστούν πιθανά σχεδιαστικά λάθη.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το προϊόν να φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο ωρίμανσης για την εισαγωγή του στην αγορά ή μέχρι να καλυφθεί το χρονοδιάγραμμα για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του προϊόντος.

Παλαιότερα όλοι οι έλεγχοι σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του προϊόντος γινόνταν αποκλειστικά στα φυσικά πρωτότυπα που κατασκευάζονταν. Η κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων απαιτεί πολύ χρόνο και κόστος (σταμάτημα γραμμής παραγωγής, χρήση πρώτων υλών, κλπ), οπότε επιβαρύνει σημαντικά τον κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος. Τα φυσικά πρωτότυπα συνήθως κατασκευάζονται από διαφορετικά υλικά σε σχέση με το τελικό προϊόν. Για παράδειγμα για τον έλεγχο της αεροδυναμικής ενός νέου μοντέλου αυτοκινήτου κατασκευάζονται (συνήθως υπό κλίμακα) πρωτότυπα από ξύλο, φελιζόλ ή κάποιο άλλο υλικό.

Με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων, το πλήθος των απαιτούμενων φυσικών προϊόντων για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος έχει μειωθεί σημαντικά, αφού πολλοί έλεγχοι είναι εφικτό να γίνουν σε εικονικά πρωτότυπα, τα οποία αναπτύσσονται στον υπολογιστή με τη χρήση εργαλείων, βασισμένων στην τεχνολογία των συστημάτων CAD. Αυτό αποτελεί ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων.

Το φυσικό πρωτότυπο κατασκευάζεται μετά το τέλος της διαδικασίας σχεδιασμού στον υπολογιστή, για την επιβεβαίωση των χαρακτηριστικών που έχουν αποδοθεί στο προϊόν στη φάση του σχεδιασμού.

Η κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου έχει ως στόχο τον εντοπισμό σχεδιαστικών λαθών, τα οποία δεν είναι εφικτό να εντοπιστούν με τις λειτουργίες που εκτελούνται στον υπολογιστή, την αισθητική αξιολόγηση του αντικειμένου, η οποία γίνεται σε κάθε περίπτωση ανεξάρτητα από το προϊόν και γενικά για την καλύτερη εποπτεία του προϊόντος πριν προωθηθεί στη γραμμή παραγωγής.

Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός στεγανού κουτιού

2.1 Τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, πίσω από το σχεδιασμό και τη κατασκευή του κουτιού υπάρχει μία ανάγκη. Το κουτί χρησιμοποιήθηκε για τη φιλοξενία πλακέτας που παίρνει μετρήσεις για θερμοκρασία, υγρασία και φωτεινότητα.

Επομένως το κουτί έπρεπε να συνδυάζει κατάλληλη ροή αέρα, να μην αποθηκεύει υγρασία ενώ θα είναι παράλληλα αδιάβροχο ώστε να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία και ζωή των κυκλωμάτων και φυσικά για να μην υπάρξουν μετρήσεις με αποκλίσεις. Τέλος έπρεπε να διασφαλιστεί ότι το πλαστικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι τελείως διάφανο και όχι θολό ώστε το φως του ηλίου να εισέρχεται στο κουτί, χωρίς να διαστρεβλώνεται, ώστε να λαμβάνεται σωστή ένδειξη στον αισθητήρα της πλακέτας.

Το τελικό προϊόν έπρεπε να έχει συνολικό κόστος κατασκευής λιγότερο από 2 ευρώ σε συγκεκριμένες διαστάσεις. Επιβάλλεται να είναι λυτά σχεδιασμένο ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα του καλουπιού και επομένως το κόστος όπως και να ελαττωθούν δραστικά οι πιθανότητες σφάλματος κατά το κλείσιμο των κομματιών.

Ανακεφαλαιώνοντας, το κουτί πρέπει να τηρεί τα παρακάτω:

- Διάφανο, ώστε το φως να περνά χωρίς διαστρέβλωση.
- Ευάερο, ώστε να διασφαλίζεται σωστή ροή αέρα και υγρασία στο εσωτερικό για τη συλλογή πραγματικών μετρήσεων.
- Αδιάβροχο, για τη διασφάλιση σωστής λειτουργίας των κυκλωμάτων.
- Απλοϊκό σε σχεδιασμό, ώστε να γίνει ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης σφαλμάτων στο καλούπι και να είναι ελάχιστο το κόστος του.
- Κατασκευαστικό κόστος λιγότερο από 2 ευρώ για πιθανή φθηνή μαζική παραγωγή.
- Συγκεκριμένες διαστάσεις άμεσα συνδεδεμένες με τις διαστάσεις της πλακέτας (80x50x1.57 mm).

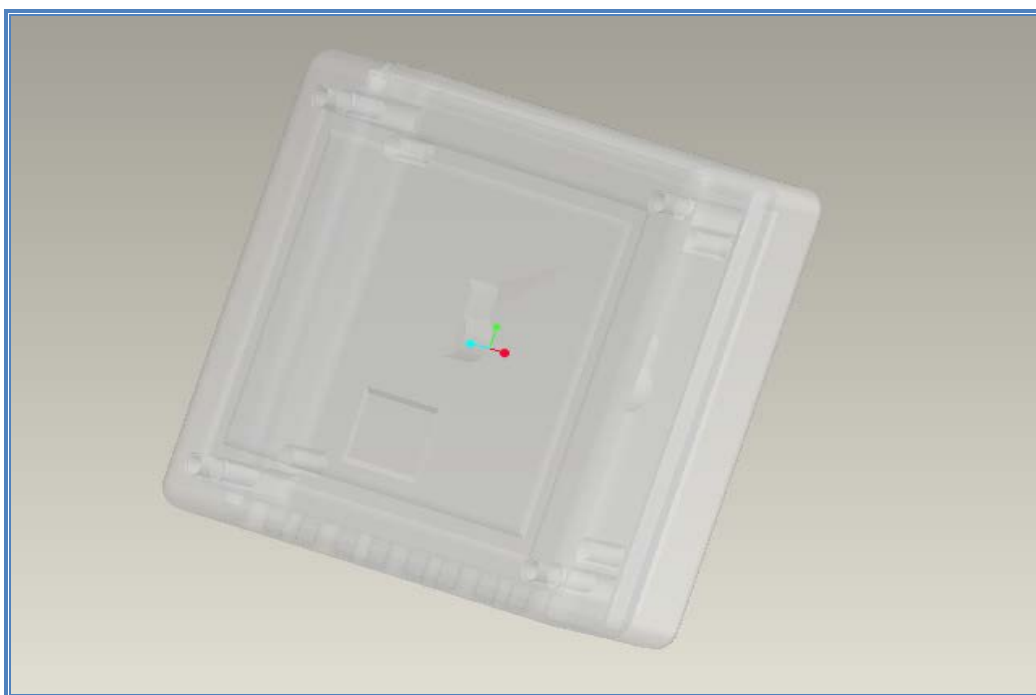
Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα της φάσης σχεδιασμού από το πρώτο μοντέλο που σχεδιάστηκε, ακολουθούμενο από μια σειρά σχεδίων που απέτυχαν να ικανοποιήσουν τις προδιαγραφές, καταλήγοντας στο τελικό σχέδιο που οδηγήθηκε στη παραγωγή. Σε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού αναπτύχθηκαν εναλλακτικά σχέδια, ώστε από αυτά να επιλεγεί αυτό που τηρεί τις προδιαγραφές και τα κριτήρια του κεφαλαίου 2.

2.2 Το πρώτο δείγμα

Όταν ξεκίνησε ο σχεδιασμός, η βασική ιδέα ήταν πραγματικά ένα απλό τετράγωνο κουτί. Αρχικά η οδηγία ήταν ότι θα πρέπει να μπορεί να στερεωθεί σε τοίχο.

Στην εικόνα 2.2.1. φαίνεται το πρώτο σχέδιο. Οι αρχικές διαστάσεις του κουτιού ήταν 95x75x25 mm. Ερευνώντας το σχέδιο λίγο παραπάνω, σχεδιάστηκαν τρύπες στο πίσω κομμάτι ώστε να τοποθετείται σε τοίχο και τρύπες διαμέτρου 3 χιλιοστών δημιουργήθηκαν ώστε να κλείνει το κουτί σφιχτά κατά τη συναρμολόγηση με βίδες.

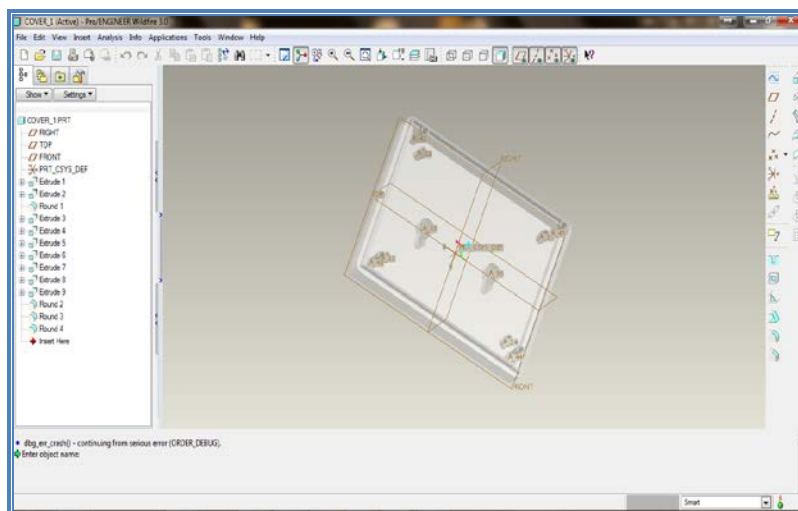
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (Pro-engineer Wildfire 3) είναι παραμετρικό. Αυτό συνεπάγεται στο ότι οι διαστάσεις μπορούν να αλλαχτούν και να αναδιαμορφωθούν σε όλο το σχέδιο ανά πάσα στιγμή. Ακριβός επειδή το πρόγραμμα είναι παραμετρικό στα πρώτα σχέδια δε δόθηκε μεγάλη σημασία στις διαστάσεις και ειδικότερα όσον αφορά τις διαστάσεις και τον τύπο των βιδών. Το μόνο δεδομένο ήταν ότι για το πλαστικό θα χρησιμοποιούνταν αυτοδιατηρητές βίδες. Δηλαδή βίδες που ανοίγουν μόνες τους δρόμο στο πλαστικό.



Εικόνα 2.2.1: Το πρώτο δείγμα με μία ματιά

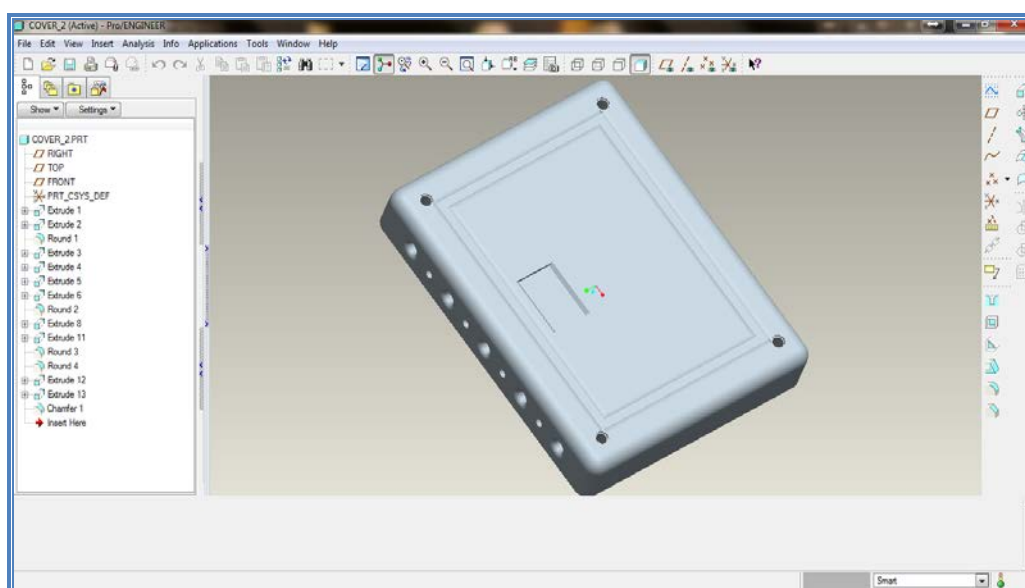
Παρακάτω φαίνεται το κάτω καπάκι του κουτιού σε περιβάλλον του λογισμικού Pro-engineer wildfire 3, εικόνα 2.2.2.

Στις εικόνες 2.2.2 και 2.2.3 φαίνεται το δέντρο του σχεδίου στην αριστερή πλευρά όπου δείχνει τις ενέργειες και τις εντολές προκειμένου να δημιουργηθεί το σχέδιο. Και τα δύο καλύμματα σχεδιάστηκαν να έχουν αρμό ώστε να εφαρμόζονται καλύτερα μεταξύ τους και να είναι σφραγισμένα από το νερό. Μία ακόμα εφαρμογή του λογισμικού είναι ότι για το σχέδιο μπορεί να επιλεγεί το υλικό ή ακόμα και να δημιουργηθεί αν δεν υπάρχει στη λίστα. Για ρεαλιστικότητα χρησιμοποιήθηκε στο σχέδιο διάφανο πλαστικό το οποίο προσομοιώνει πώς θα ήταν το αντικείμενο στη πραγματικότητα.



Εικόνα 2.2.2: Κάτω κάλυμμα

Στη εικόνα, 2.2.3 απεικονίζεται το πάνω μέρος του κουτιού. Τρύπες δημιουργήθηκαν ώστε να περνά αέρας στο εσωτερικό του κουτιού καθώς προστέθηκαν και κάποιες λεπτομέρειες όπως η ορθογώνια θυρίδα στο κέντρο που χρησιμεύει για κάποιο αυτοκόλλητο. Το συγκεκριμένο υλικό της φωτογραφίας είναι το αρχικό μέταλλο που χρησιμοποιεί το pro-engineer.



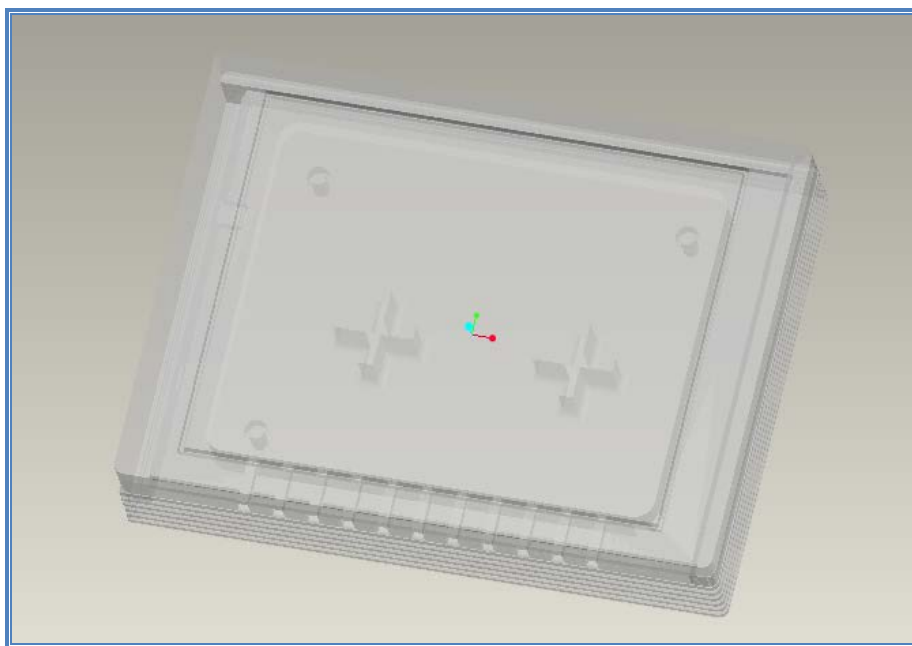
Εικόνα 2.2.3: Πάνω κάλυμμα

Ανακεφαλαιώνοντας ολόκληρο το σχέδιο, οι βασικές προδιαγραφές τηρούνται εκτός από δύο. Την ασφάλιση από το νερό και τη κατάλληλη ροή αέρα. Κατά τη φάση του ελέγχου του σχεδίου επισημάνθηκε ότι οι τρύπες για την ροή αέρα στο εσωτερικό του κουτιού έπρεπε να είναι σχεδιασμένες και στις δύο πλευρές του αντικειμένου ώστε να υπάρξει σωστή ροή και ότι το μέγεθος των οπών είναι απαγορευτικό διότι το νερό βρίσκει εύκολα δίοδο στο εσωτερικό.

Συνολικός χρόνος σχεδιασμού, περίπου 45 λεπτά.

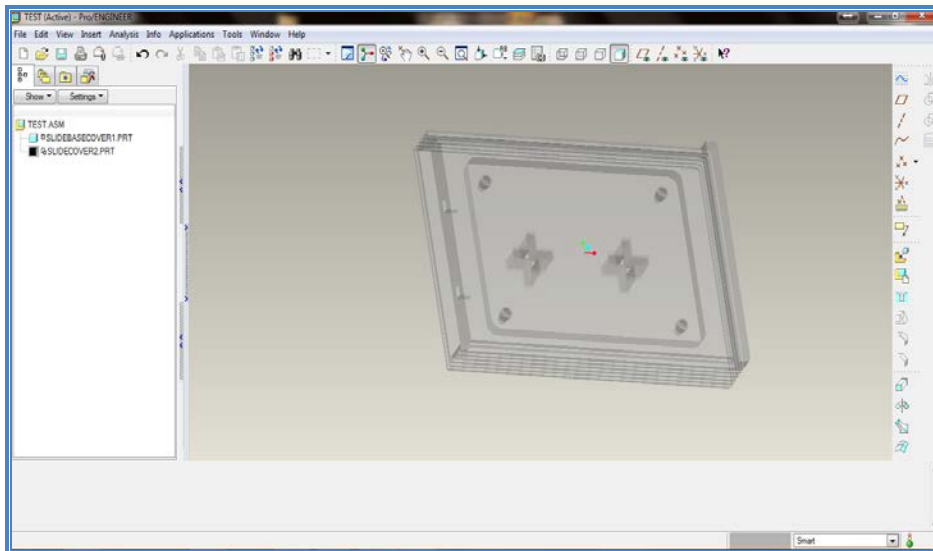
2.3 Δείγμα 2^ο

Το συγκεκριμένο μοντέλο που φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 2.3.1 διαφέρει από τα υπόλοιπα που σχεδιάστηκαν. Είναι μελετημένο και σχεδιασμένο έτσι ώστε να μη χρειάζονται καθόλου βίδες λόγω του συρταρωτού μηχανισμού. Οι ίδιες αρχές χρησιμοποιήθηκαν και σε αυτό, κάνοντας το διάφανο και εύκολο να τοποθετηθεί στο τοίχο.



