

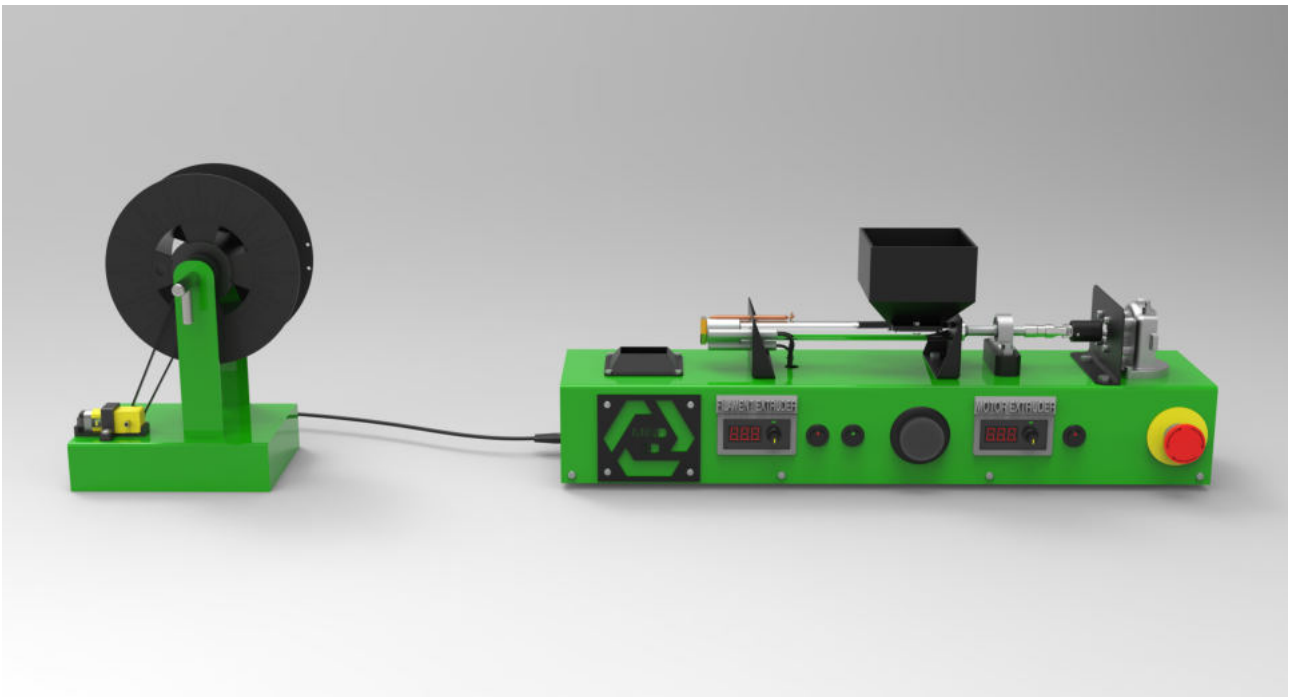
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού σχεδιασμού
Εισαγωγική Κατεύθυνση: Βιομηχανικού Σχεδιασμού

Πτυχιακή εργασία

« Δημιουργία συσκευής ανακύκλωσης πλαστικών για παραγωγή υλικού 3D εκτύπωσης »



Δεληβανόπουλος Μηνάς, ΑΜ: BS004627

Επιβλέποντες Καθηγητές: Δρ. Παναγιώτης Κυράτσης & Νικόλαος Ευκολίδης

Κοζάνη, Απρίλιος 2022

Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία της παρούσας πτυχιακής εργασίας,θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες στους δασκάλους μου,στον κ. Παναγιώτη Κυράτση και στον κ. Νικόλαο Ευκολίδη για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου,στον Αντώνη και στον Παναγιώτη.

Περίληψη

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή συσκευής ανακύκλωσης πλαστικών για παραγωγή υλικού 3D εκτύπωσης. Βασικός στόχος είναι η ανάπτυξη μιας ιδέας έως το τελικό βήμα της υλοποίησης. Αρχικά γίνεται περιγραφή λειτουργίας της συσκευής, για την ανακύκλωση του πλαστικού μέχρι και σήμερα. Ύστερα εξετάζονται υλικά που πρόκειται να ανακυκλωθούν και η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Έπειτα ακολουθεί ο τρισδιάστατος σχεδιασμός η συναρμολόγηση όλων των εξαρτημάτων και η φωτορεαλιστική απεικόνιση ώστε να δημιουργηθεί τελική εικόνα για τη μορφή και τις λεπτομέρειες της συσκευής. Ακολουθεί η υλοποίηση της κατασκευής βήμα προς βήμα και αναλύεται κάθε μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστά. Στη συνέχεια γίνεται επεξήγηση των οδηγιών χρήσης της συσκευής, βήματα ενεργοποίησης της συσκευής και οι πίνακες κατανομής μεταβλητών ανάλογα με το υλικό που πρόκειται να ανακυκλωθεί. Τέλος προκύπτουν αποτελέσματα και συμπεράσματα από όλες τις παραπάνω διαδικασίες.

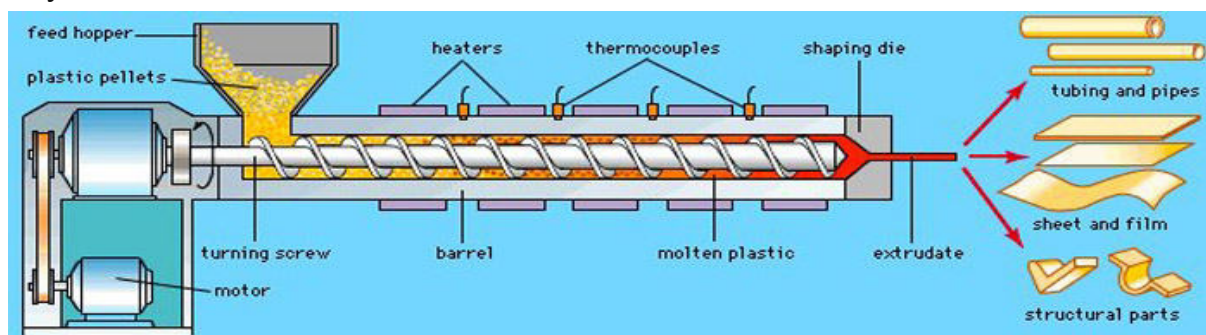
Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1° – Filament extruder - Βασικές έννοιες	
1.1 Περιγραφή λειτουργίας της συσκευής.....	1
1.2 Ανακύκλωση πλαστικού.....	6
1.2.1 Υλικά που πρόκειται να ανακυκλωθούν.....	9
1.3 Τρισδιάστατη εκτύπωση.....	11
Κεφάλαιο 2° – Τρισδιάστατος σχεδιασμός	
2.1 Τρισδιάστατος σχεδιασμός βασικών εξαρτημάτων πλαισίου.....	19
2.2 Συναρμολόγηση όλων των εξαρτημάτων.....	23
2.3 Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις.....	24
Κεφάλαιο 3° – Υλοποίηση κατασκευής	
3.1 Μηχανικά εξαρτήματα του μηχανήματος.....	27
3.1.1 Ηλεκτρολγικά – ηλεκτρονικά εξαρτήματα του μηχανήματος.....	30
3.2 Κατασκευή βασικών εξαρτημάτων πλαισίου.....	33
3.2.1 Μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης (3d printing).....	35
3.2.2 Μέθοδος υδροκοπής (water jet).....	37
3.3 Βάψιμο των εξαρτημάτων.....	39
3.4 Συναρμολόγηση των εξαρτημάτων.....	40
3.5 Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία και κυκλώματα.....	42
Κεφάλαιο 4° – Οδηγίες χρήσης	
4.1 Βήματα ενεργοποίησης συσκευής.....	45
4.2 Πίνακες κατανομής μεταβλητών λειτουργίας.....	46
4.3 Παραγωγή αναλώσιμου υλικού.....	46
Κεφάλαιο 5° – Αποτελέσματα	
5.1 Ανάλυση υλικών και 3D μοντέλων που εκτυπώθηκαν.....	49
5.2 Περιπτώσεις προβλημάτων κατά την εξώθηση.....	54
5.3 Συμπεράσματα.....	55
5.4 Εκτίμηση κόστους.....	55
Βιβλιογραφία	56

Κεφάλαιο 1^ο – Filament extruder-Βασικές έννοιες.

1.1 Περιγραφή λειτουργίας της συσκευής.

Οι μηχανές filament extruders χρησιμοποιούνται σαν εξωθητές νήματος, είναι μηχανές που μετατρέπουν το τεμαχισμένο πλαστικό σε αναλώσιμο υλικό για τρισδιάστατους εκτυπωτές. Δημιουργούνται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, αλλά ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ο ίδιος.



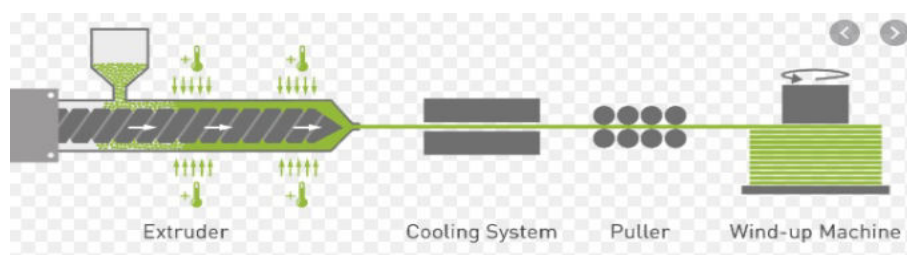
Εικόνα 1: Αναπαράσταση λειτουργίας της συσκευής.

Γεμίζοντας μια χοάνη με το θρυμματισμένο πλαστικό ή σφαιρίδια και ενεργοποιώντας μια ηλεκτρική αντίσταση θέρμανσης τα μεμονωμένα σφαιρίδια τήκονται έτσι ώστε να μπορούν να διαμορφωθούν εύκολα. Σε αυτήν την κατάσταση, τα σφαιρίδια συνδέονται μεταξύ τους και διαμορφώνονται σε ένα συνεκτικό, ομογενοποιημένο υλικό.



Εικόνα 2: Θρυμματισμένο πλαστικό υλικό.

Με την βοήθεια του κύριου ηλεκτροκινητήρα μέσω ενός μειωτήρα που είναι συνδεδεμένος με μια αρίδα μεταφοράς και περιβάλλεται από μια ανοξείδωτη σωλήνα, το υλικό συμπιέζεται μέσω του ακροφυσίου και παράγεται το αναλώσιμο υλικό. Όταν το υλικό εξωθείτε από την κεφαλή (μπεκ) ψύχεται με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Η ταχύτητα με την οποία μαζεύεται το νήμα καθορίζει τη διάμετρο του νήματος. Μια χαμηλότερη ταχύτητα θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάμετρο, ενώ μια πιο γρήγορη ταχύτητα κάνει το αντίθετο. Πρέπει να γίνει συγχρονισμός των στροφών του κύριου ηλεκτροκινητήρα με αυτού που είναι υπεύθυνο για το τύλιγμα του υλικού, ώστε να υπάρξει η επιθυμητή διάμετρος.



Εικόνα 3: Αναπαράσταση τυλίγματος αναλώσιμου υλικού.

Η διαδικασία τυλίγματος ξεκινά με τη μέτρηση της διαμέτρου του νήματος για να διασφαλιστεί ότι βρίσκεται εντός της ανοχής της διαμέτρου στόχου 1,75 mm. Το νήμα συνδέεται με ένα καρούλι και τυλίγεται γύρω από αυτό. Μόλις το καρούλι είναι γεμάτο, το νήμα κόβεται και ασφαρίζεται. Η διαδικασία ξεκινά ξανά, γεμίζοντας το επόμενο καρούλι μέχρι να εξαντληθεί η παρτίδα του νήματος.



Εικόνα 4: Καρούλι γεμάτο με πλαστικό υλικό.

Οι εξωθητές είναι λόγος ανακύκλωσης καθώς το υλικό από αποτυχημένες εκτυπώσεις, από στηρίγματα (supports) και άλλα πλαστικά προϊόντα μετατρέπονται σε τεμαχισμένο πλαστικό ή σφαιρίδια και ανακυκλώνονται. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ πιο οικονομική από συγκρίσιμες ποσότητες νημάτων. Τα μηχανήματα αυτά μειώνουν το κόστος της τρισδιάστατης εκτύπωσης, εξοικονομώντας έως και 80% στο κόστος υλικού. Τέλος έχουν σχεδιαστεί για να εξωθούν πλαστικά υλικά όπως ABS, PLA, HDPE, PET κ.α.



Εικόνα 5: Εκτυπωμένα αντικείμενα πριν και μετά την αφαίρεση των supports.

Αυτά τα μηχανήματα διαθέτουν σχεδόν εντελώς μεταλλική κατασκευή από χαλιβδίνη λαμαρίνα για υψηλή στιβαρότητα, αντοχή στον χρόνο και τη θερμότητα.

1.2 Ανακύκλωση πλαστικού

Το πλαστικό αποτελεί πλέον το πιο διαδεδομένο υλικό για τις περισσότερες χρήσεις στην καθημερινότητά μας. Είναι μέρος των συσκευασιών, των υλικών μιας χρήσης κλπ. Είναι πλέον αναπόφευκτο να μην χρησιμοποιείται. Είναι αγαθό βιομηχανίας και όσο αυξάνεται ο πληθυσμός, όσο βελτιώνεται το βιοτικό επίπεδο και η τεχνολογία αντικαθίστανται τα παλιά υλικά με πλαστικά και αυξάνεται η παραγωγή του. Υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους πλαστικών.



Είκονες 6-7: Συλλογή και διαλογή των πλαστικών.

Η ανακύκλωση είναι μία διαδικασία κατά την οποία τα απορρίμματα επαναχρησιμοποιούνται, μετατρέπονται σε πηγές ενέργειας ή σε πρώτες ύλες λέγεται ανακύκλωση. Μέρος της διαδικασίας της ανακύκλωσης είναι και η μετατροπή βλαβερών, για το περιβάλλον, υλικών σε λιγότερο ή και καθόλου βλαβερά. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ομαλότερα η επανένταξή τους στο φυσικό περιβάλλον. Η ανακύκλωση είναι η διαδικασία της συστηματικής συλλογής, διαλογής και επαναφοράς των χρήσιμων υλικών.

Ανακυκλώσιμα προϊόντα.

- Ηλεκτρικές συσκευές.
- Εξοπλισμός πληροφορικής.
- Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία και παιχνίδια.
- Ιατροτεχνολογικά προϊόντα.
- Φαγητά (λίπασμα).
- Χαρτί.
- Πλαστικό.
- Αλουμίνιο.
- Γυαλί.
- Ελαστικά Αυτοκινήτων.

Η ανακύκλωση των πλαστικών υλικών.

Το πλαστικό είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ρούχων, συσκευασιών, παιχνιδιών και επίπλων. Ακόμα και μέρη των διαστημοπλοίων κατασκευάζονται από πλαστικό. Είναι ελαφρύ και δεν σπάει εύκολα. Η ανακύκλωσή του είναι η πιο σημαντική διαδικασία όσον αφορά την διαχείριση των πλαστικών αλλά υπάρχουν πολλά εμπόδια στην ολοκλήρωσή της διότι:

- Η συλλογή των πλαστικών αποβλήτων είναι δύσκολη.
- Στη διάρκεια της διαδικασίας ένα ποσοστό των απορριμμάτων παραμένει ως απόβλητο εξαιτίας των ουσιών που περιέχουν τα πλαστικά.
- Δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ανακύκλωση εάν δεν προηγηθεί διαχωρισμός των διαφορετικών ειδών πλαστικού. Τα PET, PP, PVC, PE δεν μπορούν να αναμειχθούν ώστε να παραχθεί δευτερογενής ύλη.

Η ανακύκλωση των πλαστικών έχει σαν στόχο:








- Οικονομία και μείωση περίσσειας ενέργειας.
- Να μειώσει τον όγκο των απορριμμάτων.
- Την προστασία του περιβάλλοντος.

Για να λειτουργήσει αποδοτικά ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης σε μία κοινωνία πρέπει να συνεργαστούν οι παρακάτω παράγοντες:

- Οι καταναλωτές.
- Οι οργανισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Η αρμόδια διοίκηση.
- Η ανάπτυξη της τεχνολογίας.

Η κωδικοποίηση των ανακυκλώσιμων πλαστικών προϊόντων.

Όλα τα πλαστικά προϊόντα έχουν κάποιους τρόπους για να αναγνωρίζουμε σε ποιό είδος πλαστικού ανοίκουν και πώς ανακυκλώνονται έκαστως. Τα είδη των κωδικών έχουν προταθεί από τους οργανισμούς α. International Standarization Organization (ISO), β. American Society for Testing and Materials (ASTM) και γ. Society of the Plastics Industry (SPI). Το σύμβολο αυτών των κωδικών έχει τρία μη συνεχόμενα βέλη διευθετημένα σε ένα τρίγωνο. Στη μέση του τριγώνου αυτού υπάρχει ένας αριθμός, με ή χωρίς την συντομογραφική ονομασία του εκάστοτε πλαστικού. Άλλος τρόπος αναγνώρισης του πλαστικού είναι και ο γραμμωτός κώδικας (barcode). Όλα αυτά έχουν σκοπό να διευκολύνουν τον καταναλωτή στην αναγνώριση του προϊόντος που έχει στα χέρια του. Αυτό το σύστημα κωδικοποίησης αναπτύχθηκε το 1988 στις ΗΠΑ από τη βιομηχανία πλαστικών για να διευκολύνει την ανακύκλωση των πλαστικών.

Symbol	Acronym	Full name and uses
	PET	Polyethylene terephthalate - Fizzy drink bottles and frozen ready meal packages.
	HDPE	High-density polyethylene - Milk and washing-up liquid bottles
	PVC	Polyvinyl chloride - Food trays, cling film, bottles for squash, mineral water and shampoo.
	LDPE	Low density polyethylene - Carrier bags and bin liners.
	PP	Polypropylene - Margarine tubs, microwavable meal trays.
	PS	Polystyrene - Yoghurt pots, foam meat or fish trays, hamburger boxes and egg cartons, vending cups, plastic cutlery, protective packaging for electronic goods and toys.
	Other	Any other plastics that do not fall into any of the above categories. For example melamine, often used in plastic plates and cups.

Εικόνα 8 : Επεξήγηση κατηγοριών πλαστικού.

Η χρήση αυτού του κώδικα αποτελεί ένα είδος προτύπου για κάποια πλαστικά προϊόντα που πωλούνται στην αγορά αλλά δεν είναι υποχρεωτικός. Ο κώδικας προβλέπει εφτά κατηγορίες πλαστικών με βάση το βασικό υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένος κάθε τύπος πλαστικού και τα συνήθη προϊόντα για τα οποία χρησιμοποιείται.

