



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ, ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΞΥΛΟΥ &
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΠΜΣ: Προηγμένες Μέθοδοι Σχεδιασμού, Τεχνολογίας & Μάνατζμεντ
Προϊόντων από Ξύλο

(MSc in Advanced Design, Technology & Management Methods of Wooden Products)



ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

“Παραμετρική μελέτη τρισδιάστατης εκτύπωσης εξαρτημάτων βιολιού”

“Parameter design of 3D printing process for violin parts (spares)”

ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

ΑΡΒΑΝΙΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΕΧΑΓΙΑΣ Ι.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΚΕΧΑΓΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΝΙΝΙΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΝΤΑΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ, 28/02/2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ

1.Πρόλογος.....	6
2.Εισαγωγή.....	6
3.Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	6
4.Σκοπός της έρευνας.....	19
5.Ερευνητικά ερωτήματα.....	19
6.Μέθοδοι και εξοπλισμός.....	20
6.1Επιλογή παραμέτρων εκτύπωσης και τεκμηρίωση με βάση την Εισαγωγή.....	20
6.2Πειραματικός σχεδιασμός.....	20
7.Αποτελέσματα.....	29
8.Συμπεράσματα.....	51
9.Προτάσεις.....	54
Βιβλιογραφία.....	55

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο πλαίσιο των μεταπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Δοσολογίας, Επιστημών Ξύλου & Σχεδιασμού, ΠΜΣ: ‘‘προηγμένες μέθοδοι σχεδιασμού, τεχνολογίας & μανάτζμεντ προϊόντων από ξύλο’’ συντάχθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Στα πλαίσια της συγγραφής ταύτης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο και αναγράφοντα στη βιβλιογραφία. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος».

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου σε όσους βοήθησαν για την υλοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της τριμελούς επιτροπής και συγκεκριμένα, τον κ. Νταλό Γεώργιο, τον κ. Νινίκα Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθειά τους και συνεργασία. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Κεχαγιά Ιωάννη, ο οποίος ταυτόχρονα υπήρξε και ο επιβλέπων καθηγητής. Πίστεψε στην αρχική ιδέα υλοποίησης και με καθοδήγησε με συνεχή υποστήριξη. Ακόμη, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές του Μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών καθώς οι γνώσεις που προσέφεραν συνέβαλλαν σημαντικά στη συγγραφή. Επίσης, ευχαριστώ θερμά την κα Ράμμου, καθηγήτρια στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Τεχνολογίας, Τμήμα Δασολογίας, Επιστημών Ξύλου & Σχεδιασμού για τη θερμή φιλοξενία στο χώρο του εργαστηρίου, καθώς επίσης και τους προπτυχιακούς φοιτητές πρακτικής άσκησης για τον ίδιο λόγο. Τέλος, ευχαριστώ το ίδιο το Πανεπιστήμιο χρησιμοποιώντας ως εκπρόσωπο τον διευθυντή του Μεταπτυχιακού Προγράμματος κ. Παπαδόπουλο Ιωάννη, για την άδεια εισόδου στο χώρο του εργαστηρίου και τη χρήση του μηχανολογικού εξοπλισμού, και ξανά με τη σύμφωνη γνώμη του κ. Κεχαγιά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την εκτύπωση. Θα γίνει αναφορά παραδείγματος από το χώρο της μουσικής και συγκεκριμένα στην προσπάθεια κατασκευής εξαρτημάτων βιολιού με τη χρήση πειραμάτων. Θα ακολουθήσει σύνδεση και καταγραφή με τις παραμέτρους που θα επιλεγούν για τη μελλοντική υλοποίηση του μουσικού αυτού οργάνου. Έλεγχος έτσι ώστε αυτό να προσεγγίζει τις ακουστικές και λειτουργικές δυνατότητες ενός παραδοσιακά (χειρωνακτικά) κατασκευασμένου και την είσοδο στην αγορά λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές απαιτήσεις εφαρμογής/ υλοποίησης. Διαδικασία κατόπιν αξιολόγησης των χρησιμοποιηθέντων υλικών υπό το πρίσμα των περιβαλλοντικών προκλήσεων.

Λέξεις κλειδιά: τρισδιάστατη εκτύπωση, παράμετροι εκτύπωσης, έλεγχος παραμέτρων.

SUMMARY

The purpose of this work is to understand the parameters that affect printing. An example from the field of music will be mentioned and specifically the attempt to create violin parts using experiments. It will be connected and recorded with the parameters that will be chosen for a future implementation of this musical instrument. Control so that this approximates the acoustic and functional capabilities of a traditionally (manually) built and market entry considering the financial requirements of application/implementation. Process after evaluating the materials used in the light of environmental challenges.

Key words: 3D printing, printing parameters, parameter control.

1.ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να αλλάξει τον τρόπο που εμπορευόμαστε και χρησιμοποιούμε τα προϊόντα. Ο μικρός χρόνος σχεδιασμού και παραγωγής πρωτότυπων αντικειμένων υψηλής αισθητικής κερδίζει έδαφος με τη μείωση του κόστους που συνεπάγεται. Για παράδειγμα, ο παραδοσιακός τρόπος κατασκευής ένα ξύλινου βιολιού απαιτεί πολλές ώρες χειρωνακτικής εργασίας. Η συγκεκριμένη διαδικασία απαιτεί πειράματα και έλεγχο στην κατασκευή με πιθανή σπατάλη υλικού στις περιπτώσεις στρεβλώσεων στην πρώτη ύλη, το ξύλο. Οι ρόζοι μειώνουν τη μηχανική αντοχή όπως και η υγρασία του ξύλου. Ακόμη, το κόστος αυξάνει με την επιλογή σπάνιων ειδών ξύλου ή υπό έλλειψη [1-3]. Επίσης, στις ειδικές κατασκευές με πολλές λεπτομέρειες κυρίως στην εμφάνιση του οργάνου με χρωματισμούς και ιδιαίτερα σχέδια οπών και χάραξης αυξάνεται περισσότερο το κόστος. Βέβαια, το ίδιο πρόβλημα μπορεί να προκύψει και με τις νέες τεχνολογίες εξαιτίας αυτής της επιλογής υλικών και χρόνου κατασκευής με χρήση ενέργειας. Αβεβαιότητα στο χώρο των επιχειρήσεων και της βιομηχανίας παραμένει σε μεγάλο ποσοστό.

2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ξεκινώντας από το 1984, όταν και επινοήθηκε από τον Charles Hull η στερεογραφία. Αποτελεί την παλαιότερη τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης κατά την οποία τα υγρά πολυμερή στερεοποιούνται μετά από την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία με κύριο μειονέκτημα τότε τον εξαιρετικά εύθραυστο χαρακτήρα των αντικείμενων που εκτυπώνονταν. Η διαδικασία εναπόθεσης τηγμένου υλικού (FFF), αναφέρεται στην κατασκευή συντηγμένου νήματος. Ακολουθώντας τη διαδικασία παραγωγής προσθέτων, κατασκευάζονται φυσικά αντικείμενα με λιωμένο υλικό τήγματος, με επιλεκτικά αποτιθέμενο στρώμα. Η υλοποίηση γίνεται μέσω θερμαινόμενου μηχανισμού εξώθησης. Οι παράμετροι επηρεάζουν την ποιότητα της επιφάνειας (SQ) και την ακρίβεια των διαστάσεων (DA) των εκτυπωμένων εξαρτημάτων. Η κατανόηση αυτών και ο έλεγχος διευκολύνει τη βελτιστοποίηση [4-8].

3.ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Μέθοδος πολλαπλών οφελών αποτελεί η ανάστροφη μηχανική. Χρησιμοποιούμε ένα υπάρχων αντικείμενο το οποίο ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα επεξεργασίας. Με τη λειτουργία του σκαναρίσματος έχουμε την αποτύπωση του ειδώλου έτοιμο σε ψηφιακή μορφή. Με τον τρόπο αυτό, γλιτώνουμε χρόνο από το κομμάτι του σχεδιασμού. Δεν χρειάζεται έτσι να σχεδιάσουμε εμείς το αντικείμενο από την αρχή. Ακόμη, μπορούμε να επέμβουμε και να προσαρμόσουμε σχεδιαστικά το αντικείμενο προς εκτύπωση. Αλλάζουμε τις διαστάσεις, προσθέτουμε και αφαιρούμε αισθητικά χαρακτηριστικά. Το ψηφιακό μοντέλο

μετασχηματίζεται σε κωδικούς μηχανής [9-16]. Κάθε ψηφιακό κομμάτι κάθεται στο προηγούμενο στρώμα αφού τα εικονικά μέρη μεταμορφώνονται σε αντικείμενο. Τα πλεονεκτήματα ποικίλουν. Απαιτείται μικρότερος χρόνος δημιουργίας. Ακόμη, εξαιτίας του συνεχούς ελέγχου και επεξεργασίας έχουμε μικρότερο κόστος εξαιτίας της εξάλειψης σφαλμάτων και αποτροπή σπατάλης υλικού. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι εξαιρετικά χρήσιμη για κατασκευή πολύπλοκων αντικειμένων με ειδικά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερη τεχνική [17-28].

Τα μέχρι στιγμής χρησιμοποιούμενα υλικά στην προσθετική κατασκευή (AM), χωρίζονται ουσιαστικά σε δύο κατηγορίες, τα θερμοπλαστικά και τα σύνθετα θερμοπλαστικά. Επιτρέπεται ο συνδυασμός πολλαπλών συστατικών υλικών ακόμη και σε μία ενιαία διαδικασία κατασκευής, κάτι που φανερώνει τη διαφορά της αφαιρετικής κατασκευής (CNC) όπου είναι εξαιρετικά δύσκολη η κατεργασία συγκεκριμένης κατηγορίας υλικών για αφαίρεση υλικού. Επίσης, μειώνονται τα απόβλητα και η σπατάλη υλικού σε ένα ποσοστό σύγκρισης με τα αφαιρετικά. Βέβαια, υπάρχουν περιορισμοί στην προσθετική κατασκευή εξαιτίας της έλλειψης στη διαθεσιμότητα ναοσύνθετων υλικών/πολυμερών τα οποία επιδιώκονται για κάλυψη συγκεκριμένων απαιτήσεων στην εκτύπωση. Η αξιοποίηση υλικών με μεγαλύτερο ποσοστό απόδοσης οδηγεί σε γρηγορότερη αντικατάσταση συμβατικών εξαρτημάτων. Πολλές φορές, απαιτείται στήριξη στο εσωτερικό των εξαρτημάτων. Η συγκόλληση με χρήση θερμότητας και άσκηση πίεσης στα σημεία στήριξης δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες πρόσφυσης της επιφάνειας με το θερμοπλαστικό. Υψηλής σημασίας για διαχείριση φορτίων και αξιοπιστία στη συγκράτηση των ενώσεων [29-54].

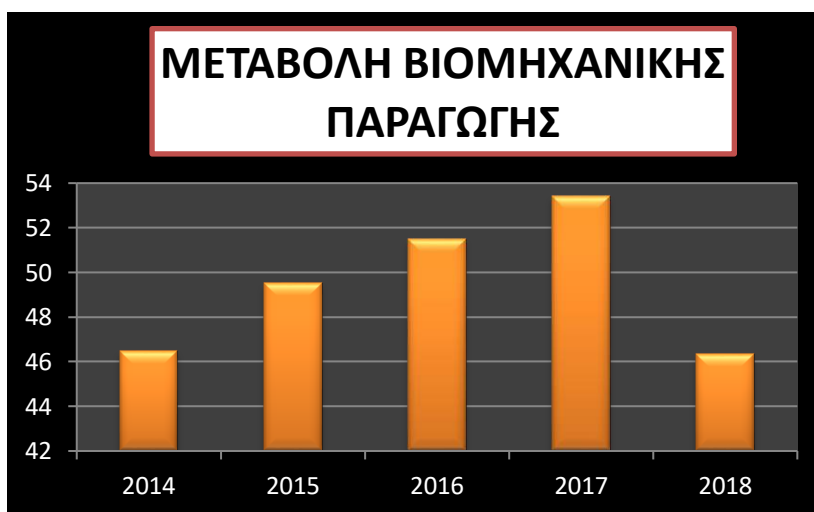
Με την εξώθηση του σύνθετου υλικού με ροή υπό υψηλές θερμοκρασίες και πίεση διαπερνάται από το ακροφύσιο της κεφαλής του εκτυπωτή και αντανακλά τους χρόνους θέρμανσης, τήξης, εκτύπωσης. Λαμβάνονται υπόψη οι χημικές και θερμικές ιδιότητες. Τα νήματα θερμαίνονται έως ότου φτάσουν σε μία υγρή ημιπαχύρευστη μορφή για να ξεκινήσει η εναπόθεση στρώμα-στρώμα πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης. Κρίσιμο σημείο για την επιτυχία της εκτύπωσης καθώς σε συνδυασμό με την ταχύτητα εκτύπωσης επηρεάζεται η μορφή του εξαρτήματος και η μηχανική αντοχή από ανομοιομορφίες στη γεωμετρία [19]. Ο έλεγχος πληρότητας εμποδίζει την φραγή του ακροφύσιου. Υψηλή θερμική σταθερότητα και ηλεκτρική αγωγιμότητα προσφέρει η χρήση αιθάλης (CB) [20]. Τα σύνθετα υλικά πολυπροπυλένιο/φωσφορικό ασβέστιο (PP/TCP) για κατασκευή νήματος σε χρήση κεραμικού πληρώματος έδωσαν υψηλή αντοχή σε θλίψη. Ανάμειξη πολυμερών PLA/MPP (πολυφωσφορική μελαμίνη), έδωσε αντίσταση στη φλόγα με κακή αγωγιμότητα της θερμότητας, όμως παράλληλα σημαντική μείωση στις μηχανικές ιδιότητες. Όταν αυξάνεται η ποσότητα πλήρωσης στη μήτρα του πολυμερούς, μεγαλώνει ο αριθμός των πόρων. Σκυτάλη παίρνει η μελέτη της επίδρασης του πορώδους στο τελικό αποτέλεσμα.