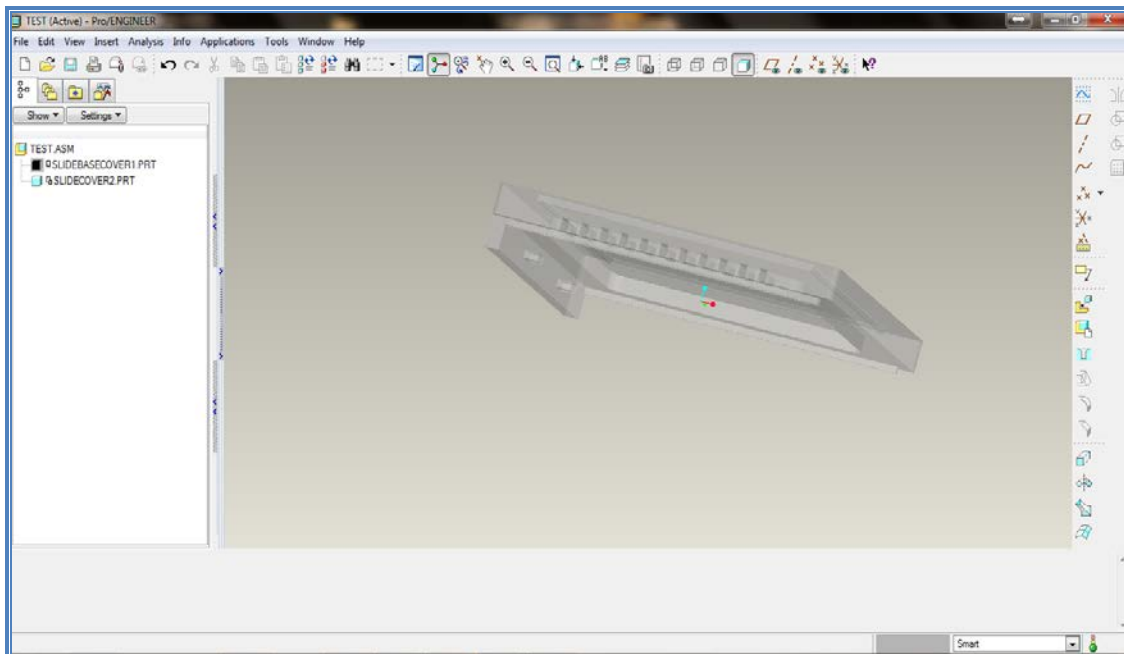
Εικόνα 2.3.1.: Το δεύτερο δείγμα με μια ματιά

Παρακάτω, εικόνα 2.3.2, φαίνονται τα στοπ του συρταρωτού μηχανισμού που ασφαλίζουν το πάνω κάλυμμα στη σωστή θέση ενώ γίνεται χρήση αρμού ξανά.



Εικόνα 2.3.2: Κάτω κάλυμμα

Παρακάτω, εικόνα 2.3.3, απεικονίζεται το πάνω κάλυμμα του κουτιού. Για ακόμα μία φορά εμποδίζεται η ροή αέρα καθώς οι οπές είναι σχεδιασμένες μόνο στη μία πλευρά. Οι οπές σχεδιάστηκαν πολύ μικρότερες αλλά και πάλι το νερό μπορεί εύκολα να πλημμυρίσει το εσωτερικό. Αυτή τη φορά ένα νέο πρόβλημα ήρθε στην επιφάνεια. Παρόλο που το συρτό κλείσιμο και η χρήση αρμού επέτρεπαν την ύπαρξη κουτιού χωρίς βίδες, ο αρμός έκανε το σχέδιο πολύπλοκο. Στη συγκεκριμένη φάση έπρεπε να γίνει μελέτη για το κόστος του καλουπιού καθώς η πολυπλοκότητα του σχεδίου αυξάνει τη πολυπλοκότητα του καλουπιού και επομένως το κόστος.



Εικόνα 2.3.3: Πάνω κάλυμμα

Ο αρμός έκανε το σχέδιο πιο πρακτικό και πιο όμορφο αλλά όσον αφορά το καλούπι το έκανε περίπλοκο. Αφήνοντας χώρο για δημιουργία ατελειών όπου στη διαδικασία της χύτευσης θα οδηγούσαν σε ένα ελαττωματικό αντικείμενο και παράλληλα ακριβό στη δημιουργία.

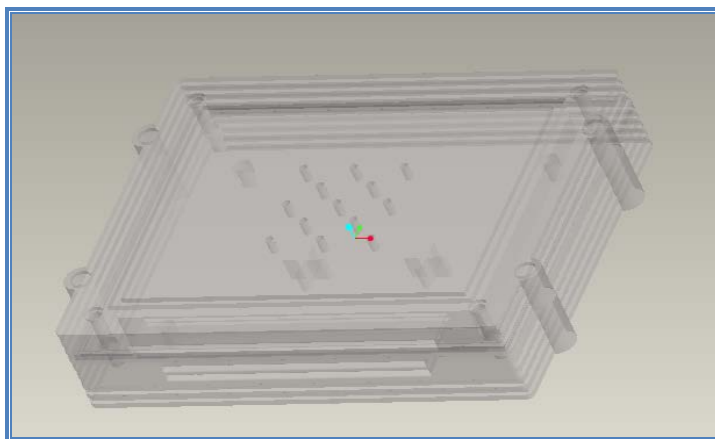
Συνολικός χρόνος σχεδίασης: 30 λεπτά.

2.4 Δείγμα 3ο

Τα πρώτα 5-6 δείγματα απαιτήθηκαν να έχουν κάποιο συγκεκριμένο στυλ. Να είναι σχεδιασμένα ώστε να κάνουν εντύπωση στο μάτι.

Τα προβλήματα που εμφανίστηκαν παραπάνω επέμειναν στα περισσότερα μοντέλα που σχεδιάστηκαν.

Στο συγκεκριμένο σχέδιο που φαίνεται στην εικόνα 2.4.1 η ιδέα ήταν να γίνουν τρύπες μικρές αερισμού πάνω στην επιφάνεια του κουτιού σε συνδυασμό με μεγάλες αερο-θυρίδες στα πλάγια. Αν το κουτί στηριζόταν σε τοίχο ακόμα και με τη βροχή το νερό δε μπορεί να βρει δίοδο στο εσωτερικό. Όμως αν φυσάει το νερό εύκολα μπορεί να βρει τον δρόμο του μέσα στο κουτί. Βάζοντας μαζί και το γεγονός ότι σχεδιάστηκε πιο πολύπλοκο από ότι τα προηγούμενα σχέδια, το μοντέλο αυτό απορρίφτηκε. Όσον αφορά τις διαστάσεις, σχεδιάστηκε στα 100x75x25 mm.



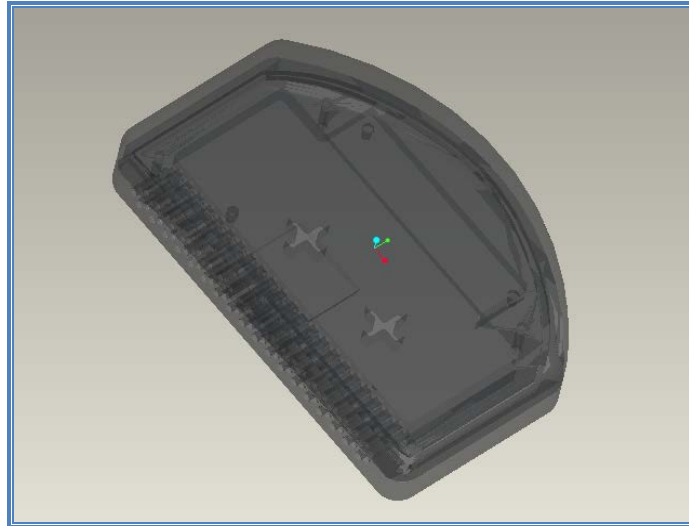
Εικόνα 2.4.1: Το 3^ο δείγμα με μια ματιά

Χρόνος σχεδιασμού: περίπου 30 λεπτά.

2.5 Δείγμα 4 & 5

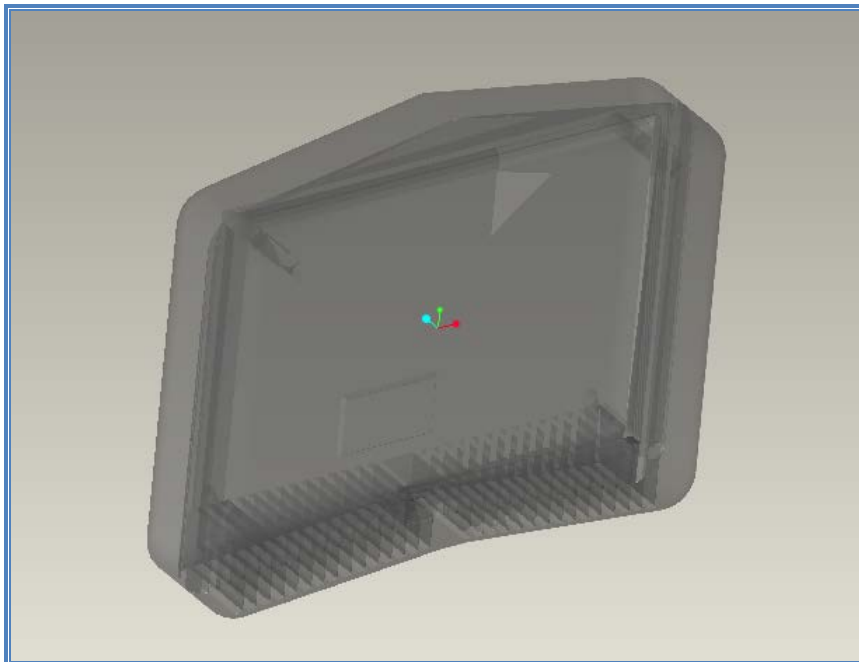
Τα δείγματα 4 & 5 που απεικονίζονται στις εικόνες 2.5.1 και 2.5.2 αντίστοιχα, διέφεραν λίγο ως προς το σχέδιο της γεωμετρίας. Συνδυάζοντας χαρακτηριστικά από τα προηγούμενα σχέδια, κατάλληλα για τοποθέτηση σε τοίχο και έχοντας προστασία από το νερό, απέτυχαν στη σωστή ροή αέρα.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η σωστή ροή αέρα εξυπηρετεί όχι μόνο στον έλεγχο της θερμοκρασίας στο εσωτερικό αλλά είναι σημαντική για τον περιορισμό δημιουργίας υδρατμών στο εσωτερικό του κουτιού.



Εικόνα 2.5.1: Το μοντέλο 4

Σχετικά με τη πολυπλοκότητα του καλούπιού, όσο πιο στρογγυλό το σχήμα τόσο πιο εύκολα αποκολλάται το αντικείμενο από το καλούπι χωρίς να το σκίξει ή να το φθείρει. Από αυτά τα σχέδια και μετέπειτα, όλες οι γωνίες και τα κοψίματα εξομαλύνθηκαν και στρογγυλοποιήθηκαν. Διαστάσεις, 100x75x25 mm.



Εικόνα 2.5.2: Το 6^ο δείγμα με μια ματιά

Όταν το κουτί βρισκόταν ακόμα στη σχεδιαστική φάση, καινούριες ιδέες έπρεπε να αναπτυχθούν ώστε τα επόμενα σχέδια να είναι διαφορετικά, πιο καινοτόμα, πιο όμορφα και φυσικά πιο πρακτικά. Μία πολύ χρήσιμη πηγή νέων ιδεών υπήρξε η ιστοσελίδα www.grabcad.com. Πρόκειται για μια ιστοσελίδα που φιλοξενεί πάνω από 1 εκατομμύριο τρισδιάστατα σχέδια όλων των τύπων από ερασιτέχνες ή και επαγγελματίες σχεδιαστές.

Το 5^ο δείγμα σχεδιάστηκε να είναι παρόμοιο με το router DrayTek Vigor 2710n (εικόνα 2.5.3) καθώς ιδέες σχεδιασμού μπορεί να προέρθουν από ήδη υπάρχουσα προϊόντα.

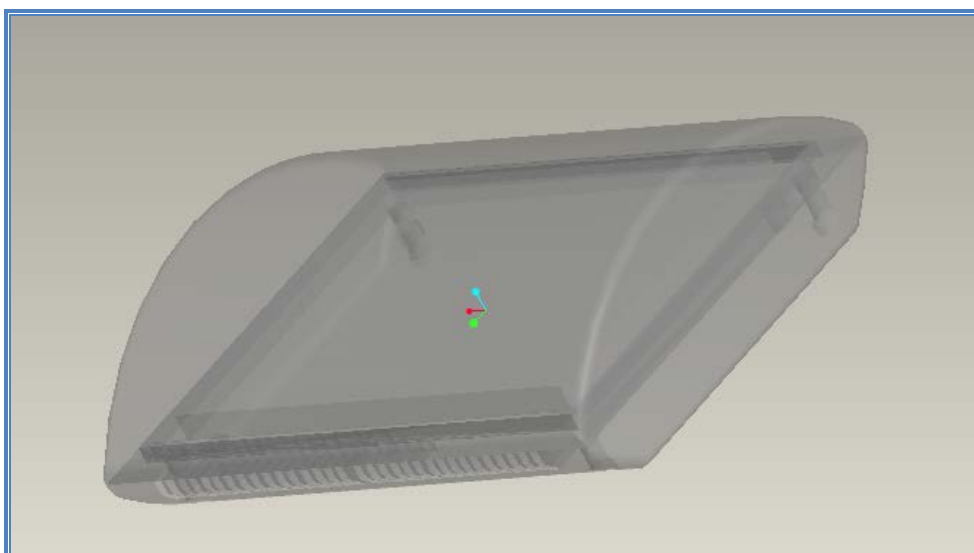


Εικόνα 2.5.3: Vigor 2710n Router από την DrayTek Corporation

Χρόνος σχεδιασμού: περίπου 35 λεπτά για το κάθε σχέδιο

2.6 Δείγμα 6ο

Μιλώντας για πιο σφαιρικά σχέδια και καινούριες ιδέες παρακάτω απεικονίζεται το δείγμα 6 (εικόνα 2.6.1):



Εικόνα 2.6.1: Το δείγμα 6 με μια ματιά

Παρόλο που καινούρια σχέδια δημιουργήθηκαν, οι διαστάσεις της πλακέτας δεν ήταν ακόμα γνωστές. Και για ακόμη μία φορά τα σχέδια δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που τα ήθελαν αδιάβροχα και με σωστή ροή αέρα. Όσον αφορά το σχεδιασμό για να γίνει η κατάληξη σε ένα τελικό μοντέλο έπρεπε να γίνει αναλυτική μελέτη κόστους.

Έγινε επικοινωνία με ειδικούς και δόθηκε μια καινούρια οπτική γωνία στο σχέδιο. Το μοντέλο έπρεπε να σχεδιαστεί πολύ λυτά και στις μικρότερες διαστάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να τηρηθεί το κόστος κατασκευής των 2 ευρώ. Όχι μόνο για την εξοικονόμηση πλαστικού υλικού αλλά κυρίως εξοικονόμηση σιλικόνης για το καλούπι. Το Pro-engineer έχει τη δυνατότητα υπολογισμού του όγκου και της μάζας του αντικειμένου σε πλαστικό και μπορούν να γίνουν με αυτό τον τρόπο εκτιμήσεις για τη ποσότητα σιλικόνης που θα χρειαστεί.

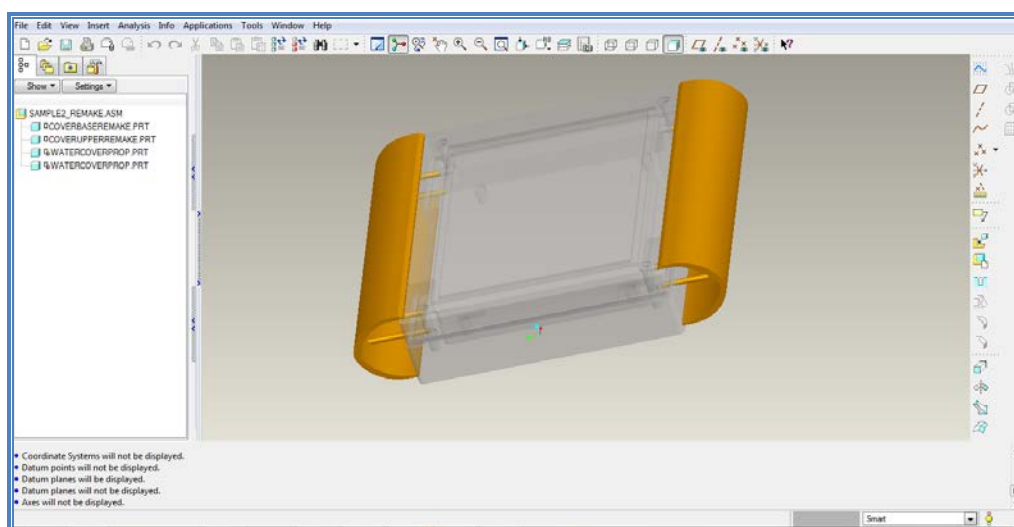
Όσο για τη ροή του αέρα μια καινούρια ιδέα παρουσιάστηκε. Να σχεδιαστεί άλλο ένα κομμάτι όπου θα καλύπτει τις τρύπες αερισμού ώστε να μπορούν να σχεδιαστούν και από τις δύο πλευρές του καλύμματος. Αυτό το χαρακτηριστικό εμφανίζεται στο σχέδιο που ακολουθεί.

Χρόνος Σχεδιασμού: 35 λεπτά

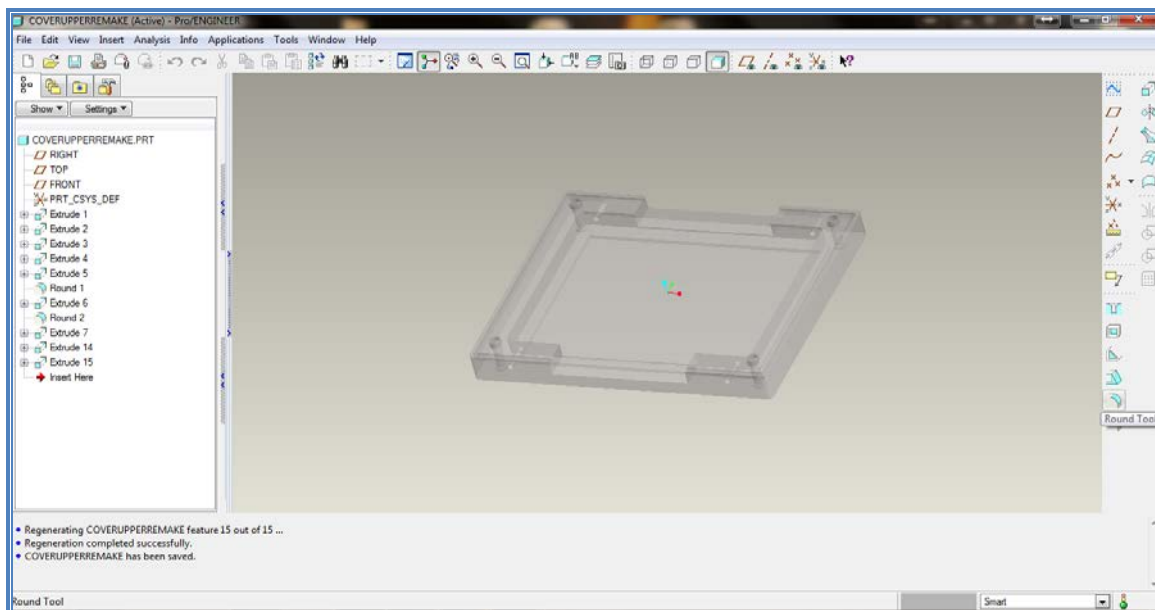
2.7 Δείγμα 7ο

Καταλήγοντας από τα προηγούμενα δείγματα, έγιναν αλλαγές σχετικές με το κόστος και δόθηκε λύση προστασίας του κουτιού από το νερό χωρίς να εμποδίζεται η ροή του αέρα.