1.2.1 Υλικά που πρόκειται να ανακυκλωθούν.

PLA Θερμοπλαστικό.

Το PLA (Poly Lactic Acid) είναι ένα βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό προερχόμενο κυρίως από φυτικές ανανεώσιμες πηγές το οποίο το κατατάσσει από τα πρώτα στη λίστα με τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλαστικά υλικά. Το PLA είναι σκληρό, ανθεκτικό και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακαμψία σε σύγκριση με το ABS. Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να μαλακώνει είναι περίπου οι 65 °C. Σε ένα αντικείμενο φτιαγμένο από PLA μπορεί να γίνει επεξεργασία με γυαλόχαρτο αλλά και μηχανουργική κατεργασία όπως τρύπημα, τόννευση και φρεζάρισμα. Επίσης μπορεί να βαφεί με ακρυλικά και άλλα χρώματα. Είναι το πιο κοινά 3D εκτυπώσιμο υλικό, ιδανικό για όλες τις εφαρμογές που δεν υφίστανται υψηλές θερμοκρασίες.

Η χαμηλή θερμοκρασία τήξης το καθιστά ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές π.χ. μέρη που πρέπει να περάσουν την ημέρα σε ένα αυτοκίνητο κάτω από τον ήλιο μπορούν, για παράδειγμα, να μαλακώσουν και να παραμορφωθούν. Το πλαστικό PLA είναι επίσης ιδανικό για εκτυπώσεις 3D όπου η αισθητική είναι σημαντική. Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας εκτύπωσης, είναι πιο εύκολο να εκτυπώσετε και επομένως πιο κατάλληλο για ανταλλακτικά με λεπτές λεπτομέρειες.

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα :

- Εξαιρετική οπτική ποιότητα.
- Εύκολη εκτύπωση.
- Χαμηλή αντοχή σε κρούση.



Εικόνα 9: Πλαστικό υλικό pla.

ABS Θερμοπλαστικό.

Το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) είναι ένα από τα πιο κοινά είδη πλαστικών στη βιομηχανία κατασκευής προϊόντων. Το ABS έχει πετρελαϊκή προέλευση κάτι που το κάνει λιγότερο "πράσινο" από το PLA. Είναι πολύ ανθεκτικό, σκληρό και σε μικρό βαθμό εύκαμπτο ώστε υπό περιορισμένη πίεση να λυγίζει αντί να σπάει. Διατηρεί τη στιβαρότητά του έως τους 105 °C, άρα είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Όπως και το PLA μπορεί να τρυπηθεί αλλά και να λειανθεί με τρίψιμο χωρίς πρόβλημα.

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα :

- Καλή αντοχή.
- Καλή αντοχή στη θερμοκρασία.
- Πιο ευαίσθητο στη στρέβλωση.



Εικόνα 10: Πλαστικό υλικό abs.

HDPE θερμοπλαστικό πολυαιθυλένιο.

Το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) είναι ένα θερμοπλαστικό πολυαιθυλένιο κατασκευασμένο από πετρέλαιο με πυκνότητα (0,94-0,97 g / cm³). Μερικές φορές ονομάζεται "αλκαθίνιο" ή "πολυαιθυλένιο" όταν χρησιμοποιείται για σωλήνες. Με υψηλή αναλογία αντοχής προς πυκνότητα, ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες και εξαιρετικά ανθεκτικό σε χημικές ουσίες. Γ' αυτό χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων για όλα τα είδη μπουκαλιών (π.χ. σαμπουάν, ποτά, καθαριστικά κ.λπ.) καθώς και για κουτιά, κιβώτια ποτών και σωλήνες, ανθεκτικών στη διάβρωση σωληνώσεων, πλαστικές σακούλες και καπάκια κ.α. Ανακυκλώνεται συνήθως και έχει τον αριθμό "2" ως τον αναγνωριστικό κωδικό ρητίνης του. Έχει μικρή διακλάδωση, δίνοντας ισχυρότερες δυνάμεις διαμοριακές και αντοχή σε εφελκυσμό. Περιέχει τα χημικά στοιχεία του άνθρακα και του υδρογόνου. Διατηρεί τη στιβαρότητα του έως και τους 120 °C.

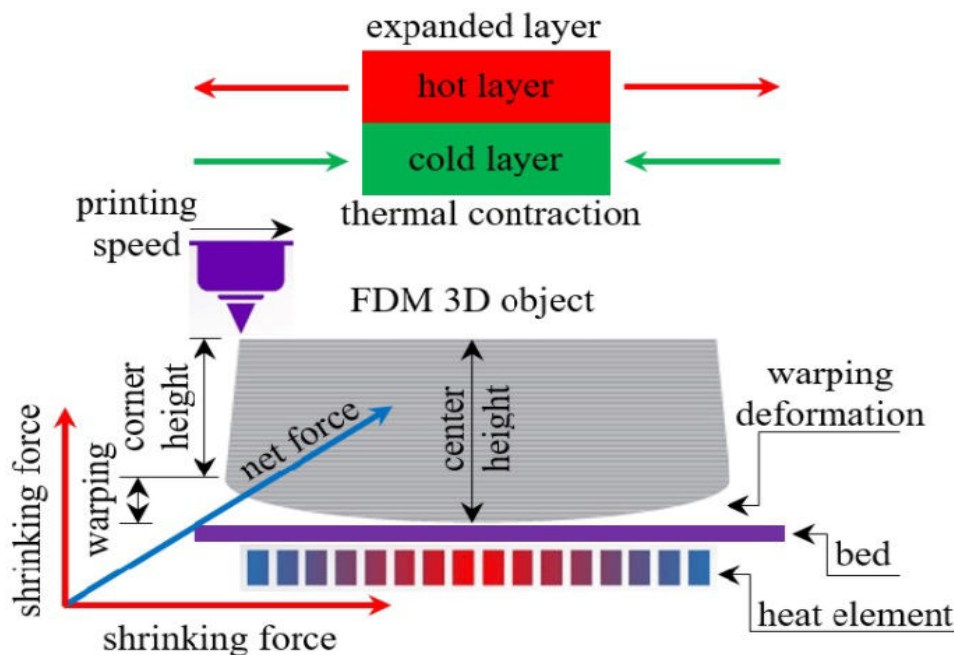


Εικόνα 11: Πλαστικό υλικό πολυαιθυλένιο (HDPE).

1.3 Τρισδιάστατη εκτύπωση

Η Τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μέθοδο προσθετικής κατασκευής (Additive manufacturing) και έχει προκύψει κυρίως από τον χώρο της μηχανολογίας για την κατασκευή πρωτότυπων μοντέλων. Είναι μια μέθοδος ταχείας πρωτοτυποποίησης με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Συνεπώς, υπάρχουν 3D εκτυπωτές για την εκτύπωση πλαστικών προϊόντων, την εκτύπωση μεταλλικών προϊόντων, την εκτύπωση γύψινων προϊόντων, σπιτιών κλπ. Βασική προϋπόθεση για την τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί η ύπαρξη κατάλληλου σχεδίου σε πρόγραμμα cad (τρειςδιάστατο μοντέλο) με τη μορφή αρχείου STL. Υπάρχουν πλέον πολλές τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι 3D εκτυπώσεις πραγματοποιούνται φυσικά με τη χρήση 3D εκτυπωτών. Όπως σε όλες τις τεχνολογίες, έτσι και στην περίπτωση αυτή υπάρχει μεγάλη γκάμα 3D εκτυπωτών, εξειδικευμένων ανάλογα το υλικό εκτύπωσης καθώς και την ποιότητα εκτύπωσης.

Fused Deposition Modeling (FDM) ή αλλιώς Fused Filament Fabrication (FFF) βασίζεται στην τήξη και την επιλεκτική εναπόθεση μιας λεπτής ίνας (0,1 – 0,8 mm) θερμοπλαστικού υλικού για τον σχηματισμό πολλών αλληπάληλων στρώσεων η μία πάνω από την άλλη οι οποίες και θα δημιουργήσουν το τελικό αντικείμενο. Το πάχος ή αλλιώς ύψος των στρώσεων αυτών προσδιορίζουν την ανάλυση της εκτύπωσης. Σε μεγαλύτερες αναλύσεις (μικρό πάχος-ύψος) οι στρώσεις είναι δύσκολα διακριτές οπότε και το οπτικό αποτέλεσμα είναι ποιοτικότερο σε σχέση με τις αντίστοιχες χαμηλότερης ανάλυσης.

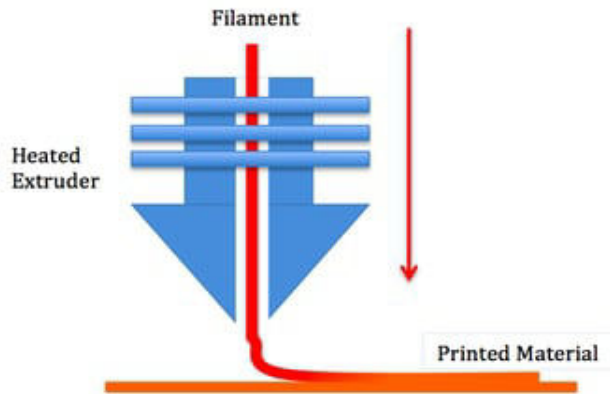


Εικόνα 12 : Βασική περιγραφή λειτουργίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης (FFF – FDM).

Είναι μία οικονομική μέθοδος και χαρακτηρίζεται από υψηλή σχέση απόδοσης / τιμής συγκριτικά με άλλες μεθόδους ταχείας πρωτοτυποποίησης ή συμβατικής παραγωγής. Τα παραγόμενα αντικείμενα είναι ανθεκτικά και συνήθως έτοιμα προς χρήση αφού ολοκληρωθεί η εκτύπωση και δεν απαιτείται κάποια πρόσθετη επεξεργασία. Μόνο σε περιπτώσεις που για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο απαιτείται η χρήση των στηριγμάτων (supports) και στη συνέχεια πρέπει να αφαιρεθούν. Υστερεί στον σχηματισμό πολύ λεπτών χαρακτηριστικών και στο βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να αποτυπώσει. Λόγω του ότι είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία αναπτύσσονται συνεχώς νέα υλικά που προσδίδουν στα αντικείμενα ειδικές ιδιότητες και

χαρακτηριστικά. Έτσι η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές.

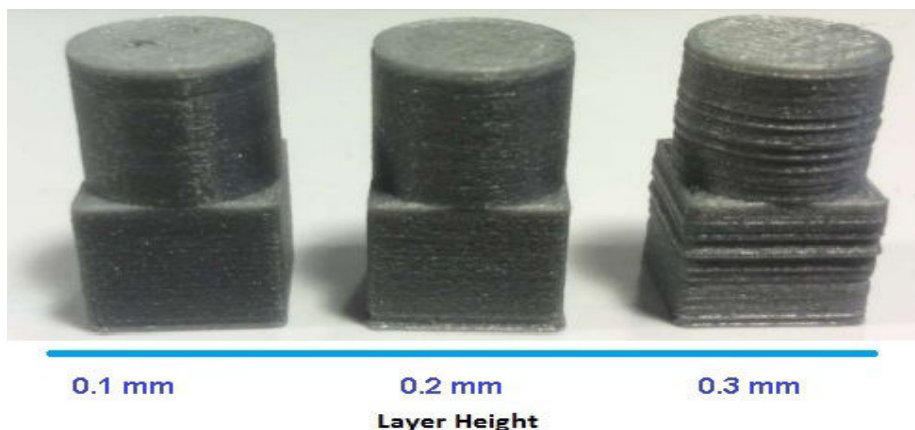
Τρισδιάστατες εκτυπώσεις αντικειμένων από πλαστικά υλικά όπως: PLA / ABS / HIPS / PC / TPU / TPE / NYLON / PETG / ASA / PP / Glass Fiber Filled / Wood-Filled / Carbon Fiber. Το υλικό, που βρίσκεται σε μορφή νήματος με διάμετρο 1,75 ή 3 χιλιοστά, περνά από έναν εξωθητή, ο οποίος έχει τέτοια υπολογισμένη ροπή ώστε να περνάει μια συγκεκριμένη ποσότητα υλικού. Στην συνέχεια, το υλικό περνάει σε ένα χώρο στον οποίο θερμαίνεται μέχρι να λιώσει και εξέρχεται μέσω μιας κεφαλής μικρής διαμέτρου ($d = 0.2 - 1.5 \text{ mm}$). Μόλις ολοκληρωθεί το πρώτο στρώμα, η βάση στην οποία είναι τοποθετημένο κινείται προς το κάτω ή σε άλλη περίπτωση κινείται η κεφαλή του άξονα Z προς τα πάνω ώστε πάνω από το υπάρχον στρώμα να δημιουργηθεί ένα νέο. Ακολουθεί αυτή η διαδικασία μέχρι να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 13 : Περιγραφή λειτουργίας του εξωθητή και των διαδοχικών στρωμάτων υλικού.

Ανάλυση ποιότητας 3D Εκτύπωσης.

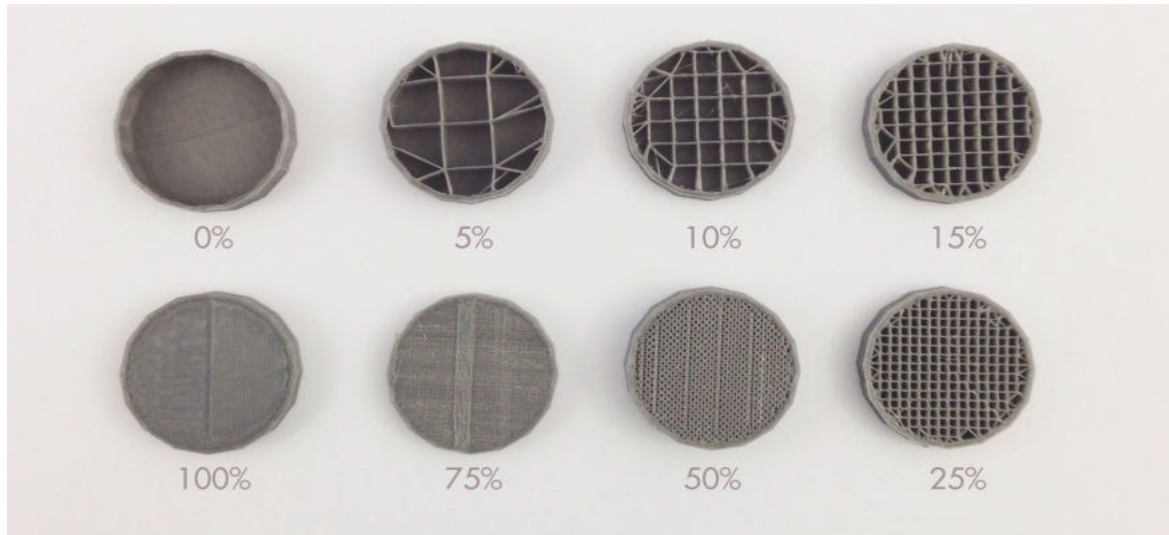
Κανονική – 0.3 mm - Το πάχος κάθε στρώσης ρυθμίζεται στα 0.3 χιλιοστά. Το αποτέλεσμα είναι ένα ανθεκτικό και στιβαρό αντικείμενο που όμως έχει διακριτά επίπεδα τόσο οπτικά όσο και στην αφή. Είναι η πιο γρήγορη και οικονομική επιλογή και συνιστάται για εκτυπώσεις που σας ενδιαφέρει περισσότερο η λειτουργικότητα παρά η εμφάνιση του αντικειμένου. Μεσαία – 0.2mm - Το πάχος των στρώσεων είναι αρκετά λεπτό ώστε να μη διακρίνονται εύκολα, μπορούμε όμως να τις νιώσουμε στην αφή. Αποτελεί μια μέση λύση για να δημιουργήσουμε ένα ποιοτικά εκτυπωμένο και όμορφο αντικείμενο σε καλή τιμή, χωρίς μεγάλη αναμονή. Μέγιστη – 0.1mm - Σε κάθε χιλιοστό ύψους του αντικειμένου αντιστοιχούν 10 στρώσεις υλικού. Οι στρώσεις αυτές είναι τόσο λεπτές που δεν μπορούμε να τις αντιληφθούμε ούτε οπτικά ούτε και στην αφή. Η επιλογή αυτή δίνει σαφώς το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα. Η 3D εκτύπωση στα 0.1 χιλιοστά απαιτεί σημαντικά περισσότερο χρόνο για να ολοκληρωθεί σε σχέση με τις χαμηλότερες αναλύσεις με αποτέλεσμα να είναι και η πιο ακριβή.



Εικόνα 14 : Ανάλυση ποιότητας ανάλογα με το πάχος / στρώση πλαστικού υλικού.

Πυκνότητα 3D Εκτύπωσης.

Η πυκνότητα αναφέρεται στο κατά πόσο γεμάτες θα είναι σε υλικό οι κλειστές δομές του αντικειμένου προς εκτύπωση. Η πυκνότητα, ή αλλιώς ποσοστό πλήρωσης, εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό, τόσο περισσότερο υλικό θα χρησιμοποιηθεί, όπου το 100% μας δίνει ένα πλήρως συμπαγές αντικείμενο. Η στιβαρότητα και το τελικό βάρος και ο χρόνος παραγωγής του 3D εκτυπωμένου αντικειμένου εξαρτώνται άμεσα από τη ρύθμιση αυτή. Είναι καλό στα αντικείμενα που είναι λειτουργικά, οπότε και υφίστανται μηχανική καταπόνηση, να επιλέγουμε κάποιο από τα υψηλότερα ποσοστά. Διαφορετικά αν το μοντέλο προορίζεται να είναι αντικείμενο παρουσίασης είναι ασφαλές να επιλέξουμε μια χαμηλότερη τιμή.



Εικόνα 15 : Περιγραφή πυκνότητας του τρισδιάστατου μοντέλου σε ποσοστό %.

Πλεονεκτήματα 3D Εκτύπωσης.

Καινοτομίες στον Σχεδιασμό.

- Επιταχύνεται ο κύκλος σχεδιασμού, παραγωγής και ελέγχου επιτρέποντας στον σχεδιαστή να αξιολογήσει άμεσα τη βιωσιμότητα ενός προϊόντος και να ενσωματώσει αλλαγές σχεδιασμού όπου τυχόν απαιτούνται.
- Η δυνατότητα να τροποποιηθεί το σχέδιο απευθείας και να δημιουργηθεί το αντικείμενο χωρίς σπατάλη χύτευσης ή διάτρησης, καθιστά την προσθετική κατασκευή έναν οικονομικό τρόπο για τη δημιουργία μεμονωμένων αντικειμένων, μικρών παρτίδων και ενδεχομένως προϊόντων μαζικής παραγωγής.
- Η προσθετική κατασκευή εξαλείφει τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων σχεδιασμού κατά την κατασκευή. Καθιστά δυνατή τη δημιουργία αντικειμένων που προηγουμένως θεωρούνταν πάρα πολύ περίπλοκη και επιταχύνει τον τελικό σχεδιασμό του προϊόντος.