Γενικότερα, χρησιμοποιώντας μία σειρά από πληροφορίες έχουμε αλληλεπίδραση ψηφιακών και φυσικών στοιχείων. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Στο χώρο της κατασκευής βρισκόμαστε αντιμέτωποι με τις προκλήσεις εισαγωγής νέας τεχνολογίας συνδυαστικής, που υπόσχεται καινοτομία αντιπαραθέτοντας τους περιορισμούς από τις τεχνολογίες παραγωγής διαχωρισμένων τμημάτων. Εξ ορισμού απαιτείται υψηλός συντονισμός εργασιών όπως για παράδειγμα στην εφοδιαστική αλυσίδα με την ενσωμάτωση του Internet of Things (IT) και αντίστοιχων συστημάτων (ERP). Η τρισδιάστατη εκτύπωση, αυξάνει τα επίπεδα σημαντικότητας του συντονισμού καθώς έχουμε άμεση εξάρτηση του ψηφιακού μοντέλου (STL αρχείο) με το φυσικό (εκτυπωμένο εξάρτημα). Ο ανταγωνισμός, αυξάνει την αβεβαιότητα.

Η ανασφάλεια της διοίκησης και των επενδυτών αυξάνεται συναρτήσει των περιβαλλοντικών μεταβολών που απαιτούν τη χρησιμοποίηση υλικών φιλικών στην ατμόσφαιρα. Στο πεδίο εφαρμογής FFF συχνά επιλέγεται η χρήση υλικού από σκόνες ξύλου. Συνδυάζεται το αισθητικό αποτέλεσμα με τις εξαιρετικές ιδιότητες του ξύλου. Καθώς αποτελείται από πολλά ινώδη κύτταρα που περιλαμβάνουν ποσότητα αέρα εσωτερικά, λειτουργεί ρυθμιστικά στα επίπεδα της υγρασίας σαν ένα φυσικό φίλτρο. Η λιγνίνη που περιέχει είναι ένα φυσικό πολυμερές, συνδετικό υλικό που περικλείεται στα κυτταρικά τοιχώματα. Το ξύλο εξαιτίας των ιδιοτήτων που διαθέτει έχει μεγάλη διάρκεια ζωής (κύκλος ζωής) [3].



Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατάλληλη χρήση ανάλογα με το σκοπό δημιουργίας μίας κατασκευής και οι συνθήκες του περιβάλλοντος στην εκάστοτε τοποθεσία. Από την επεξεργασία του ξύλου προκύπτουν ξυλοτεμαχίδια, υπολείματα που χρησιμοποιούνται σε άλλες κατασκευές και μετασχηματίζονται σε νέα υλικά (πέλλετ, σκόνες ξύλου κλπ) [2]. Πρόκειται για ένα φυσικό υλικό, φυσικά ανανεώσιμο και βιοδιασπώμενο. Σε συνδυασμό με το περιορισμένο κόστος συλλογής συγκριτικά με τα συμβατικά υλικά απουσία γεώτρησης, χύτευσης δίνει ώθηση στην προτίμηση των παραγωγών, ειδικά για τα υπολείματα ξύλου. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφερθούμε στην παραγωγή ξύλου συναρτήσει της ζήτησης για το ξύλο στο πέρασμα των χρόνων.



Ετήσιοι δείκτες βιομηχανικής παραγωγής ξύλου και επίπλου(2014-2018/έτος βάσης 2010)

Πηγή αριθμητικών δεδομένων: <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/DKT21/>

Παρατηρείται μία αυξητική μεταβολή από το 2014-2017. Το αντίθετο συμβαίνει το 2017-2018 όπου παρατηρείται σημαντική μείωση. Η οικονομία άρχισε να επανέρχεται από την κρίση στην οικονομία των προηγούμενων χρόνων και ο ανταγωνισμός να αυξάνεται μειώνοντας την παραγωγή. Όμως, η γενική εικόνα ενθαρρύνει την εμπορία ειδών ξύλου. Υπάρχει μία σαφής προτίμηση στο συγκεκριμένο υλικό. Αυτός είναι και ο λόγος για τον

οποίο μελετάται και η είσοδος στο χώρο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Παράλληλα, κρίνεται απαραίτητη η πειραματική εφαρμογή συνδυασμού οργανικών υλικών με σκόνες ξύλου. Για παράδειγμα, με την ανάμειξη ινών ξύλου με θερμαινόμενη ρευστή θερμοπλαστική ρητίνη παράγονται σύνθετα ξύλου-πλαστικού (WPC). Τα σύνθετα WPC μπορούν να παραχθούν από νέα ή και ανακυκλωμένα θερμοπλαστικά υλικά, όπως για παράδειγμα το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο (ABS) και το πολυγαλακτικό οξύ (PLA), γεγονός που καταδεικνύει τον περιβαλλοντικό χαρακτήρα του PLA [6]. Η πρόβλεψη για αύξηση των πωλήσεων προϊόντων ξύλου δεν συνεπάγεται την αποτροπή εισόδου νέας τεχνολογίας κατασκευών όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση. Αντίθετα, συνδυάζοντας τη γνώση του παρελθόντος με τις νέες τεχνολογίες παράγουμε καινοτόμα προϊόντα.

Οικονομία και τεχνολογία συμπορεύονται. Η εξελικτική τάση στην ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων με χρήση καινούργιας τεχνολογίας απαιτεί οικονομικές παρεμβάσεις. Τροχοπέδη στις διοικητικές αποφάσεις των στελεχών επιχειρήσεων αποτελεί το αρχικό κόστος επένδυσης και η κατανάλωση ενέργειας προκειμένου να ολοκληρωθεί μία εκτύπωση. Όμως παράλληλα, η εφαρμογή επαναστατικής τεχνολογίας έρχεται να καλύψει την αδυναμία της οικονομίας να συγκρατήσει τη μεταβολή στις διεθνείς εξελίξεις. Η ενεργειακή κρίση και ο απαιτητικός τρόπος ζωής επιβάλλουν τελικά την τεχνολογία [25]. Κι ακόμη αν φαίνεται πως παραμερίζεται η παράδοση και η χειρωνακτική εργασία, γρήγορα καταρρίπτεται με την είσοδο έμπειρου προσωπικού με εξειδικευμένη τεχνογνωσία. Ακόμη, η γνώση της παράδοσης λειτουργεί σαν συνδεδετικός κρίκος δίνοντας ευκαιρία στη διατήρησή της συμβαδίζοντας με τις σύγχρονες συνθήκες. Από τη φύση τους τα υλικά που επιλέγονται κάτω από αυτό το πρίσμα ενδυναμώνουν την οικονομική σταθερότητα [5]. Καθώς πρόκειται για ανακυκλωμένα (σκόνες ξύλου) και ανακυκλώσιμα υλικά όπως για παράδειγμα το PLA, μειώνεται η ανάγκη χρήσης ενέργειας στην παραγωγή και ακόμη και η ίδια η παραγωγή. Αναλυτικότερα, η μείωση της ανάγκης για δέσμευση μεγάλων ποσοστών ενέργειας περιγράφει το ρόλο του συντελεστή αυτού παραγωγής καθώς τα αγαθά που προσφέρει στην οικονομία ένας εκτυπωτής καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες της κοινωνίας. Βέβαια, εκτός από το κόστος επένδυσης, δεν υπολείπεται του κόστους ευκαιρίας αφού για να παραχθεί συγκεκριμένη ποσότητα από τα προϊόντα αυτά η ίδια ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για κάποιο άλλο παραγωγικό σκοπό. Σε αντιδιαστολή όμως με τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του επέρχεται ξανά η ισορροπία. Πρακτικά, το κόστος δύσκολα θα εκμηδενιστεί καθώς ακόμη κι όταν γίνει εφικτή η παραγωγή με μηδενικό κόστος ενέργειας και πρώτων υλών, παραμένει πάντα το κόστος του εργατικού δυναμικού. Η εργασία του ανθρώπινου δυναμικού δεν φαίνεται να εξαλείφεται σε κοντινό μέλλον σαν αποτέλεσμα των ιδιαίτερων αναγκών όπως αρχικά ο έλεγχος και η συντήρηση του εξοπλισμού. Επιπρόσθετα, τα υλικά εκτύπωσης προς το παρόν απαιτούν κάποια επεξεργασία από την παραγωγή ακόμη και με τη διαδικασία της ανακύκλωσης μέχρι και τη χρησιμοποίηση αυτών στις κατασκευές (τελικό προϊόν, συσκευασία).

Έρευνες εστιάζονται στην παραγωγή νημάτων με αξιοποίηση πλαστικών και τη μετατροπή τους σε ύλη για τις ανάγκες της 3D εκτύπωσης [21]. Η πρόσφατη προσπάθεια των εταιρειών Filamentive και Trideia μετά τη συνεργασία τους είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του ‘‘ONE PET’’. Χρησιμοποιήθηκαν 100% πλαστικές φιάλες, μειώνοντας έτσι τα απορρίμματα σε σημαντικό βαθμό. Το μηχανικό πλεονέκτημα αφορά στην υψηλή ανθεκτικότητα [7]. Η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για ιδιαίτερες εκτυπώσεις αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα. Βέβαια, μπορεί να αντισταθμιστεί η απώλεια με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η συλλογή ενέργειας και ο έλεγχος κατανάλωσης μέσω έξυπνων

συστημάτων οδηγούν σε καλύτερη διαχείριση και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ο στόχος είναι παραγωγή με σχεδόν μηδενικά απόβλητα και συνθέτει το φιλικό περιβαλλοντικό χαρακτήρα της προσθετικής κατασκευής.

Η σχεδίαση για την παραγωγή πρωτοτύπων μπορεί να γίνει με ελεύθερα λογισμικά στα οποία μπορούν να βρεθούν ακόμη και έτοιμα αντικείμενα στις βιβλιοθήκες τους. Τα τελικά εξαρτήματα διατίθενται σε γρήγορο χρόνο στην αγορά καλύπτοντας τις κρίσιμες απαιτήσεις των προμηθευτών (αυτοκινητοβιομηχανία) [27]. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση των πωλήσεων 3D εκτυπωτών με μικρό όμως ακόμη μερίδιο στην αγορά οικιακών εκτυπωτών. Οι τιμές ποικίλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες εκτύπωσης. Το κέρδος είναι ο στόχος των επιχειρήσεων. Μπορεί να επιτευχθεί με προσφορά ελκυστικής τιμολόγησης, όμως επίσης και με τη μείωση των χρόνων και των σφαλμάτων στην παραγωγή. Κύριο συστατικό και λόγος υιοθέτησης συστημάτων όπως η προσθετική κατασκευή. Ο λεπτομερής προσανατολισμός σε συγκεκριμένες δυνατότητες μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία νέων αγορών. Η αποκεντρωμένη παραγωγή συνδυάζει την πληροφορία και την ανατροφοδότηση μέσω συστημάτων συνδεδεμένων στο διαδίκτυο όπως κι ένα από τα κομμάτια του μέσω της ταχείας προτυποποίησης. Μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας η λειτουργία ενός εκτυπωτή ακόμη και η συναρμολόγηση αυτού γίνεται εξαιρετικά εύκολα. Η ίδια δυνατότητα παρέχεται και κατά τη διαδικασία παραγωγής. Η οπτικοποίηση του τελικού εξαρτήματος παρέχει δυνατότητες παρέμβασης και βελτιστοποίησης. Διάυλος αύξησης της τοπικής παραγωγής και περιορισμός των εξόδων αποστολής καθώς παράγονται εύκολα ιδιαίτερα αντικείμενα. Άμεσα βρίσκει έδαφος η μετεγκατάσταση σε τοπικές αγορές, με συνεπαγόμενη αύξηση των θέσεων απασχόλησης και του διαθέσιμου εισοδήματος του καταναλωτή και των παραγωγών. Δεν παραλείπεται η οικονομική προμήθεια των υλικών που χρησιμοποιούνται στην εκτύπωση από την τοπική παραγωγή ύστερα από ειδική επεξεργασία.