Όπως φαίνεται παραπάνω στις εικόνες 3.7.1 και 3.7.2, οι τρύπες μετασηματίστηκαν σε μεγάλα ανοίγματα και στις δύο πλευρές ώστε ο αέρας να έχει τη ροή που χρειάζεται.

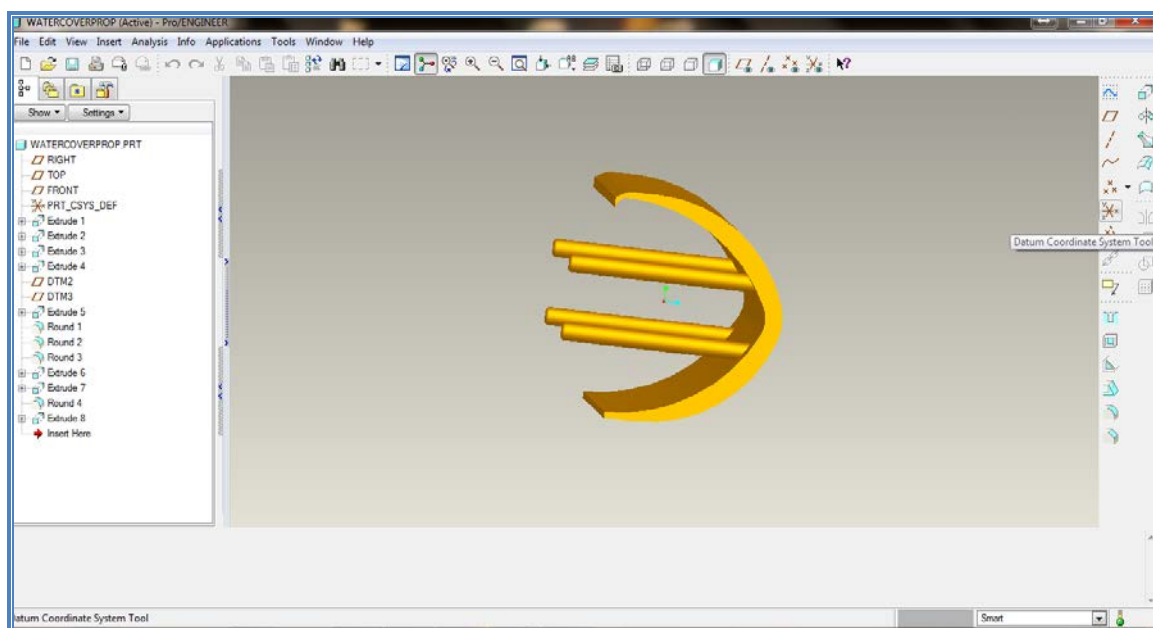


Εικόνα 2.7.1: Το 7ο δείγμα



Εικόνα 2.7.2: Το κάτω καπάκι

Καλύμματα οπών προστέθηκαν (εικόνα 2.7.3), ώστε να προστατεύονται τα μεγάλα ανοίγματα από το νερό και τους δυνατούς ανέμους.



Εικόνα 2.7.3: Κάλυμμα οπών

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι το κουτί δεν προορίζεται για τοποθέτηση σε τοίχο και θα μπει σε ειδικό σημείο στο έδαφος. Επομένως δε χρειάστηκε να σχεδιαστεί σταυρός στο πίσω μέρος και ανοίγματα δημιουργήθηκαν στα πλαϊνά χωρίς κίνδυνο να περάσει νερό.

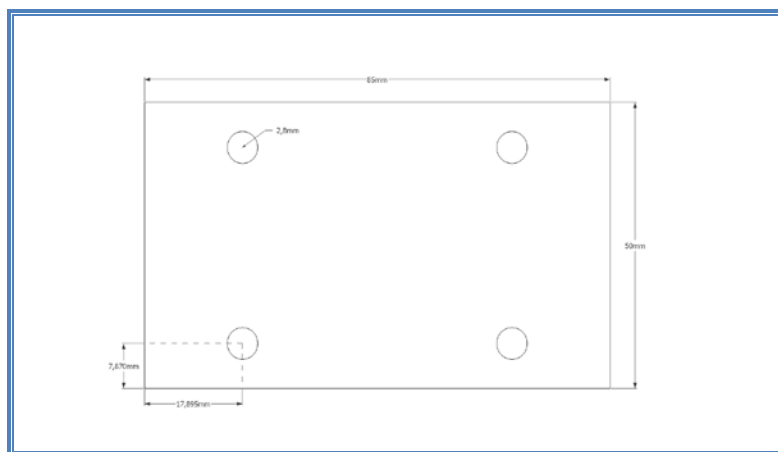
Το κάλυμμα των οπών, όπως φαίνεται παραπάνω, σταματά το νερό που πέφτει, αποτρέπει τους δυνατούς ανέμους να οδηγήσουν το νερό στο εσωτερικό καθώς λειτουργούν και σαν ασπίδες ενάντια σε μικρά αντικείμενα όπως φύλλα.

2.8 Δείγμα 8ο

Τα καλύμματα του παραπάνω κουτιού θα χρειαζόντουσαν από μόνα τους ένα καλούπι και αυτό θα ανέβαζε το συνολικό κόστος. Το καινούριο μοντέλο που σχεδιάστηκε έδωσε το πράσινο φως, συνδυάζοντας όλες τις παραμέτρους συμπεριλαμβανομένου και του κόστους. Κατά το σχεδιασμό δόθηκαν οι τελικές και ακριβείς διαστάσεις της πλακέτας όπου φαίνονται στην εικόνα 2.8.1. Αυτό επέτρεψε το σωστό σχεδιασμό και τη φάση του ελέγχου να δώσει θετικά αποτελέσματα. Το παρακάτω μοντέλο (εικόνα 2.8.2) σχεδιάστηκε ώστε να χρειάζεται τη δημιουργία ενός και μόνο καλουπιού. Το μοντέλο είναι ουσιαστικά δύο πανομοιότυπα κομμάτια. Με αυτόν τον τρόπο το παραγόμενο προϊόν είναι φθηνό και εύκολο στη παραγωγή.

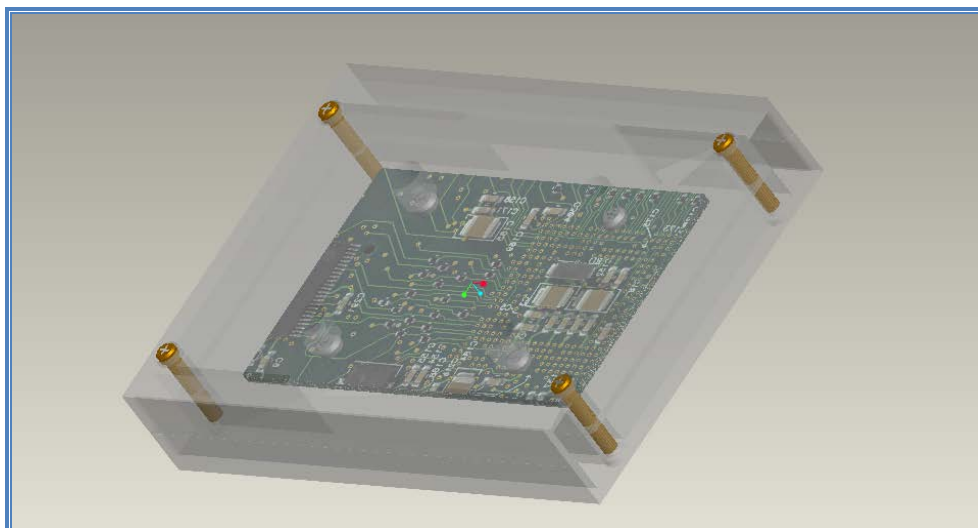
Σε αυτή τη περίοδο, οι διαστάσεις του κουτιού οριστικοποιήθηκαν και επιλέχθηκαν οι βίδες που θα κλείνουν το κουτί και θα στερεοποιούν τη πλακέτα.

Για να γίνει σωστός έλεγχος της ροής αέρα σε θεωρητικό επίπεδο έπρεπε να σχεδιαστεί η πλακέτα, μαζί με τις βίδες και να προστεθούν στη τελική συναρμολόγηση.



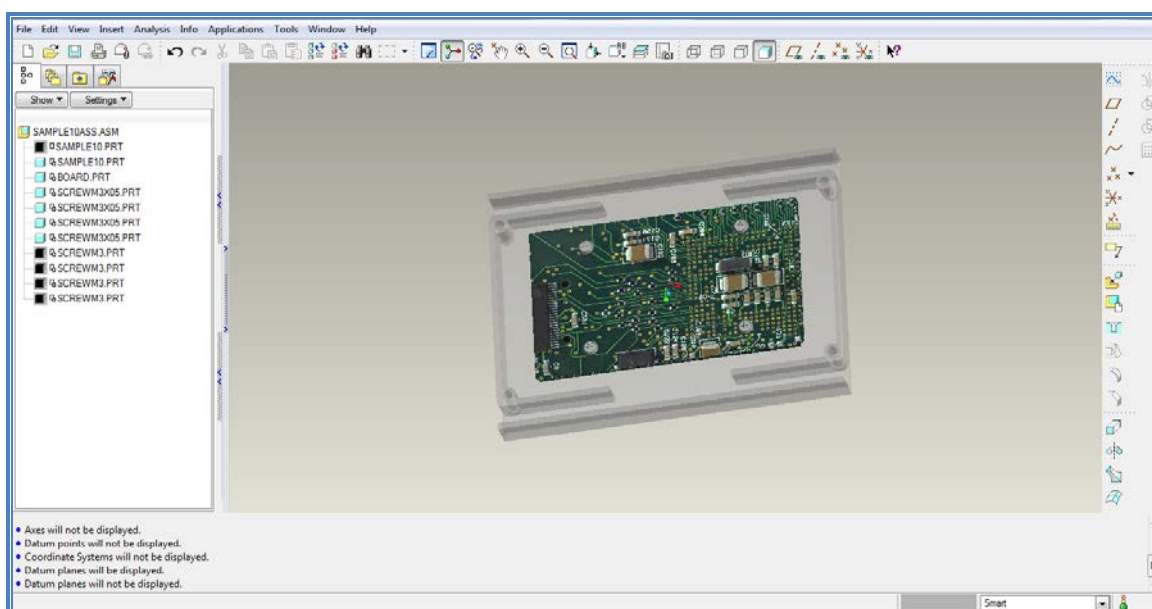
Εικόνα 2.8.1: Διαστάσεις πλακέτας

Σχετικά με τις διαστάσεις, οι διαστάσεις της πλακέτας είναι 85x50x1.57 mm ενώ οι διαστάσεις του κουτιού οριστικοποιήθηκαν στα 110x80x20 mm. Σχετικά με το πάχος των τοιχωμάτων απαιτήθηκε για οικονομία στο πλαστικό να σχεδιαστούν στα 2mm.



Εικόνα 2.8.2: Το δείγμα 8 με μία ματιά

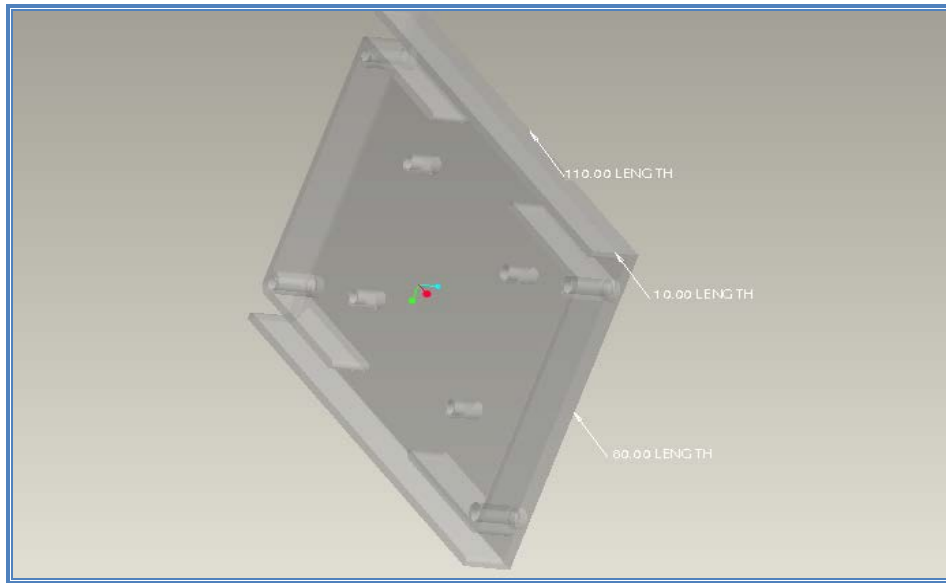
Το σχέδιο αυτό συνδυάζει κάλυμμα για τα ανοίγματα και μεγάλες αερο-θυρίδες σε ένα μόνο τεμάχιο και χωρίς να το κάνει παράλληλα πολύπλοκο και επομένως ακριβό. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.8.3 η πλακέτα τοποθετήθηκε σε μικρές κυκλικές βάσεις με διάμετρο 4 mm έτοιμες να δεχτούν ειδικές αυτοδιατρητές βίδες ώστε η πλακέτα να μένει ασφαλισμένη στις βάσεις. Οι βάσεις ανυψώθηκαν αρκετά ώστε η πλακέτα να βρίσκεται στο κέντρο των αερο-θυρίδων. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η καλή και ομοιόμορφη ροή αέρα παντού στη πλακέτα και επομένως η σωστή λειτουργία των κυκλωμάτων.



Εικόνα 2.8.3: Το κάτω κομμάτι με τη πλακέτα προσαρμοσμένη

Οι βίδες για αυτή την εφαρμογή είναι αυτοδιατρητές M3x15 (M σημαίνει metric, 3mm σε διάμετρο, 15mm σε μήκος) και οι βίδες για τη πλακέτα είναι αυτοδιατρητές M3x3.5 (επίσης καλούνται micro-screws λόγω των

μικρών διαστάσεων τους). Οι αυτοδιατηρητές βίδες έχουν την ιδιότητα ασκώντας ελάχιστη δύναμη να βιδώνονται μόνες τους στο πλαστικό χαράζοντας τη διαδρομή τους, χωρίς να χρειάζεται άνοιγμα οπής.



Εικόνα 2.8.4: Κάτω καπάκι, χωρίς τη πλακέτα, συμπεριλαμβανομένων των διαστάσεων

Χρόνος Σχεδιασμού: 30 λεπτά

2.9 Το τελικό σχέδιο

2.9.1 Επιλογή τελικού σχεδίου

Για την επιλογή του τελικού σχεδίου, έπρεπε να τηρούνται όλες οι απαιτήσεις που διατυπώθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο. Σχεδιάστηκαν αρκετά εναλλακτικά σχέδια, κάθε ένα εμπειρείχε από ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό. Τα περισσότερα σχέδια είχαν περιμετρικά αρμό ή να είναι καμπυλωτά σε πολλά σημεία τους ώστε αισθητικά να έχουν καλή αισθητική. Σχεδιάστηκαν μοντέλα τα οποία είχαν την ιδιότητα της τοποθέτησης στον τοίχο, όταν άλλαξε ο τρόπος τοποθέτησης τα σχέδια αυτά αυτόματα αχρηστεύτηκαν. Όλα τα παραπάνω σχέδια όμως απορρίφθηκαν όχι για τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά τους αλλά επειδή δεν ήταν εντός του κόστους.

Ο υπολογισμός του κόστους παρουσιάζεται πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.9.3. Το τελικό σχέδιο έπρεπε να είναι απλοϊκό, πρακτικό και φθηνό. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε και αναπροσαρμόστηκε στις απαιτήσεις το δείγμα 8, χωρίς να αλλοιωθούν οι προδιαγραφές του.

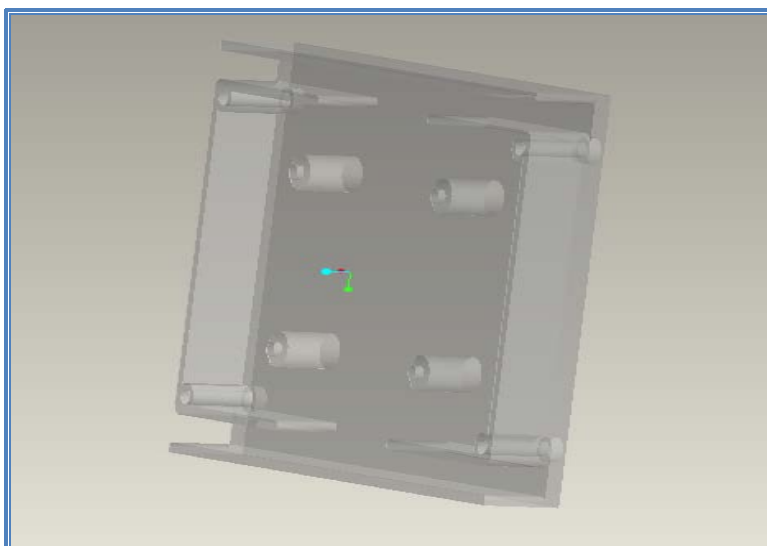
Ακολουθεί ο ανασχεδιασμός του παραπάνω δείγματος.

2.9.2 Το τελικό δείγμα

Παρόλο που το σχέδιο 8 πέρασε όλα τα τεστ, υπήρξε μια ιδέα πριν τον τελικό έλεγχο. Να αντικατασταθούν οι οπές στις βάσεις της πλακέτας με ποδαράκια, όπου σε συνδυασμό με το άλλο κομμάτι ασφαλίζουν τη πλακέτα στη κατάλληλη θέση. Χρησιμοποιώντας βίδες αυξάνεται αδικώς η πολυπλοκότητα και το κόστος.

Από την εικόνα 2.9.1 φαίνεται η διαφορά στις βάσεις ότι αντί για οπές, υπάρχουν μικρά πατήματα με διάμετρο 2.8 mm ώστε να κλειδώνει μέσα σε αυτά η πλακέτα ενώ παράλληλα αυξήθηκε η διάμετρος των βάσεων, για μεγαλύτερη σταθερότητα, στα 7 mm.

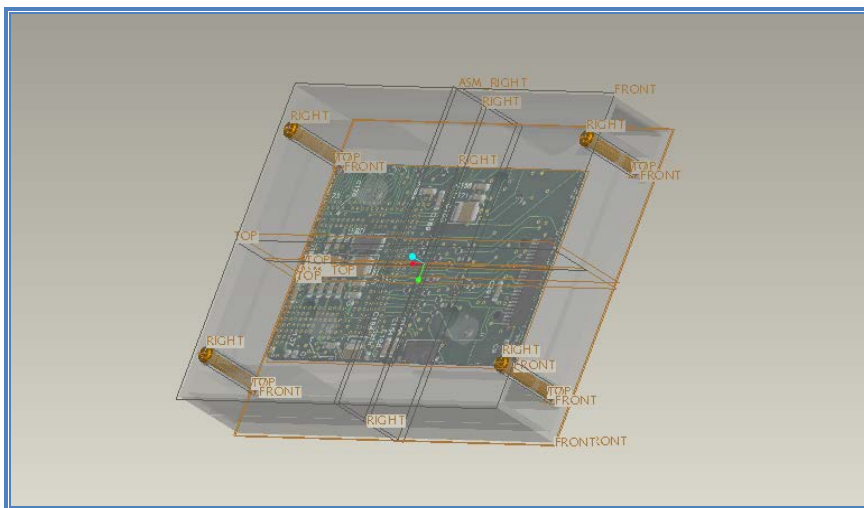
Ακριβώς επειδή το κουτί αποτελείται από το ίδιο κομμάτι, οι προεξοχές είναι ανεβασμένες αρκετά ώστε κατά τη τοποθέτηση των κομματιών η πλακέτα να ασφαλίζεται ενδιάμεσα από τα 2 καπάκια.