Εικόνα 16 : Τρισδιάστατα μοντέλα παραμετρικού σχεδιασμού παραγόμενα από 3D εκτυπωτή.

Εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους.

- Η προσθετική κατασκευή απαιτεί λιγότερο υλικό από τις «αφαιρετικές» μεθόδους κατασκευής, όπως η κατεργασία ή η χαρακτηριστική.
- Παράγονται λιγότερα απόβλητα: Χτίζοντας αντικείμενα σε αλληπάλληλες στρώσεις, αντί των παραδοσιακών μεθόδων κατεργασίας όπου αποκόπτεται το υλικό, μειώνονται οι ανάγκες και το κόστος των υλικών μέχρι 90%.
- Επιτυγχάνεται χαμηλότερη ενεργειακή ένταση: Αυτές οι τεχνικές εξοικονομούν ενέργεια με την εξάλειψη των σταδίων παραγωγής, χρησιμοποιώντας ουσιαστικά λιγότερο υλικό, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση των υποπροϊόντων, και την παραγωγή ελαφρύτερων προϊόντων.

Άμεση διάθεση στην αγορά.

- Μειώνεται ο χρόνος διάθεσης του προϊόντος στην αγορά: Τα αντικείμενα μπορούν να κατασκευαστούν μόλις δημιουργείται η τρισδιάστατη ψηφιακή περιγραφή (σχέδιο CAD), εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για ακριβές και χρονοβόρο εργαλειικό εξοπλισμό και κατασκευή πρωτοτύπου.
- Εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ευελιξία: Οι τεχνικές της προσθετικής τεχνολογίας επιτρέπουν την ταχεία αντίδραση στις αγορές και δημιουργούν νέες δυνατότητες παραγωγής εκτός των εργοστασίων, όπως κινητές μονάδες που μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στην πηγή των τοπικών υλικών.
- Με την τρισδιάστατη εκτύπωση δεν είναι πλέον απαραίτητη η δημιουργία σύνθετων γραμμών παραγωγής πριν ξεκινήσει η παραγωγή.

Εφαρμογές της 3D εκτύπωσης.

Αυτοκινητοβιομηχανία.

Με τη μέθοδο αυτή εκτυπώνονται τρισδιάστατα βοηθήματα παραγωγής που χρησιμοποιούνται καθημερινά στη γραμμή συναρμολόγησης. Έτσι δεν βασίζονται πλέον σε εξωτερικούς προμηθευτές για τα εργαλεία, τις συσκευές και τα εξαρτήματά, μειώνεται σημαντικά το κόστος και ο χρόνος παράδοσης από αρκετές εβδομάδες σε λίγες μόνο ημέρες. Ενώ παραδοσιακά η τρισδιάστατη εκτύπωση συσχετιζόταν με τη δημιουργία πρωτότυπων, έχει μεγάλες δυνατότητες για τις επιχειρήσεις παραγωγής στη δημιουργία προσαρμοσμένων εργαλείων, κιγκλιδωμάτων, εξαρτημάτων και άλλων βοηθητικών κατασκευών. Τα εργαλεία μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ανταποκρίνονται στις ακριβείς απαιτήσεις.



Εικόνα 17 : Το εξάρτημα αυτό χρειάστηκε 35 ημέρες στο χρόνο ανάπτυξης όταν προμηθευόταν εξωτερικά και κόστιζε 400 €. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση, το έργο ολοκληρώθηκε σε 4 ημέρες και το κόστος μειώθηκε στα 10 €.



Εικόνα 18 : Αυτός ο μετρητής παραθύρου κόστιζε 180 €.Με την τρισδιάστατη εκτύπωση το κόστος 35€.Ο χρόνος ανάπτυξης μειώθηκε από 8 σε 6 ημέρες.



Εικόνα 19 : Αυτή η τρισδιάστατη εκτυπωμένη προστασία τροχών είχε προμήθεια 800 €. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση το κόστος 21 €.Ο χρόνος ανάπτυξης μειώθηκε από 56 σε 10 ημέρες.

Ρομποτικές εφαρμογές.

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία προσθετικών μελών. Παρουσιάζονται συνεχώς προσθετικά μέλη που επιτρέπουν στους κατόχους τους να έχουν ολοένα και μεγαλύτερη αυτονομία κινήσεων ενώ αυξάνεται παράλληλα όσο περισσότερο είναι εφικτό η αίσθηση της αφής.Επιπλέον το προσθετικό αυτό μέλος έχει ιδιαίτερα χαμηλό κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα.Τα φουσκωτό χέρι είναι μέρει προϊόν τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτό το προσθετικό χέρι κοστίζει περίπου 500€ όταν τα σύγχρονα βιονικά προσθετικά μέλη κοστίζουν δεκάδες χιλιάδες δολάρια.



Εικόνα 20 : Εκτυπωμένα τεχνητά άκρα.

Ιατρικές εφαρμογές.

Μια από τις πρώτες χρήσεις της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης ήταν η ιατρική και συγκεκριμένα η προσθετική χειρουργική. Πάνω από 20 διαφορετικά εμφυτεύματα που κυμαίνονται από κρανιακά μέχρι εμφυτεύματα ισχίου, γονάτου, ακόμα και σπονδυλικά εμφυτεύματα που έχουν εγκριθεί από την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) κατασκευάζονται με διάφορες τεχνολογίες ALM. Επιπλέον, μέχρι σήμερα περισσότερα από 100.000 εμφυτεύματα ισχίου έχουν παραχθεί μέσω ALM με περίπου 50.000 από αυτά να έχουν τοποθετηθεί σε ασθενείς.



Εικόνα 21 : Προσθετικά χειρουργικά εμφυτεύματα.

Κοσμήματα.

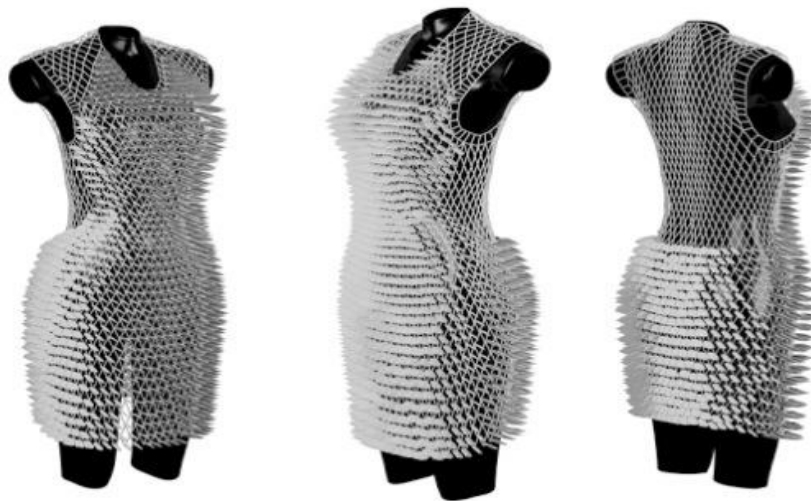
Η αγορά των 3D printed κοσμημάτων, έχει ξεκινήσει ως μόδα από τη Νέα Υόρκη και αναπτύσσεται συνεχώς. Τα 3D printed κοσμήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρωτότυπα για κοσμήματα που θα είναι από πλαστικό, μέταλλο, χρυσό, ασήμι κ.α



Εικόνα 22 : Κοσμήματα παραγόμενα από 3D εκτύπωση από διάφορα υλικά.

Μόδα.

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης επαναπροσδιορίζει την παραδοσιακή σχέση ανάμεσα στο σχεδιαστή και τον καταναλωτή, διότι με το 3D Printing η μόδα προσαρμόζεται στα μέτρα του ενός ατόμου όπως ακριβώς και στην υψηλή ραπτική. Ο καταναλωτής είναι σε θέση να παραγγέλνει αντικείμενα μόδας ακριβώς στα μέτρα του και να παρεμβαίνει στο σχεδιασμό αυτών. Είδη ρουχισμού, αξεσουάρ, καθώς και παπούτσια μπορούν να εκτυπωθούν σε μεγάλη ποικιλία χρωμάτων.



Εικόνα 23 :Εκτυπωμένο φόρεμα από την σχεδιάστρια Monika Januszkiewicz.Είναι κατασκευασμένο από υλικό TPU 92A-1 ένα ανθεκτικό, εύκαμπτο και ελαστικό υλικό, ταιριάζει πολύ στον σχεδιασμό της μόδας.

Τέχνη και διακόσμηση.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αλλάξει τα δεδομένα στο χώρο της τέχνης σε ό,τι έχει σχέση με τη δημιουργία. Από την γλυπτική, το χορό, τη μουσική, το art and craft μέχρι και το animation, το 3D printing δίνει στον καλλιτέχνη τη δυνατότητα να υλοποιήσει σε τρεις διαστάσεις ό,τι έχει φανταστεί. Η 3D τεχνολογία είναι σημαντική στον τομέα της αναπαραγωγής έργων τέχνης καθώς μέσω της 3D σάρωσης και της εκτύπωσής τους (σε ίδιες ή άλλες διαστάσεις) μειώνετε σημαντικά ο χρόνος σχεδίασης. Παράλληλα, μέσω του ψηφιακού αρχείου της σάρωσης έχουμε τη δυνατότητα προσαρμογών και διορθώσεων.



Εικόνα 24 - 25 : Πρωτότυπος σχεδιασμός εκτυπωμένων διακοσμητικών αντικειμένων.

Αρχαιολογία. Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην επιστήμη της αρχαιολογίας δίνει τη δυνατότητα να γίνει πιο εύκολη η αναπαραγωγή και η μελέτη αρχαιοτήτων. Τα περισσότερα αρχαία αντικείμενα βρίσκονται διασκορπισμένα σε μουσεία ανά τον κόσμο για λόγους συντήρησης, ενώ πολλά από αυτά είναι μόνιμα αποθηκευμένα λόγω έλλειψης χώρου. Με τη δημιουργία πραγματικών αντιγράφων μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης (προτομές, αγάλματα, αγγεία, κοσμήματα, κτλ.) ακόμα και τα πιο μικρά αντικείμενα μπορούν να αναπαραχθούν για μελέτη ή και έκθεση αντιγράφων των οποίων τα πρωτότυπα δεν υπάρχει η δυνατότητα να εκτεθούν. Οι ερευνητές μπορούν να παραλάβουν ένα πιστό αντίγραφο όπου και αν βρίσκονται. Τέλος, η αντιγραφή και αναπαραγωγή αρχαίων έργων τέχνης για εμπορικούς σκοπούς είναι πλέον μια απλή διαδικασία.

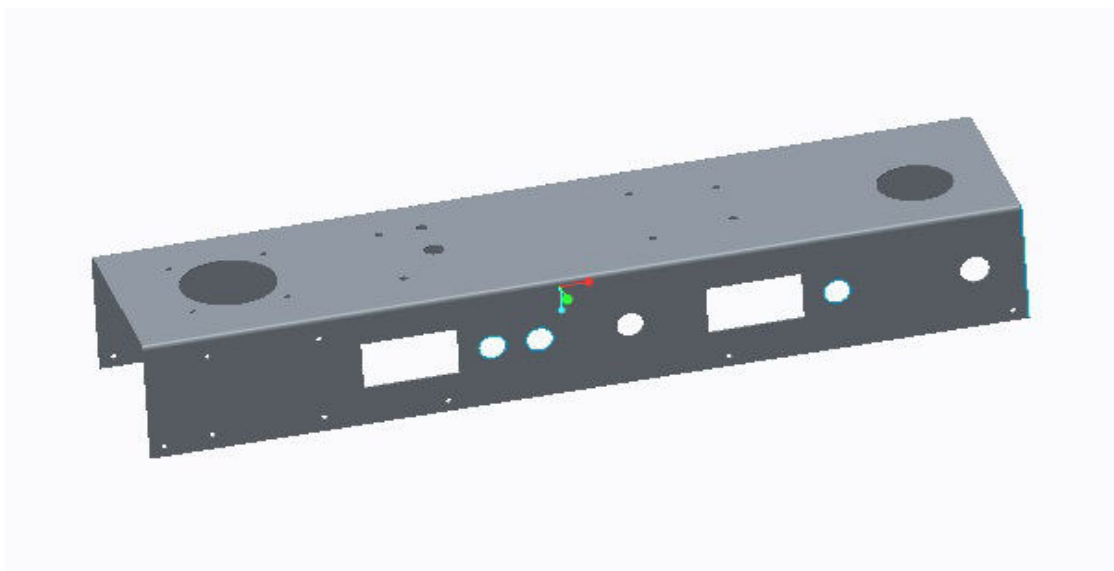


Εικόνα 26 - 27 : Πρόσθετο εκτυπωμένο κομμάτι σε προτομή. Εκτυπωμένο αρχαίο αντικείμενο εξ ολοκλήρου τρισδιάστατης εκτύπωσης. Με τη μέθοδο 3D scanning δημιουργήθηκαν τα τρισδιάστατα μοντέλα.

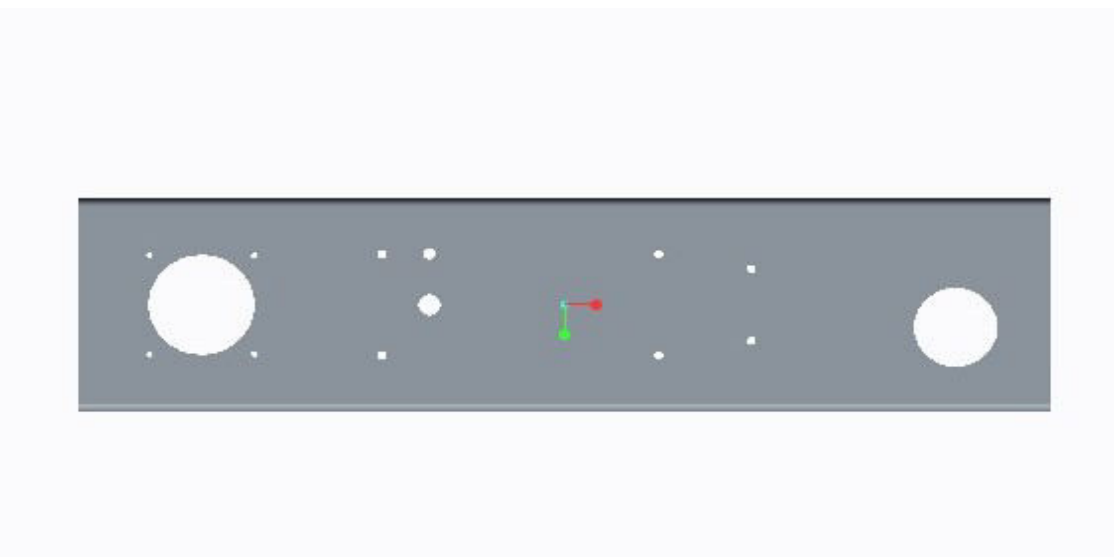
Κεφάλαιο 2° – Τρισδιάστατος σχεδιασμός

2.1 Τρισδιάστατος σχεδιασμός βασικών εξαρτημάτων πλαισίου.

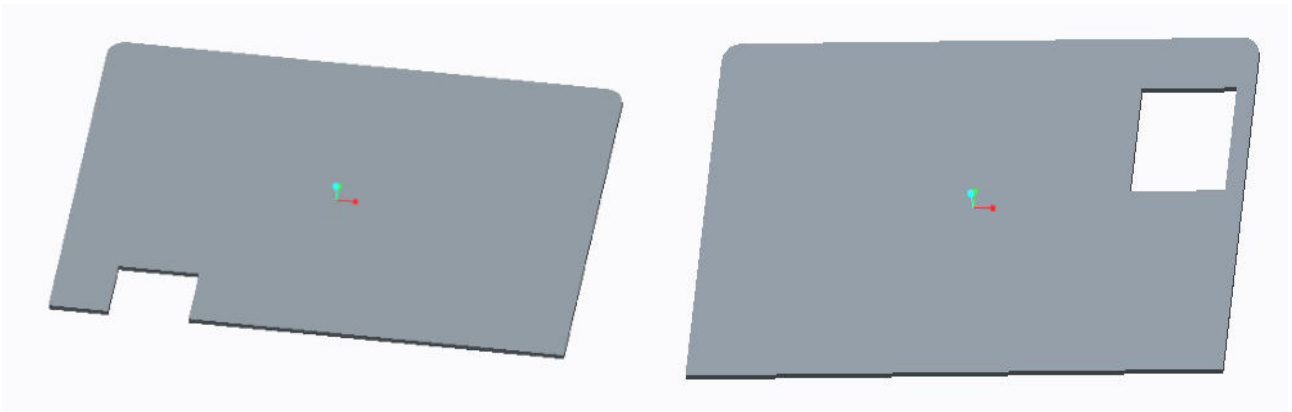
Σχεδιάστηκαν όλα τα εξαρτήματα της κατασκευής σε πρόγραμμα σχεδίασης (CAD) σε κλίμακα 1:1. Με αυτή τη μέθοδο αποφεύχθηκαν πιθανά λάθη που μπορεί να είχαν παρουσιαστεί κατά την υλοποίηση σε πολλά σημεία. Επίσης ένας σημαντικός λόγος ακόμη είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα εξέτασης της κατασκευής σε τρισδιάστατη απεικόνιση ώστε να γίνουν αλλαγές στον λειτουργικό και στον αισθητικό τομέα.