Η δημιουργία βιοδιασπώμενων υλικών για την κατασκευή νημάτων (filaments), αποτελεί πεδίο έρευνας στη 3D εκτύπωση [6]. Συνδυαστικά εξετάζεται η προσαρμογή στις καταναλωτικές απαιτήσεις. Το κρίσιμο ζήτημα έγκειται στον αποδεκτό σχεδιασμό που καθιστά υλοποιήσιμη μία λύση/επιλογή εκτύπωσης βάση παραμέτρων. Η μοντελοποίηση της γεωμετρίας επηρεάζεται από την ποσότητα των στοιχείων και καταδεικνύουν τους περιορισμούς των συστημάτων CAD [10]. Οι ιδιότητες του υλικού αλληλεπιδρούν με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά/πολυπλοκότητα. Ουσιαστικά, στη διαδικασία του σχεδιασμού αντιλαμβανόμαστε το σχέδιο από διαφορετική πλευρά εν αντιθέσει με το σχέδιο που προορίζεται για παραδοσιακή κατασκευή. Η γωνία εναπόθεσης υλικού μπορεί να παραμορφώσει το τελικό αποτέλεσμα. Πολλές φορές, οι δυνατότητες του εκάστοτε εκτυπωτή επηρεάζουν το σχεδιασμό και αντίστροφα. Η προετοιμασία των δεδομένων περιορίζει τα σφάλματα. Η απουσία ελέγχου από το μηχάνημα για παρακολούθηση απρόοπτων μεταβολών σε περίπτωση μετακίνησης του αντικειμένου από τη βάση της επιφάνειας αυξάνει την πιθανότητα λάθους. Προσθέτοντας περισσότερα από ένα υλικά στην εκτύπωση αυξάνονται οι απαιτήσεις καθώς αυξάνονται τα υπό επεξεργασία δεδομένα.

Η ευελιξία, προσαρμοστικότητα, κάλυψη απαιτητικών σχεδίων χαρακτηρίζουν την παραγωγή προσθέτων. Οι απεριόριστες δυνατότητες δίνουν στον παραγωγό πληθώρα δυνατοτήτων και στον καταναλωτή μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Ισοσταθμίζοντας με τον τρόπο αυτό το έλλειμμα της μία χώρα καθώς αποφεύγει μεγάλο μέρος των εισαγωγών. Παράλληλα η μείωση γίνεται περισσότερο ορατή με την προμήθεια των υλικών εκτύπωσης και εξαρτημάτων/ανταλλακτικών εκτυπωτών από την εγχώρια παραγωγή. Σε συνδυασμό με τη

μεγάλη ταχύτητα κατασκευής και κατ' επέκταση το μικρό χρόνο παραγωγής εξασφαλίζονται πόροι της επιχείρησης. Τα έσοδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες, υλικά και τελικά προώθηση καινοτόμων προϊόντων. Σταθμός ανάπτυξης ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος και δυνατότητα επέκτασης της επιχείρησης. Βέβαια, καθώς αυξάνεται η δυνατότητα εκτύπωσης στο σπίτι, αλλάζουν οι ισορροπίες και απαιτείται έλεγχος των προμηθευτών για διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας με άμεση κάλυψη της ζήτησης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι καταναλωτικές ανάγκες οδηγούν στη δημιουργία εκτυπωτών με πολλές δυνατότητες όπου δεν είναι απαραίτητη η γνώση πολλών τεχνικών λεπτομερειών. Ιδιαίτερα στις πρόσφατες προσπάθειες όπου γίνεται έρευνα για εκτύπωση τροφίμων αναμένεται αλληλεπίδραση σε μεγαλύτερο ποσοστό.

Γενικά, παρατηρείται προσπάθεια επέκτασης της χρήσης των δυνατοτήτων της προσθετικής κατασκευής σε περισσότερους τομείς της βιομηχανίας [13]. Μέχρι πριν λίγα χρόνια, ο πιο σύγχρονος τρόπος κατασκευής χρησιμοποιούσε είτε κατεργασία με αφαίρεση κομματιών είτε μέσω μορφοποίησης με χρήση καλουπιών. Το ψηφιακό αρχείο μετά από σχεδιασμό CAD προσφέρει απεριόριστες δυνατότητες δημιουργίας. Έχοντας για παράδειγμα ένα αρχείο με το σχέδιο του βιολιού το οποίο επιχειρείται να εκτυπωθεί γνωρίζουμε τις ακριβείς διαστάσεις αυτού. Επιλέγουμε εάν θα το παράγουμε ως έχει. Ελέγχονται οι δυνατότητες εκτύπωσης. Σε αντίθετη περίπτωση, κρατάμε το υπάρχον αρχείο και επεμβαίνουμε είτε για τμηματική εκτύπωση με περικοπή των κρίσιμων σημείων, είτε για βελτιστοποίηση. Υπάρχει η πιθανότητα αναγκαιότητας προσαρμογής στις διαστάσεις της επιφάνειας του εκτυπωτή με μεταβολή των διαστάσεων του αρχικού σχεδίου. Ακόμη, για να είναι λειτουργικό το βιολί, απαιτούνται προσθήκες για καλύτερη ροή του ήχου. Αυτό συμβαίνει διότι το ξύλο έχει διαφορετική ακουστική συμπεριφορά σε σχέση με τα χρησιμοποιούμενα υλικά εκτύπωσης.

Το πλεονέκτημα είναι η κατασκευή σε σύντομο χρόνο και ο συνδυασμός υλικών που προσεγγίζουν σε σημαντικό βαθμό το συμβατικό [26,27]. Σε συνδυασμό με την αντοχή των εξαρτημάτων, την ποικιλία χρωματισμών και τα χαρακτηριστικά του εκτυπωτή μπορεί να υλοποιηθεί υψηλής ποιότητας αποτέλεσμα με περισσότερες δυνατότητες. Κάθε αντικείμενο απαιτεί διαφορετικό χειρισμό. Ένα συμπαγές αντικείμενο έχει περισσότερες δυνατότητες εκτύπωσης σε σύντομο χρόνο με παραμέτρους ακόμη και ίδιες σε όλο το σώμα του εκτυπωμένου εξαρτήματος. Από την άλλη πλευρά, στον τομέα της μουσικής, οι παράμετροι διαφέρουν ακόμη και από τμήμα σε τμήμα [37].

Παράδειγμα τμηματοποίησης σε κομμάτια φλογέρας που μπορεί να φτάσει σε λειτουργία σκαναρίσματος.





Παρατηρούνται οι λεπτομέρειες στην καμπυλότητα που πρέπει να αποτυπωθούν. Στο σχεδιασμό τα σημεία της ένωσης απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή με χρήση στην εκτύπωση διαφορετικού πάχους στρώματος. Επίσης, έλεγχος στη στήριξη και αντοχή των τοιχωμάτων.

Αυτό συμβαίνει διότι οι απαιτήσεις δεν περιορίζονται απλώς στην κατασκευή και την αποτύπωση αυτού. Φυσικά, θα υπάρχουν αποκλίσεις καθώς δεν συγκρίνεται το ξύλο από το οποίο κατασκευάζονται με τα σύγχρονα υλικά. Επίσης, οι νέες τάσεις στη μουσική

εισάγουν ένα νέο είδος που συνήθως απαιτεί σύνδεση στο ρεύμα (ηλεκτρικό βιολί).

Οι παράμετροι επηρεάζουν το κόστος των υλικών. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού εκτύπωσης μπορεί να αυξήσει το κόστος. Κάθε κατασκευή απαιτεί διαφορετική μεταχείριση. Για παράδειγμα, οι μηχανικές συνδέσεις και η αντοχή αυτών και όλης της κατασκευής πολλές φορές απαιτεί σκληρότερα υλικά. Επίσης, μπορεί να απαιτείται συνδυασμών υλικών. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ελέγχεται η ποσότητα που θα επιλεγεί. Για παράδειγμα σε ένα συνδυασμό PLA με σκόνες ξύλου, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ποσότητα του τελευταίου. Μεγάλο ποσοστό υγρασίας μπορεί να καταστρέψει το εξάρτημα. Ακόμη, η θερμοκρασία εναπόθεσης μπορεί να δημιουργήσει αποσύνθεση στο τελευταίο παράδειγμα, καθώς το ξύλο μετά τους 270 βαθμούς Κελσίου αποσυντίθεται [2]. Η ακρίβεια του σχήματος, μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού δίνει λύση στις παραμορφώσεις. Η διαδρομή και η καμπυλότητα που θα κληθεί να ακολουθήσει η κεφαλή του εκτυπωτή πρέπει να αποδίδει το βέλτιστο αποτέλεσμα μηχανικά από άποψη αντοχής και αισθητικά από άποψη ποιότητας [15]. Η ποιότητα της επιφάνειας, χαρακτηρίζεται πολλές φορές από σημάδια ανομοιομορφίας και τραχύτητας. Η ενέργεια που απαιτείται για την εκτέλεση της εκτύπωσης αποτελεί πεδίο έρευνας ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσδίδει μεγαλύτερη αξία στην κατασκευή και μειώνει το κόστος. Με τον τρόπο αυτό δίνει και την αφορμή για επιλογή σχεδιασμού με ορθολογικότερο τρόπο, επιλέγοντας διαφορετικό πάχος στρώματος και τεχνικών προδιαγραφών. Σε αυτό το σημείο μπορεί να προστεθεί και ο τύπος του υλικού κατασκευής. Για παράδειγμα, το PLA είναι ένα υλικό φιλικό προς το περιβάλλον. Είναι ένα υλικό πολυμερές, με θερμοκρασία τήξης από 180-220°C [6]. Είναι βιοδιασπώμενο και παράγεται από καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο. Χρησιμοποιείται στη συσκευασία, χύτευση, χύτευση με έγχυση (λιωμένο υλικό σε καλούπι), κλώση (πλέξη). Διαθέτει καλό μέτρο κάμψης, αντοχές σε κάμψη, διασπάται, ανακυκλώνεται εύκολα σε σύγκριση με άλλα πλαστικά. Επίσης, κάθε υλικό χρειάζεται διαφορετικό χρόνο κατασκευής.

Η ανάλυση του STL αρχείου εξαρτάται από την ποιότητα ανάλυσης λογισμικού CAD. Έτσι, έχουμε με τον έλεγχο ακρίβεια της τελικής ποιότητας. Η γωνία σε σχέση με τη βάση

εκτυπωτή (PO) καθορίζει τα όρια κατασκευής (x,y,z max) [31] και δίνει τον αριθμό των στρώσεων. Το πάχος της στρώσης (LT), σε ένα πέρασμα της κεφαλής εκτυπωτή επηρεάζει την ταχύτητα εκτύπωσης [11]. Μία στρώση υλικού με μεγάλο πάχος μπορεί να μειώσει το χρόνο εκτύπωσης [18]. Όμως, το στρώμα αυτό και η ποιότητα αυτού και τελικά του συνολικού εξαρτήματος επηρεάζονται. Έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερο ποσοστό κενών ανάμεσα στις στρώσεις. Αντίθετα, με τη μείωση του πάχους στρώματος έχουμε και μείωση του πορώδους στο εσωτερικό του στρώματος. Το πορώδες επηρεάζει τη μηχανική αντοχή του εξαρτήματος σε τάσεις δυνάμεων που θα ασκηθούν πάνω στο εξάρτημα τόσο πλευρικά όσο και κατακόρυφα. Έτσι, ένα αδύναμο στρώμα ακόμη και ανάμεσα σε περισσότερο συμπαγείς στρώσεις μπορεί να καταστρέψει το εξάρτημα. Επιλέγεται συνήθως πάχος από 0,05-0,5mm ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε εκτυπωτή.



Το στυλ της κατασκευής. Το ποσοστό γεμίσματος που χρειάζεται σε σχέση με τον x άξονα και τη γωνία εναπόθεσης στην πλατφόρμα. Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει την απόλυτη ακρίβεια του σχήματος είναι τα στηρίγματα που εξαλείφουν τη συρρίκνωση του εξαρτήματος στις αρχικές στρώσεις κατά την έναρξη της κατασκευής [12,22]. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι στρεβλώσεις στη γεωμετρία του εκτυπωμένου εξαρτήματος [30]. Τα στηρίγματα αυτά όμως, υποβαθμίζουν την ποιότητα της επιφάνειας όπου αυτά εφαρμόζονται. Ακόμη, απαιτείται επεξεργασία με απομάκρυνση αυτών και καθαρισμό της επιφάνειας. Τέλος, η συρρίκνωση του υλικού επηρεάζει την ακρίβεια των διαστάσεων. Το DA υποδεικνύει τις διαφορές μεταξύ των μοντέλων CAD και FFF σε λεπτομέρειες σχήματος (γραμμικές και κυκλικές διαστάσεις, επίπεδο, στρογγυλότητα κ.λπ.) [40-54].