Εικόνα 2.9.1: Κάτω καπάκι

Σημείωση πως οι προεξοχές κατά την εναπόθεση των δύο κομματιών δεν εφάπτονται για 1 χιλιοστό. Αυτό σχεδιάστηκε σκόπιμα ώστε κατά τη προτυποποίηση και χύτευση του κουτιού, τυχόν αλλοίωση των διαστάσεων θα επιτρέπει και πάλι στο κουτί να κλείνει σφιχτά στερεώνοντας τη πλακέτα σε οποιοδήποτε σενάριο.

Οι διαστάσεις δεν άλλαξαν κατά το επανασχεδιασμό και οι βίδες του κουτιού τοποθετήθηκαν στο σχέδιο για τον έλεγχο των διαστάσεων όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9.2.



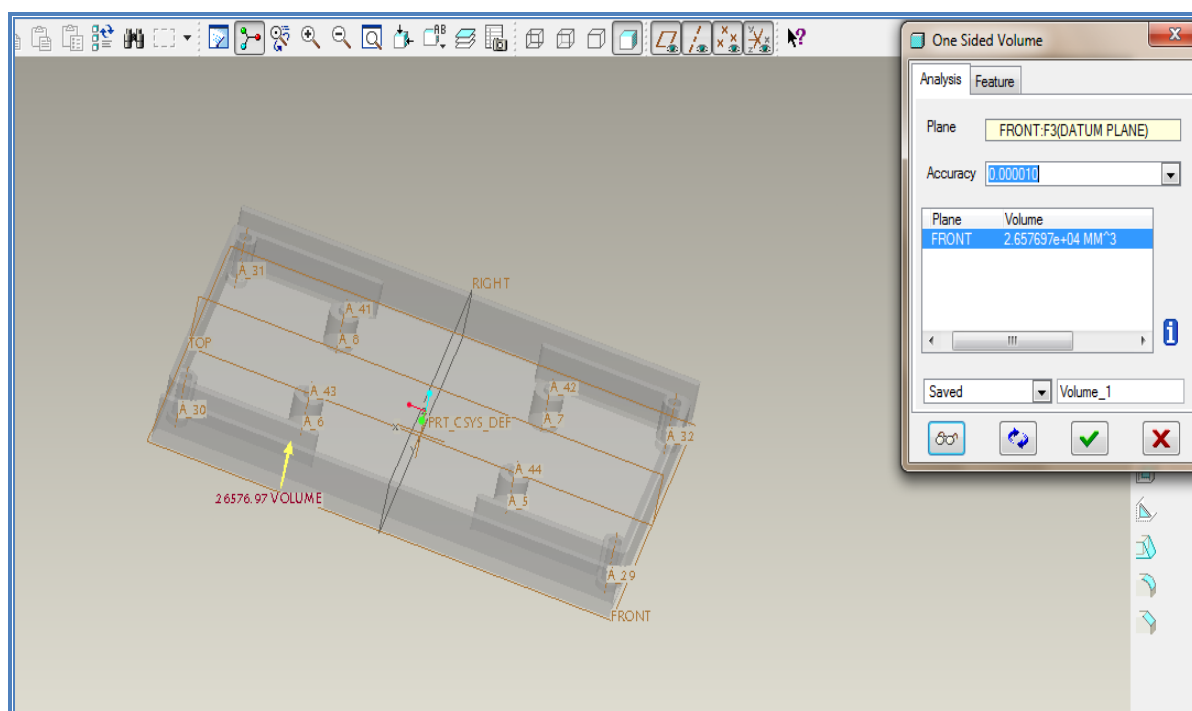
Εικόνα 2.9.2: Το τελικό σχέδιο

Προτού το σχέδιο περάσει στη φάση της προτυποποίησης, έγινε ένας τελικός έλεγχος. Το μοντέλο δεν είχε αρμό για να σφραγίζεται από το νερό αλλά αυτό δεν αποτέλεσε πρόβλημα. Η ροή του αέρα φάνηκε θεωρητικά να είναι καλή από τα πλατιά ανοίγματα και στις δύο πλευρές, βάζοντας καλή ποσότητα αέρα μέσα που περνάει και κάτω και πάνω από τη πλακέτα ενώ παράλληλα τα καλύμματα κρατάνε το νερό έξω. Τα ανοίγματα είναι αρκετά πλατιά ώστε να υπάρχει καλή ροή αέρα ενώ παράλληλα το νερό να μη μπορεί να βρει δίοδο ακόμα και με αέρα. Η πλακέτα φαίνεται αρκετά καλά ασφαλισμένη και δεν υπάρχει περίπτωση να μετακινηθεί.

2.9.3 Υπολογισμός του κόστους

Όσον αφορά το κόστος, όπως προαναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο, για να υπολογιστεί λεπτομερώς χρειάζεται να γίνει ανάλυση όγκου στο τελικό σχέδιο από το λογισμικό pro-engineer.

Ο συνολικός όγκος του κομματιού είναι 26 cm^3 όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 2.9.3. Επίσης δίνεται από τον κατασκευαστή το ειδικό βάρος του πλαστικού μαζί με τον καταλύτη, 1,06 κιλά ανά κυβικό μέτρο. Αυτό συνεπάγεται ότι 10-11 κιλά πλαστικό χρειάζονται για να χυτευτούν 200 κομμάτια όπως και 3.2 κιλά σιλικόνης. Για τη παραγωγή 200 τεμαχίων χρειάζονται να φτιαχτούν 8 καλούπια, διότι κάθε καλούπι καταστρέφεται μετά από περίπου 25 τεμάχια.



Εικόνα 2.9.3: Υπολογισμός του όγκου του κομματιού στο pro-engineer

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, έχοντας τη σιλικόνη περίπου στα 260 ευρώ ανά 10 κιλά και το πλαστικό 220 ευρώ ανά 10 κιλά, το συνολικό κόστος για τη παραγωγή ενός κουτιού ανέρχεται στα 1,652 ευρώ. Το κόστος του πλαστικού για ένα κουτί υπολογίζεται στα 1,3 ευρώ ενώ το κόστος για τη σιλικόνη είναι 0,352 ευρώ συμπεριλαμβανομένων των καταλυτών που χρειάζονται τα υλικά.

Σημαντικό ρόλο για το κόστος έχει η μαζική αγορά των υλικών. Καθώς μετά από την αγορά 20-30 κιλών υπάρχουν διάφορες προσφορές που ρίχνουν τη τιμή. Η σιλικόνη στο εργαστήριο είναι σε 2 συσκευασίες των 10 κιλών η κάθε μια με συνολική τιμή τα 520 ευρώ. Στη τιμή συμπεριλαμβάνονται 4 μπουκάλια του 1^{ος} κιλού καταλύτης. Το πλαστικό έχει τιμολογιακή τιμή 220 ευρώ ανά 10 κιλά.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως το εργαστήριο της σχολής προμηθεύτηκε αυτά τα υλικά στις παραπάνω τιμές και μπορούν να βρεθούν υλικά στην αγορά με τις ίδιες ιδιότητες σε χαμηλότερη τιμή, εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης σε τιμή περίπου 12-18 ευρώ το κιλό με ελάχιστη παραγγελία τα 50 κιλά. Τα υλικά αυτά έχουν διαφορετική ποιότητα από αυτήν που προτείνει ο κατασκευαστής του εξοπλισμού. Τα υλικά αυτά δεν έχουν πιστοποιηθεί από το εργαστήριο ότι είναι κατάλληλα για χρήση με το συγκεκριμένο εξοπλισμό.

Επομένως με συνολικό κόστος 1,652 ευρώ το κουτί η φάση του ελέγχου ολοκληρώθηκε και ξεκίνησε η φάση της προτυποποίησης.

Κεφάλαιο 3: Προτυποποίηση

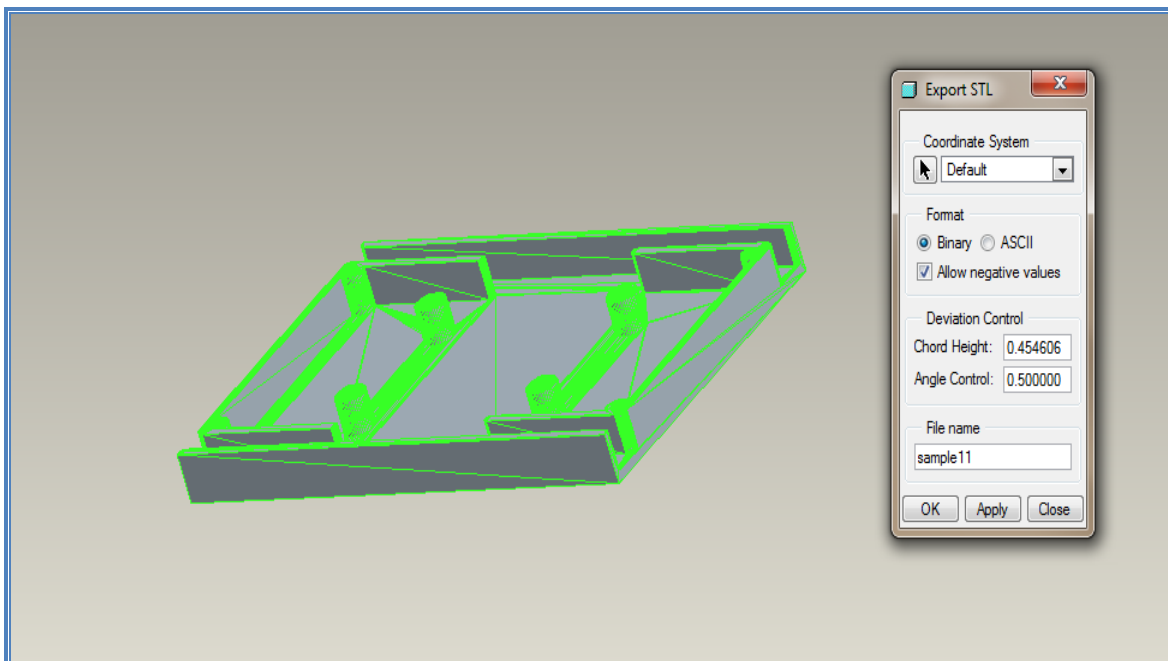
3.1 Το πρωτότυπο

Αφού ολοκληρώθηκε η φάση του σχεδιασμού, έπρεπε να δημιουργηθεί ένα φυσικό πρωτότυπο ώστε με βάση αυτό να χυτευτεί το καλούπι της σιλικόνης. Η πιο διαδεδομένη και εύκολη μέθοδος για τη δημιουργία φυσικού πρωτοτύπου είναι η 3D εκτύπωση.

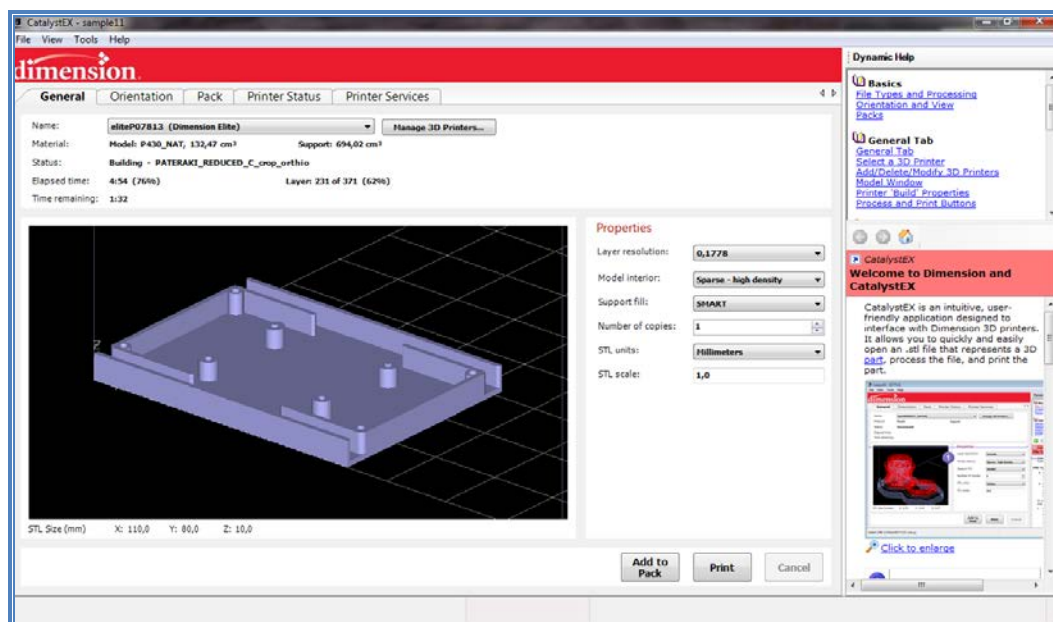
3.1.1 Η διαδικασία προς τη προτυποποίηση

Πρόκειται για μία διαδικασία όπου το αρχικό σχέδιο μεταφράζεται σε τρίγωνα, όσο μικρότερα τόσο μεγαλύτερη λεπτομέρεια αποκτά το σχέδιο και αποθηκεύεται στον υπολογιστή σε αρχείο μορφής .stl (εικόνα 3.1.1). Το λογισμικό του 3D εκτυπωτή έχει τη δυνατότητα να διαβάζει μόνο αρχεία αυτής της μορφής.

Αφού γίνει η εξαγωγή του σχεδίου σε μορφή .stl μέσω του λογισμικού του εκτυπωτή, μεταφέρεται το αρχείο στη μηχανή. Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Dimension Elite. Ο συγκεκριμένος εκτυπωτής μπορεί να εκτυπώσει με ακρίβεια 0,1770mm.

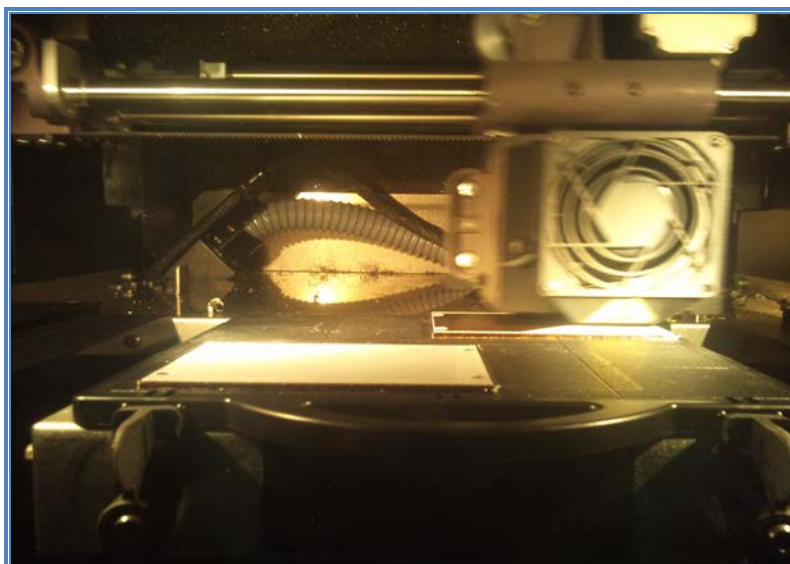


Εικόνα 3.1.1: Το αρχείο σε μορφή .stl



Εικόνα 3.1.2: Το αρχείο στο λογισμικό της μηχανής

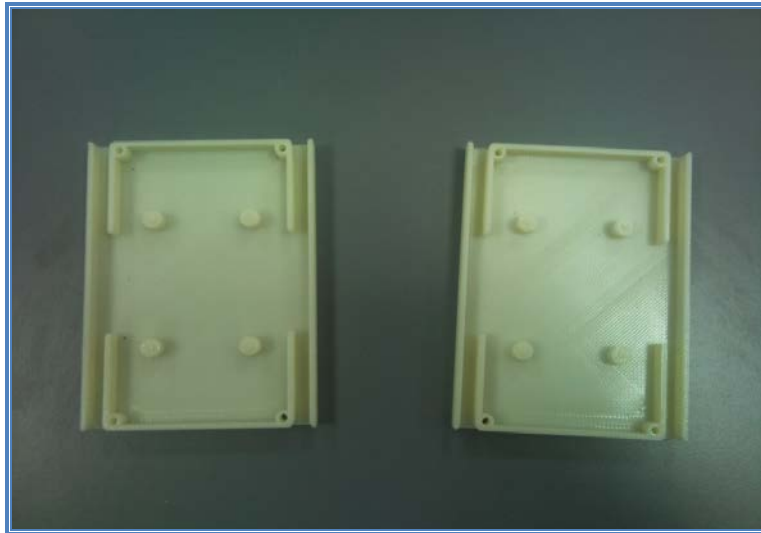
Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου εκτυπωτή είναι η μετατροπή του σχεδίου σε λεπτά στρώματα. Εφόσον τηρούνται οι διαστάσεις εκτύπωσης και είναι το σχέδιο εντός της επιφάνειας εκτύπωσης, η μηχανή χρησιμοποιεί το πρώτο υλικό στήριξης, ώστε να δημιουργήσει κατάλληλη βάση. Αφού δημιουργηθεί η βάση ξεκινά η εναπόθεση λεπτών στρωμάτων ABS+ πλαστικού πάνω από τη βάση, μέχρι να ολοκληρωθεί το σχέδιο (εικόνα 3.1.3).



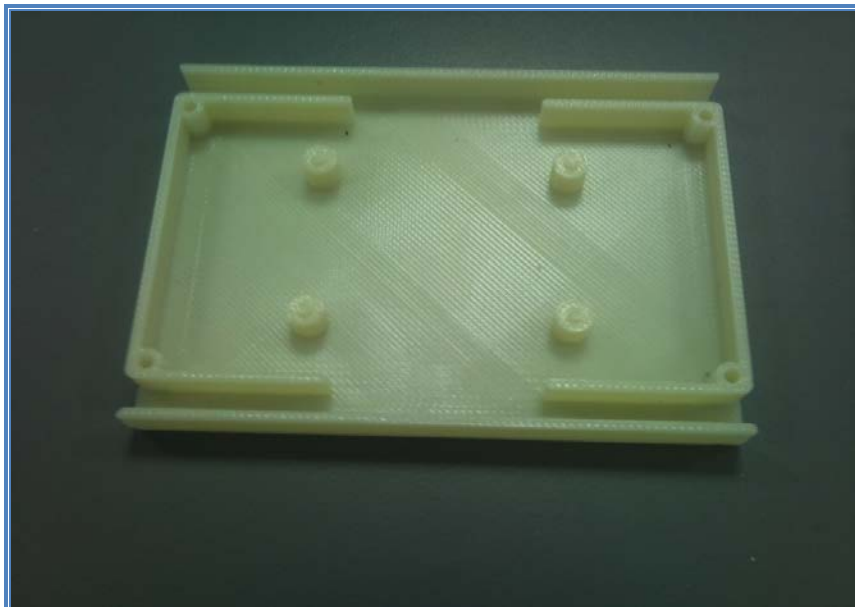
Εικόνα 3.1.3: Διαδικασία εκτύπωσης δύο τεμαχίων

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1.3, εκτυπώνονται δύο τεμάχια. Με καφέ χρώμα είναι η βάση όπου τυπώθηκε πρώτη ενώ με άσπρο είναι το πλαστικό ABS+ που σταδιακά εναποτίθεται σε στρώσεις. Ο συνολικός χρόνος εκτύπωσης των δύο τεμαχίων ήταν περίπου 2 ώρες και 45 λεπτά.