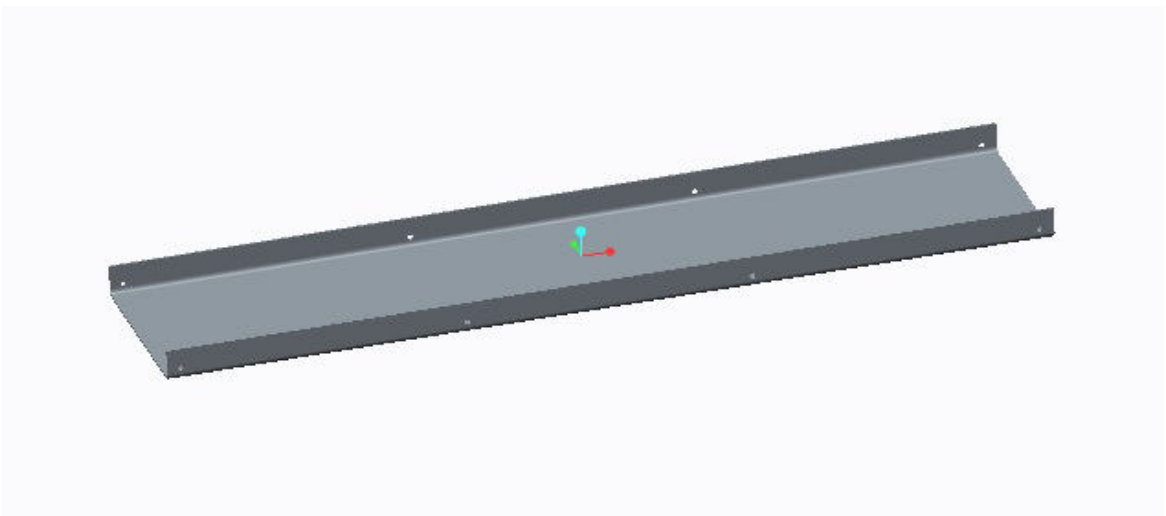
Εικόνα 28 : Βασικό σώμα – πλαίσιο του μηχανήματος, σε διαστάσεις 650*150*100 mm. Υλικό κατασκευής, λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.



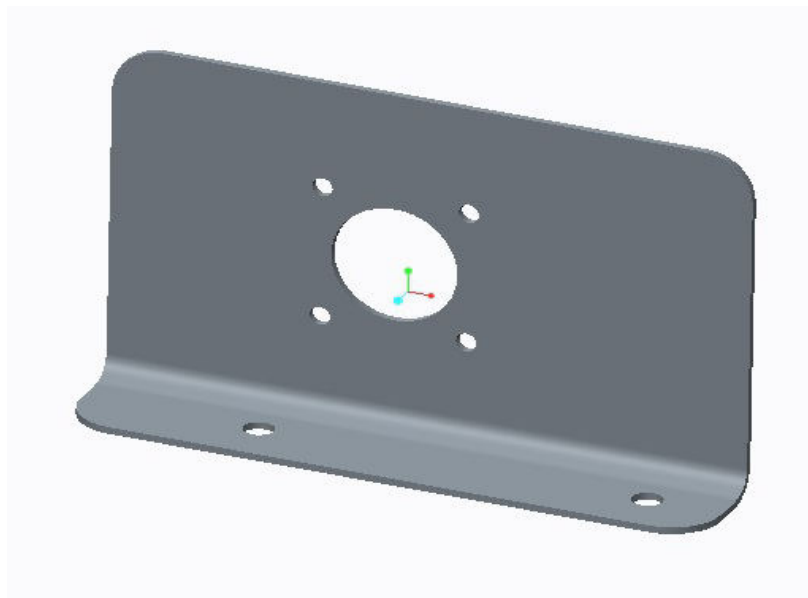
Εικόνα 29: Κάτοψη σώμα – πλαίσιο του μηχανήματος, σε διαστάσεις 650*150*100 mm. Υλικό κατασκευής, λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.



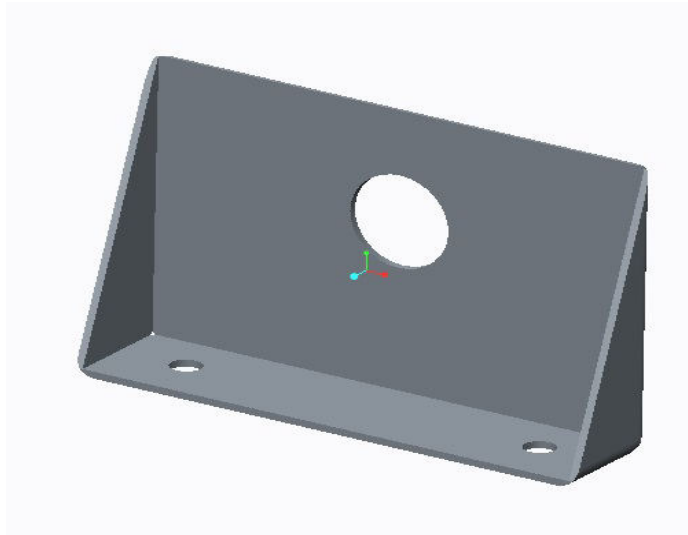
Εικόνα 30 : Πλαινό καπάκι του μηχανήματος μπροστά και πίσω,σε διαστάσεις 147*98,5 mm.Υλικό κατασκευής,λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.



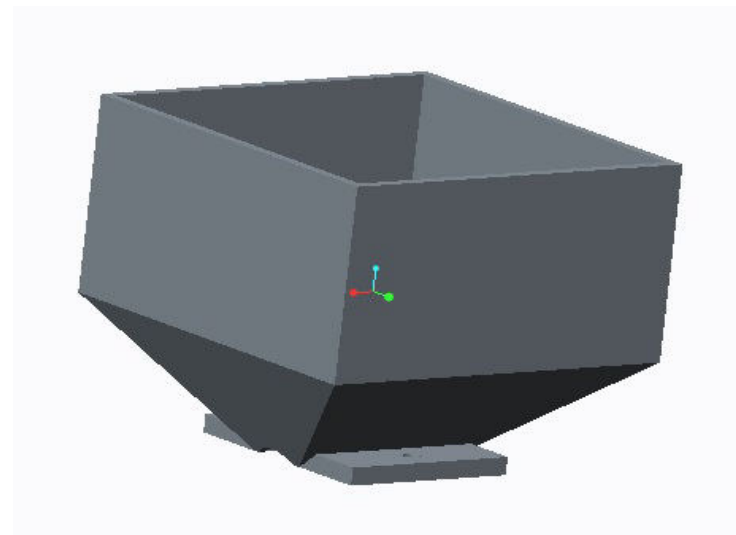
Εικόνα 31 : Κάτω καπάκι – πάτωμα του μηχανήματος,σε διαστάσεις 648,5*147*24 mm.Υλικό κατασκευής,λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.



Εικόνα 32 : Βάση στήριξης κύριου ηλεκτροκινητήρα ,σε διαστάσεις 127*76*23,5.Υλικό κατασκευής,λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.



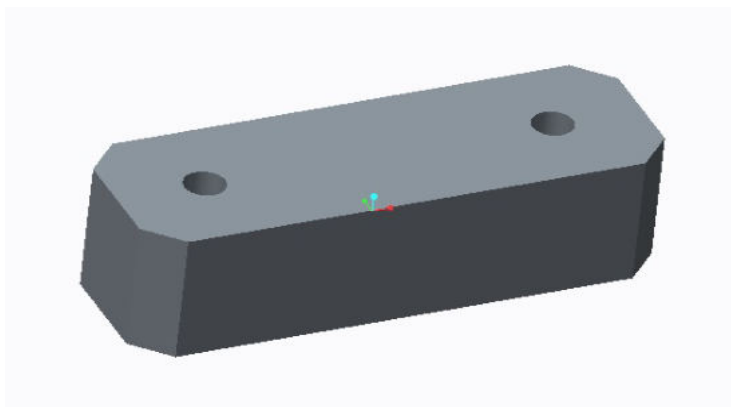
Εικόνα 33 : Βάση στήριξης σολήνας - κοιλία μεταφοράς σε διαστάσεις 102*62*22 mm.Υλικό κατασκευής,λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.



Εικόνα 34 : Δοχείο τροφοδοσίας θρυματισμένου πλαστικού,σε διαστάσεις 105*105*90.Υλικό κατασκευής,PLA με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης.



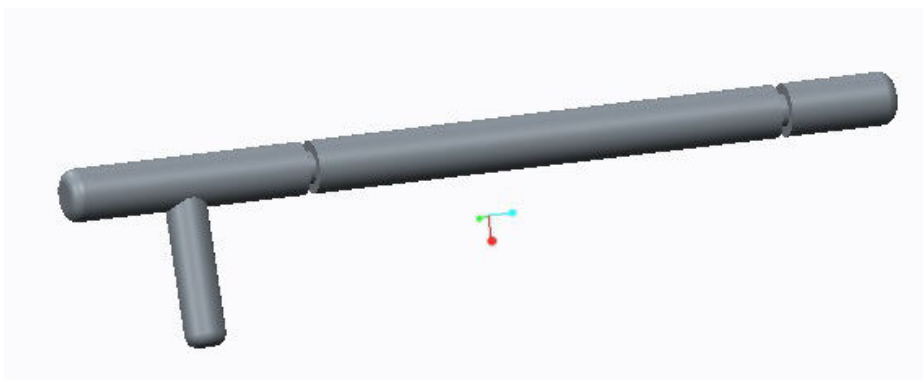
Εικόνα 35 : Αντάπτορας κατεύθυνσης του αέρα,σε διαστάσεις 80*80*17.Υλικό κατασκευής,PLA με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης.



Εικόνα 36 : Προσθήκη στήριξης ρουλεμαν ΚΡ,σε διαστάσεις 77*25*21 mm.Υλικό κατασκευής,PLA με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

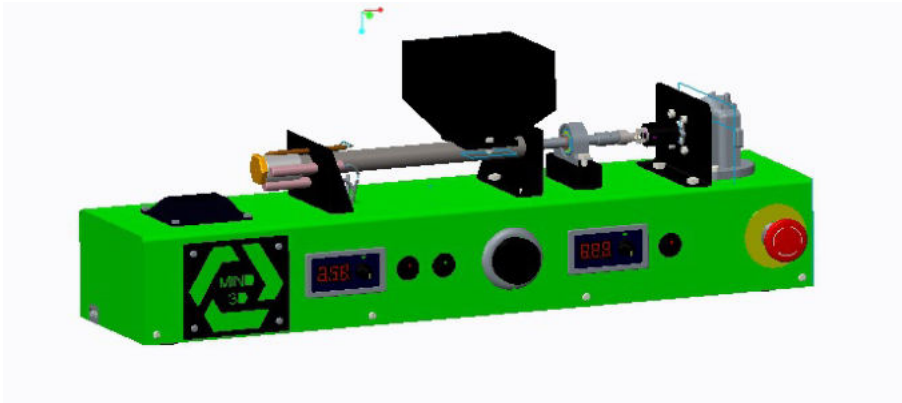


Βασικό σώμα – πλαίσιο συσκευής αποθήκευσης πλαστικού νήματος,σε διαστάσεις 150*200*50.Υλικό κατασκευής,λαμαρίνα ST 37 και πάχος 1,5 mm.

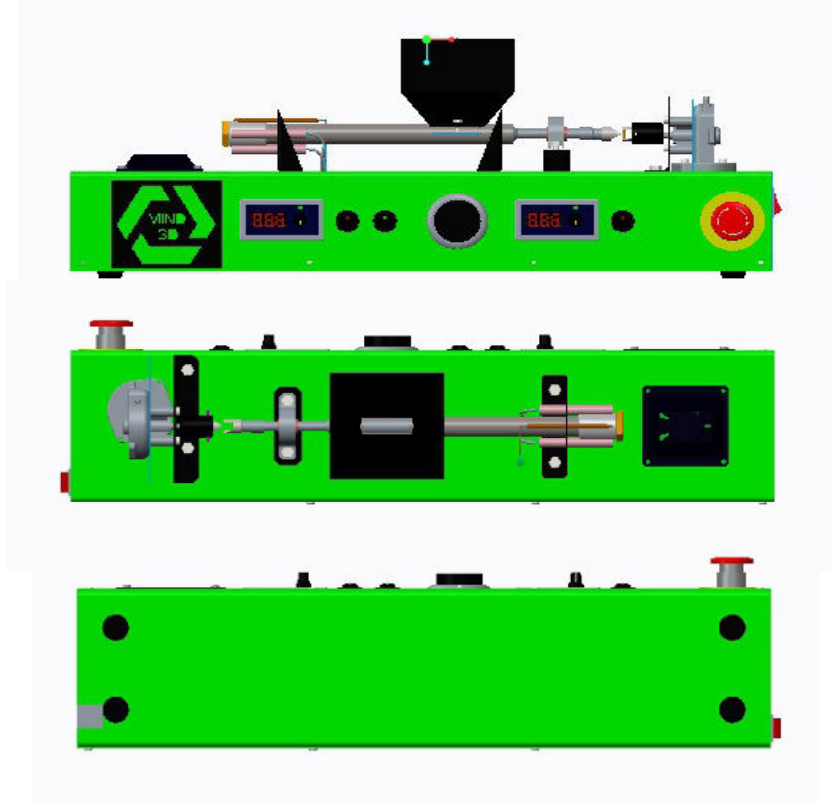


Άξονας στήριξης σε διάμετρο $D = 11\text{ mm}$ και μήκος $L = 210\text{ mm}$.

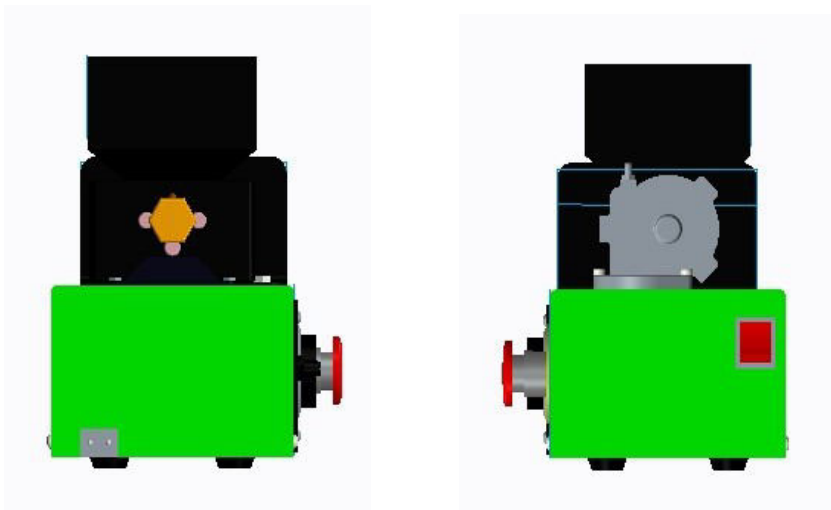
2.2 Συναρμολόγηση όλων των εξαρτημάτων.



Εικόνα 37 : Συνολική εικόνα του μηχανήματος μετά τη συναρμολόγηση όλων των κομματιών.

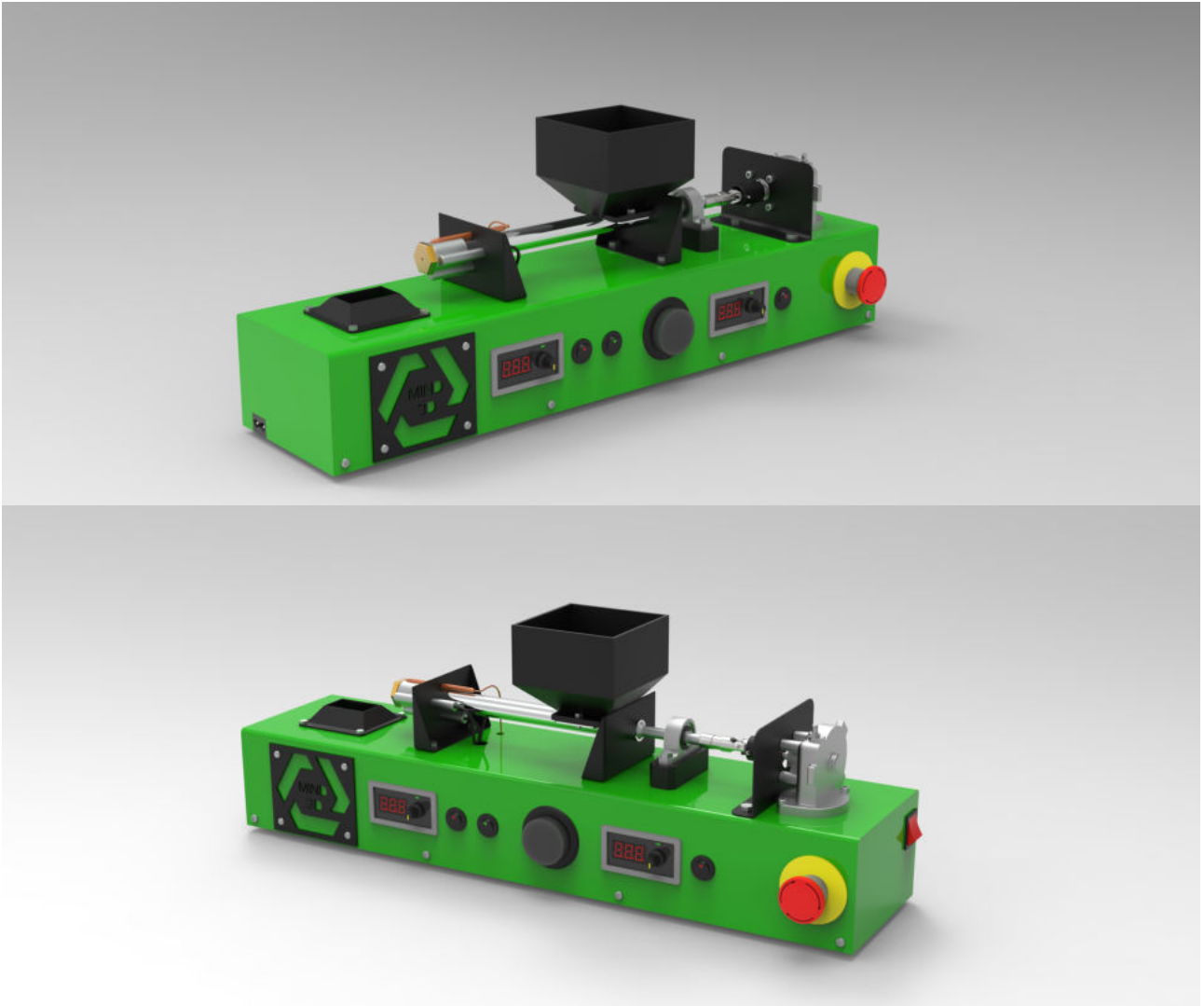


Εικόνα 38 : Συνολική εικόνα του μηχανήματος μετά τη συναρμολόγηση όλων των κομματιών, πρόσοψη, κάτω.