Το μοντέλο που επιθυμούμε να εκτυπώσουμε πολλές φορές δεν ταιριάζει στις διαστάσεις του εκτυπωτή που διαθέτουμε. Έχουμε δύο επιλογές. Η πρώτη είναι η εύρεση μοντέλου εκτυπωτή με μεγαλύτερη επιφάνεια εκτύπωσης. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει εναλλακτική λύση τότε, χωρίζουμε το τελικό εξάρτημα/αντικείμενο σε περισσότερα κομμάτια. Κατόπιν, τα εκτυπώνουμε τμηματικά. Στο τέλος, ενώνουμε τα επιμέρους τμήματα και ολοκληρώνουμε την κατασκευή με την κατάλληλη σύνδεση ανάλογα με το υλικό που έχουμε χρησιμοποιήσει στην εκτύπωση.

Σε παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε εκτυπωτής με πλάτος επιφάνειας 406mm και ύψος 533mm. Σαν υλικό εκτύπωσης προτιμήθηκε το PLA. Το ύψος της στρώσης ορίστηκε στα 28mm με γέμισμα στο 30%. Βάση σχεδίου, έχουμε πλάτος 357mm σώμα βιολιού εκτός της περιοχής

του μπράτσου. Έτσι, συμπεραίνουμε πως τα όρια αρκούν για την εκτύπωση ως εκείνο το σημείο σαν ενιαίο σώμα. Προκειμένου να καταστεί λειτουργικό, απαιτήθηκε η προσθήκη ενσωματωμένης υποστήριξης. Το μπράτσο σχεδιάστηκε στα 323mm με ύψος στρώσης 20mm και ίδιο ποσοστό γεμίσματος.



Πηγή: http://filoimousikistisviotias.blogspot.com/2008/07/blog-post_15.html

Όταν η ανάλυση της εκτύπωσης είναι υψηλή, τότε οι στρώσεις δεν μπορούν εύκολα να γίνουν ορατές. Αυτό σημαίνει πως έχουμε μεγαλύτερη ομοιογένεια και εμφάνιση πιο κοντά σε συμπαγές υλικό. Αυξάνεται έτσι η ποιότητα της κατασκευής. Το αισθητικό αποτέλεσμα θυμίζει περισσότερο τον συμβατικό τρόπο παραγωγής. Διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες:

1. **Κανονική:** Στην περίπτωση αυτή έχουμε πάχος στρώσης στα 0,33 χιλιοστά. Έχουμε ένα αποτέλεσμα γρήγορο και κατ' επέκταση οικονομικό. Υπάρχει ανθεκτικότητα, όμως οι στρώσεις διακρίνονται οπτικά αλλά και στην επιφάνεια με το άγγιγμα της επιφάνειας. Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το ABS.
2. **Μεσαία:** Εδώ το πάχος κυμαίνεται στα 0,254 χιλιοστά. Οι στρώσεις διακρίνονται λιγότερο εύκολα, όμως ακόμη γίνονται αντιληπτές με την αφή. Η τιμή εξακολουθεί να κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και το αισθητικό αποτέλεσμα αυξάνεται. Συναντάμε κι εδώ ξανά το ABS καθώς και το PLA.
3. **Υψηλή:** Εδώ έχουμε πάχος στα 0,178 χιλιοστά. Αποτέλεσμα είναι οι στρώσεις να είναι λεπτές σε πάχος. Έτσι, δύσκολα διακρίνονται τόσο μέσω της όψης αλλά και της αφής. Απαιτείται περισσότερος χρόνος εκτύπωσης γεγονός που αυξάνει το κόστος. Επίσης συναντάται το υλικό ABS.
4. **Μέγιστη:** Τα πάχος φτάνει μέχρι τα 0,127 χιλιοστά. Έχουμε το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα καθώς η λεπτότητα των στρώσεων σχεδόν μηδενίζει το ποσοστό ορατότητας. Αποτελεί την ακριβότερη λύση, καθώς απαιτεί σημαντικό χρόνο εκτύπωσης.

Στο παραπάνω παράδειγμα, παρατηρούμε διαφορετικό ύψος στρώσης μεταξύ μπράτσου και σώματος. Στο μπράτσο του βιολιού χρησιμοποιήθηκε μικρότερο πάχος. Καταλαβαίνουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κομματιού αυτού και τη λεπτομέρεια στο σχεδιασμό ο οποίος απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή για ένα ποιοτικό αποτέλεσμα.

Η ποιότητα της επιφάνειας και η αντοχή επηρεάζονται από το πάχος στρώσης. Για το λόγο αυτό, έχουν γίνει μελέτες με προσομοίωση για βελτιστοποίηση της διαδικασίας με χρήση σκονών μεγαλύτερης αντοχής και απόδοσης. Το μέγεθος της σκόνης και η ομοιογενής διασπορά επιδρούν. **Lu et al.:** Πραγματοποιήθηκε πειραματική μελέτη στην επίδραση του μεγέθους της σκόνης στην εκτύπωση. Για σκόνη TiNiHf SMA, αποδείχθηκε πως μικρότερο μέγεθος σωματιδίων έδωσε υψηλότερη αντοχή και ποιότητα επιφάνειας [11]. Η σκόνη ZP102, σκόνη με βάση το γύψο αναπτύχθηκε από την ZCorp. Τα εξαρτήματα κατασκευασμένα με τη χρήση αυτής και με λειτουργία διήθησης με εποξειδική ρητίνη φαίνεται να έχουν την κατάλληλη αντοχή.

Αποτελέσματα έδειξαν πως το πάχος της στρώσης επηρεάζει τις δυνάμεις κάμψης και εφελκυσμού για τα υλικά ξύλου και PLA. Δηλαδή, επηρεάζεται η μηχανική αντοχή των εκτυπωμένων εξαρτημάτων. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στην κάμψη με ταχύτητα 1,3mm/min σύμφωνα με το ISO 178. Επίσης, σε δυνάμεις εφελκυσμού δοκιμή με ταχύτητα 5mm/min σύμφωνα με το ISO 527. Τα νήματα ξύλου/PLA περιείχαν σε ποσοστό 30% και 70% υλικό αντίστοιχα.

Οι θερμικές ιδιότητες του νήματος θα επηρεάσουν τις συνθήκες τήξης μέσω του ακροφυσίου της κεφαλής του εκτυπωτή. Η θερμοκρασία μετάπτωσης και τα χημικά χαρακτηριστικά των νημάτων επηρεάζουν τη συνολική ακρίβεια του τυπωμένου μέρους [14]. Για το λόγο αυτό, συνδέεται με την ικανότητα ροής του νήματος και το αν αυτό το υλικό θα μπλοκάρει το ακροφύσιο ή όχι.

Κάποιες από τις παραμέτρους αλλάζουν και άλλες μπορεί να παραμείνουν σταθερές.

1. **Μεταβλητές:** τύπος υλικού, διάμετρος νήματος, διάμετρος ακροφυσίου
2. **Σταθερές:** διαστάσεις θερμαινόμενης πλάκας, διαστάσεις όγκου κατασκευής

Συμπληρωματικά, παράγοντες δύσκολα προβλέψιμοι επηρεάζουν την κατασκευή όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα ανθρώπινα λάθη στο χειρισμό και τη χρήση του εξοπλισμού (λογισμικού και μηχανολογικού).

Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση είναι:

1. Πολυγαλακτικό οξύ (PLA)
2. Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο (ABS)
3. Πολυανθρακικό (PC)
4. Πολυαμίδιο (PA)
5. Πολυπροπυλένιο (PP) κλπ

Στο πεδίο της έρευνας σχετικά με την εκτύπωση του βιολιού, το υλικό έχει σημαντική επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα. Ο ήχος του βιολιού καθορίζεται από το σχήμα της κατασκευής, το τελικό μέγεθος και το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί. Το σχήμα δεν αποτελεί μεγάλο πρόβλημα στην τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς έχουμε τη λειτουργία του σκαναρίσματος. Μεγάλη έρευνα γίνεται στην επιλογή του υλικού. Ακόμη και το βάθος του ήχου και η διάρκεια αυτού επηρεάζονται. Υπό τις παραδοσιακές συνθήκες επιλέγεται συχνά το ξύλο ερυθρελάτης. Ακόμη, επιλέγεται σφένδαμος και έβενος. Οι κοιλότητες που το απαρτίζουν δίνουν στον ήχο την ένταση που χρειάζεται. Οι αντηχήσεις και η ροή του ήχου από τους παλμούς προσδίδουν την ποιότητα στην ακουστική κατά τη διάρκεια του παιξίματος [35]. Για το λόγο αυτό απαιτείται ένα υλικό που να ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις στο μεγαλύτερο ποσοστό. Εκτύπωση με σύστημα EOS SLS, από πολυαιθέρα αιθεροκετονικού υλικού (PEEK), έδωσε καλή ακουστική όμως ένα περισσότερο βαρύ αποτέλεσμα από το κανονικό βιολί. Το συγκεκριμένο υλικό είναι αρκετά άκαμπτο και έχει ακουστικές ιδιότητες σε σημαντικό βαθμό παρόμοιες με το ξύλο.

Ένα αποτέλεσμα κοινό στα συμβατικά μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό PLA ή άλλων οργανικών υλικών και σκόνες ξύλου. Όμως, χρειάζεται προσοχή στο τελευταίο υλικό καθώς η λάθος χρήση του μπορεί να καταστρέψει την κατασκευή. Το ξύλο περιέχει από τη φύση του υγρασία. Είναι ένα οργανικό υγροσκοπικό υλικό. Η υγρασία στα εκτυπωμένα εξαρτήματα μειώνει τις μηχανικές ιδιότητες. Επίσης, το ξύλο μετά τους 280 βαθμούς Κελσίου αρχίζει να αποσυντίθεται [3]. Έτσι, εξαιτίας της θερμοκρασίας τήξης στο ακροφύσιο και στην πλατφόρμα/επιφάνεια εκτύπωσης απαιτείται έλεγχος και πειράματα συνδυασμού της βέλτιστης επιλογής. Όμως, πεδίο έρευνας και βαρύτητας στην επίδραση της αποτελεί και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η υγρασία που υπάρχει στο χώρο εργασίας. Κάτι που υπολογίζουμε γενικότερα και στις κατασκευές από ξύλο υπολογίζοντας τη σχετική υγρασία. Έτσι, έχουμε επίδραση στην υδρόλυση του PLA. Η μηχανική αντοχή και η διάρκεια ζωής των πολυμερών επηρεάζονται [34]. Μελέτη έχει δείξει πως τα συμπιεσμένα δείγματα με χαμηλό πορώδες απορροφούν μέχρι και 3wt% νερού [32]. Επίσης, δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα καθώς παράγεται από τεμαχίδια υπολειμμάτων ξύλου. Συμπληρωματικά, η τιμή τους κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από τα θερμοπλαστικά.

Το πορώδες των δειγμάτων PLA φαίνεται πως ευθύνεται για την ταχεία πρόσληψη νερού. Έτσι, αυξάνεται και το βάρος. Γενικά, το πορώδες δίνει αποτελέσματα με χαμηλές μηχανικές ιδιότητες. Σε υψηλή περιεκτικότητα σε ξύλο παρατηρήθηκε μείωση του συντελεστή εφελκυσμού. Η απομάκρυνση της υγρασίας από τα υλικά πριν την κατεργασία αυξάνουν τη μηχανική αντοχή. Βέβαια, ανάλογα με το υλικό και το ποσοστό γεμίματος σε ίνες ξύλου υπάρχουν διαφορετικά αποτελέσματα. Σε δείγμα με ξήρανση μπορεί να επιτευχθεί ακαμψία όμως όχι και αύξηση δύναμης. Επίσης, μπορεί να έχουμε σοβαρές διαβρώσεις και ρηγμάτωση ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φορτίο και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Απαιτείται έλεγχος σε μήκος, πλάτος, ύψος των εξαρτημάτων καθώς επίσης και δοκιμή μηχανικής αντοχής.

Το 2016, ο **Laurent Bernadac**, μηχανικός και μουσικός από την Τουλούζη, καταφέρνει να δημιουργήσει το δεύτερο πρωτότυπο ηλεκτρικού βιολιού με χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης. Είχε προηγηθεί κατασκευή το 2013, χρησιμοποιώντας διαφανές πολυανθρακικό πλαστικό. Παρατήρησε όμως, πως το βιολί ήταν πολύ βαρύ. Έτσι, άρχισε να ψάχνει τρόπους για να βελτιώσει το τελικό αποτέλεσμα με μείωση του βάρους και καλύτερη έτσι ροή του ήχου. Το συγκεκριμένο όργανο εκτυπώθηκε ως ενιαίο κομμάτι. Αποτελείται από 30.000 στρώσεις και ολοκληρώθηκε μέσα στο χρονικό πλαίσιο των 24 ωρών.

Βέβαια, θα μπορούσε να κατασκευαστεί κάποιο αντικείμενο αποτελούμενο από επιμέρους τμήματα. Τα κομμάτια με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και μεγάλες διαστάσεις εκτυπώνονται σε διαφορετικές φάσεις ακολουθώντας διαφορετικό τρόπο σχεδιασμού και χρήση παραμέτρων ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Τελικά, χρησιμοποιείται μέθοδος σύνδεσης και έχουμε το τελικό αποτέλεσμα. Στα έγχορδα, η τάση που δημιουργείται από την πίεση στις χορδές απαιτεί δομές και υλικό κατάλληλης αντοχής για να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις [36].