Στο τέλος της εκτύπωσης αποκολλάται η βάση από τα τεμάχια αφήνοντας μόνο το πλαστικό ABS, όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες, 3.1.4, 3.1.5, 3.1.6.

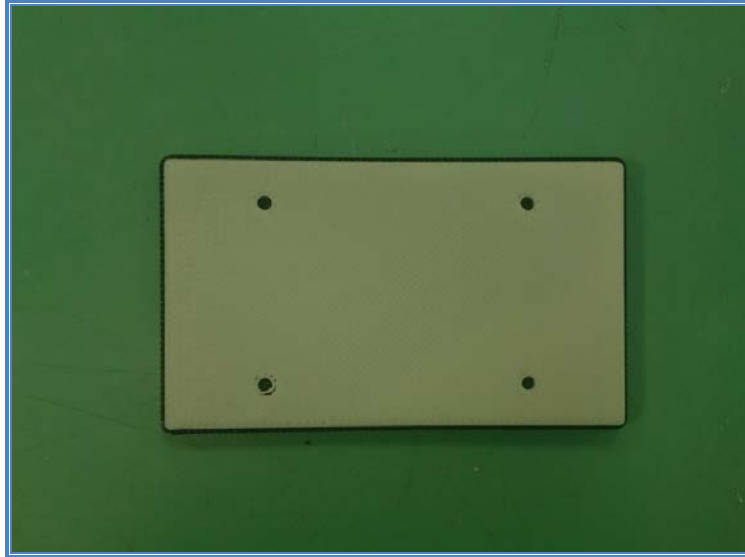


Εικόνα 3.1.4: Τα 2 εκτυπωμένα κομμάτια



Εικόνα 3.1.5: Ένα από τα εκτυπωμένα κομμάτια

Μαζί με τα δύο κομμάτια που απαρτίζουν το κουτί εκτυπώθηκε και ένα απλουστευμένο ομοίωμα της πλακέτας (εικόνα 3.1.6) ώστε όταν χυτευτούν τα πλαστικά, διάφανα κομμάτια να γίνει λεπτομερής έλεγχος διαστάσεων και σωστής εφαρμογής.



Εικόνα 3.1.6: Ομοίωμα πλακέτας

Σε τέλεια εφαρμογή και τα δύο κομμάτια χωρίς καμία ατέλεια από τον εκτυπωτή απεικονίζονται παρακάτω στην εικόνα 3.1.7.



Εικόνα 3.1.7: Το συναρμολογημένο κουτί

Εφόσον εκτυπώθηκαν τα κομμάτια και έγιναν οι κατάλληλοι έλεγχοι, η επόμενη φάση ήταν η κατασκευή του καλουπιού.

3.2 Κατασκευή καλουπιού σιλικόνης

Για τη κατασκευή του καλουπιού αρχικά έπρεπε να κατασκευαστεί ένα πλαίσιο. Το πλαίσιο ήταν αναγκαίο ώστε να φιλοξενήσει μέσα το ένα από τα εκτυπωμένα κομμάτια και να μπορέσει να συγκρατήσει τη σιλικόνη μέχρι να στερεοποιηθεί.

Ένα ερώτημα που τέθηκε όσο συναρμολογούταν το πλαίσιο ήταν εάν το καλούπι θα γίνει ανοικτό η κλειστό. Λόγο τον οπών και των μικρών διαστάσεων, καθώς και της απαίτησης η επάνω επιφάνεια να είναι λεία προτιμήθηκε το ανοικτό καλούπι. Δηλαδή η σιλικόνη να μη καλύπτει τελείως το πρωτότυπο αλλά να σταματάει οριακά στην επάνω επιφάνεια.

Η λογική πίσω από αυτή την επιλογή ήταν ότι η σιλικόνη αποτυπώνει τα πάντα. Και έτσι αν το καλούπι γινόταν κλειστό η επάνω επιφάνεια θα ήταν αποτύπωση της σιλικόνης μαζί με τις ατέλειες που θα αποτύπωνε από το πρωτότυπο. Ενώ με το ανοικτό καλούπι το πλαστικό που θα χυτευτεί φτιάχνει μόνο του την επιφάνεια, χωρίς πίεση, λεία. Το τελικό καλούπι είναι ένα ενιαίο κομμάτι ενώ με το κλειστό καλούπι θα ήταν δύο τα κομμάτια.

3.2.1 Το πλαίσιο του καλουπιού

Το πλαίσιο του καλουπιού έπρεπε να είναι σκληρό και στεγανό ώστε να μπορεί να συγκρατήσει τη σιλικόνη όπως και επίσης να είναι σε μετρημένες διαστάσεις χωρώντας το πρότυπο μέσα. Το ποιο απλό και φτηνό πλαίσιο είναι από σκληρό χαρτόνι.

Χρησιμοποιήθηκε χαρτόκουτα η οποία κόπηκε στις διαστάσεις του πρωτοτύπου αφήνοντας κενό περιμετρικά 1 με 2 εκατοστά. Τα τοιχώματα του πλαισίου σφραγίστηκαν με θερμοκόλα και βεβαιώθηκε πως είναι σταθερά.

Ένας ακόμη παράγοντας που πάρθηκε υπό όψη είναι ο όγκος του πλαισίου. Ο όγκος του πρωτοτύπου είναι 26 κυβικά εκατοστά επομένως μετρήθηκαν οι διαστάσεις του πλαισίου, υπολογίστηκε ο όγκος του πλαισίου και από αυτόν αφαιρέθηκε ο όγκος του πρωτοτύπου. Με αυτή τη διαδικασία έγινε γνωστή η ποσότητα της σιλικόνης που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί.

Οι διαστάσεις του πλαισίου ήταν 25x110x140 mm. Σημείωση πως το πρωτότυπο έπρεπε να είναι τοποθετημένο με τέτοιο τρόπο στο πλαίσιο έτσι ώστε να αφήνει ένα κενό 2 κυβικά εκατοστά από κάτω του για να περάσει η σιλικόνη.

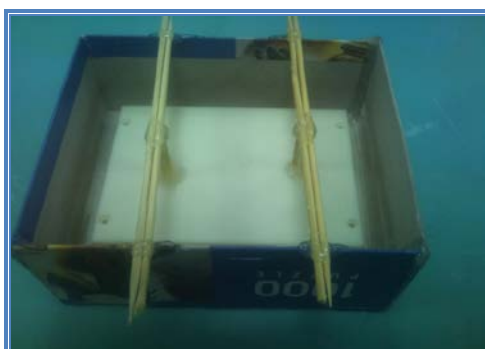


Εικόνα 3.2.1.1: Το πλαίσιο

3.2.2 Στερεώνοντας το πρωτότυπο

Αφού κατασκευάστηκε το πλαίσιο (εικόνα 3.2.1.1), έπρεπε το πρωτότυπο με κάποιο τρόπο να στηριχθεί μέσα αφήνοντας το κενό από κάτω και να είναι σωστά ευθυγραμμισμένο. Η πιο φθηνή και αξιόλογη λύση ήταν να γίνει στήριξη με ξύλινα καλαμάκια.

Αρχικά η ιδέα ήταν να θερμοκολληθούν 2 στηρίγματα από καλαμάκια κάθετα στο κουτί και κάθετα σε αυτά στο μέσο τους κοντά καλαμάκια που θα κατεβάζουν το πρωτότυπο στο απαιτούμενο βάθος. Η τεχνική στήριξης φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 3.2.2.1.



Εικόνα 3.2.2.1: Το πλαίσιο & το πρωτότυπο μαζί με τις στηρίξεις

Το πρωτότυπο έπρεπε να είναι σταθερό καθ όλη τη διαδικασία χύτευσης της σιλικόνης και να βρίσκεται ισομετρικά μέσα στο πλαίσιο έτσι ώστε τα τοιχώματα του καλουπιού να είναι αναλογικά και με σωστό πάχος. Για αυτό το λόγο στα ξύλινα καλαμάκια μπήκε θερμοκόλλα ασφαρίζοντάς τα στο πλαίσιο.

Εφόσον το πλαίσιο είναι έτοιμο και το πρωτότυπο φάνηκε καλά στερεωμένο έγινε παρακάτω η προετοιμασία για το καλούπι.

3.2.3 Προετοιμασία για το καλούπι

Προτού γίνει η χύτευση σιλικόνης έπρεπε να ολοκληρωθούν τα πρώτα στάδια. Η μελέτη της αναλογίας της σιλικόνης (εικόνα 3.2.3.1) και ο τρόπος λειτουργίας της αντλίας κενού. Η σιλικόνη που διαθέτει το εργαστήριο για αυτή την εργασία είναι 2 στοιχείων, Essil 291 της εταιρίας Axson.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						
		Ρυπίνη ESSIL 291	Καταλύτης ESSIL 291	Καταλύτης OIL ESSIL 292	Καταλύτης ESSIL 293	Καταλύτης OIL ESSIL 294
Αναλογία μίξης κατά βάρος		100	10	10	10	
Οψη		Παχύρευστο υγρό	Υγρό	Υγρό	Υγρό	Λάδι
Χρώμα		Ημιδιαφανές	Διαφανές	Διαφανές	Διαφανές	
Ρευστότητα 25°C (mPa.s)	Brookfield LVT	43,000	10,000	4,000	500	

			Essil 291/291	Essil 291/292	Essil 291/293	Essil 291/294
Ρευστότητα 25°C	Brookfield LVT	MPa.s	40,000	40,000	35,000	
Διάρκεια ρευστότητας		Λεπτά	60	60	70	
Χρόνος στερεοποίησης		Ώρες	12	12	12	
Στερεοποίηση στους 75 C		Ώρες	4	4	4	

Εικόνα 3.2.3.1: φυσικές ιδιότητες σιλικόνης και καταλύτη Essil 291

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα σωστό και απεγάδιαστο καλούπι η αναλογία της σιλικόνης με τον καταλύτη έπρεπε να είναι ακριβής. Επίσης, έπρεπε να γίνει αφαίρεση του αέρα από τη σιλικόνη.

Για την αφαίρεση του αέρα, χρησιμοποιήθηκε η αντλία κενού του εργαστηρίου της εταιρίας MK Technologies. Όλη η διαδικασία αφαίρεσης του αέρα έπρεπε να μελετηθεί εις βάθος από τα εγχειρίδια του

κατασκευαστή προς αποφυγή πρόκλησης ζημιών στην αντλία κενού καθώς έπρεπε να μελετηθούν και οι αντίστοιχοι οδηγοί για τη σιλικόνη.

Βασικά βήματα προετοιμασίας δημιουργίας καλουπιού:

- Έλεγχος του πλαισίου και του πρωτοτύπου
- Μελέτη φυλλαδίων κατασκευαστή για σιλικόνη και αντλία κενού
- Υπολογισμός όγκου απαιτούμενης σιλικόνης
- Υπολογισμός όγκου απαιτούμενης ρητίνης και καταλύτη
- Καθαρισμός του σκεύους μίξης σιλικόνης καθώς και των μετρητών αναλογίας
- Καθαρισμός της αντλίας κενού
- Προθέρμανση της αντλίας κενού

3.2.3.1 Υπολογισμός αναλογιών σιλικόνης

Με βάση τις διαστάσεις του πλαισίου, υπολογίστηκε ο εσωτερικός όγκος, $11 \times 14 \times 2.5 \text{ cm} = 359 \text{ cm}^3$. Από αυτόν τον όγκο αφαιρέθηκε ο όγκος του πρωτοτύπου (26 cm^3). Άρα έμειναν $326,35$ κυβικά εκατοστά για να συμπληρωθούν με σιλικόνη.

Ο κατασκευαστής της σιλικόνης στο εγχειρίδιο είχε τις αναλογίες κατά βάρος. Επομένως πρέπει να γίνει μετατροπή των αναλογιών σε κατά όγκο. Οι αναλογίες είναι οι ακόλουθες, Μέρος Α : 100gr , μέρος Β : 10 gr . Με τον παρακάτω τύπο έγιναν οι μετατροπές και για τη σιλικόνη και για το πλαστικό.

$M = \rho V$ όπου m είναι η μάζα, ρ είναι η πυκνότητα και V είναι ο όγκος. Λύνεται ως προς τον όγκο, με πυκνότητα $1,18$ για το μέρος Α και $1,05$ για το μέρος Β και οι αναλογίες κατά όγκο είναι 84.74 ml Α μέρος και 35 ml Β μέρος. Εφόσον στο σύνολο έχουμε 11 μέρη, 10 μέρη σιλικόνης και 1 μέρος καταλύτη, ο όγκος που χρειάζεται να καλυφθεί πρέπει να διαιρεθεί με 11. Άρα $359/11 = 32,63$. Συμπεριλαμβανομένων των παραπάνω και με τη λογική ότι θα χαθεί ποσότητα σιλικόνης στη πορεία (από τα κύπελλα ανάμιξης, από το αναδευτήρα) οι τελικές αναλογίες είναι 350 ml σιλικόνης μέρος Α και 35 ml καταλύτη, φτιάχνοντας στο σύνολο 385 ml σιλικόνης.

Οι αναλογίες έπρεπε να τηρηθούν κατά γράμμα, διότι αν ο καταλύτης ήταν σε ποσότητα περισσότερο από το αναγραφόμενο ο χρόνος σκλήρυνσης της σιλικόνης μειώνεται και υπάρχει μεγάλη περίπτωση να στερεοποιηθεί εντός της αντλίας κενού κατά τη διάρκεια αφαίρεσης του αέρα.

Σημαντικός παράγοντας για τη ταχύτητα σκλήρυνσης της σιλικόνης εκτός των αναλογιών είναι και η ζωή του προϊόντος στο ράφι. Δηλαδή η ημερομηνία λήξης.

3.3 Χύτευση σιλικόνης

Εφόσον παραπάνω υπολογίστηκαν οι αναλογίες, υπάρχουν τα υλικά, τα εξαρτήματα, τα κύπελλα και η αντλία κενού είναι προθερμασμένη γίνεται όπως περιγράφεται παρακάτω η χύτευση της σιλικόνης στο πλαίσιο.

3.3.1 Η πρώτη προσπάθεια

Η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας του καλουπιού δεν στέφθηκε με επιτυχία. Το πρώτο βήμα ήταν να σχεδιαστεί η αναλογία σε ειδικά πλαστικά κύπελλα. Πρώτα με νερό έγινε η μέτρηση και χάραξη στο κύπελλο μίξης για τη πρώτη στάθμη των 350 ml και έπειτα σε άλλο μικρότερο δοχείο με μικρότερη κλίμακα μέτρησης χαραχτηκε η στάθμη των 35 ml.

Χωρίς να ξεφύγουν οι αναλογίες, προσεκτικά τοποθετώντας τα δύο στοιχεία στα κύπελλα και μετά στο κύπελλο μίξης γίνεται η ανάδευση όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 3.3.1.1 και 3.3.1.2.



Εικόνα 3.3.1.1: Ανάδευση στο δοχείο μίξης

Η ανάδευση συνεχίζεται μέχρις ότου η σιλικόνη αποκτήσει ενιαίο χρώμα και υφή. Χρειάζεται καλό ανακάτεμα διότι αν ο καταλύτης μείνει σε ποσότητα σε ένα σημείο αυτό συνεπάγεται σε αποτυχία του καλουπιού αφήνοντας σημεία όπου η σιλικόνη δεν θα έχει στερεοποιηθεί.



Εικόνα 3.3.1.2: Ανάδευση σιλικόνης

Αφού η σιλικόνη απέκτησε το χρώμα και την υφή, το κύπελλο τοποθετήθηκε στην αντλία κενού και ξεκίνησε να αφαιρείται ο αέρας σταδιακά από μέσα.

Όταν η αντλία κενού φτάσει τη πίεση – 0,8 bar το μείγμα φουσκώνει, αυξάνει σε όγκο και φουσκάλες αέρα είναι πλέον εμφανείς στην επιφάνεια και στο εσωτερικό (εικόνα 3.3.1.3).

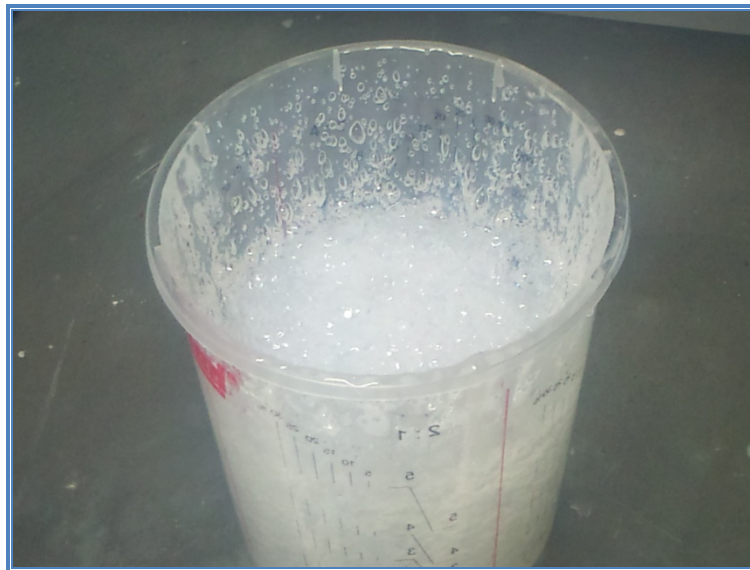


Εικόνα 3.3.1.3: Το δοχείο του μείγματος στην αντλία κενού

Στο συγκεκριμένο σημείο εμφανίστηκε το πρόβλημα. Το δοχείο μίξης ήταν μικρό οπότε η σιλικόνη δεν μπορούσε να αυξήσει τον όγκο της και να αποβάλει τον αέρα χωρίς να γίνει υπερχειλίση. Το μείγμα πρέπει να

μείνει 10-15 λεπτά στην αντλία κενού και αυτά σε πίεση – 1 bar. Όταν η σιλικόνη ήταν έτοιμη να υπερχειλίσει έπρεπε να κλείνει η αντλία κενού ώστε το μείγμα να κατασταλάξει προτού γίνει αφαίρεση αέρα ξανά.

Έτσι φυσικό και επόμενο, η σιλικόνη έμεινε παραπάνω ώρα στην αντλία κενού, όχι στην απαιτούμενη πίεση και ξεκίνησε να στερεοποιείται. Αυτό φαίνεται από τη παραπάνω εικόνα όπου με το κλείσιμο της αντλίας η σιλικόνη στα τοιχώματα δεν καθίζει (εικόνα 3.3.1.4). Έτσι το επόμενο βήμα ήταν να χυθεί γρήγορα στο πλαίσιο και να ξανά τοποθετηθεί στην αντλία.



Εικόνα 3.3.1.4: Η σιλικόνη την ώρα που απότομα κλείνει η αντλία και καθησυχάζει

Το πλαίσιο έπρεπε να τοποθετηθεί στην αντλία κενού μετά τη χύτευση της σιλικόνης ώστε να φύγει τυχόν αέρας από την έκχυση σιλικόνης στο πλαίσιο. Και αν αέρας είχε εγκλωβιστεί μέσα με την αντλία κενού να μην κάτσει κεντρικά, στις μεγάλες επιφάνειες αλλά στις γωνίες.