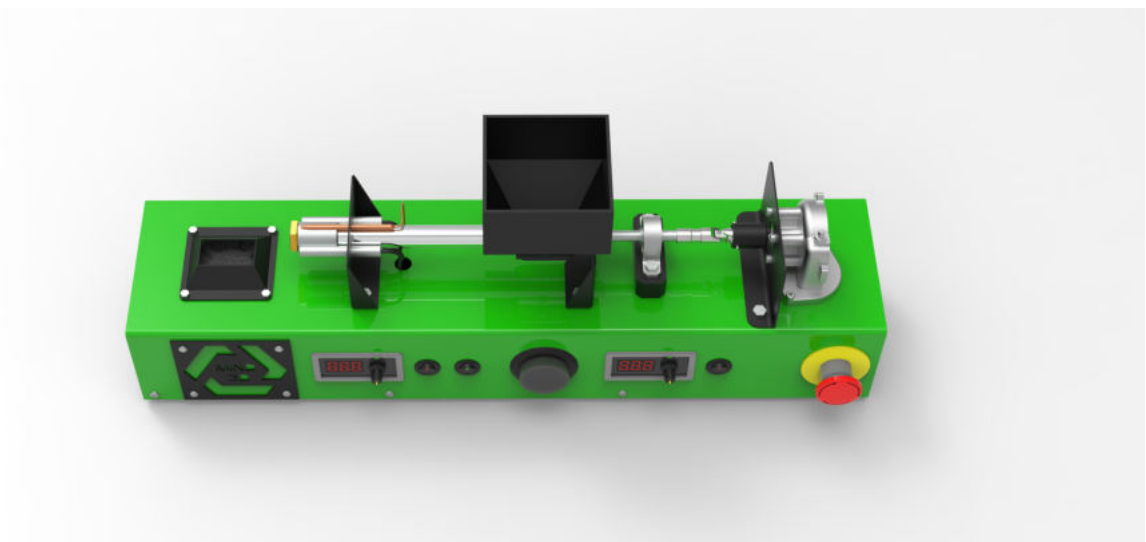


Εικόνα 39 : Συνολική εικόνα του μηχανήματος μετά τη συναρμολόγηση όλων των κομματιών, μπροστά, πίσω.

2.3 Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις.



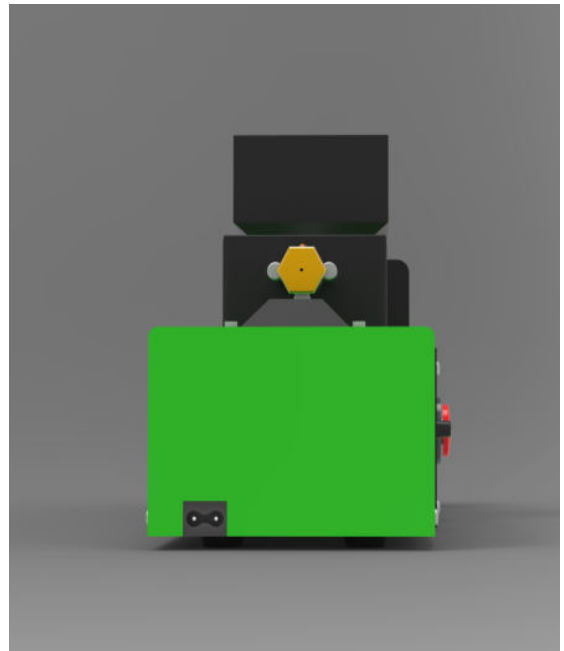
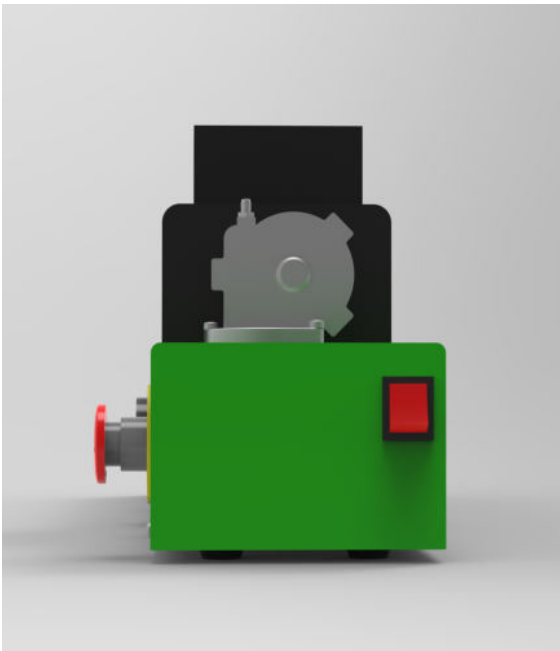
Εικόνα 40 : Συνολική φωτορεαλιστική απεικόνιση και προσομοίωση των πραγματικών υλικών.



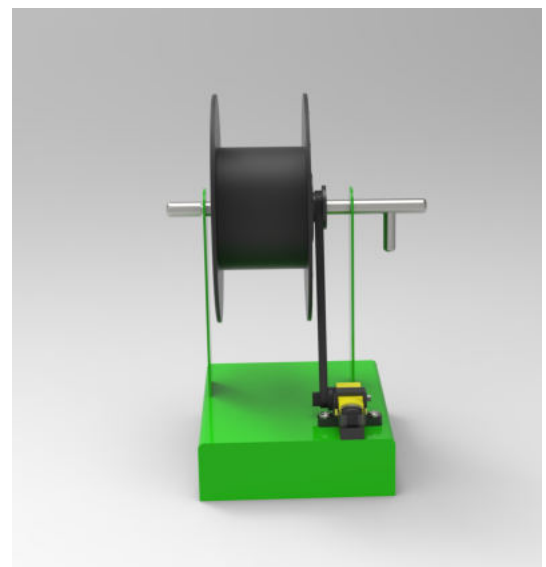
Εικόνα 41 : Κάτοψη συνολικής φωτορεαλιστικής απεικόνισης.



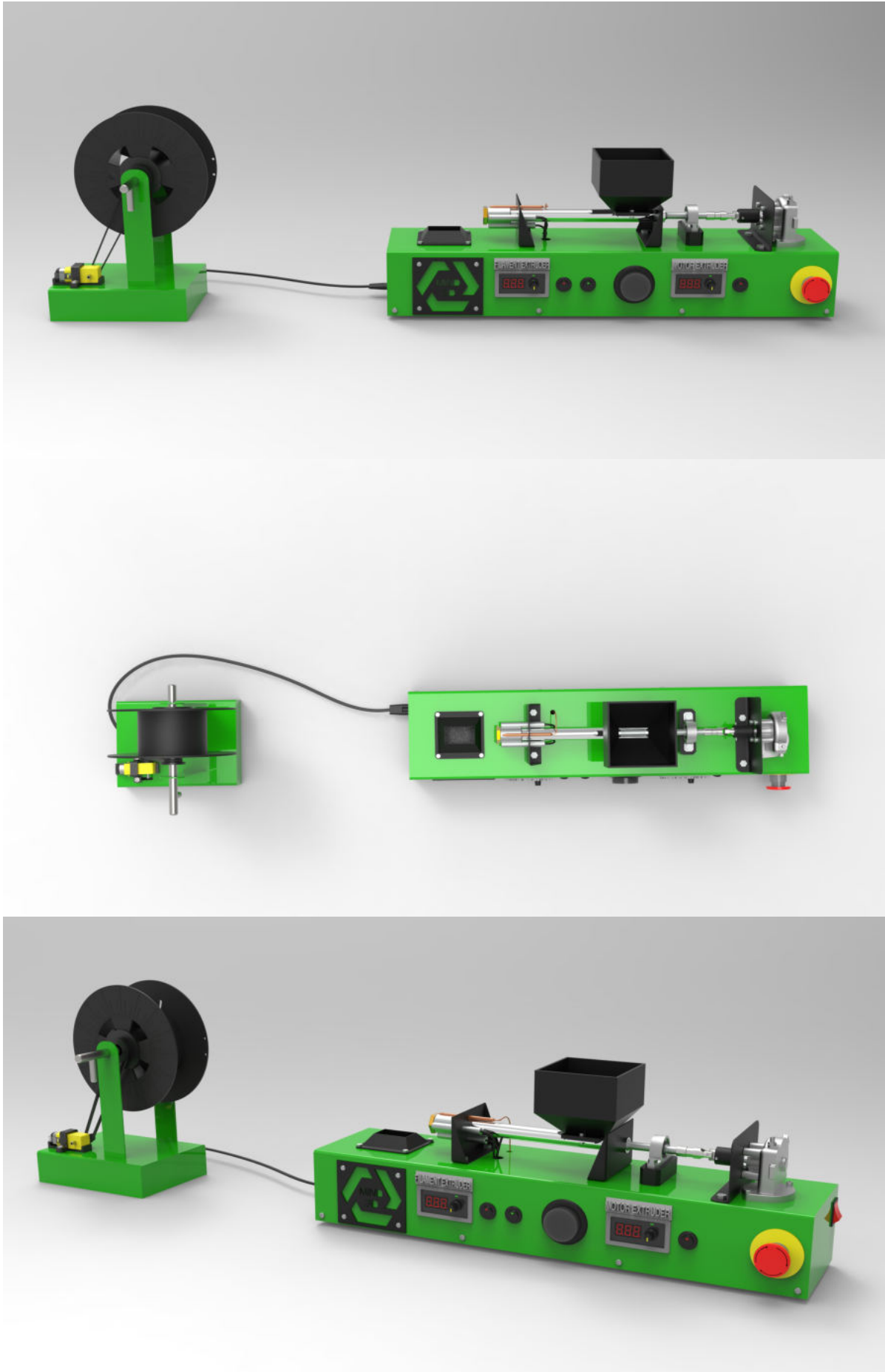
Εικόνα 42 : Εστίαση πιο κοντά σε περισσότερες λεπτομέρειες.



Εικόνα 43 : Φωτορεαλιστική απεικόνιση από την πίσω και μπροστά όψη του filament extruder.



Ολοκληρωτική φωτορεαλιστική απεικόνιση όλων των εξαστημάτων στην τελειωτική μορφή της συσκευής.



Κεφάλαιο 3° – Υλοποίηση κατασκευής.

3.1 Μηχανικά εξαρτήματα του μηχανήματος.

Αφού συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την ολοκλήρωση του filament extruder, παρακάτω θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των λειτουργιών και των χαρακτηριστικών τους.

- Σωλήνα ανοξείδωτη.



Εικόνα 44 : Ανοξείδωτη σωλήνα με εξωτερική διάμετρο $D = 20$ mm. Εσωτερική διάμετρο $d = 16$ mm και μήκος $l = 245$ mm.

- Κοχλίας μεταφοράς.



Εικόνα 45 : Κοχλίας μεταφοράς υλικού κατασκευασμένος από επισκληρυμένο ασάλι με διάμετρο $D = 16$ mm και μήκος $l = 310$ mm.

- Πύρος αποθήκευσης υλικού.



Εικόνα 46 : Πύρος αποθήκευσης υλικού κατασκευασμένος από ζάμακ. (κράμα μετάλλου με ψευδάργυρο, αλουμίνιο, μαγνήσιο και χαλκό). Με διάμετρο $D = 12$ mm και μήκος $l = 210$ mm.

- Μούφα κεφαλής.



Εικόνα 47 : Μούφα με σπείρωμα (χοντρού τοιχώματος), από ανοξείδωτο ατσάλι ποιότητας AISI304. Εξωτερική διάμετρο $D = 26\text{mm}$, εξωτερική διάμετρο $d = 20\text{mm}$ και μήκος $l = 35\text{mm}$.

- Μπεκ κεφαλής.



Εικόνα 48 : Μπεκ κεφαλής κατασκευασμένο από ορείχαλκο και διάστασης 1/2 με εξάγωνη κεφαλή.

- Ρουλεμάν με καβαλέτο KP000.



Εικόνα 49 : Ρουλεμάν με καβαλέτο KP000. Εξωτερική διάμετρος ρουλεμάν $D = 66\text{mm}$ και εσωτερική διάμετρο άξονα $d = 10\text{mm}$.

- Ρουλεμάν.



Εικόνα 50 : Ρουλεμάν με εξωτερική διάμετρο $D = 28$ mm, εσωτερική διάμετρο $d = 12$ mm και πάχος $s = 8$ mm.

- Καρυδάκι και σταυρός σπαστός.



Εικόνα 51: Εξάγωνο καρυδάκι 1/4 9 mm και σταυρός σπαστός 1/4 για τη σύνδεση του κοιλία μεταφοράς με το κύριο μοτέρ.

- Ιμάντας χρονισμού.



Εικόνα 52: Ιμάντας χρονισμού με περίμετρο 320 mm για μεταφορά κίνησης απο μοτέρ σε γραμμική ή περιστροφική κίνηση.

- Σφικτήρας μεταλλικός.



Εικόνα 53: Σφικτήρας μεταλλικός κολάρου με βίδα ρύθμισης με διάμετρο $D = 45$ εως 55 mm.

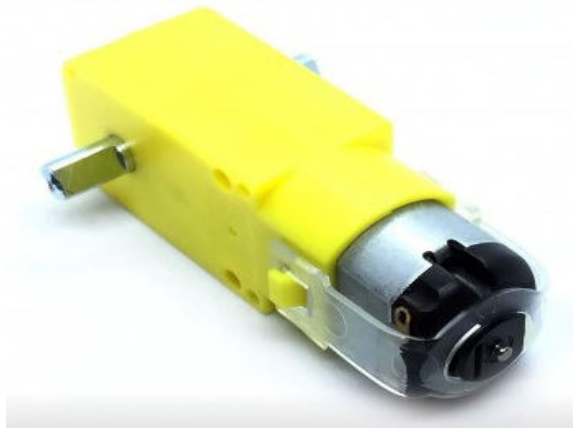
3.1.1 Ηλεκτρολινικά – ηλεκτρονικά εξαρτήματα του μηχανήματος.

- Κύριος ηλεκτροκινητήρας.



Εικόνα 54 : Πρόκειται για DC κύριο ηλεκτροκινητήρα μετάδοσης κίνησης 12 V – 10A.Μέγιστος αριθμός στροφών/λεπτό, 60 στροφές.

- Δευτερεύον ηλεκτροκινητήρας.



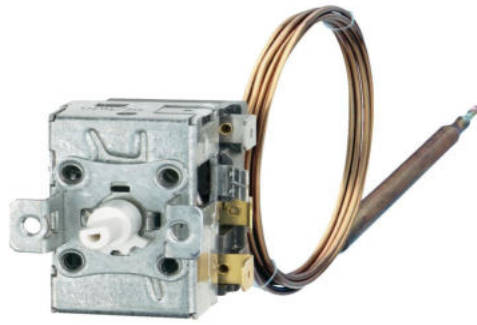
Εικόνα 55 : Πρόκειται για DC ηλεκτροκινητήρα με μεταλλικούς άξονες και στις δύο μεριές του με αναλογία 1:48.Μέγιστος αριθμός στροφών/λεπτό, 120 στροφές, 3 – 6 V και 1 A.

- Τροφοδοτικό.



Εικόνα 56 : Τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος (DC) 12 V – 20 A με επτά επαφές - τρεις εξόδους (+ & -).

- Θερμοστάτης



Εικόνα 57 : Θερμοστάτης μονοφασικός,εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) 230 V – 16 A.Θερμοκρασία λειτουργίας 50 – 300 C.

- Αντιστάσεις.



Εικόνα 58 : Αντίσταση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) 230 V – 60 W.

- Ρυθμιστής στροφών.



Εικόνα 58 : Ρυθμιστής στροφών συνεχούς ρεύματος 5 – 30 V & 5 A.

- Διακόπτης emergency-stop.



Εικόνα 58 : Διακόπτης πίεσης έκτακτης ανάγκης εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) 600V 10A – 300V 5A – 125V 3A.

- Γενικός διακόπτης.



Εικόνα 59 : Γενικός διακόπτης 230 V ON/OFF με ένδειξη λυχνίας.

- Διακόπτες.



Εικόνα 60 : Διακόπτες 230 V ON/OFF με ένδειξη λυχνίας.

- Ανεμιστήρας.



Εικόνα 61 : Ανεμιστήρας ψύξης συνεχούς ρεύματος (DC) 12 V και διαστάσεις 80 * 80 * 25 mm.

3.2 Κατασκευή βασικών εξαρτημάτων πλαισίου.



Εικόνα 62 : Κύριο σώμα – βάση όλων των εξαρτημάτων, κατασκευασμένο από ST 37 και πάχος 1,5 mm. Έγινε διαμόρφωση της γεωμετρίας με τη μέθοδο της στράντζας.



Εικόνα 63 : Στο αμέσως επόμενο βήμα κολλήθηκαν τα δύο πλαινά κομμάτια ώστε να μην υπάρχουν κενά και να γίνει πιο στιβαρή η βάση.



Εικόνα 64 : Δημιουργήθηκαν οπές όπου απαιτούνταν ώστε να στηριχτούν και να βιδώσουν όλα τα εξαρτήματα.



Εικόνα 65 : Ολοκλήρωση με το άνοιγμα όλων των οπών.Μήκος του μηχανήματος 650 mm,πλάτος 150 mm και ύψος 100 mm.



Εικόνα 66 : Κατασκευή βάσεων στήριξης της σωλήνας σε διαστάσεις,μήκος 100 mm και ύψος 60 mm.



Εικόνα 67 : Κατασκευή βάσης στήριξης του κύριου ηλεκτροκινητήρα σε διαστάσεις,μήκος 130 mm και ύψος 75 mm.



Εικόνα 68 : Κοπή σωλήνας για την τροφοδοσία του πλαστικού υλικού. Διαστάσεις αυλακιού 40 * 10 mm.Κόλληση δύο στηριγμάτων για το δοχείο τροφοδοσίας.



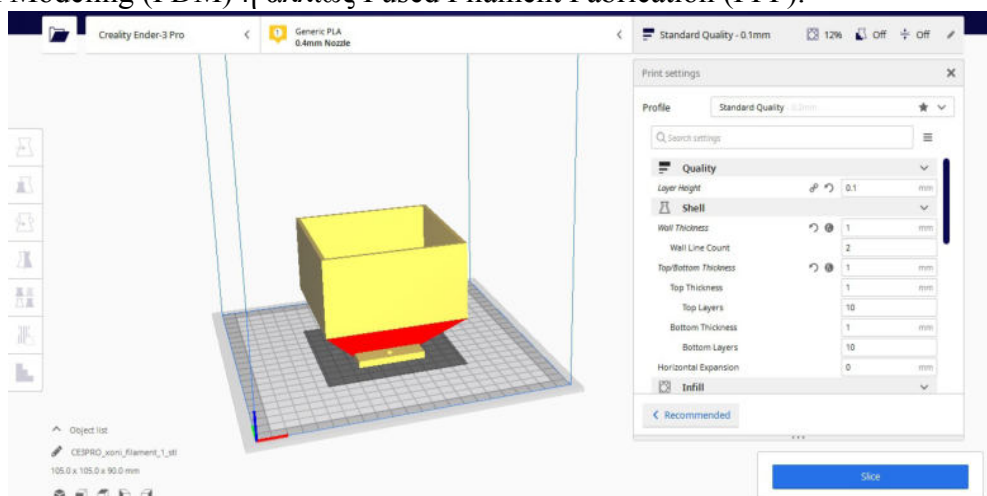
Εικόνα 69 : Δημιουργία τρύπας στο μπεκ της κεφαλής, με διάμετρο οπής 1,75 mm.