Η εξάρτηση αφορά τον εκτυπωτή και τα μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη που χρησιμοποιούνται. Καθορίζει τον όγκο του αντικειμένου κατασκευής, συμβάλλει στην ακαμψία και τέλος, την εμφάνιση του εκτυπωτή από αισθητική άποψη. Η επιλογή πλαισίου εκτυπωτή εξαρτάται από το κόστος, την ευκολία συναρμολόγησης-αποσυναρμολόγησης, την αντοχή και την ανθεκτικότητα.

Για το λόγο αυτό έχουν γίνει διάφορες μελέτες. Για παράδειγμα,

Zhang: Μελετήθηκαν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του FFF χρησιμοποιώντας το λογισμικό ANSYS με προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν αποτελεσματική βελτίωση της δυνατότητας συντονισμού συσκευής και μείωση της συνολικής μετατόπισης των τρόπων μεταφοράς. Γρήγορη ανίχνευση σφαλμάτων και διόρθωση της διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο. Η ακρίβεια εκτύπωσης επηρεάζεται από την ακριβή τοποθέτηση. Ο μάντλας μετάδοσης κίνησης στις κινούμενες μονάδες προσφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται με την ενεργοποίηση ηλεκτρομαγνητικών πηνίων.

Βήματα διαδικασίας FFF με PLA:

1. Προετοιμασία από το χρήστη των μοντέλων CAD
2. Επιλογή παραμέτρων διαδικασίας
3. Εκτύπωση μοντέλων

Η ομοιότητα των πραγματικών διαστάσεων των τυπωμένων εξαρτημάτων σε σχέση με τις αρχικές(DA) καθορίζει το επίπεδο επιτυχίας της εκτύπωσης [24]. Ελέγχονται διαφορές μεταξύ μοντέλων CAD και του σαρωτή υπολογιστικής τομογραφίας (CT scan), όπως και διαφορές στις λεπτομέρειες του σχήματος (κυκλικότητα, επιπεδότητα κλπ)

Επειδή DA και SQ αποτελούν πεδίο βελτιστοποίησης, πολλοί ερευνητές έχουν κάνει δοκιμές εφαρμογής διαφορετικών τεχνικών. Για παράδειγμα, ο **Noriega** ανέπτυξε ένα μοντέλο για την πρόβλεψη εξαρτημάτων ABS-FFF DA (εξωτερικές και εσωτερικές διαστάσεις) με βάση τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούν αλγορίθμους βελτιστοποίησης. Βελτιώθηκαν τα μέρη FFF DA, όμως δεν επικύρωσαν άλλα υλικά και σχήματα (μόνο το ABS και τα πρισματικά σχήματα έχουν επικυρωθεί).

Γενικά, η FFF παρουσιάζει το μειονέκτημα του περιορισμένου DA. Οι **Boschetto & Bottini** παρουσίασαν μία μεθοδολογία σχεδιασμού για τη βελτίωση της DA. Πρώτα μοντελοποίησαν αποκλίσεων των διαστάσεων ως συνάρτηση των LT και PO. Ύστερα, επανασχεδίασαν τα εξαρτήματα και πέτυχαν καλύτερο DA. Γνώριζαν τις προβλέψεις των παραλλαγών των διαστάσεων οι οποίες αναδιαμόρφωσαν καλύτερα το DA.

Διαφορετικά υλικά δίνουν διαφορετικές τιμές DA και SQ:

- **Moza-Akbas:** διαπίστωσαν μετά από πείραμα πως η μέση ακρίβεια των δειγμάτων PLA ήταν καλύτερη από αυτό των ABS. Χρησιμοποιημένα αντικείμενα συγκριτικής

αξιολόγησης έδειξαν ότι τα στοιχεία PLA-FFF είχαν σημαντικές παραλλαγές DA και ότι το ID επηρεάζει σημαντικά μηχανικά.

- **Κιτσάκης:** Ερευνήσε την πιθανότητα χρησιμοποίησης και αξιοποίηση του χαμηλού κόστους εκτυπωτές FFF για εφαρμογές στην ιατρική με το κατάλληλο υλικό και βελτιστοποίηση παραμέτρων με θετική απάντηση.
- **Χαϊδός:** Μέτρησε το SQ στα εξαρτήματα PLA-FFF που αλλάζουν το NT και το πάχος των τμημάτων με λεπτά τοιχώματα. Αποδείχθηκε πως το SQ βελτιώθηκε όταν το NT αυξήθηκε χρησιμοποιώντας 0,2mm LT.

Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας για το σχήμα DA είναι η θερμοκρασία της πλατφόρμας (PT). **Choi:** Μέτρησε τις επιδράσεις PT με συμπέρασμα ότι όσο υψηλότερη είναι η PT τόσο χαμηλότερα είναι τα σφάλματα.

Τα ογκομετρικά φαινόμενα συρρίκνωσης στο DA των εξαρτημάτων 3D είναι εξάρτηση του ύψους και του DA. Η θερμοκρασία του ακροφυσίου επηρεάζει επίσης το SQ και το DA των εξαρτημάτων FFF. Η τιμή NT πρέπει να ρυθμιστεί εντός του σημείου τήξης του υλικού του νήματος επειδή οι θερμικές ιδιότητες του νήματος θα επηρεάσουν τις συνθήκες τήξης μέσω του ακροφυσίου της μηχανής FFF [14]. Η θερμοκρασία μετάπτωσης και τα χημικά χαρακτηριστικά των νημάτων επηρεάζουν τη συνολική ακρίβεια του τυπωμένου μέρους, την ικανότητα ροής του νήματος και το αν αυτό το υλικό θα μπλοκάρει το ακροφύσιο ή όχι.

Η ποιότητα εκτύπωσης συχνά επηρεάζεται από τις παραμέτρους. Απαιτείται έλεγχος του λογισμικού του εκτυπωτή. Η διάμετρος του νήματος πρέπει να ελέγχεται ως προς την ποιότητα. Μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει το SQ και το DA είναι η σωστή ευθυγράμμιση της βάσης του εκτυπωτή και το σωστό ύψος της. Πρέπει να υπάρχει μία ορισμένη απόσταση από την κεφαλή, όχι πολύ κοντά όμως ούτε και πολύ μακριά. Όταν είναι πολύ κοντά στη βάση, χαλάει το πάχος της πρώτης στρώσης του μοντέλου με αποτέλεσμα σφάλμα στο DA. Όταν είναι πολύ μακριά από τη βάση, δημιουργείται ένα κενό μεταξύ της βάσης και του πρώτου στρώματος. Έτσι, αυξάνεται η πιθανότητα το μοντέλο να βγει από τη βάση και έχουμε αποτυχία της εκτύπωσης. Πολλοί εκτυπωτές δίνουν την επιλογή για χειροκίνητη τοποθέτηση της βάσης. Για το λόγο αυτό, η τρισδιάστατη εκτύπωση με τη διαδικασία FFF συχνά δεν οδηγεί στην αναμενόμενη απόδοση με αποτέλεσμα σπατάλη χρόνου, υλικού και ενέργειας.

Η διαδικασία στερεοποίησης του προηγούμενου στρώματος πολυμερούς πρέπει να έχει ολοκληρωθεί μέχρι την εναπόθεση του νέου. Το ακροφύσιο θα σχηματίσει υπό γωνία νέα διαδρομή. Η θερμοκρασία εναπόθεσης πρέπει να βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο από εκείνη της τήξης. Συνδυαστικά ελέγχεται η ταχύτητα εναπόθεσης. Εκτός από τη θερμοκρασία, η ταχύτητα εκτύπωσης καθορίζεται από το υλικό του νήματος, το πάχος στρώματος, το πλάτος της εξώθησης και από την τροφοδοσία του νήματος. Η ταχύτητα του ανεμιστήρα στους εκτυπωτές για τη ψύξη της περιοχής του ακροφυσίου κυμαίνεται μεταξύ 0-100% και επηρεάζει τη στρώση και την ροή του νήματος. Κατάλληλη κρίνεται εκείνη η ταχύτητα κατά την οποία η κάθε στρώση ολοκληρώνεται με το πλέον σωστό τρόπο. Η αλλαγή της κατεύθυνσης του ακροφυσίου μπορεί να δημιουργήσει διαχωρισμό των ινών του πολυμερούς. Με τη μείωση της ταχύτητας το στρώμα που έχει δημιουργηθεί έχει τον απαραίτητο χρόνο για να κρυώσει [18]. Σαν αποτέλεσμα έχουμε και αύξηση του χρόνου εκτύπωσης. Επίσης, υπάρχει συσχέτιση της θερμοκρασίας ακροφυσίου και της πυκνότητας του νήματος. Το υψηλό ιξώδες του νήματος οφείλεται για τη δυσκολία παραγωγής συνεχούς νήματος ομοιόμορφων διαμέτρων. Πολλά στρώματα σχηματίζουν μία σταθερή δομή, όμως η

αντοχή μεταξύ αυτών μπορεί να είναι μικρότερη της αντοχής των μορίων πολυμερούς σε μία στρώση. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται το ίδιο επηρεάζεται και ο ρυθμός εκπομπής των σωματιδίων συναρτήσει του τύπου του νήματος. Η αύξηση αυτή των εκπομπών συνιστούν θερμοκρασίες χαμηλότερες από εκείνες που προτείνει ο κατασκευαστής. Για PLA και ABS φαίνεται ικανοποιητικό αποτέλεσμα, όχι όμως το ίδιο με χρήση laywood και νάιλον. Η ενίσχυση του PLA χρησιμοποιώντας νανοπληρωτικά (όπως τα πυριτικά άλατα), οδηγούν σε βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού και στην επεξεργασία. Η χρήση νανოსύνθετων υλικών υπερβαίνει τους περιορισμούς των χαμηλών μηχανικών ιδιοτήτων των εξαρτημάτων [33].

Στην τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιούνται κυρίως θερμοπλαστικά. Τα θερμοπλαστικά υλικά είναι μία από τις κατηγορίες των πολυμερών υλικών. Τα πολυμερή είναι κάποια από τα υλικά που δημιουργούνται από τα μακρομόρια. Πρόκειται για μόρια που έχουν ως βάση τον άνθρακα. Ο άνθρακας, εξαιτίας των χημικών ενώσεων που διαθέτει χρησιμοποιείται σε ποικιλία εφαρμογών στη βιομηχανία. Καθώς τα θερμοπλαστικά εκτίθενται στη θερμότητα, μαλακώνουν και μετατρέπονται σε εύπλαστα. Ανάλογα με τη θερμοκρασία μπορεί να καταλήξουν σε περισσότερο υγρή μορφή. Κρατώντας το σχήμα αυτό, κατόπιν ψύξεως στερεοποιούνται. Πέραν της σύνδεσης με τη διαδικασία εκτύπωσης και χτίσιμο του εξαρτήματος, η ιδιότητα αυτή τα καθιστά εξ' ορισμού ανακυκλώσιμα. Αυτό σημαίνει πως αποτυχημένες εκτυπώσεις μπορούν να υποστούν τήξη και κατόπιν να ακολουθήσει συλλογή του υλικού και επεξεργασία. Οι ενισχύσεις των θερμοπλαστικών (μικρο-ίνες, νανοσωματίδια), αυξάνουν τις μηχανικές ιδιότητες [23].

4.Σκοπός της έρευνας

Το κρίσιμο σημείο στην κατασκευή μουσικών οργάνων είναι το επίπεδο στο οποίο θα καταστεί αυτό λειτουργικό. Με τον όρο λειτουργικότητα αναφερόμαστε στην ακουστική συμπεριφορά αυτού. Την ικανότητα να παράγει τον ήχο όσο πιο κοντά γίνεται στο παραδοσιακού τύπου όργανο έτσι ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες του οργανοπαίκτη. Η παρούσα έρευνα περιορίζεται στον έλεγχο των παραμέτρων στην προσπάθεια εκτύπωσης κάποιων από τα εξαρτήματα τα οποία απαρτίζουν το μουσικό αυτό όργανο. Κρίσιμος έλεγχος καθώς επιτρέπει την επιτυχή εκτύπωση. Φυσικά, υπάρχουν πολλά ακόμη κρίσιμα ερευνητικά πεδία με δεδομένο το σκοπό κατασκευής ολόκληρου του μοντέλου. Γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη και ξεχωριστή μελέτη.

5.Ερευνητικά ερωτήματα

Γενικά απασχολούν:

- Σχεδιαστικές προκλήσεις
- Μηχανική αντοχή
- Ποιότητα επιφάνειας
- Λειτουργικότητα

6. Μέθοδοι και εξοπλισμός

6.1 Επιλογή παραμέτρων εκτύπωσης και τεκμηρίωση με βάση την Εισαγωγή

Στο πείραμα που πρόκειται να πραγματοποιηθεί επιλέχθηκε σαν υλικό εκτύπωσης το PLA. Η ικανοποιητική αντοχή και ανθεκτικότητα της επιφάνειας που προσφέρει προσδίδει στο εξάρτημα ποιοτικό οπτικό αποτέλεσμα σε συνδυασμό με την ποικιλία των αποχρώσεων που προσφέρονται στην αγορά. Ο οικολογικός χαρακτήρας του εξαιτίας της ικανότητας αποσύνθεσης και ανακύκλωσης αποτελεί ισχυρό κίνητρο επιλογής. Προκειμένου να διαπιστωθεί η μηχανική αντοχή και η ποιότητα της επιφάνειας επιλέγεται ο έλεγχος και σύγκριση τιμών αναφορικά με το πάχος στρώσης, την ταχύτητα εκτύπωσης και τη θερμοκρασία του ακροφύσιου.