Εδώ υπήρξαν δύο προβλήματα. Αρχικά ήταν η στερεοποίηση της σιλικόνης. Χάθηκε αρκετή ποσότητα κατά τη μεταφορά από το κύπελλο στο πλαίσιο και έτσι το πλαίσιο τελευταία στιγμή έπρεπε να ανακατασκευαστεί. Πρακτικά με χαρακίες κατέβηκαν τα ξύλινα καλαμάκια πιο κάτω κατεβάζοντας και το ίδιο το πρωτότυπο πιο χαμηλά στο πλαίσιο. Ευτυχώς η απόσταση εξ αρχής ήταν περίσσια και στο κατέβασμα δεν είχαμε θέμα μήπως το δοκίμιο ακουμπήσει το πλαίσιο. Όμως ένα άλλο πρόβλημα προέκυψε. Η χαρακίες για το κατέβασμα δεν έγιναν ομοιόμορφες και έτσι το πρωτότυπο πείρε κλίση μέσα στο πλαίσιο. Κάτι που φάνηκε πολύ αργότερα.



Εικόνα 3.3.1.5: Το πλαίσιο με τη σιλικόνη στην αντλία κενού

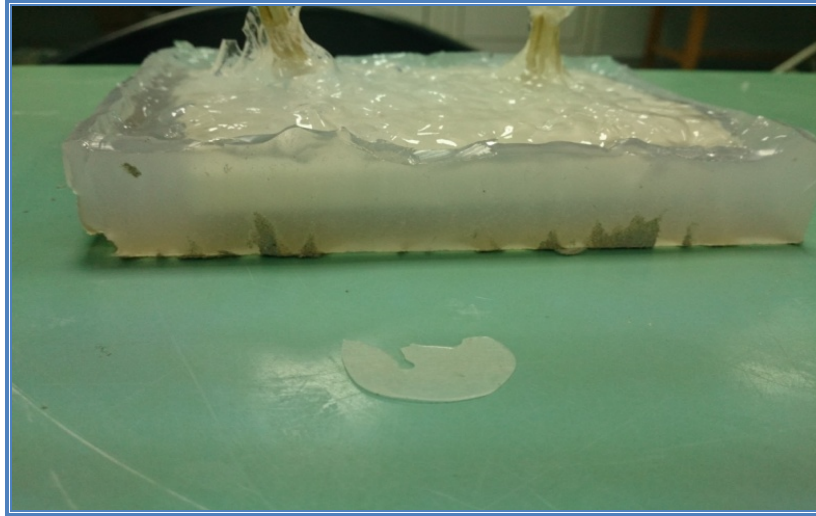
Λόγο της γρήγορης στερεοποίησης της σιλικόνης, ακόμα και με επιφάνεια ανοικτή όπως του πλαισίου η σιλικόνη στερεοποιήθηκε πλήρως εντός της αντλίας κενού παγιδεύοντας μεγάλη ποσότητα αέρα στο εσωτερικό. Ακόμα και όταν βγήκε το πλαίσιο από την αντλία κενού λόγω της στερεοποίησης ήταν ανώφελο να μπει στο φούρνο όπως προτείνει ο κατασκευαστής.

Αφού είχε στερεοποιηθεί τελείως, το πλαίσιο αφαιρέθηκε και έμεινε το καλούπι όπως απεικονίζεται παρακάτω (εικόνα 3.3.1.6, 3.3.1.7).



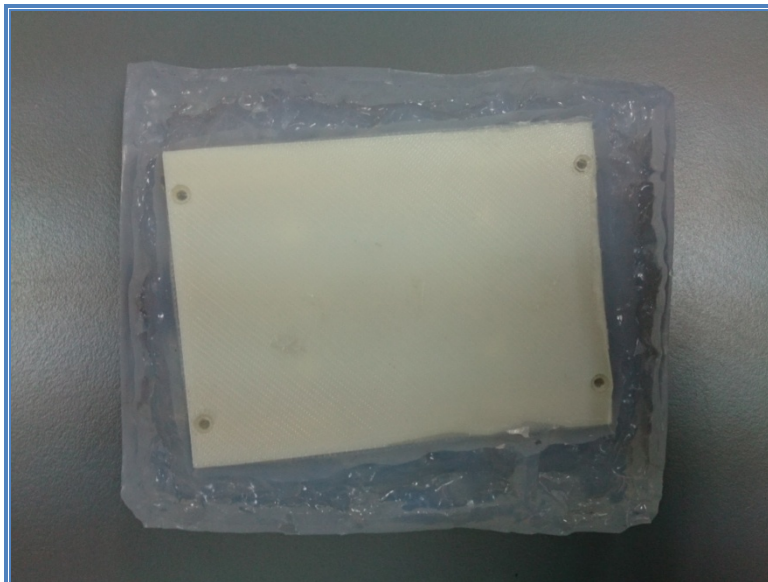
Εικόνα 3.3.1.6: Το πρώτο καλούπι

Όπως φαίνεται παραπάνω το πρωτότυπο πείρε εμφανή κλίση και λόγω της απότομης στερεοποίησης της σιλικόνης η επιφάνεια του καλουπιού είναι τραχιά.



Εικόνα 3.3.1.7: Το πρώτο καλούπι από διαφορετική γωνία

Σε αυτή τη φάση δεν είναι δυνατό να ξέρουμε αν στο εσωτερικό του καλουπιού έχει μείνει αέρας και πώς έχει αποτυπωθεί το πρωτότυπο. Η επόμενη κίνηση ήταν να γίνουν τομές περιφερικά του πρωτοτύπου ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί από μέσα αφήνοντας το καλούπι (εικόνα 3.3.1.8).



Εικόνα 3.3.1.8: Το καλούπι με τις τομές και το πάνω κάλυμμα να έχει αφαιρεθεί

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι προκειμένου να βγει το δοκίμιο από το καλούπι χωρίς να προκληθεί ζημιά, οι διαμορφώσεις για τις βίδες, στα άκρα του κουτιού έπρεπε να κοπούν ώστε οι οπές στη χύτευση να βγουν όπως πρέπει. Αυτό συνεπάγεται ότι διαμορφώσεις για τις βίδες στο τελικό πλαστικό κομμάτι δεν θα υπάρχουν.

Όπως φάνηκε παραπάνω, στην εικόνα 3.3.1.9, όχι μόνο το καλούπι αποθήκευσε αέρα αλλά και η επιφάνεια που άφησε το πρωτότυπο ήταν τραχιά με γραμμές από την εκτύπωση να είναι εμφανείς.



Εικόνα 3.3.1.9: Το καλούπι χωρίς το πρωτότυπο

Ο αέρας που αποθήκευσε μέσα και η επιφάνεια που δεν ήταν λεία απαγόρευσαν τη χύτευση του πλαστικού κάνοντας άχρηστο το καλούπι (εικόνα 3.3.1.8). Με τη παραμικρή εναπόθεση βάρους η επιφάνεια βούλιαζε προς τα μέσα, ενώ η επιφάνεια σιλικόνης είχε τρομακτικά μικρό πάχος λόγω του αέρα από κάτω. Αν χυτεύοταν πλαστικό, στο ξεκαλούπωμα το καλούπι θα καταστρεφόταν παντελώς.



Εικόνα 3.3.1.8: Μελετώντας το πρώτο καλούπι

3.3.2 Η δεύτερη προσπάθεια

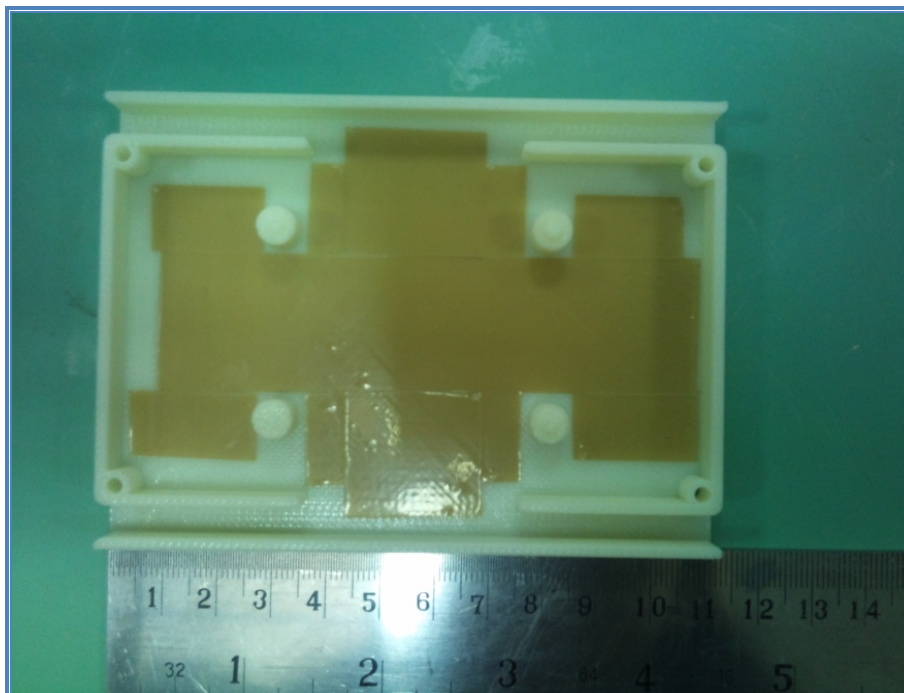
Ανακεφαλαιώνοντας από τη παραπάνω διαδικασία έπρεπε να λυθούν τα ακόλουθα προβλήματα:

- Στερεοποίηση της σιλικόνης
- Επιφάνεια καλουπιού

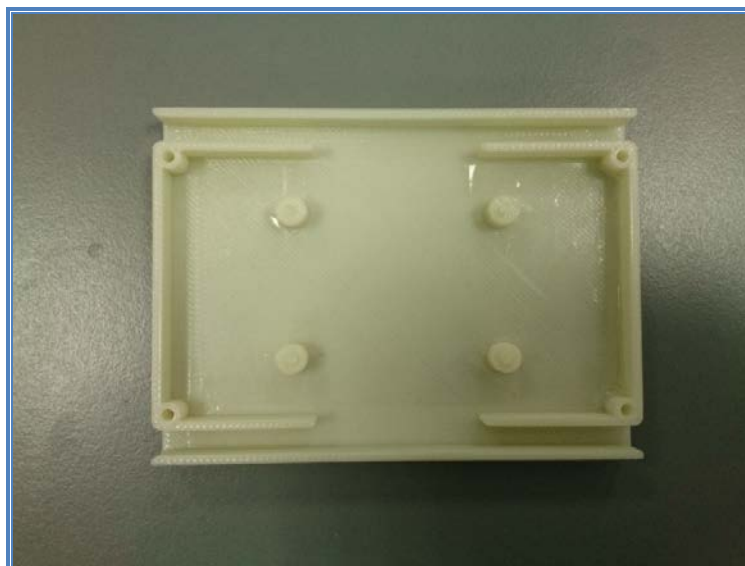
Όσον αφορά τη στερεοποίηση της σιλικόνης ,ξαναδιαβάζοντας τις σημειώσεις του κατασκευαστή, βγήκε το συμπέρασμα ότι το δοχείο μίξης ήταν πρακτικά πολύ μικρό. Βρέθηκε αντίστοιχο λοιπόν δοχείο διπλάσιο σε μέγεθος.

Όσον αφορά την επιφάνεια που αφήνει το πρωτότυπο, η ιδέα ήταν να καλυφθεί η επιφάνεια του δοκιμίου με μονωτική ταινία ή με διαφάνεια που ντύνουν τα βιβλία.

Παρακάτω απεικονίζεται το δοκίμιο με ταινία (εικόνα 3.3.2.1) και διαφάνεια (εικόνα 3.3.2.2).



Εικόνα 3.3.2.1: Το πρωτότυπο με ταινία



Εικόνα 3.3.2.2: Το πρωτότυπο με διαφάνεια

Η μονωτική ταινία εξομάλυνε τις γραμμές εκτύπωσης αλλά όχι τόσο καλά όσο η διαφάνεια. Όμως και με τη διαφάνεια οι γραμμές ήταν και πάλι ορατές.

Η λύση δόθηκε τρίβοντας προσεκτικά το δοκίμιο με υαλόχαρτο νερού 1000 ψιλό και στη συνέχεια χοντρό 380 (εικόνα 3.3.2.3). Αφού οι μεγάλες επιφάνειες είχαν εξομαλυνθεί, από πάνω προσαρμόστηκε προσεκτικά, διαφάνεια κομμένη σε πλαίσιο στις διαστάσεις του κουτιού. Οι οπές έγιναν πολύ προσεκτικά κυκλικές ώστε να περνούν από μέσα οι βάσεις τις πλακέτας. Δυστυχώς το κόψιμο δεν ήταν ακριβείας και σε αρκετά σημεία καθώς και στα άκρα του κουτιού η διαφάνεια δεν κάλυπτε.



Εικόνα 3.3.2.3: Το πρωτότυπο περασμένο με ψιλό υαλόχαρτο

Εφόσον ετοιμάστηκαν για ακόμη μια φορά όλα τα απαιτούμενα εργαλεία, έπρεπε να κατασκευαστεί το καινούριο πλαίσιο. Υπήρξε μια καινούρια ιδέα στήριξης του πρωτοτύπου στο πλαίσιο. Αυτή τη φορά η πάνω επιφάνεια, η λεία, θα θυροκολλούταν απευθείας στην κάτω επιφάνεια του πλαισίου. Η θερμοκόλα είχε πάχος 1 cm και μπήκε πάνω στο δοκίμιο, στο κέντρο του σε σχήμα παραλληλεπίπεδου. Η λογική πίσω από αυτή τη κίνηση ήταν ότι θα περνούσε σιλικόνη από κάτω 1 εκατοστό, ακριβός όση αφήνει η θερμοκόλα και το παραλληλεπίπεδο δεν θα άφηνε τη σιλικόνη να περάσει δημιουργώντας κατευθείαν άνοιγμα για την αφαίρεση του πρωτοτύπου.

Το πλαίσιο που κατασκευάστηκε είχε τις ίδιες διαστάσεις διαστάσεις με το προηγούμενο.

Προχωρώντας έγινε ξανά η μίξη των συστατικών της σιλικόνης, προθερμάνθηκε η αντλία το πλαίσιο ήταν έτοιμο όπως και το πρωτότυπο μέσα και το μείγμα μπήκε ξανά στην αντλία. Πράγματι με το μεγαλύτερο κύπελλο δεν χρειάστηκε να κλείσει η αντλία καθόλου και ο αέρας αφαιρέθηκε επιτυχώς σε 12 μόλις λεπτά (εικόνα 3.3.2.4). Η αντλία μπόρεσε να φτάσει την επιθυμητή πίεση αλλά και να μείνει σταθερή εκεί (-1 bar).

Αφού αφαιρέθηκε ο αέρας και κάθισε το μείγμα, φάνηκε η καθαρότητα και ότι δεν είχε μείνει ίχνος αέρα μέσα. Και πάλι όμως για ανεξήγητο λόγο η σιλικόνη άρχισε να στερεοποιείται. Όχι απαγορευτικά για τη χύτευσή της αλλά εφόσον οι αναλογίες ήταν ολόσωστες και ο κατασκευαστής δίνει ώρα σκλήρυνσης τις 12 ώρες τα 15-20 λεπτά είναι παράλογα.



Εικόνα 3.3.2.4: Το μεγαλύτερο δοχείο μίξης με τη σιλικόνη να «βράζει» στην αντλία κενού.

Μετά χυτεύτηκε η σιλικόνη απευθείας στο πλαίσιο και το πλαίσιο πείρε τη θέση του στην αντλία κενού. Το αποτέλεσμα είναι καλό, οι φυσαλίδες αέρα ήταν ανύπαρκτες, το μείγμα ήταν κρυστάλλινο και διαφανές και το δοκίμιο στη θέση του.

Παρακάτω απεικονίζονται τα στάδια αφαίρεσης του αέρα από το πλαίσιο (εικόνα 3.3.2.5-3.3.2.9).



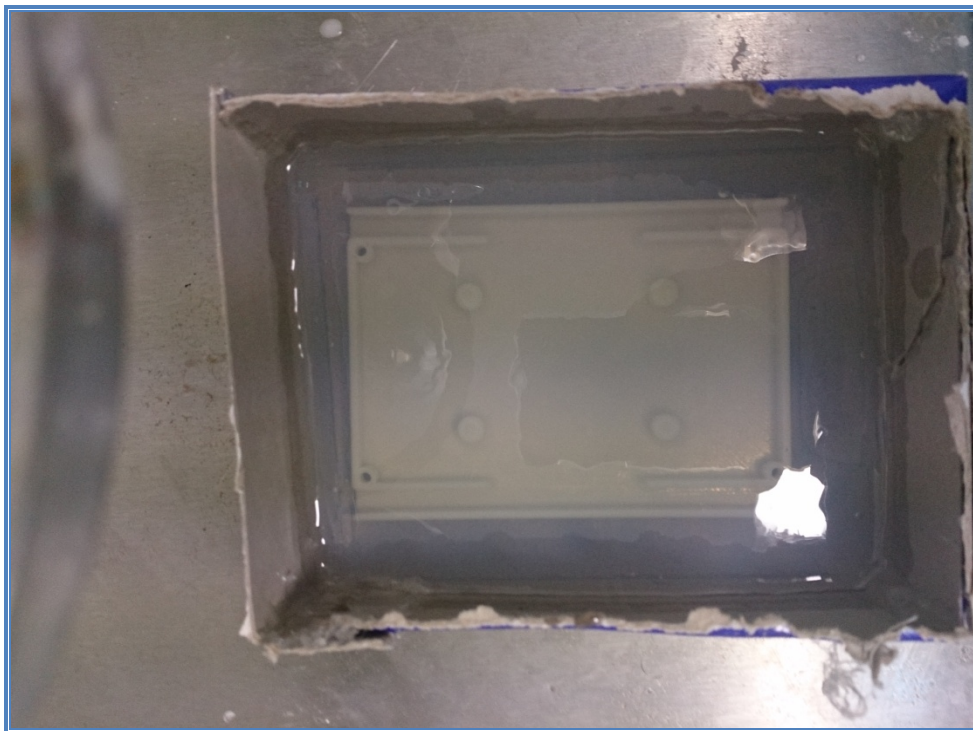
Εικόνα 3.3.2.5: Το πλαίσιο με τη σιλικόνη σε πρώτη φάση



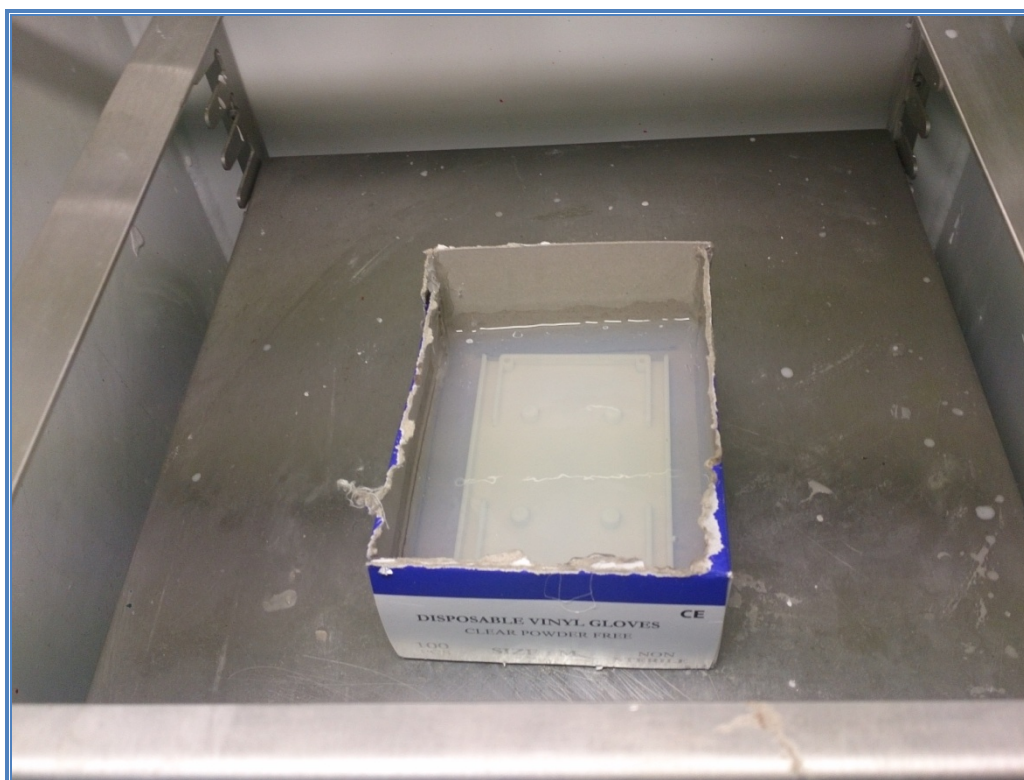
Εικόνα 3.3.2.6: Το πλαίσιο με τη σιλικόνη να «βράζει»



Εικόνα 3.3.2.7: οι φυσαλίδες αέρα φεύγουν από κάτω και οι επιφανειακές φυσαλίδες σιγά-σιγά ελαττώνονται



Εικόνα 3.3.2.8: Η σιλικόνη μετά το κλείσιμο της αντλίας



Εικόνα 3.3.2.9: Το πλαίσιο μέσα στην αντλία κενού σε κατάσταση ηρεμίας

Το πλαίσιο με τη σιλικόνη, αφέθηκε μία ολόκληρη μέρα να στερεοποιηθεί πλήρως μέσα στην αντλία κενού, όπου προστατεύτηκε από σκόνες. Όταν στερεοποιήθηκε πλήρως την επόμενη μέρα, βγήκε εύκολα χωρίς πολλές τομές το πρωτότυπο και έμεινε ένα τέλειο καλούπι (εικόνα 3.3.2.10).