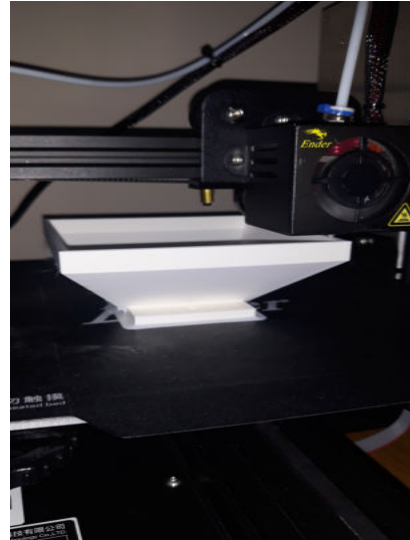
Εικόνα 70 : Κύριο σώμα – βάση όλων των εξαρτημάτων, κατασκευασμένο από ST 37 και πάχος 1,5 mm. Έγινε διαμόρφωση της γεωμετρίας με τη μέθοδο της στράνζας.

3.2.1 Μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης. (3d printing)

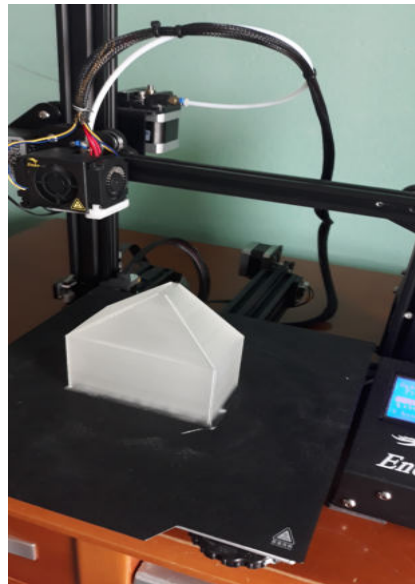
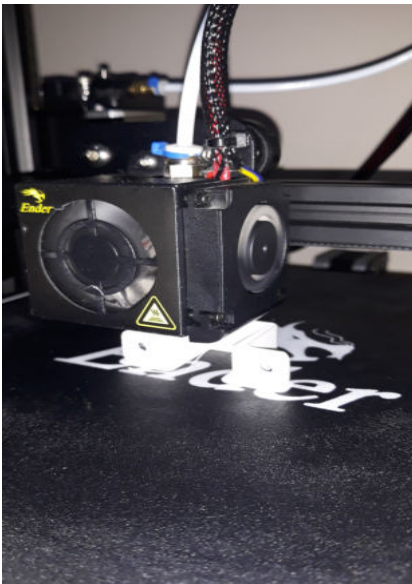
Για την παραγωγή και υλοποίηση πολλών εξαρτημάτων που σχεδιάστηκαν για την κατασκευή, χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατος εκτυπωτής. Ο Creality Ender 3 pro με τη μέθοδο Fused Deposition Modeling (FDM) ή αλλιώς Fused Filament Fabrication (FFF).



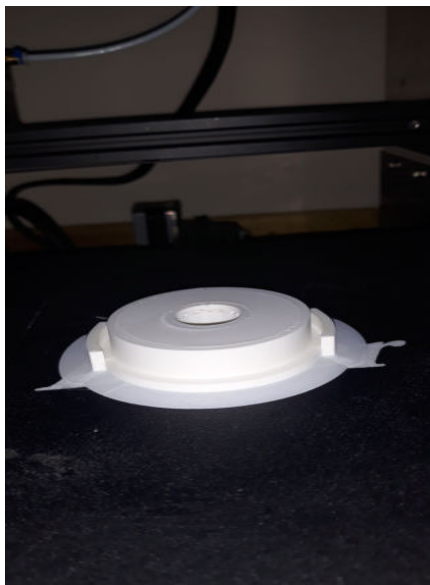
Εικόνα 71 : Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Ultimaker – Cura για την παραγωγή του κώδικα (g-code) αφού έγιναν οι κατάλληλες ρυθμίσεις.



Εικόνα 72 : Φωτογραφίες κατά τη διάρκεια της παραγωγής του δοχείου τροφοδοσίας.Χρησιμοποιήθηκε πλαστικό υλικό PLA για όλες τις εκτυπώσεις των εξαρτημάτων.



Εικόνα 72 : Φωτογραφίες κατά την διάρκεια της εκτύπωσης διάφορων εξαρτημάτων του μηχανήματος.



Εικόνα 73 : Βάση στήριξης άξονα με ρουλεμάν για την αποθήκευση του αναλώσιμου υλικού στο καρούλι.

3.2.2 Μέθοδος υδροκοπής. (water jet)

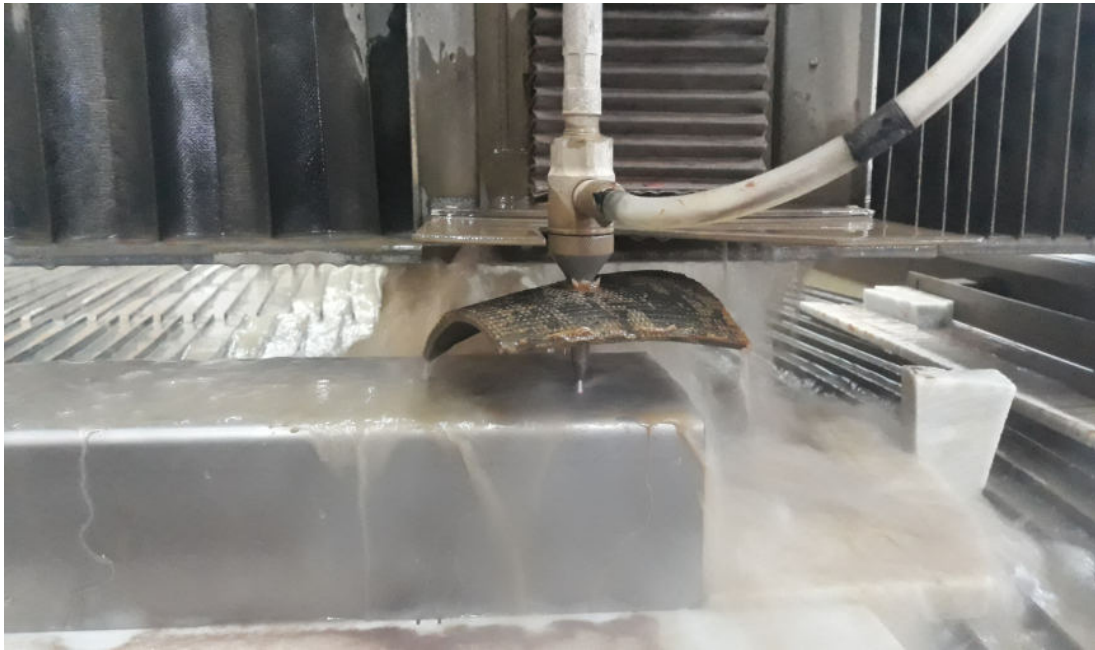
Η υδροκοπή είναι μια μέθοδος κοπής με εκτόξευση νερού, με την ικανότητα να κόβει όλα τα είδη των υλικών, σε ακανόνιστα σχήματα, με εξαιρετική ακρίβεια και ποιότητα ακμής. Αποτελεί μια κρύα μέθοδος κατεργασίας κατά την οποία δεν αναπτύσσονται θερμικές τάσεις, κάτι που καθιστά τη συγκεκριμένη μέθοδο ιδιαίτερα ασφαλή. Εξαιτίας της τεράστιας κινητικής ενέργειας που αναπτύσσει, προσφέρει μεγάλη ακρίβεια κοπής σε οποιοδήποτε υλικό ανεξαρτήτου πάχους, ενώ έχει τη δυνατότητα να εναλλάσσει σχήματα και υλικά χωρίς να τα παραμορφώνει..



Το νερό φιλτράρεται και συμπιέζεται μέσω μιας αντλίας υψηλής πίεσης και στη συνέχεια διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων του υδροκοπτικού μηχανήματος. Ένα ακροφύσιο μικρής διαμέτρου συγκεντρώνει το νερό, του οποίου η υψηλή πίεση μετατρέπεται σε υψηλή ταχύτητα. Η υπερηχητική ακτίνα νερού κόβει κάθε είδους υλικό και η διαδικασία αυτή ονομάζεται καθαρή υδροκοπτική μέθοδος.



Εικόνα 74 : Τοποθέτηση του κομματιού στη μηχανή ώστε να γίνουν οι κοπές.



Εικόνα 75 : Φωτογραφία κατά τη διάρκεια κοπής. Για τον σχεδιασμό και προγραμματισμό της κατεργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό, AutoCad 2017.



Εικόνα 76 : Κοπή λογότυπου σε λαμαρίνα ST 37 και πάχος 2 mm, σε διάσταση 100 * 90 mm.

3.3 Βάψιμο των εξαρτημάτων.

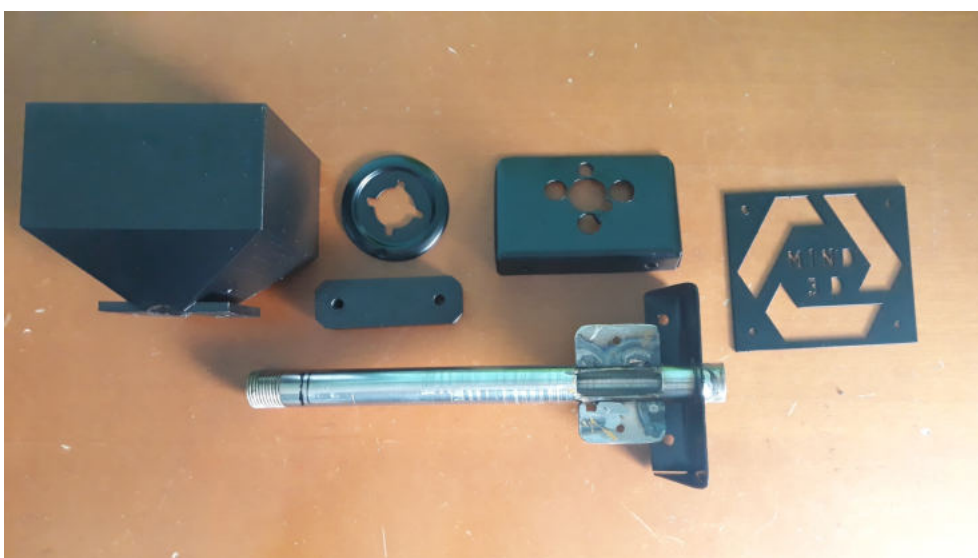
Αφού ολοκληρώθηκαν όλα τα στάδια διαμόρφωσης και κατεργασίας των εξαρτημάτων ακολούθησε η διαδικασία του βαψίματος. Το βασικό χρώμα του μηχανήματος είναι το πράσινο, βασισμένο στην ανακύκλωση όχι μόνο του πλαστικού υλικού αλλά σε όλο της το εύρος.



Εικόνα 77 : Πλάγια όψη και κάτοψη από το κύριο σώμα του μηχανήματος μετά την βαφή.



Εικόνα 78 : Βάψιμο του κάτω μέρους – πάτος του μηχανήματος.



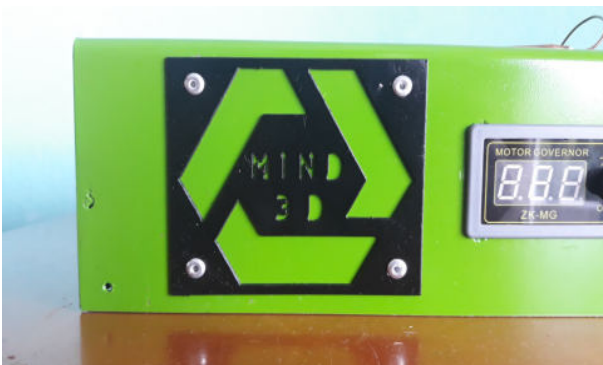
Εικόνα 79 : Βάψιμο διάφορων μεταλλικών και πλαστικών εξαρτημάτων του μηχανήματος σε χρώμα μαύρο ματ.

3.4 Συναρμολόγηση των εξαρτημάτων.

Ακολουθεί η συναρμολόγηση όλων των μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων ώστε να ολοκληρωθεί η κατασκευή.



Εικόνα 80 : Τοποθέτηση βασικού ηλεκτροκινητήρα και βάση στήριξης.



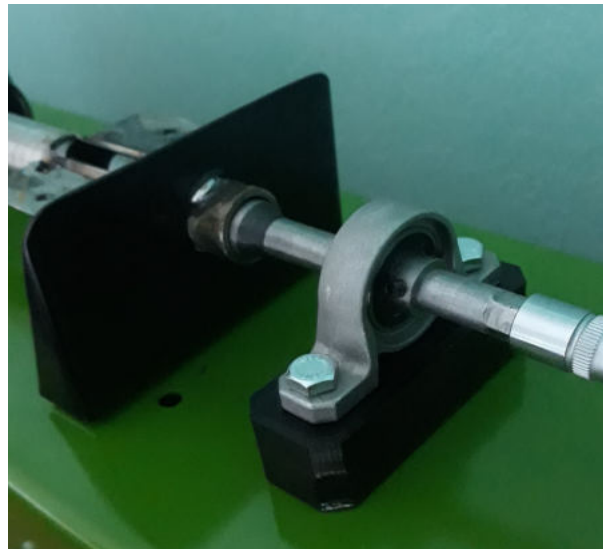
Εικόνα 81 : Τοποθέτηση του λογότυπου με στεθερά σημεία πριτσίνια.



Εικόνα 82 : Τοποθέτηση μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων (ηλεκτροκινητήρα, βάσεων στήριξης, διακοπών, θερμοστάτη, emergency stop).



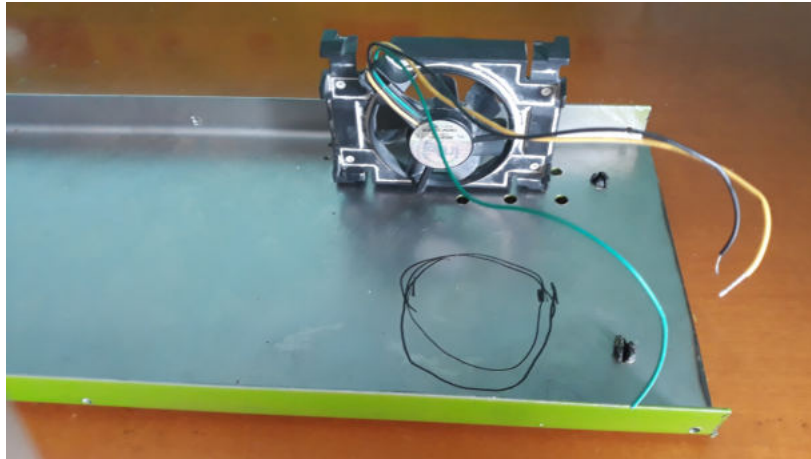
Εικόνα 83 : Τοποθέτηση μηχανικών εξαρτημάτων σπαστού σταυρού,αρίδα μεταφοράς,ρουλεμάν στήριξης,βάσεων στήριξης,εξωτερικό και εσωτερικό δοχείο στήριξης.



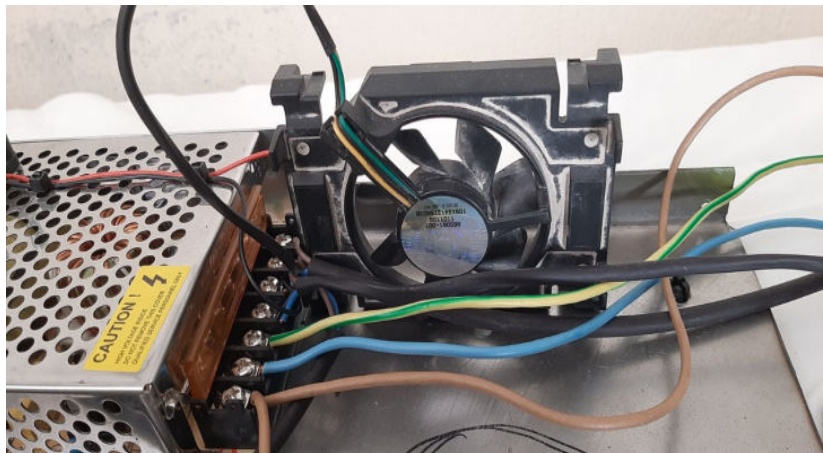
Εικόνα 83 : Τοποθέτηση μηχανικών εξαρτημάτων κίνησης και μεταφοράς.

3.5 Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία και κυκλώματα.

Το τελικό στάδιο για την ολοκλήρωσή της κατασκευής είναι η ηλεκτρολογική συνδεσμολογία όλων των εξαρτημάτων. Ακολουθούν παρακάτω τα βήματα συνδεσμολογίας.



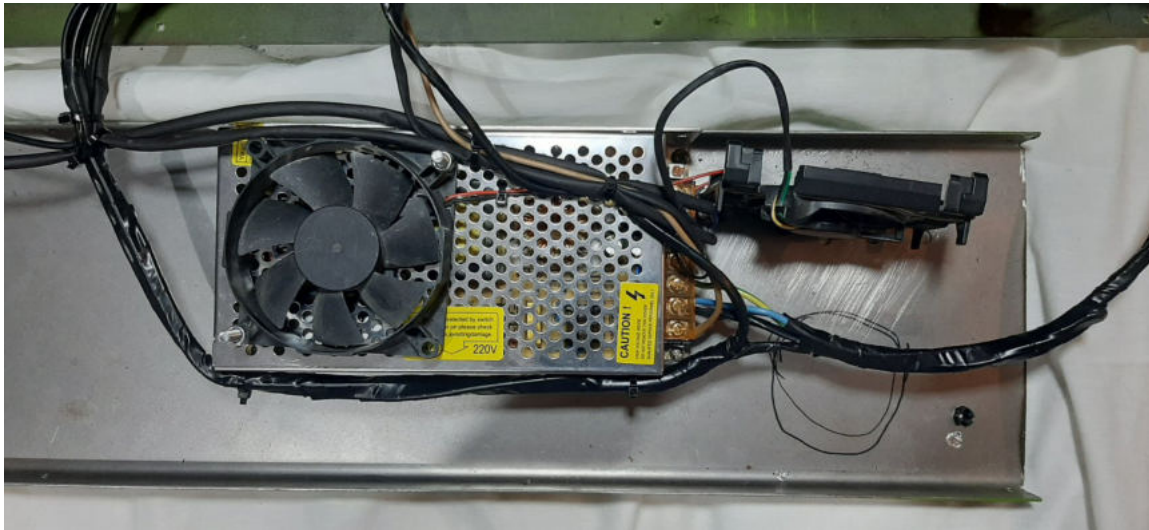
Εικόνα 84 : Τοποθέτηση ανεμιστήρα 12 V για την ψύξη του βασικού ηλεκτροκινητήρα.