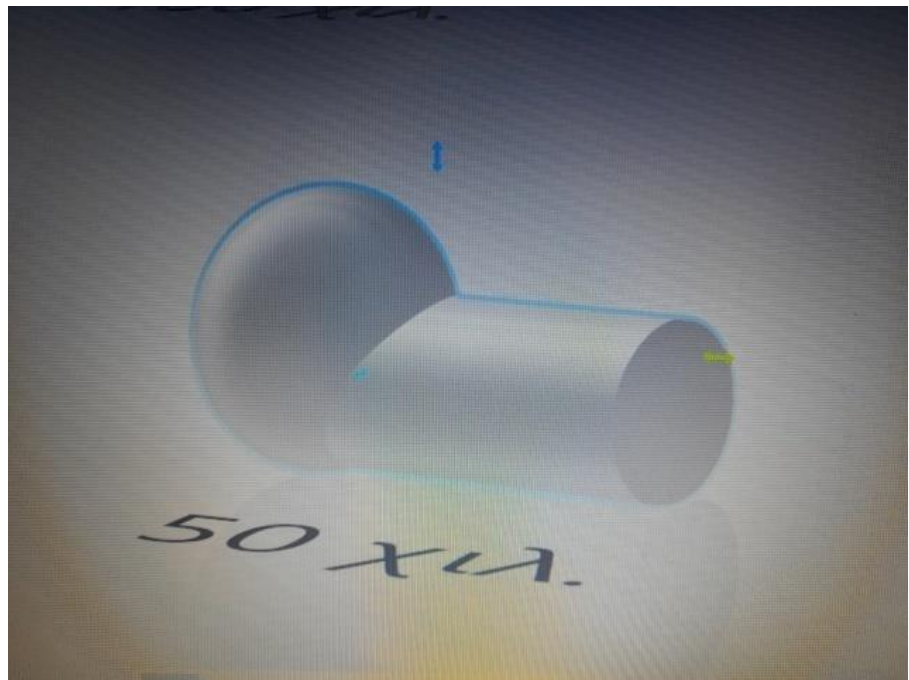
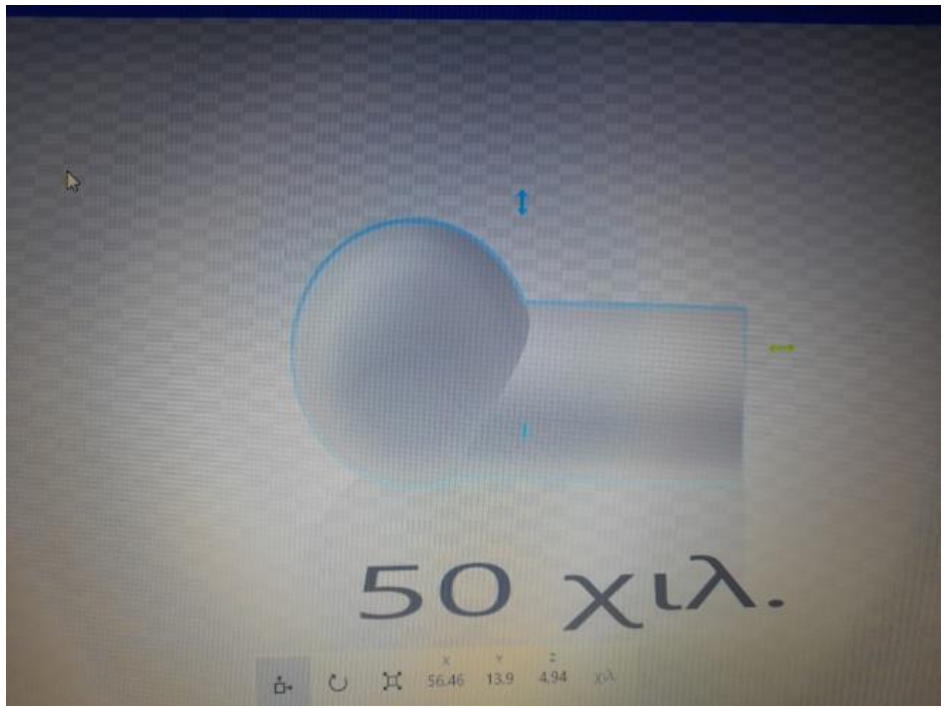
6.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Κοχλία

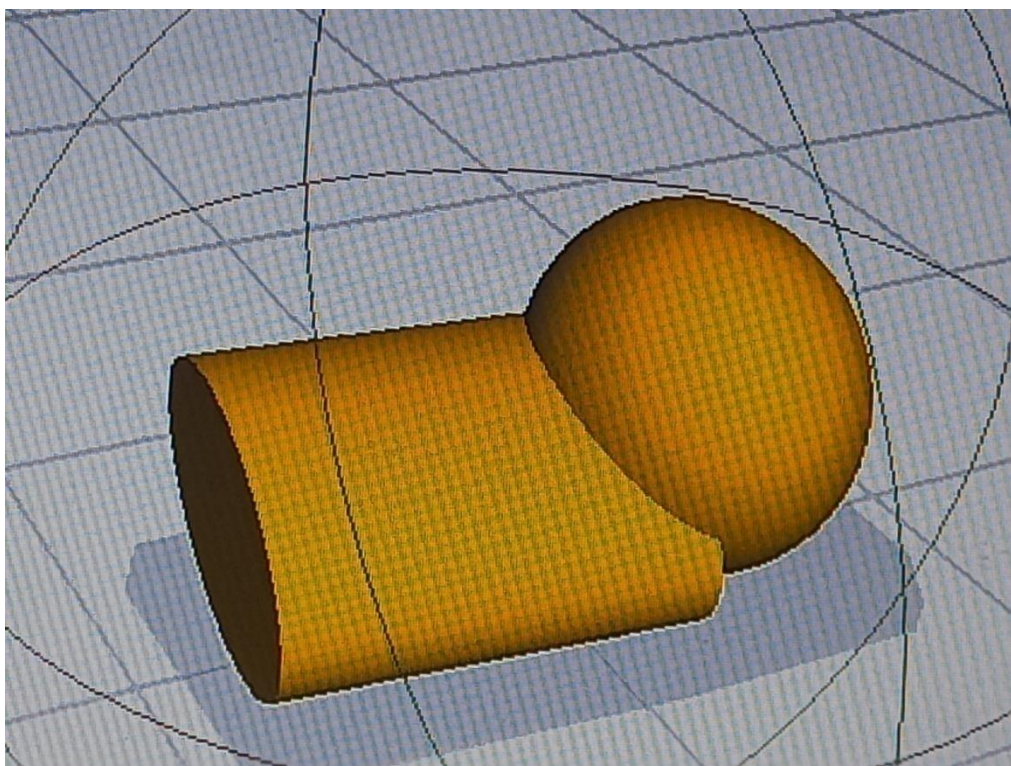
Η αρχική πειραματική προσέγγιση αφορά στην κατασκευή του κοχλία, τμήμα ενός βιολιού. Για τις σχεδιαστικές ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Tinkercad, το οποίο μετά την εξαγωγή για αποθήκευση μεταφέρθηκε στο 3D Builder της Microsoft.

Οι πρώτες προσπάθειες εκτύπωσης έγιναν απευθείας με τη χρήση του 3D Builder. Επιλέχθηκε ένας απλός σχεδιασμός χρησιμοποιώντας απλά γεωμετρικά σχήματα (σφαίρα, κύλινδρος). Τα δύο σχήματα ενώθηκαν και δημιουργήθηκε ένα σώμα με κυκλικά άκρα και ένα οριζόντιο τμήμα πάνω στο οποίο θα μπορούσαν να τοποθετηθούν τα κλειδιά τα οποία συγκρατούν τις χορδές. Επιλέχθηκε μέγεθος τελικού αντικειμένου στα 20mm. Δυνατότητα δόθηκε με τον τρόπο αυτό για έλεγχο στη διάρκεια της εκτύπωσης. Με τον τρόπο αυτό, καταγράφονται οι αστοχίες και είναι σε θέση να ξεκινήσει σε σύντομο χρόνο νέα εκτύπωση μεταβάλλοντας τις αναγκαίες παραμέτρους.

Το αρχείο αποθηκεύτηκε σε μορφή STL. Η μετατροπή αυτή είναι απαραίτητη για την επεξεργασία του σχεδίου στο αντίστοιχο λογισμικό.



Αργότερα, έγινε λήψη του αρχείου στο Crality Clicer 1.2.3.

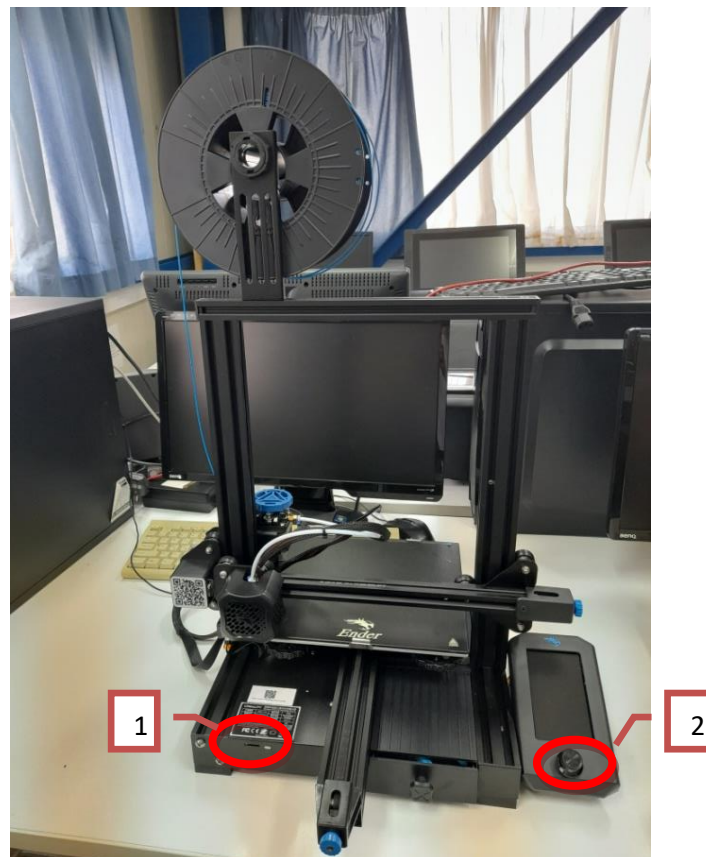


Για την προετοιμασία της εκτύπωσης ρυθμίστηκαν οι παράμετροι εκτύπωσης. Η θερμοκρασία της κεφαλής ορίστηκε σε 210°C, με θερμοκρασία πλατφόρμας 40°C και ταχύτητα εκτύπωσης 40mm/s. Με πάχος στρώσης 0,2mm ο χρόνος εκτύπωσης για αντικείμενο διαστάσεων 18mm ορίστηκε στα 8 λεπτά. Αντίθετα, με μικρότερη ταχύτητα στα 15mm/s και κρατώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους ίδιες, ο χρόνος αυξήθηκε στα 12 λεπτά.

Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Ender3 V2. Με όγκο εκτύπωσης 220X220X250mm, μπορεί να χρησιμοποιηθεί PLA, TPU, PETG. Διαθέτει γυάλινη επιφάνεια από Carborundum για την εκτύπωση η οποία είναι τοποθετημένη σε πλάκα αλουμινίου. Το μενού χαρακτηρίζεται από υψηλή ευχρηστία. Σημαντικό εργαλείο στην επιτυχία μίας εκτύπωσης αποτελεί η εύκολη τροφοδοσία του νήματος, ενώ εξαιρετικής σημαντικότητας αποτελεί η δυνατότητα που δίνει για συνέχιση της εκτύπωσης μετά από διακοπή ρεύματος. Προσφέρει εύκολη και γρήγορη ρύθμιση των αξόνων x-y. Με καθαρό βάρος στα 9,6kg η προσιτή τιμή του ίσως υπερτερεί της ταλαιπωρίας της συναρμολόγησης που απαιτεί. Η διάμετρος του αναλώσιμου αγγίζει τα 1,75mm με συμβατότητα αρκετών ειδών (ABS, FLEX, PET). Διαθέτει μία μύτη η θερμοκρασία της οποίας μπορεί να φτάσει μέχρι τους 255°C. Αντίστοιχα, η μέγιστη θερμοκρασίας της πλατφόρμας φτάνει τους 110°C.