Εικόνα 3.3.2.10: Το καλούπι

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 3.3.2.11, η σιλικόνη αποτυπώνει πρακτικά τα πάντα. Η επιφάνεια στο καλούπι είναι τελείως λεία αλλά παρόλα αυτά αποτυπώθηκαν λεπτομέρειες της διαφάνειας σε σημεία όπου δεν είχε κολλήσει καλά. Αυτό δεν αποτελεί όμως πρόβλημα για την επερχόμενη χύτευση του πλαστικού.



Εικόνα 3.3.2.11: Το καλούπι σιλικόνης

Στο καλούπι, στην επάνω επιφάνεια έπρεπε να γίνουν τομές ώστε να καθαρίσει η σιλικόνη αφήνοντας το καλούπι ανοικτό για τη χύτευση. Όταν έγιναν οι τομές, επίτηδες έμεινε ένα μικρό γείσο για χρήση ως στάθμη για τη χύτευση του πλαστικού.

3.4 Χύτευση πλαστικού

Για τη χύτευση του πλαστικού ακολουθήθηκαν πάνω κάτω τα ίδια βήματα. Και σε αυτό το στάδιο χρειάστηκαν δύο δοκιμές για το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η πρώτη φορά είναι πάντα δύσκολη και ιδιαίτερα όταν προετοιμάζεται και χυτεύεται πλαστικό. Όπως έγινε αναφορά σε προηγούμενα κεφάλαια το προσεκτικό διάβασμα των οδηγιών σώζει και χρόνο και χρήμα (υλικά) καθώς η παραμικρή λεπτομέρεια κυρίως σε θέμα θερμοκρασίας και ώρας έχει τρομακτικές επιπτώσεις στη σύσταση του υλικού.

3.4.1 Προετοιμασία

Ακριβός επειδή πρέπει το κουτί να είναι τελείως διάφανο και σκληρό όπως και να ενδείκνυται για την αντλία κενού, επιλέχθηκε το πλαστικό PX 521 της εταιρίας Axson (εικόνα 3.4.1.1.).



Εικόνα 3.4.1.1: Το πλαστικό, ρητίνη και καταλύτης

Παρακάτω εμφανίζονται οι φυσικές και θερμικές ιδιότητες των δύο στοιχείων του πλαστικού (εικόνα 3.4.1.2).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ				
Σύσταση		ISOCYANATE PX 521HT A	POLYOL PX 521HT B	Μείγμα
Αναλογία μίξης κατά βάρος		100	55	
Ιδιότητα		Υγρό	Υγρό	Υγρό
Χρώμα		Διάφανο	Διάφανο	Διάφανο
Ρευστότητα 25°C (mPa.s)	Brookfield LVT	200	1,100	500
Πυκνότητα 25°C Πυκνότητα στο έτοιμο προϊόν 23°C	ISO 1675 : 1985 ISO 2781 : 1988	1.07 -	1.05 -	- 1.06
Διάρκεια ρευστότητας σε λεπτά	-			20

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ			
Μέγιστο πάχος χύτευσης		in/(mm)	2/(50)
Χρόνος πριν το ξεκαλούπωμα (10mm)		Λεπτά	120
Θερμοκρασία εκκίνησης παραμόρφωσης	ISO 75 Ae : 1993	°F/(°C)	212/(100)
Συστολή		%	0.16%

Εικόνα 3.4.1.2: Φυσικές & Θερμικές ιδιότητες του πλαστικού

Σε θέμα αναλογιών όπως φαίνεται παραπάνω, δίνεται πάλι η ποσότητα κατά βάρος. Αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση τα πράγματα είναι απλά, διότι η πυκνότητα και των 2 μερών είναι σχεδόν 1. Άρα γίνεται απευθείας η μετατροπή σε ml.

Αν το κομμάτι έχει όγκο 26 κυβικά εκατοστά, ακριβώς επειδή θα χάσουμε πλαστικό από τη μεταφορά στρογγυλεύεται ο όγκος προς τα επάνω, στα 30 κυβικά εκατοστά. Εφόσον έχουμε αναλογία 100 ml από το Α μέρος και 55 ml από το δεύτερο μέλος έχουμε $30/155=0,1935$ ml.

Άρα $x100 = 19.35$ ml για το Α μέρος, τη ρητίνη και $x55= 10.64$ ml για το Β μέρος. Πάλι με αναγκαία στρογγυλοποίηση έχουμε 20 ml και 11 ml αντίστοιχα.

Πάλι όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ετοιμάζουμε τα δοχεία, 1 δοχείο μεγάλο μίξης και 2 μικρά για μέτρηση αναλογιών καθώς και προθερμαίνεται πάλι η αντλία κενού.

3.4.2 Η πρώτη χύτευση

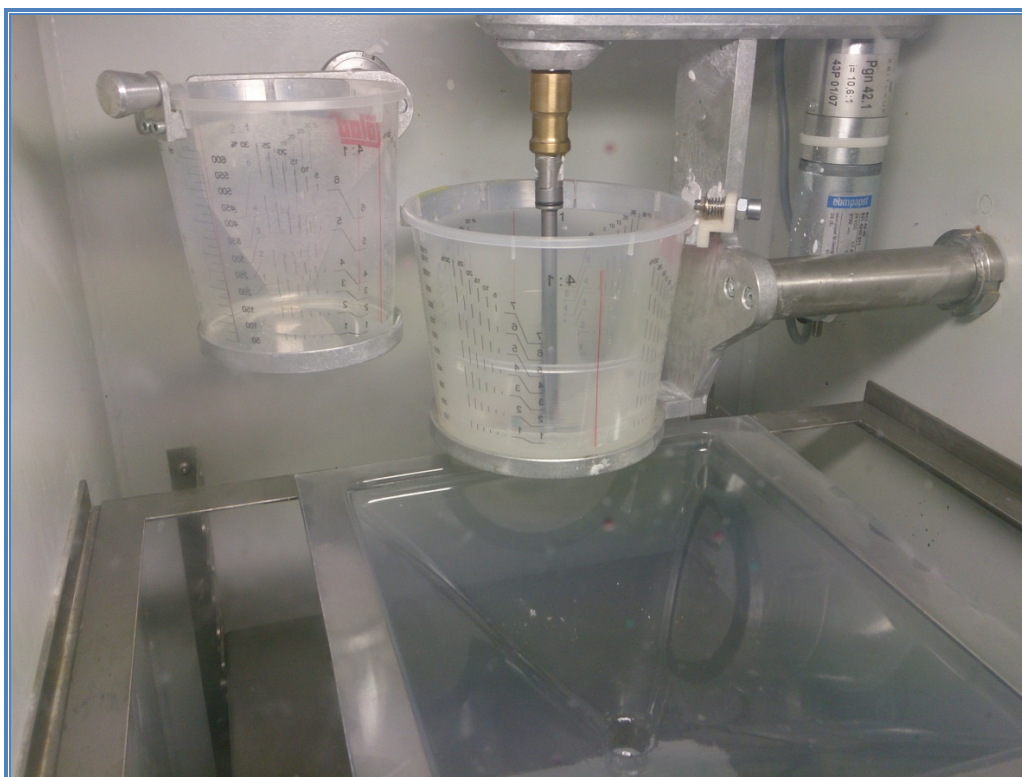
Στη θεωρία, ξεκινώντας τη διαδικασία πρέπει να ανακατευτεί εντός αντλίας κενού το μέρος Α και το Β του πλαστικού και να μείνει για 5 λεπτά ώστε να αφαιρεθεί ο αέρας τελείως. Το καλούπι πρέπει να έχει πάρει ήδη τη θέση του μέσα στην αντλία κενού, ακριβώς κάτω από το δοχείο μίξης ώστε να χυτευτεί απευθείας μετά τη μίξη.

Το πλαστικό ξεκινά να στερεοποιείται μέσα σε μόλις λίγα λεπτά μετά τη μίξη οπότε ο χρόνος τρέχει ενάντια.

Ξεκινώντας τη διαδικασία, μετρήθηκαν οι αναλογίες στα δοχεία και βρήκαν το δρόμο τους στο κεντρικό δοχείο μίξης. Αμέσως τοποθετήθηκε στην αντλία κενού (εικόνα 3.4.2.1) στην ειδικά διαμορφωμένη βάση μαζί με το αναδευτήρα συνδεδεμένο στην αντλία. Η αντλία κενού έχει την επιλογή με διακόπτη να περιστρέφει τον αναδευτήρα σε ότη ταχύτητα χρειάζεται και σε όποια από τις δύο κατευθύνσεις.

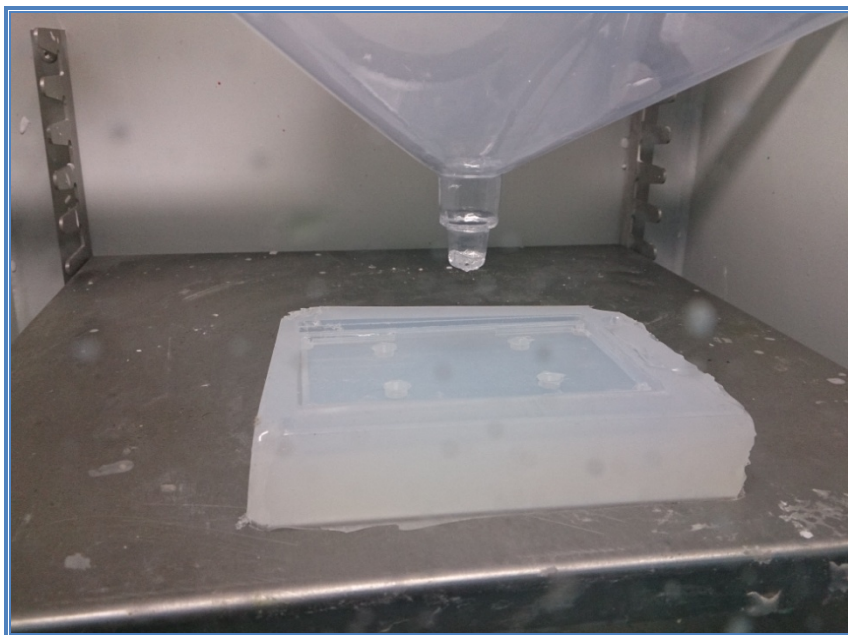


Εικόνα 3.4.2.1: Το πλαστικό στο δοχείο μίξης μέσα στην αντλία κενού



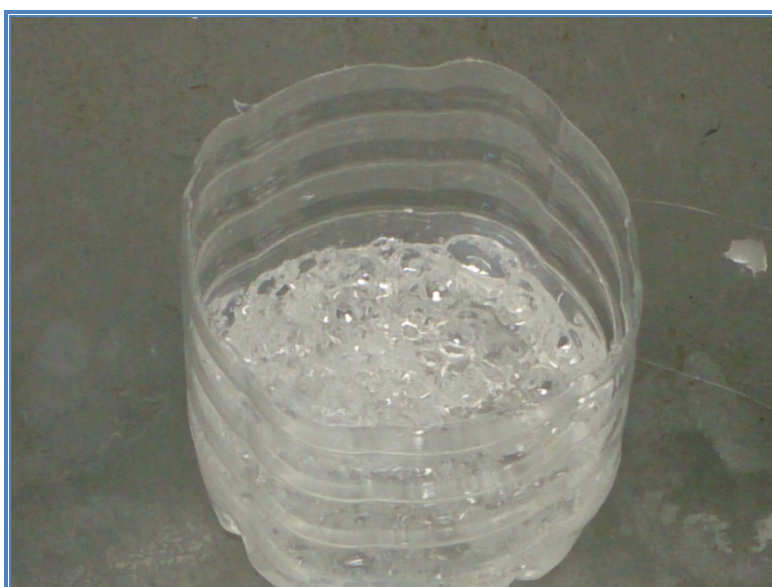
Εικόνα 3.4.2.2: Εν ώρα άντλησης αέρα

Με το που βγήκε ο αέρας τελείως από μέσα χυτεύτηκε το πλαστικό (εικόνα 3.4.2.3) αμέσως στο καλούπι και έμεινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για περίπου 1 ημέρα.

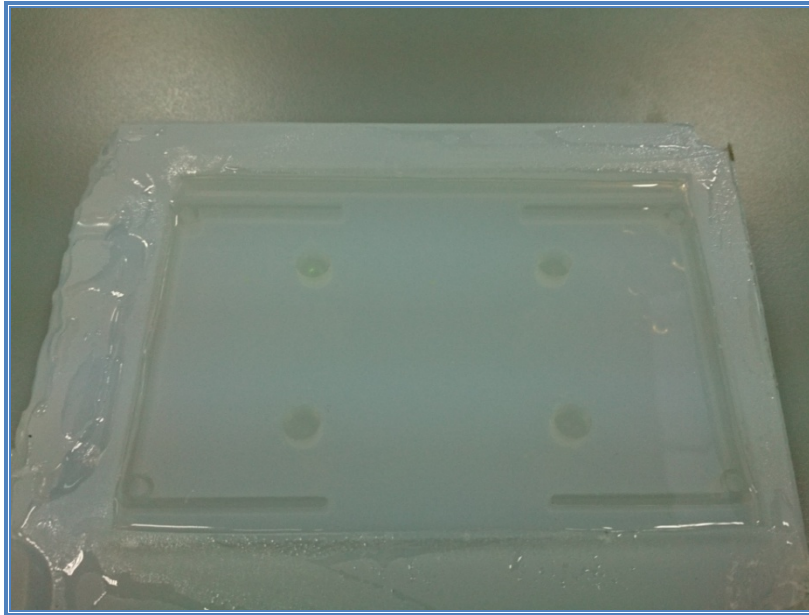


Εικόνα 3.4.2.3: Εν ώρα χύτευσης

Σημείωση: προτού γίνει η χύτευση του πλαστικού, σε ένα δοκιμαστικό δοχείο (εικόνα 3.4.2.2) έγινε η προσομοίωση της διαδικασίας ώστε να σιγουρευτούν οι ιδιότητες του πλαστικού. Το δοκιμαστικό πλαστικό στερεοποιήθηκε άμεσα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε 1 περίπου ώρα και είχε τις επιθυμητές ιδιότητες, σκληρότητα και διάφανο χρώμα.

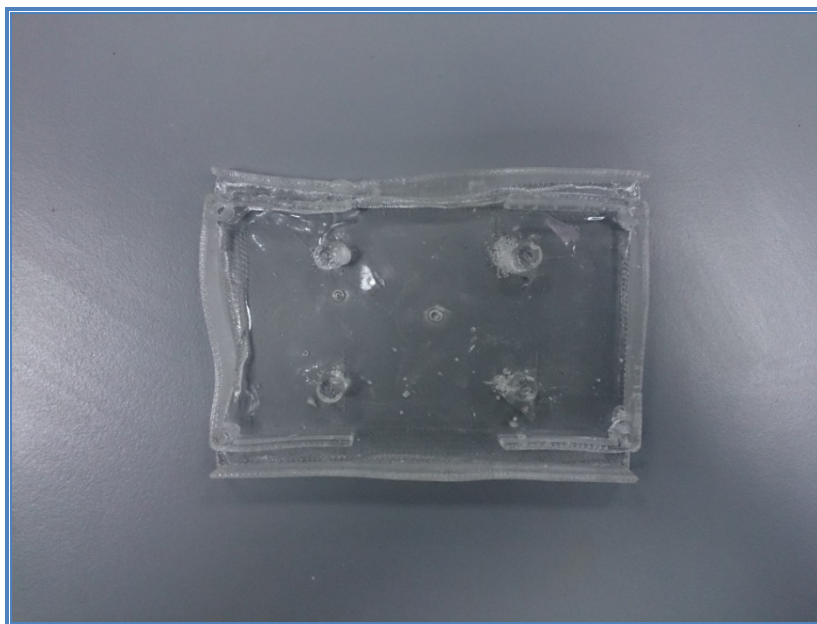


Εικόνα 3.4.2.2: Το δοκιμαστικό πλαστικό στην αντλία κενού



3.4.2.3 Εικόνα: Καλούπι με πλαστικό ακόμα σε υγρή μορφή

Την επόμενη μέρα το αποτέλεσμα δεν ήταν αξιόλογο. Το πλαστικό στις άκρες είχε σκληρύνει αλλά το εσωτερικό του κουτιού ήταν ακόμα μαλακό. Με αποτέλεσμα στο ξεκαλούπωμα να παραμορφωθεί όλο το κομμάτι (εικόνα 3.4.2.4).



Εικόνα 3.4.2.4: Παραμορφωμένο πλαστικό κομμάτι

Το συγκεκριμένο κομμάτι, έτσι ακριβώς όπως βγήκε από το καλούπι μας έβαλε σε σκέψεις. Γιατί το δοκιμαστικό πλαστικό είχε στερεοποιηθεί τελείως σε 1 ώρα και το συγκεκριμένο σε 24 ώρες ήταν ακόμα μαλακό ;

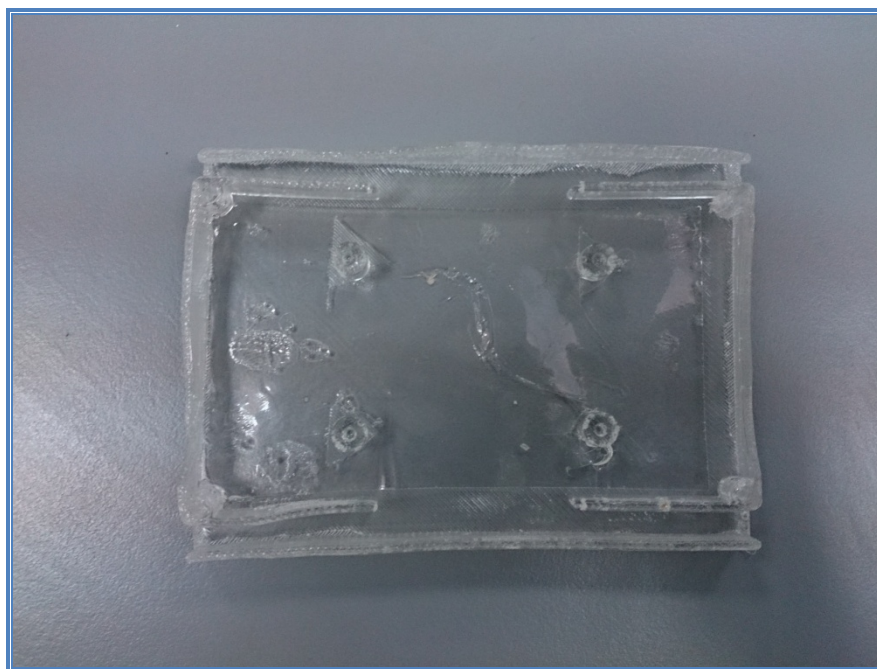
Ακολουθεί η επόμενη χύτευση πλαστικού.