Εικόνα 85 : Τοποθέτηση τροφοδοτικού σενεχούς ρεύματος AC 12 V με τρεις εξόδους συνδεσμολογίας +/- και συνδεσμολογία τροφοδοσίας. Φάση L(καφέ καλώδιο), Ουδέτερος N (μπλέ καλώδιο) και Γείωση (κίτρινο-πράσινο καλώδιο).



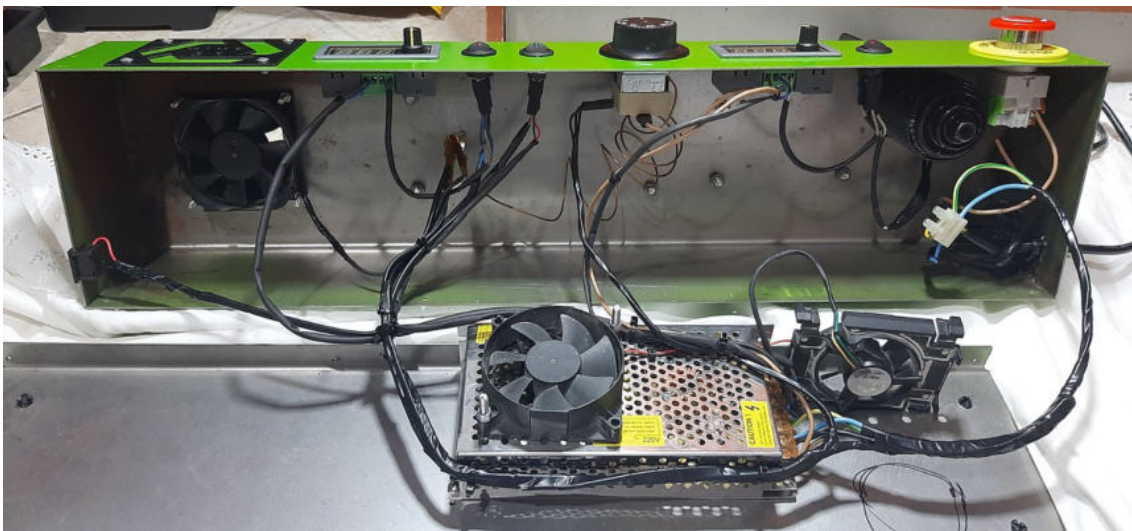
Εικόνα 86 : Τοποθέτηση και συνδεσμολογία ηλεκτρικού ανεμιστήρα 12 V για την ψήξη του τροφοδοτικού.



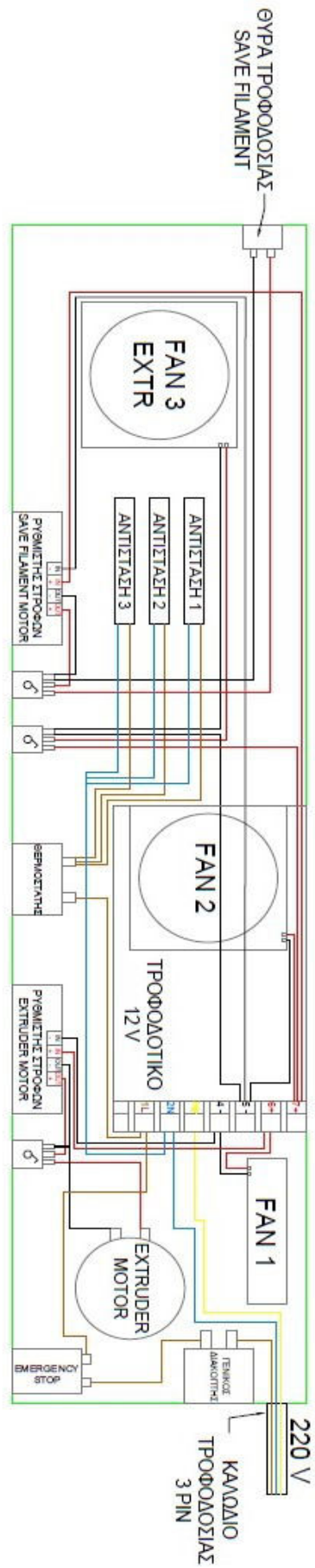
Εικόνα 87 : Μόνωση όλων καλωδίων με θερμοσυστελλόμενο και μονωτική ταινία.



Εικόνα 88 : Συνδεσμολογία τροφοδοσίας στον γενικό διακόπτη έπειτα στο emergency stop και τέλος στο τροφοδοτικό.



Εικόνα 89 : Τελική εικόνα μετά τη συνδεσμολογία όλων των εξαρτημάτων και καλωδίων.



Εικόνα 89 : Ηλεκτρολογικό σχέδιο όλων των εξαρτημάτων.

Κεφάλαιο 4° – Οδηγίες χρήσης.

4.1 Βήματα ενεργοποίησης συσκευής.

Πραγματοποιώντας τις παραπάνω διαδικασίες κατασκευής και συνδεσμολογίας καταλήγει σε έναν οδηγό για τα βήματα ενεργοποίησης της συσκευής και χειρισμού αυτής. Ακολουθούν τα παρακάτω βήματα.

1. Τοποθέτηση του καλωδίου τροφοδοσίας σε μπρίζα εναλλασσόμενου ρεύματος AC 230 V.
2. Ενεργοποίηση του γενικού διακόπτη στην ένδειξη " I ".
3. Άνοιγμα του emergency-stop (στρίβοντας προς τα δεξιά) ώστε να κλείσει το κύκλωμα και να μπορεί να λειτουργήσει.
4. Ενεργοποίηση της ηλεκτρικής αντίστασης στρίβοντας τον ροοστάτη προς την κατάλληλη θερμοκρασία, ανάλογα με το υλικό που πρόκειται να ανακυκλωθεί.
5. Αφού η αντίσταση φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία, τότε το επόμενο βήμα είναι να μπει το θριματισμένο υλικό στο εσωτερικό δοχείο τροφοδοσίας.
6. Ενεργοποίηση του βασικού ηλεκτροκινητήρα (motor extruder) :
 - α) Ρύθμιση στροφών / λεπτό, από το ποντεσιόμετρο της ψηφιακής οθόνης. Η ένδειξη της οθόνης είναι σε ποσοστό επί τοις %. (βλέπε πίνακα κατανομής μεταβλητών)
 - β) Άνοιγμα του διακόπτη δεξιά της οθόνης (motor extruder).
7. Άνοιγμα του διακόπτη (πράσινο λεντ) για να ενεργοποιηθεί ο ανεμιστήρας ψύξης του υλικού.
8. Αφού ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής και εξέλθει το αναλώσιμο υλικό σε μορφή νήματος, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί στο καρούλι (save filament) το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση αυτού.
9. Ενεργοποίηση του δευτερεύον ηλεκτροκινητήρα (save filament) :
 - α) Ρύθμιση στροφών / λεπτό, από το ποντεσιόμετρο της ψηφιακής οθόνης. Η ένδειξη της οθόνης είναι σε ποσοστό επί τοις %. (βλέπε πίνακα κατανομής μεταβλητών)
 - β) Άνοιγμα του διακόπτη δεξιά της οθόνης (save filament).
10. Ανατροφοδότηση του δοχείου με θριματισμένο πλαστικό υλικό.

4.2 Πίνακες κατανομής μεταβλητών λειτουργίας.

Για την παρασκευή αναλώσιμου πλαστικού υλικού δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας, ανάλογα με τη συμπεριφορά κάθε υλικού. Οι τιμές που αναγράφονται στον πίνακα είναι σε ποσοστό %. Ρυθμίζονται με ποτεσιόμετρο που βρίσκεται στις ψηφιακές οθόνες της συσκευής για την σωστή παραγωγή αυτού. Κατά την εξώθηση πλάστικού υλικού ο ανεμιστήρας ψύξης είναι απαραίτητο να είναι πάντα ενεργοποιημένος.

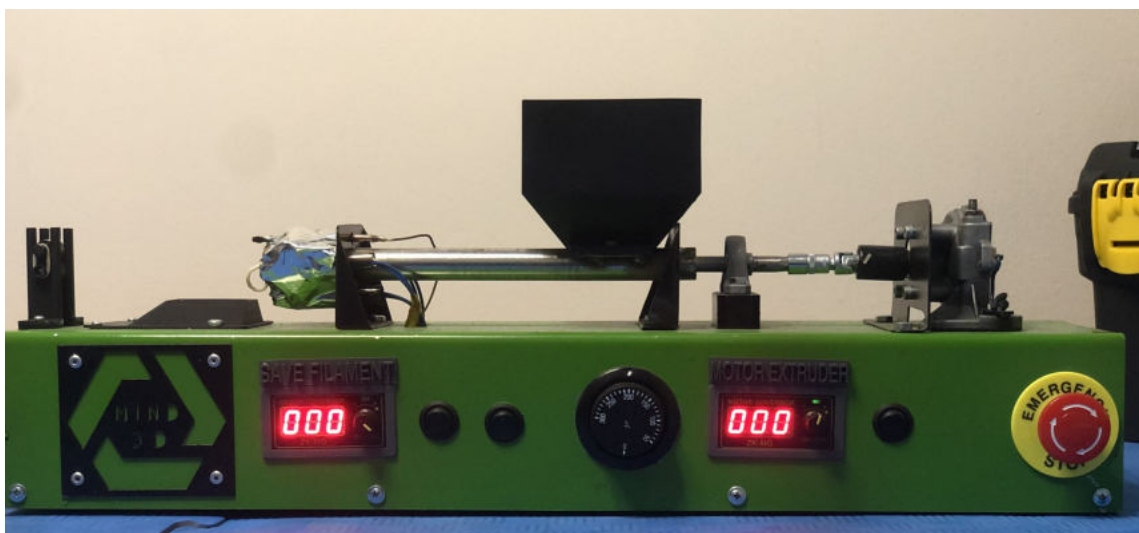
ΥΛΙΚΟ	MOTOR EXTRUDER (ΠΟΣΟΣΤΟ %)	SAVE FILAMENT (ΠΟΣΟΣΤΟ %)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
PLA	65	80 - 85	190 °C
ABS	65	80 - 85	200 °C
HDPE	65	70 - 75	170 °C
HDPE + PLA 40% + 60%	65	75 - 80	190 °C

Οι τιμές που αναγράφονται παραπάνω, ενδέχεται σε κάποιες περιπτώσεις να απαιτούν μορφοποίηση.

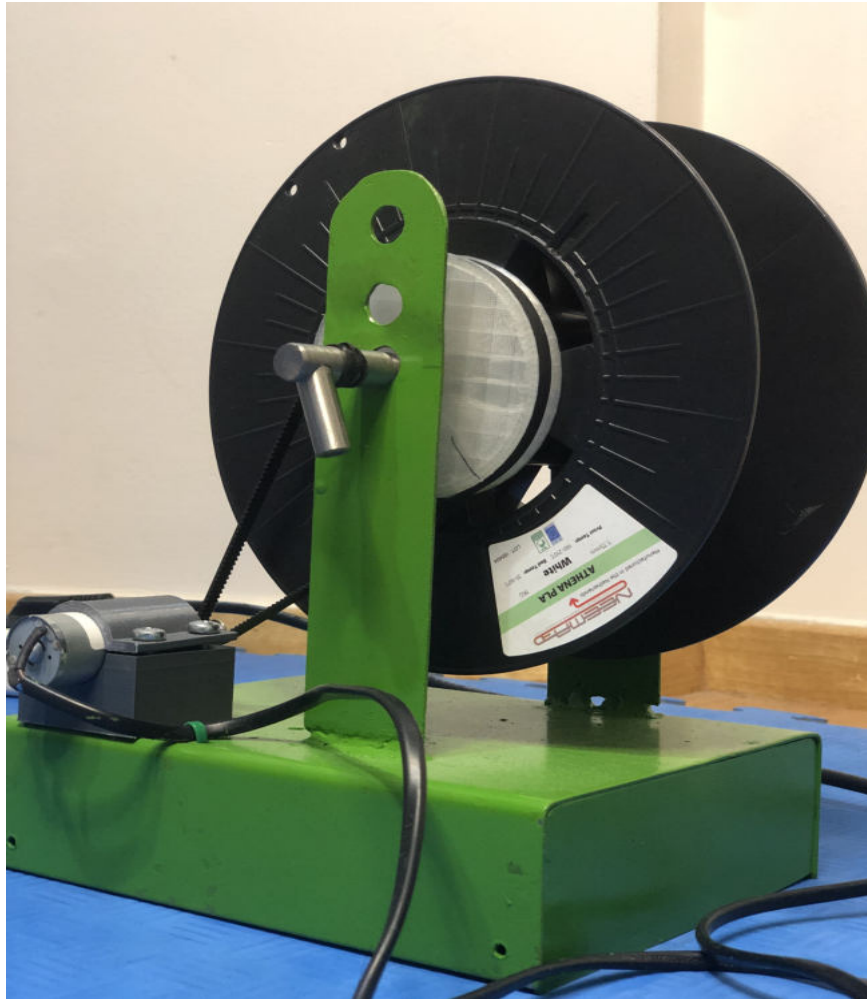
4.3 Παραγωγή αναλώσιμου υλικού.

Παρουσιάζετε η συσκευή εξώθησης στην τελική της μορφή, έτοιμη για παραγωγή-ανακύκλωση πλαστικού. Ωστόσο οι δυνατότητες παραγωγής είναι οι παρακάτω:

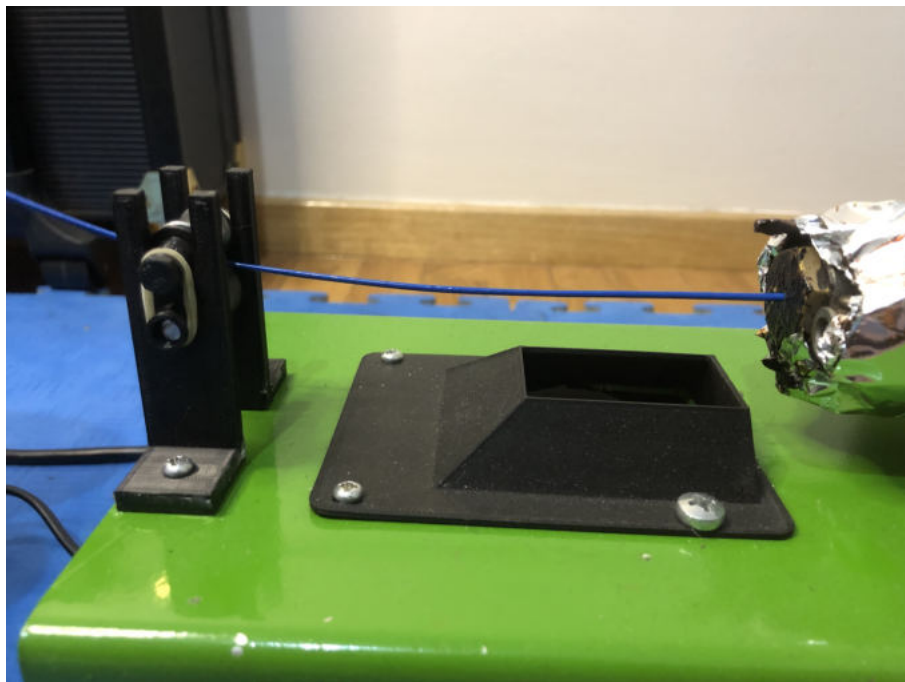
- Παραγωγή αναλώσιμου υλικού 1,33m / λεπτό.
- Κατανάλωση 1,75gr / 1m αναλώσιμου υλικού.
- Παραγωγή αναλώσιμου υλικού 571m / 1000gr θριματισμένου πλαστικού.
- Παραγωγή αναλώσιμου υλικού 1000gr σε 7 ώρες & 15 λεπτά.



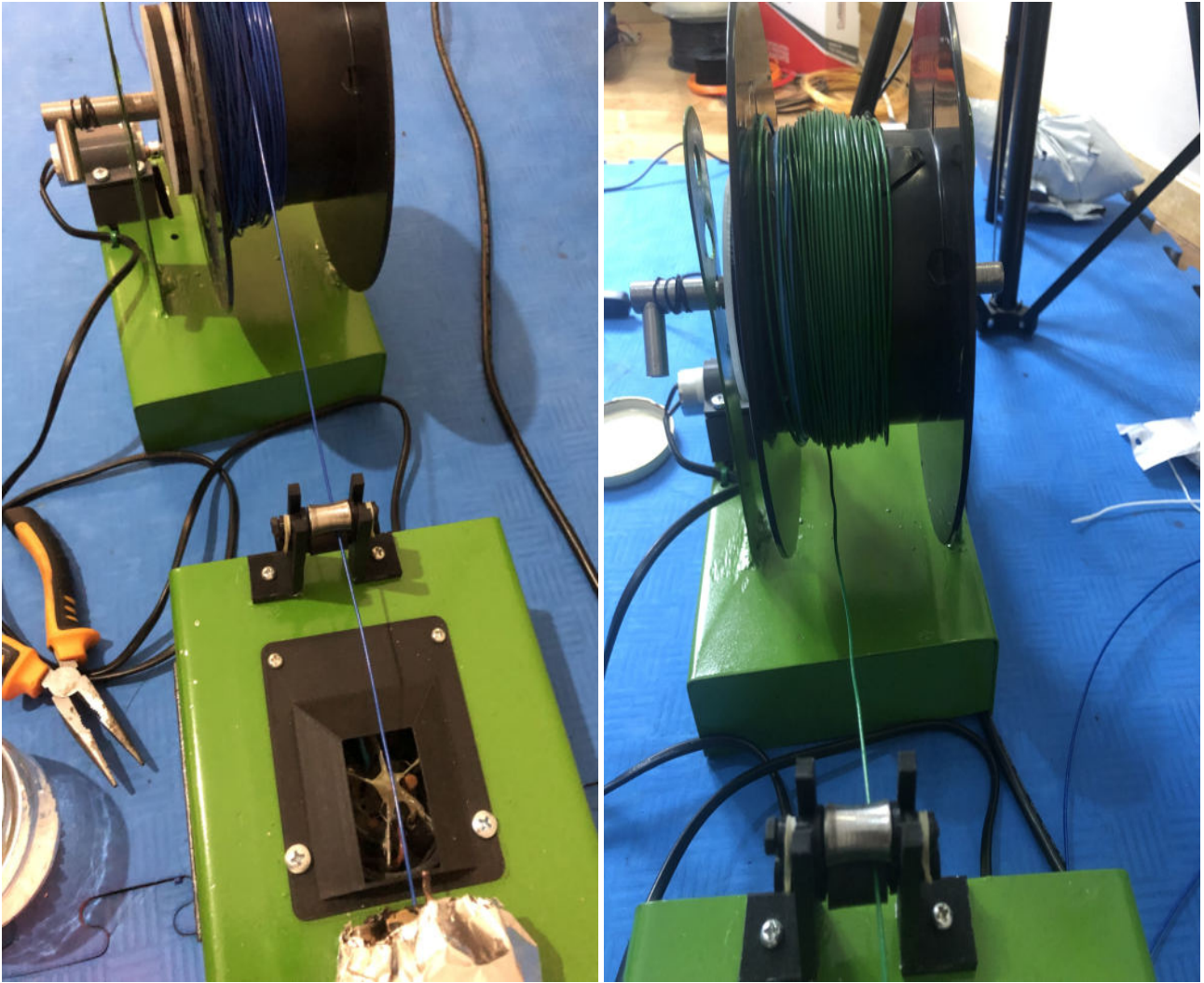
Εικόνα 90 : Τελική μορφή του filament extruder.