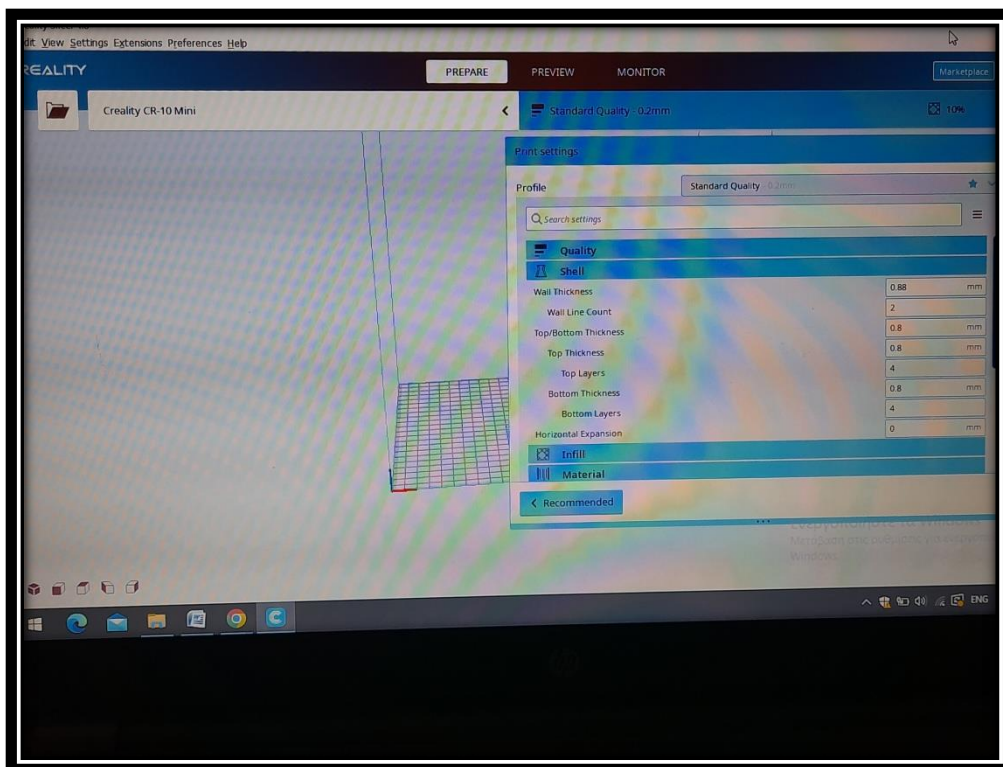
Το υλικό που επιλέχθηκε ήταν PLA χρώματος μπλε. Όταν οριστούν οι παράμετροι εκτύπωσης, εισάγουμε τον αντάπτορα του εκτυπωτή και κάνουμε εξαγωγή για αποθήκευση σε G-CODE του αρχείου προς εκτύπωση. Η κάρτα που περιέχει ο αντάπτορας τοποθετείται

τώρα στην υποδοχή του εκτυπωτή(1) για να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις και η έναρξη της εκτύπωσης(2). Συγκεκριμένα, ορίζουμε τις αποστάσεις x, y, z. Η απόσταση της κεφαλής από την πλατφόρμα εκτύπωσης επηρεάζει την εκτύπωση. Διότι, χαμηλά ύψη δεν επιτρέπουν την ομαλή εναπόθεση του υλικού. Επιπροσθέτως, παρακωλύεται η απαραίτητη ψύξη του μέχρι την τοποθέτηση της νέας στρώσης.

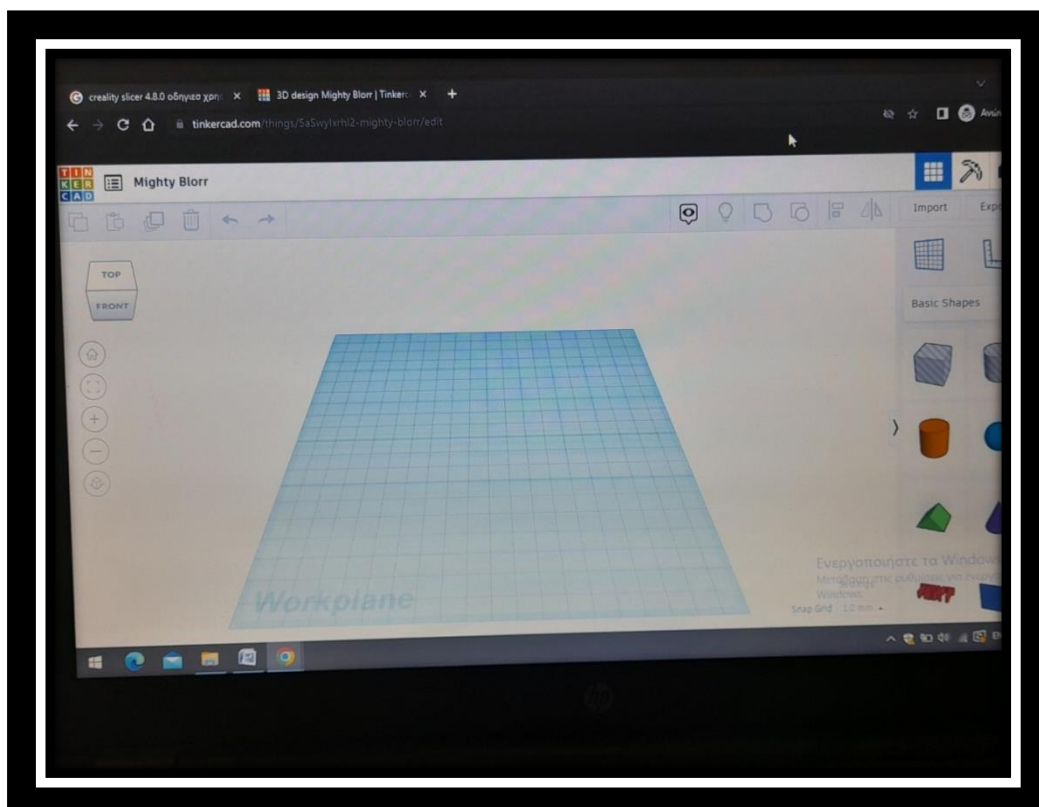


Στην επόμενη προσπάθεια χρησιμοποιήθηκε το Creality Clicer 4.8.0 εισάγοντας το ίδιο σχέδιο. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνει περισσότερες δυνατότητες και είναι συμβατό με το συγκεκριμένο εκτυπωτή. Ορίστηκε θερμοκρασία πλατφόρμας στους 60°C, NT=230°C και ταχύτητα 30mm/s. Με ποσοστό γεμίματος 80% και LT=0,2mm.

Κρατώντας την επιλογή για χρήση του τελευταίου λογισμικού προχώρησε η υλοποίηση 4 πειραμάτων που αφορούν το κομμάτι του κοχλία. Αναλυτικότερα, επιλέχθηκε το Creality CR-10 Mini.

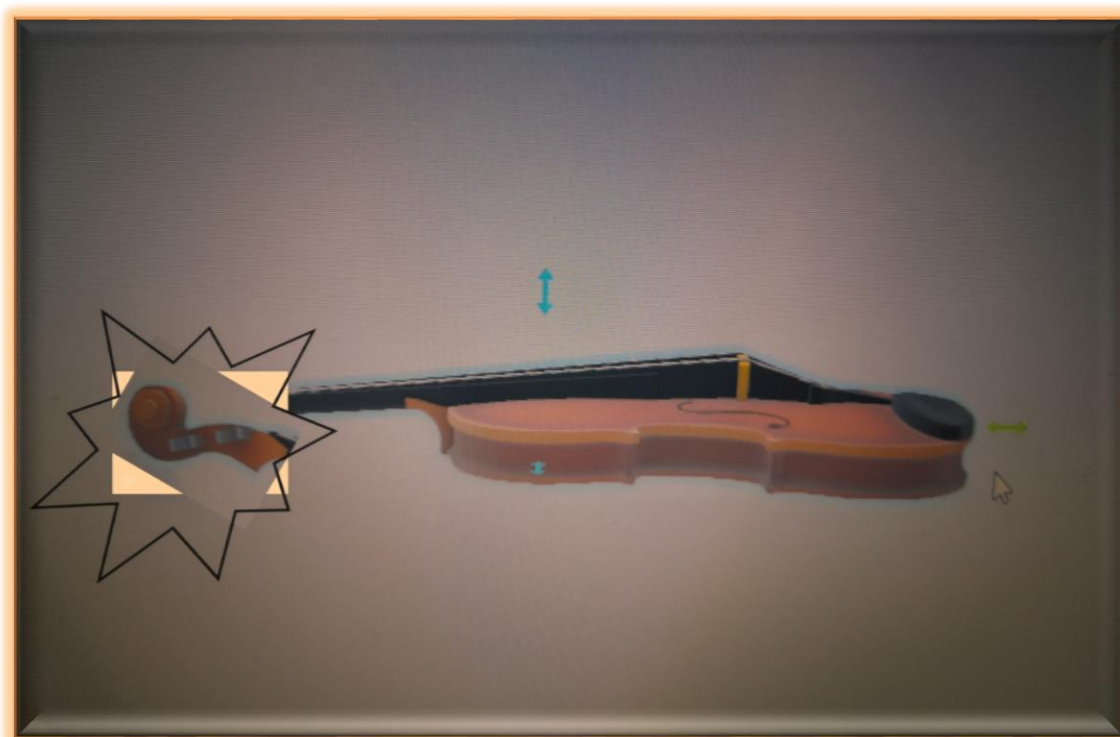


Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Tinkercad για το νέο σχέδιο με εμφανή την αρίθμηση του κάθε πειράματος.