3.4.3 Η δεύτερη χύτευση

Σύμφωνα με τις οδηγίες για το πλαστικό, ο κατασκευαστής προτείνει το καλούπι μαζί με το πλαστικό να μπει στο φούρνο μετά τη χύτευση σε θερμοκρασία 80 βαθμών. Οι αναλογίες ελέγχθηκαν ξανά ώστε να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος από λάθος μέτρηση.

Ακολουθώντας τα βήματα ξανά, έγινε η χύτευση και μπήκε το δοκίμιο στον ήδη προθερμασμένο φούρνο για 2 ώρες.

Το αποτέλεσμα πάλι δεν ήταν καλό. Όταν βγήκε το καλούπι από το φούρνο το πλαστικό φάνηκε αρκετά σκληρό. Όταν κρύωσε όμως και αφαιρέθηκε από μέσα παραμορφώθηκε. Για ακόμα μια φορά το πλαστικό δεν είχε στερεοποιηθεί καλά και το κομμάτι βγήκε παραμορφωμένο. Σημειώθηκε πως αυτό το δοκίμιο ήταν πολύ πιο σκληρό από το προηγούμενο που παράχθηκε (εικόνα 3.4.3.1).



Εικόνα 3.4.3.1: Παραμορφωμένο, το 2^ο παραχθέν πλαστικό κομμάτι

Στο συγκεκριμένο παραχθέν κομμάτι, παρατηρήθηκε ότι τα άκρα ήταν τελείως σκληρά ενώ η μέσα επιφάνεια παρουσίαζε μεγάλη ελαστικότητα. Όλο το κουτί έχει σχεδιαστεί να έχει παντού στα τοιχώματα πάχος 2 mm.

Μετά τη παραγωγή αυτού του κομματιού σημειώθηκε πως η θερμοκρασία και ώρα παραμονής σε υψηλή θερμοκρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στη στερεοποίηση του πλαστικού.

Συνεχίζοντας με άλλη μια προσπάθεια χύτευσης πλαστικού παρακάτω, αποδεικνύεται πως η χύτευση πλαστικού, οποιουδήποτε πλαστικού, θέλει μεγάλη προσοχή, προετοιμασία και μελέτη ώστε να βγει σωστό, επαγγελματικό αποτέλεσμα.

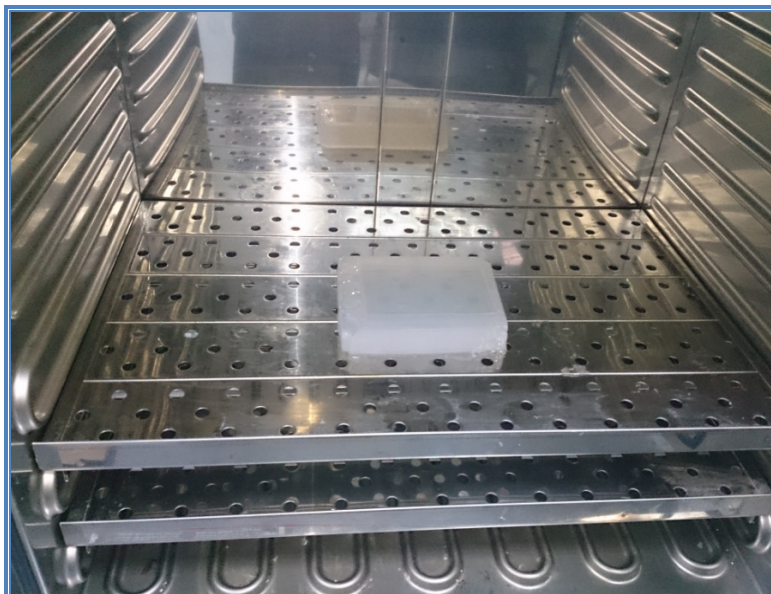
3.4.4 Η Τρίτη χύτευση και το τελικό προϊόν

Κατά τη τρίτη χύτευση έπρεπε να λυθεί το πρόβλημα της στερεοποίησης.

Το καλούπι προτού γίνει η χύτευση έπρεπε να προθερμανθεί στο φούρνο για 30 λεπτά στους 80 βαθμούς. Έπειτα, μετά τη χύτευση το καλούπι μαζί με το πλαστικό έπρεπε να ξαναμπούν στον φούρνο αυτή τη φορά για 3 – 4 ώρες στους ίδιους βαθμούς.

Η ώρα στον φούρνο για το καλούπι με το πλαστικό είναι 3-4 ώρες διότι το πάχος του πλαστικού είναι 2 χιλιοστά. Αν ήταν παραπάνω χιλιοστά η ώρα έκθεσης στο φούρνο μειώνεται. Αυτό συμβαίνει λόγω του πολυμερισμού που υφίσταται το πλαστικό σε υψηλές θερμοκρασίες.

Και έτσι έγινε, μετά από όλα τα βήματα, το καλούπι μπήκε στον φούρνο όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 3.4.4.1. Σημείωση πως χρειάστηκε να μπει σφήνα από τη μία πλευρά ώστε η επιφάνεια να μη πάρει κλίση προς την αριστερή πλευρά.



Εικόνα 3.4.4.1: Το καλούπι στον φούρνο μαζί με το πλαστικό

Αφού κρύωσε το καλούπι μετά τον φούρνο, το κομμάτι ήταν έτοιμο επιτυχώς αυτή τη φορά (εικόνα 3.4.4.2).



Εικόνα 3.4.4.2: Παραθέν πλαστικό κομμάτι δίπλα στο καλούπι

Όχι μόνο το κομμάτι ήταν σκληρό αλλά ήταν και τελείως διάφανο (εικόνα 3.4.4.3). Μικρές λεπτομέρειες που αποτυπώθηκαν λόγω της διαφάνειας ήταν αμελητέες καθώς η μεγάλη κύρια επιφάνεια ήταν αυτή που έπρεπε να είναι λεία και καθαρή.

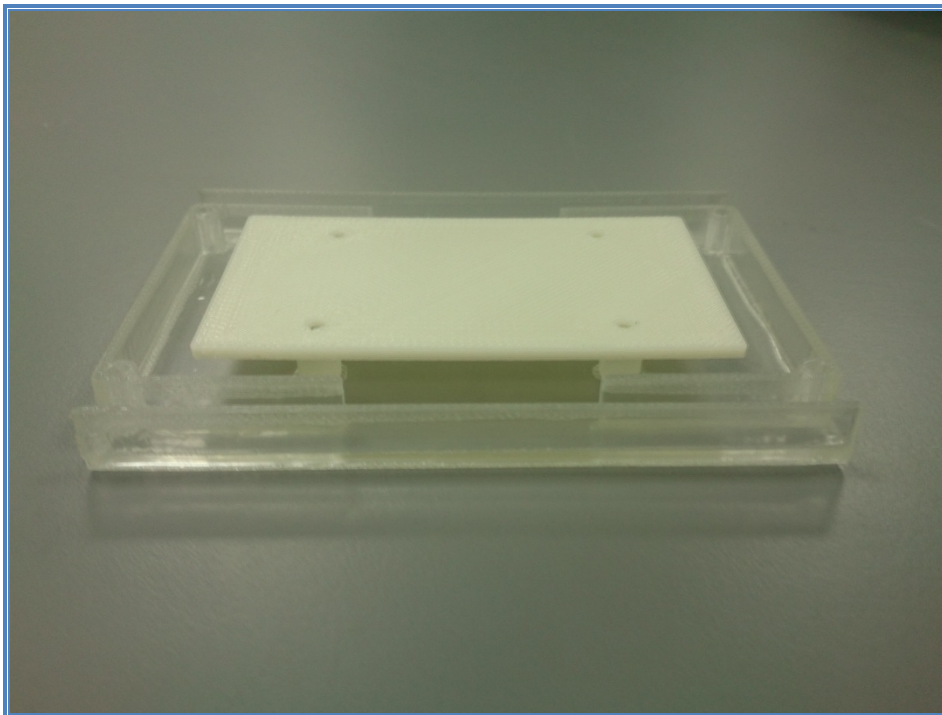


Εικόνα 3.4.4.3: Το πλαστικό κομμάτι

Οι οπές αποτυπώθηκαν διαμπερείς με μοναδική λεπτομέρεια, τον σχηματισμό ενός λεπτού πλαστικού υμένα στην επάνω επιφάνεια. Οι βάσεις για την πλακέτα ήταν τέλεια βγαλμένες, με τρομερή ακρίβεια ακόμα και στα μικρά ποδαράκια. Μετρήθηκαν οι διαστάσεις και ήταν ακριβός όπως σχεδιάστηκαν χωρίς να υπάρχει σφάλμα πουθενά.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως, επειδή το καλούπι είναι ανοικτό και η ποσότητα του πλαστικού εσκεμμένα ήταν μεγαλύτερη από αυτή που χρειαζόταν το καλούπι, κατά τη διάρκεια της χύτευσης το πλαστικό ξέφυγε ελάχιστα από την απαιτούμενη στάθμη και δημιούργησε από τη μία πλευρά ένα μικρό πλαστικό γείσο. Αυτό σημειώθηκε ως ατέλεια χύτευσης παρά ως σφάλμα του καλουπιού.

Για επαλήθευση των διαστάσεων και των ιδιοτήτων του κομματιού, παράχθηκε με τον ίδιο τρόπο άλλο ένα αντίστοιχο κομμάτι όπου στη συνέχεια μπήκε το ομοίωμα της πλακέτας. Με αυτό τον τρόπο όπως φαίνεται παρακάτω το κουτί ήταν πλήρως λειτουργικό στερεώνοντας πολύ σωστά το ομοίωμα της πλακέτας στο εσωτερικό και κουμπώνοντας ακριβός με το άλλο κομμάτι (εικόνα 3.4.4.4).

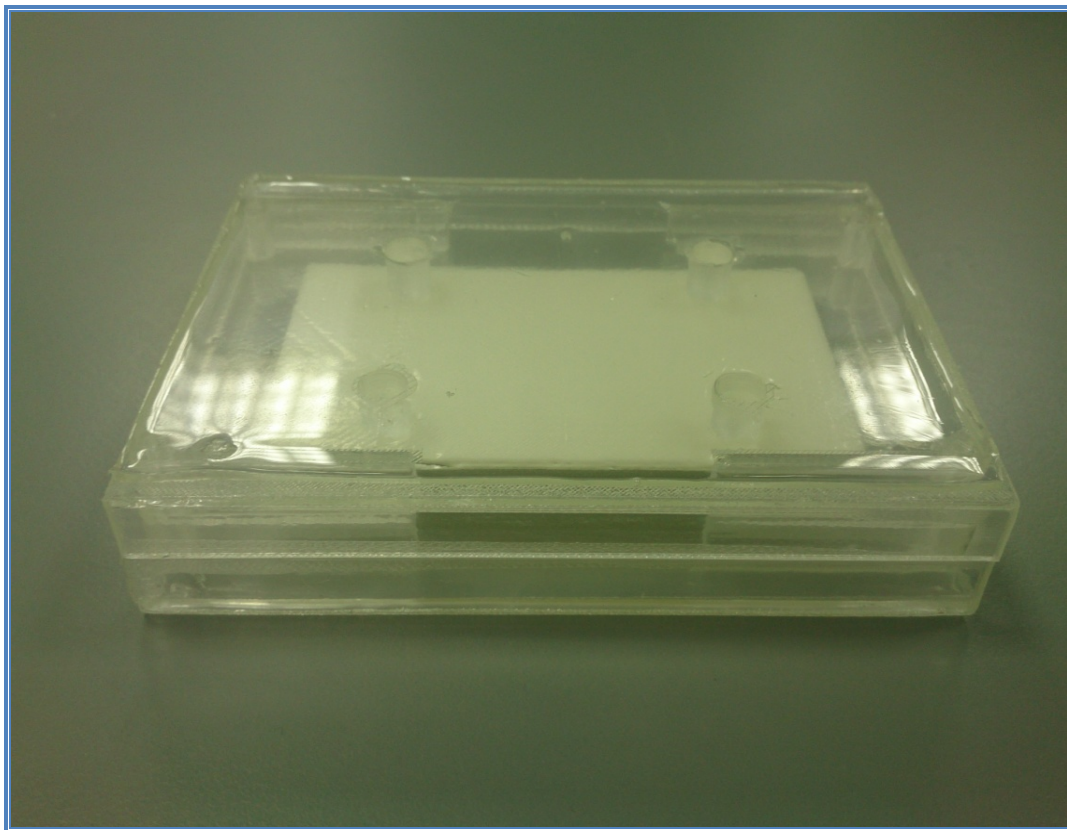


Εικόνα 3.4.4.4: Η πρώτη συναρμολόγηση

Η πλακέτα τοποθετήθηκε πάνω στις βάσεις με σφικτή συναρμογή. Το ομοίωμα πείρε κατευθείαν τη θέση του στο κουτί και η επάνω επιφάνεια της πλακέτας όπως σχεδιάστηκε, βρέθηκε στη μέση ακριβώς των αεραγωγών.

Στη εικόνα 3.4.4.5 φαίνεται ελάχιστα το πλαστικό γείσο που δημιουργήθηκε στις γωνίες. Πέρα από αυτή την ατέλεια το κουτί πραγματικά έκλεισε στη συναρμολόγηση πολύ σωστά, ασφαρίζοντας τη πλακέτα και τα δύο κομμάτια μαζί. Βίδες δε χρειάστηκε να μπουν διότι τα ποδαράκια του κάθε τεμαχίου σφήνωσαν στη πλακέτα και το ομοίωμα κράτησε και τα δύο κομμάτια ενωμένα μαζί.

Σε αυτό το σημείο τα 2 κομμάτια δόθηκαν στον καθηγητή που ζήτησε και καταχώρησε τη συγκεκριμένη πτυχιακή ώστε να εγκρίνει τη λειτουργικότητα των 2 κομματιών, του κουτιού.



Εικόνα 3.4.4.5: Το τελικό πλαστικό κουτί

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

Η διαδικασία της προτυποποίησης είναι αρκετά σύνθετη. Υπάρχουν πολλές διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι την επιτυχή προτυποποίηση. Είναι ένας τομέας πραγματικά πολυδιάστατος που ξεκινά με μια απλή ιδέα, μια ανάγκη και τελειώνει με κάτι καινούριο, κάτι χειροπιαστό.

Καθ' όλη τη διαδικασία προτυποποίησης περνώντας στάδιο-στάδιο, από τον σχεδιασμό μέχρι και το ξεκαλούπωμα του πρώτου πλαστικού κομματιού, μελετήθηκαν επιμέρους τομείς και φαινόμενα, όπως η ροή του αέρα από οπές, ο σχηματισμός υγρασίας, πως η διαδικασία προτυποποίησης επηρεάζεται από το κόστος, στερεοποίηση σιλικόνης και συμπεριφορά πολυμερών όπως το πλαστικό που χρησιμοποιήθηκε.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή υπήρξαν αρκετές προδιαγραφές και με βάση αυτές έπρεπε να αναπτυχθεί η ιδέα, το κουτί με τη πιο κύρια, το κόστος. Φάνηκε πως το κόστος κρύβεται πίσω από όλες τις διαδικασίες για προτυποποίηση και τις περισσότερες φορές ο σχεδιασμός του αντικειμένου και ο σχεδιασμός παραγωγής περιστρέφονται γύρω από το κόστος. Η βασική ιδέα είναι τι χρειάζεσαι, πως το έχεις σκεφτεί και τι μπορείς να δώσεις ώστε να το παράγεις. Αν το κόστος είναι απαγορευτικό τότε είτε γίνεται τροποποίηση σχεδίου και του σχεδιασμού παραγωγής ή η ιδέα εγκαταλείπεται. Σε αυτή την αναδιαμόρφωση πολλά στοιχεία στον σχεδιασμό χάνονται, όπως κοψίματα, γραμμές που προσδίδουν ομορφιά στο αντικείμενο όπως και πρακτικότητα.

Πολλές φορές στο βωμό του κόστους θυσιάζεται ακόμα και η ποιότητα των υλικών.

Πέρα από το κόστος μεγάλη βάση έπρεπε να δοθεί στις ιδιότητες των υλικών. Κάτω από ποιες συνθήκες στερεοποιούνται, η σωστή χρήση, τόσο της σιλικόνης όσο και του πλαστικού, ο χρόνος ζωής που έχουν όταν ανοιχτούν καθώς και οι φυσικές και θερμικές τους ιδιότητες. Δυστυχώς και τα πλαστικά και η σιλικόνη που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ξεπεράσει κατά πολύ το προσδόκιμο χρονικό όριο ζωής μετά το άνοιγμα και αυτό δημιούργησε αρκετά προβλήματα κυρίως στη στερεοποίηση.

Μεγάλη προσοχή έπρεπε να δοθεί εξ αρχής στα ειδικά εγχειρίδια που συνόδευαν τα υλικά καθώς 2 χυτεύσεις πλαστικού και 2 προσπάθειες για δημιουργία καλουπιού θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί.

Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό αλλά απέχει από το επαγγελματικό. Αυτό κρίνεται κυρίως από τις ατέλειες που παρουσιάζει το πλαστικό κουτί, όπως το πλαστικό γείσο στην επιφάνεια λόγω πρόσθεσης παραπάνω πλαστικού και γενικά όλο το φινίρισμα. Η προετοιμασία του εκτυπωμένου κομματιού θα μπορούσε να γίνει πιο προσεκτικά και υπομονετικά ώστε στο καλούπι να μην αποτυπώσει τις ατέλειες της διαφάνειας και τις γραμμές από τον 3D printer.

Το αποτέλεσμα ήταν πολύ καλύτερο από το προσδοκώμενο και η εμπειρία που συλλέχθηκε καθ' όλη τη διαδικασία ήταν τεράστια.

Βιβλιογραφία

1. Πετούσης Μάρκος – Διδακτικές σημειώσεις CAD Δεκέμβριος 2003 – Ανάπτυξη Προϊόντων
2. Online 3D sketch library – www.grabcad.com
3. PTC Corporation – Pro-engineer wildfire 3.0 manual
4. Axson Technologies – Vacuum casting polyurethane for transparent prototypes 521 HT Manual
5. Axson Technologies - Polyaddition silicone elastomer Essil 291 Resin & Catalyst Manual
6. Mk Technologies – Mk mini Vacuum pump user Manual
7. Todd Zaki Warfel - Prototyping: A practitioner's guide
8. Smooth On-Mold making guide-<http://www.smooth-on.com/howto.php>