Εικόνα 92 : Συσκευή αποθήκευσης υλικού (save filament). Ο ηλεκτροκινητήρας μεταφέρει την κίνηση μέσω του ιμάντα στο γρανάτζι ώστε να αποθηκευτεί το υλικό στο καρούλι.



Εικόνα 93 : Φωτογραφία κατά την διαδικασία εξώθησης πλαστικού νήματος, σε διάμετρο 1,75mm και υλικό ABS με μπλε χρώμα colorants.



Εικόνα 93 : Εξώθηση του πλαστικού,αμέσως μετά ακολουθεί η ψύξη και περνά μέσα από τον οδηγό ώστε να τυλιχθεί σωστά στο κρούλι αποθήκευσης.

Κεφάλαιο 5° – Αποτελέσματα.

5.1 Ανάλυση υλικών και 3D μοντέλων που εκτυπώθηκαν.

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των χαρακτηριστικών όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν ξεχωριστά.

Πλαστικό **PLA** :

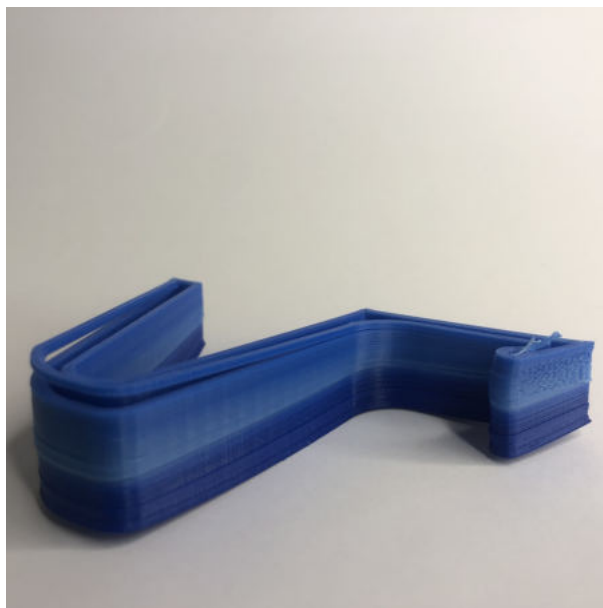
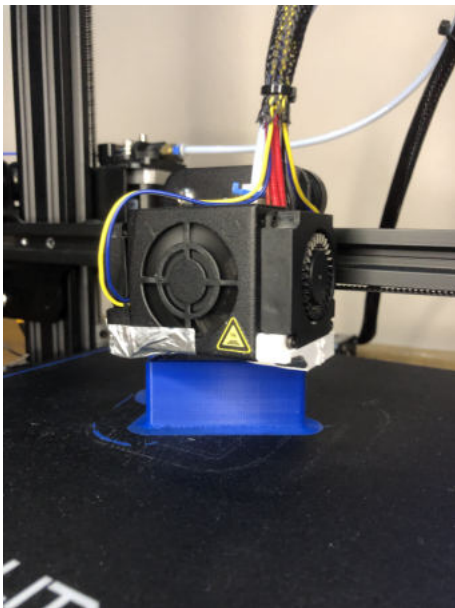
- Χαμηλή θερμοκρασία εξώθησης (190°C).
- Χαμηλή θερμοκρασία εκτύπωσης (205°C).
- Γρήγορη ψύξη μετά την εξώθηση.
- Ομοιομορφία στην διάμετρο, σε όλο του το μήκος κατά την εξώθηση.
- Εύκολο υλικό κατά την 3D εκτύπωση.



Θήκη αποθήκευσης μπαταριών.

Πλαστικό ABS :

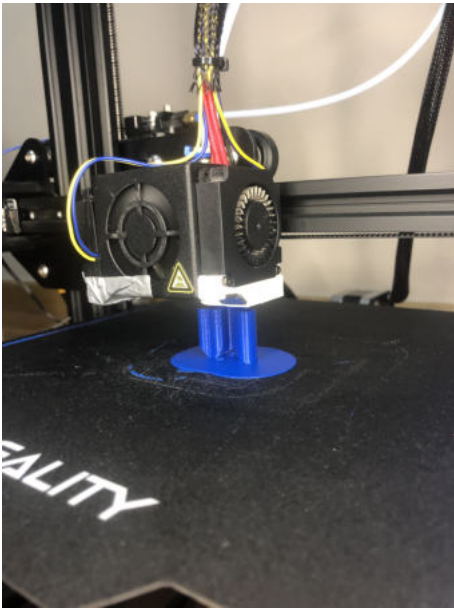
- Χαμηλή θερμοκρασία εξώθησης (200°C).
- Υψηλή θερμοκρασία εκτύπωσης (235°C).
- Γρήγορη ψύξη μετά την εξώθηση.
- Ομοιομορφία στην διάμετρο, σε όλο του το μήκος κατά την εξώθηση.
- Ελάχιστες δυσκολίες κατά την 3D εκτύπωση.



Αποτυχημένη εκτύπωση.



Επιτυχημένη εκτύπωση.



Υποδοχή τυλίγματος ακουστικών.



Αποτυχημένη εκτύπωση.

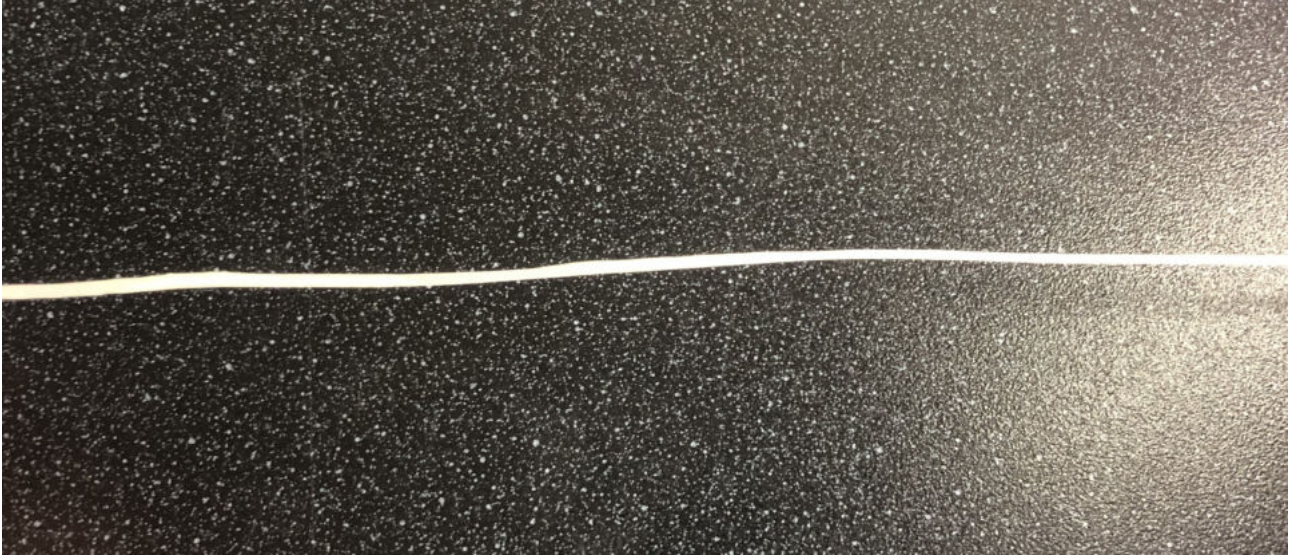


Επιτυχημένη εκτύπωση.



Πλαστικό **HDPE** :

- Χαμηλή θερμοκρασία εξώθησης (170°C).
- Χαμηλή θερμοκρασία εκτύπωσης (205°C).
- Αργή ψύξη μετά την εξώθηση.
- Ανομοιορφία στην διάμετρο σε όλο του το μήκος κατά την εξώθηση, με αποτέλεσμα να το καθιστά ακατάλληλο για 3D εκτύπωση.

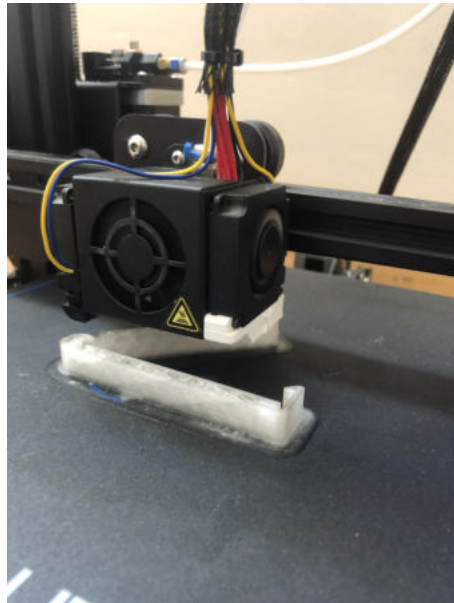


Αποτυχημένη εκτύπωση με καθαρό αναλώσιμο υλικό HDPE.

Στη διαδικασία ενός πειράματος, έγινε πρόσμιξη δυο ειδών πλαστικού HDPE + PLA, με αποτέλεσμα την σωστή εξώθηση του υλικού. Η αναλογία αυτών 70% HDPE + 30% PLA.

Πλαστικό **HDPE + PLA** :

- Χαμηλή θερμοκρασία εξώθησης (190°C).
- Χαμηλή θερμοκρασία εκτύπωσης (205°C).
- Γρήγορη ψύξη μετά την εξώθηση.
- Ομοιομορφία στην διάμετρο, σε όλο του το μήκος κατά την εξώθηση.
- Ελάχιστες δυσκολίες κατά την 3D εκτύπωση.
- Αναλογία πρόσμιξης άγχρωμων υλικών 40% HDPE + 60% PLA.



Κλιπ αεροστεγές ασφάλισης για σακούλες.

5.2 Περιπτώσεις προβημάτων κατά την εξώθηση.

Η λάθος εξώθηση αναλώσιμου πλαστικού υλικού, εξαρτάται από την θερμοκρασία.

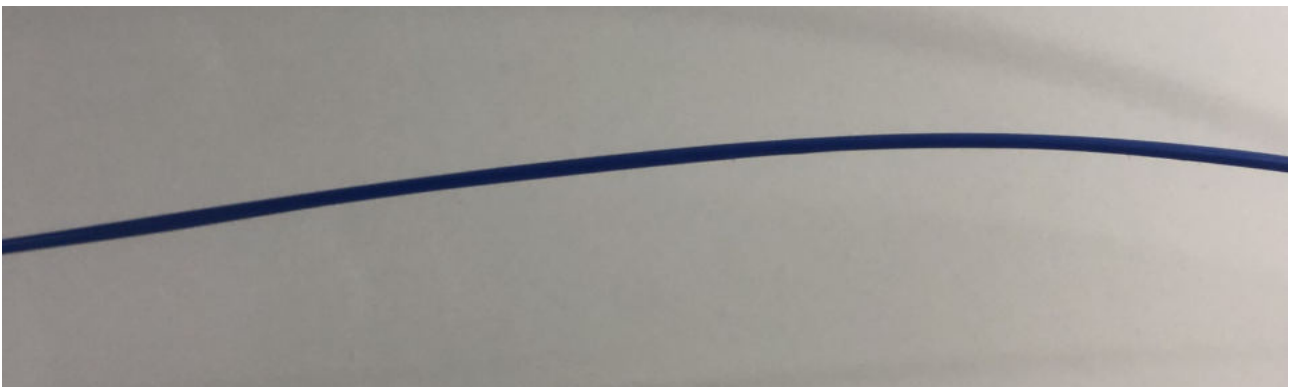
α) Αυξημένη θερμοκρασία από την προβλεπόμενη :

- Ταχύτερη εξώθηση με αποτέλεσμα μη επιθυμητή διάμετρο.
- Παρατηρούνται φυσαλίδια σε όλο του το μήκος.
- Μειωμένος χρόνος στο θερμενόμενο θάλαμο με αποτέλεσμα να μην λιώνει σωστά το θριμματισμένο πλαστικό.
- Παρατηρείται σε κάποια σημεία οβάλ-πλακέ διαμέτρος, διότι δεν επαρκεί η ψύξη σε σχέση με τη διάμετρο.
- Ακατάλληλο για 3D εκτύπωση.



β) Μειωμένη θερμοκρασία από την προβλεπόμενη :

- Αργή εξώθηση με αποτέλεσμα μη επιθυμητή διάμετρο.
- Ανομοιορφία στην διάμετρο σε όλο του το μήκος κατά την εξώθηση.
- Ακατάλληλο για 3D εκτύπωση.



5.3 Συμπεράσματα.

Μέσα από αυτήν την πτυχιακή εργασία με θέμα τον “filament extruder” προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Μειώνεται το κόστος παραγωγής του αναλώσιμου υλικού κατά 80 % σε σχέση με την τιμή της αγοράς.
- Συμμετοχή στη δράση της ανακύκλωσης, καθώς προϊόντα επαναχρησιμοποιούνται με σκοπό την παραγωγή νέου υλικού.
- Μεγάλη ποικιλία ανακύκλωσης πλαστικών υλικών.
- Παραγωγή υλικού οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Εύκολη λειτουργία του μηχανήματος.
- Δυνατότητα παραγωγής σύνθετων πλαστικών που δεν διατίθενται στο εμπόριο.

5.4 Εκτίμηση κόστους.

ΠΡΟΙΟΝ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΙΜΗ / €
Ηλεκτροκινητήρας	DC - 12 V - 10 A	1	45
Ηλεκτροκινητήρας	DC - 12 V	1	11
Τροφοδοτικό	DC - 12 V – 20 A	1	16,5
Θερμοστάτης	AC - 220–230V & 0–300 °C	1	10
Αντιστάσεις	AC - 220–230V & 0–300 °C	3	15
Ρυθμιστής στροφών	DC - 3 – 12 V	2	16,6
Διακόπτης emergency-stop	AC - 220–230V	1	1,5
Γενικός διακόπτης	230V	1	2,3
Καλώδιο τροφοδοσίας	1,5 m.	1	1,8
Καλώδιο-συνδεσμολογίες	5 m.	2	3
Θερμοσυστελλόμενο καλ.	5 m.	5	1,7
Διακόπτης λυχνία – on /off	230V	3	3,9
Ανεμιστήρας	80*80 mm – 12 V	3	10
Λαμαρίνα χάλυβα + στράντζα	S = 2 mm	1	25
Σωλήνα ανοξειδωτη	D=20mm ,d=16 ,l=250	1	14,75
Κατεργασία σωλήνας (σπείρωμα)	Σπείρωμα τριγωνικό	1	10
Κοχλίας μεταφοράς	D=16mm ,l =320mm	1	13
Κατεργασία κοχλία μετ.	-0,1mm & διαμορφ.λαιμού	1	10

Πύρος αποθήκευσης υλικού	D=12mm ,l =210mm	1	3,5
Κατεργασία πύρου	-1mm & δύο αυλάκια 3*3	1	3
Μούφα κεφαλής	D=27mm,d=20mm,l=35mm	1	1,5
Μπεκ κεφαλής	D=27mm,d=20mm	1	1
Ρουλεμάν 0KP	d=10mm	1	2,5
Ρουλεμάν	D=28mm,d=12mm	2	3
Σταυρός σπαστός	D=9mm & 1/4	1	5
Καρυδάκι	D=9mm	1	1,5
Ιμάντας χρονισμού	TG-2 l = 400 mm	1	1,8
Θερμομονωτική ταινία	30 m	1	3
Σπρει μεταλλικό/ματ	Πράσινο – μαύρο	3	9
Σφυγκτήρες - Βίδες – πξιμάδια	D= 45 – 55 mm	2	7
Πλαστική βάση-μάζεμα υλικού	-	1	9
Υλικό εκτυπωμένων εξαρτημάτων	Pla	9	5
Τάπες (βάσεις-ποδαράκια)		4	1,2
			ΣΥΝ. 266,55

Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1° – Filament extruder - Βασικές έννοιες & Ανακύκλωση πλαστικού.

<https://all3dp.com/2/the-3d-printer-filament-recycler-s-guide/>

<https://all3dp.com/2/6-best-filament-extruders-to-build-or-buy/>

<https://www.instructables.com/Plastic-shredder-for-making-3D-printer-filament/>

<https://www.instructables.com/Build-your-own-3d-printing-filament-factory-Filame/>

<https://www.open-electronics.org/an-open-source-filament-extruder-for-3d-printer/>

<https://aranieco.com/2020/03/05/recycling-plastic-key-challenges/>

<https://felfil.com/abs-filament-for-3d-printing-learning-about-plastic-materials/?v=5ea34fa833a1>

<https://felfil.com/abs-filament-for-3d-printing-learning-about-plastic-materials/?v=5ea34fa833a1>

<https://felfil.com/pla-filament-for-3d-printing-learning-about-plastic-materials/?v=5ea34fa833a1>

<https://www.ecoplast.com/rezyklate/recycled-hdpeldpe/>

Κεφάλαιο 2° – Τρισδιάστατος σχεδιασμός.

<https://digiprints.gr/nea/trisdiastati-ektiposi/>

https://www.3dhub.gr/files/3D_printing_education_3DHUB

<https://3dform.gr/3d-printing/>

<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Ffiverr-res.cloudinary.com%2Fimages>

<https://www.bluedot.gr/2015/03/veritasium-3d-hands/>

[https://www.3designstudio.gr/3d-printing/efarmoges/#iLightbox\[41b9313b204838cb7ac\]/0](https://www.3designstudio.gr/3d-printing/efarmoges/#iLightbox[41b9313b204838cb7ac]/0)

<https://www.naftemporiki.gr/story/1762513/fouskoto-rompotiko-prosthetiko-xeri>