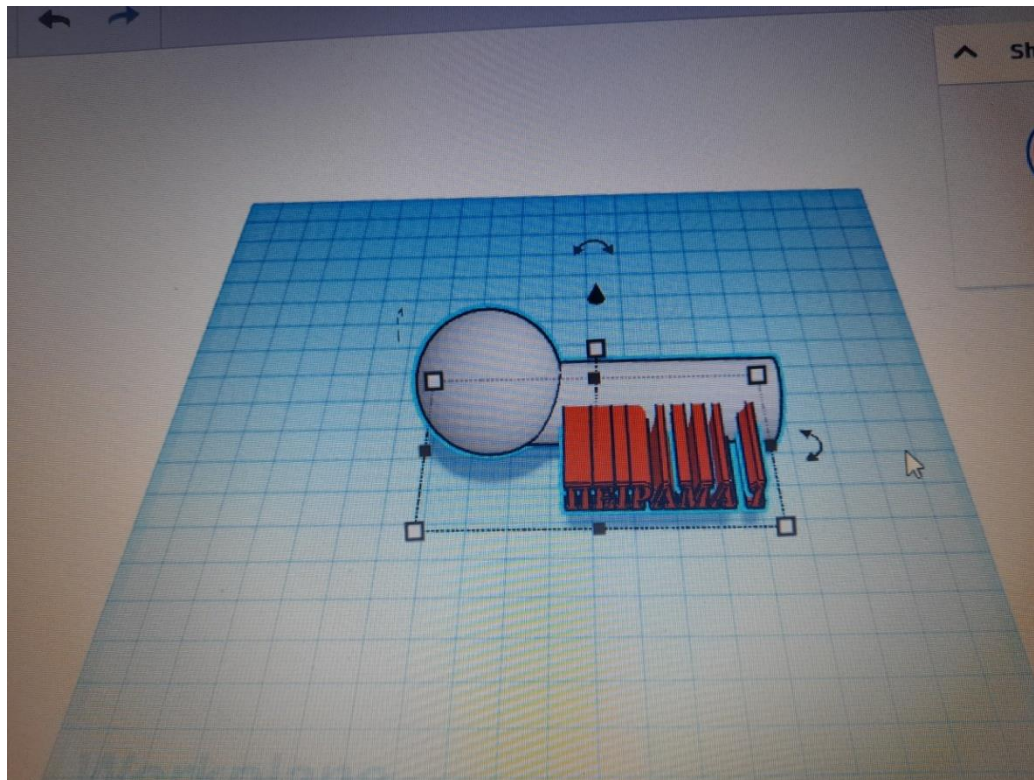


Σχεδιασμός

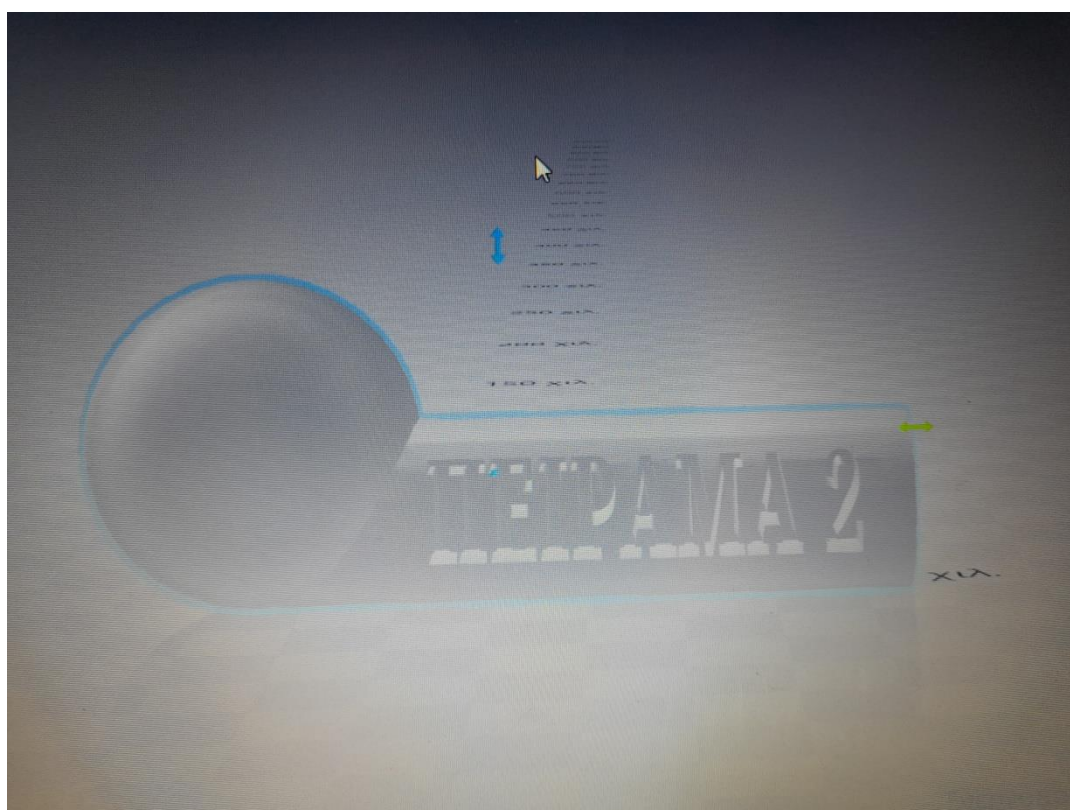
Με μήκος 10,5cm ή 105mm και πλάτος 3.8cm ή 38mm έχουμε τις διαστάσεις για ένα κοχλία βιολιού ενός ενήλικα ή αλλιώς 4/4 με το σύνολο της κατασκευής να αγγίζει τα 60cm ανάλογα με τον κατασκευαστή. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το δείγμα “μισού βιολιού”, δηλαδή προορισμένο για μικρά παιδιά. Έτσι, προσεγγιστικά οι διαστάσεις θα μειωθούν στα 50mm για τον κοχλία. Ευνοϊκή ρύθμιση για τις ανάγκες των ελέγχων καθώς ένα βιολί πραγματικών διαστάσεων θα απαιτούσε σχεδόν 24 ώρες και ο δε κοχλίας περί τις 2 ώρες. Με δεδομένο ότι μας απασχολεί η μελέτη των παραμέτρων αποτελεί μία ικανοποιητική αρχή που συνδυάζει εξοικονόμηση ενέργειας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως οι διαστάσεις αυτές μετά την εκτύπωση δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές διαστάσεις του μουσικού οργάνου, αλλά εμφανίζονται σε μικρότερη κλίμακα. Το συγκεκριμένο κομμάτι, αποτελεί ξεχωριστό πεδίο έρευνας, καθώς απαιτείται λεπτομερής σχεδιαστικός έλεγχος για πανομοιότυπη αποτύπωση. Η έρευνα της παρούσας εργασίας δεν επηρεάζεται από το στοιχείο αυτό καθώς υπάρχει πληθώρα σχεδίων που επιτρέπουν απλά την απαραίτητη στήριξη των χορδών από τον ένα άκρο στο άλλο.



Το Tinkercad, δίνει πληθώρα σχεδιαστικών επιλογών για κάθε επίπεδο γνώσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έμπειρους σχεδιαστές αλλά και από αρχάριους καθώς διαθέτει οδηγούς και παραδείγματα με πλήρη καθοδήγηση μέσω συγκεκριμένων εντολών. Επίσης, υπάρχουν έτοιμα σχήματα έως και μικρά βασικά αντικείμενα. Ακόμη, μπορεί να δημιουργηθεί γραπτό κείμενο το οποίο εύκολα όπως τα υπόλοιπα σχήματα εκτυπώνεται στον εκάστοτε εκτυπωτή.



Έγινε η ίδια διαδικασία όπως παραπάνω και στα 4 πειράματα.



Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων επιλέχθηκε ο καθορισμός τιμών σχετικά με το πάχος της στρώσης, την ταχύτητα εκτύπωσης και τη θερμοκρασία του ακροφύσιου. Σαν υλικό εκτύπωσης χρησιμοποιήθηκε PLA λευκού χρώματος.

Πίνακας πειραμάτων

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	LT	PS	NT
1	0,2	40	220
2	0,2	60	230
3	0,3	40	230
4	0,3	60	220

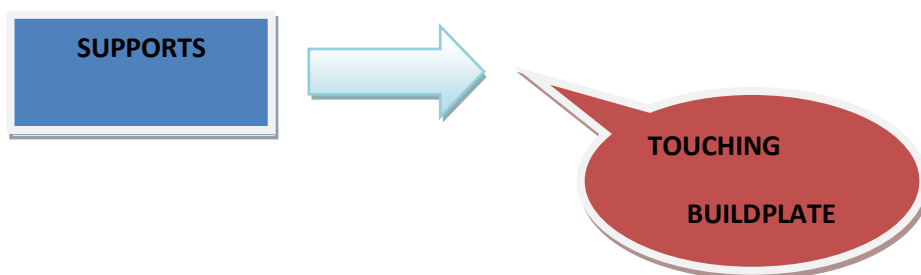
ΠΕΙΡΑΜΑ 1:

A)

Με θερμοκρασία ακροφύσιου 220°C η θερμοκρασία πλατφόρμας ορίστηκε στους 60°C. Επιλέγοντας πάχος στρώσης 0,2mm, δοκιμάστηκε ταχύτητα εκτύπωσης 40mm/s. Η ταχύτητα ψύξης στο σημείο της κεφαλής στον ανεμιστήρα (fan speed), ανήλθε σε 100, ενώ το ποσοτό γεμίσματος άγγιξε το 80%.

B)

Κρατώντας τις ίδιες παραμέτρους σταθερές, εφαρμόστηκε στήριξη στη βάση της πλατφόρμας για τη συγκράτηση του αντικειμένου.



ΠΕΙΡΑΜΑ 2

Με ίδιο πάχος στρώσης και αύξηση ταχύτητας εκτύπωσης στα 60mm/s, η θερμοκρασία ακροφύσιου ορίστηκε στους 230°C. Κρατώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές (fan speed, θερμοκρασία πλατφόρμας), διατηρήθηκε ακόμη η στήριξη στη βάση.

ΠΕΙΡΑΜΑ 3

Αύξηση στο πάχος στρώσης και μείωση ταχύτητας εκτύπωσης σε συνδυασμό με ίδια θερμοκρασία ακροφύσιου.

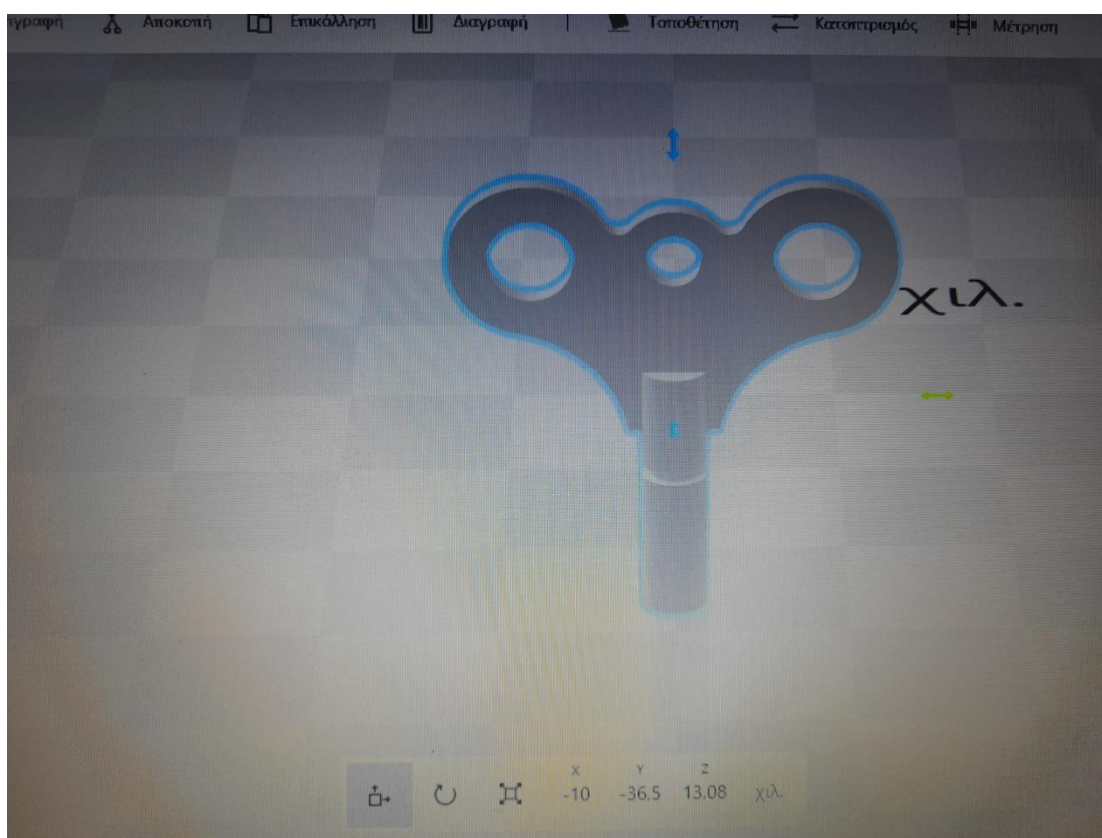
ΠΕΙΡΑΜΑ 4

Σταθερό πάχος στρώσης, αύξηση ταχύτητας και μείωση θερμοκρασίας NT.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως στην εξαγωγή των 4 πειραμάτων δεν χρησιμοποιήθηκε κολλητική ταινία στη βάση της γυάλινης επιφάνειας του εκτυπωτή.

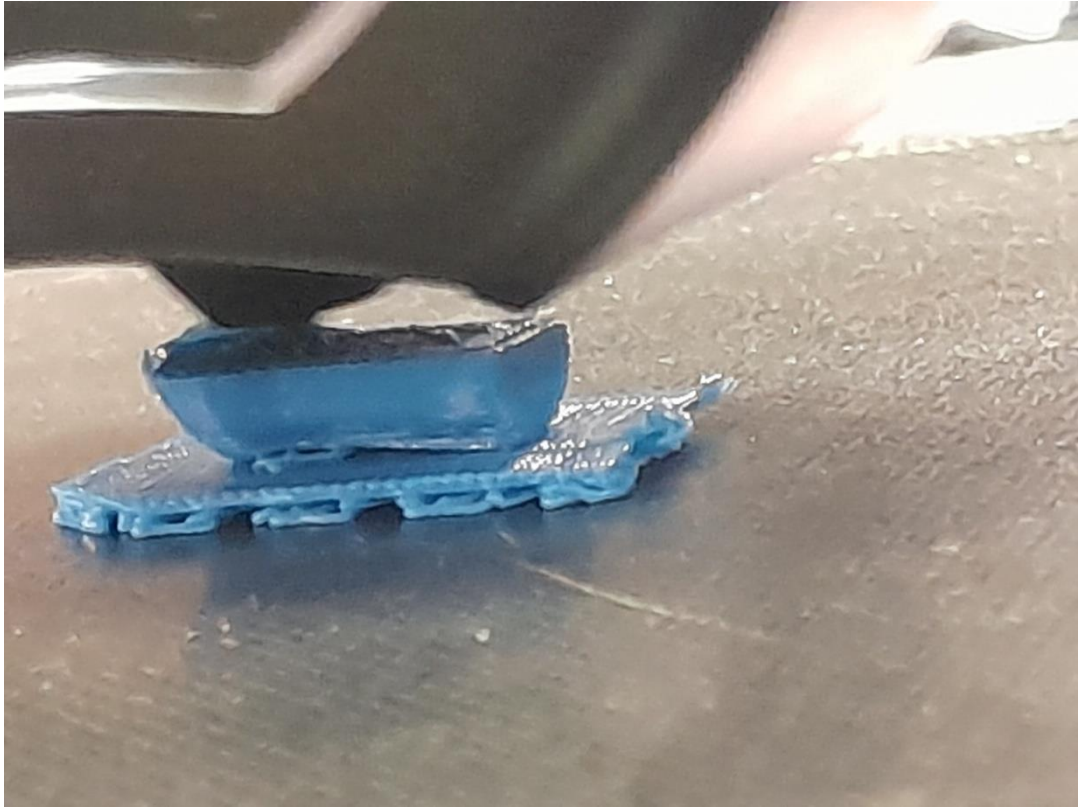
ΚΛΕΙΔΙ:

Σε διαστάσεις 28,3X22,9X8,7mm δημιουργήθηκε ένα σχέδιο κλειδιού το οποίο υπήρχε στη βιβλιοθήκη του Tinkercad. Με την αποθήκευση αυτού εξήχθη στο 3D Builder.

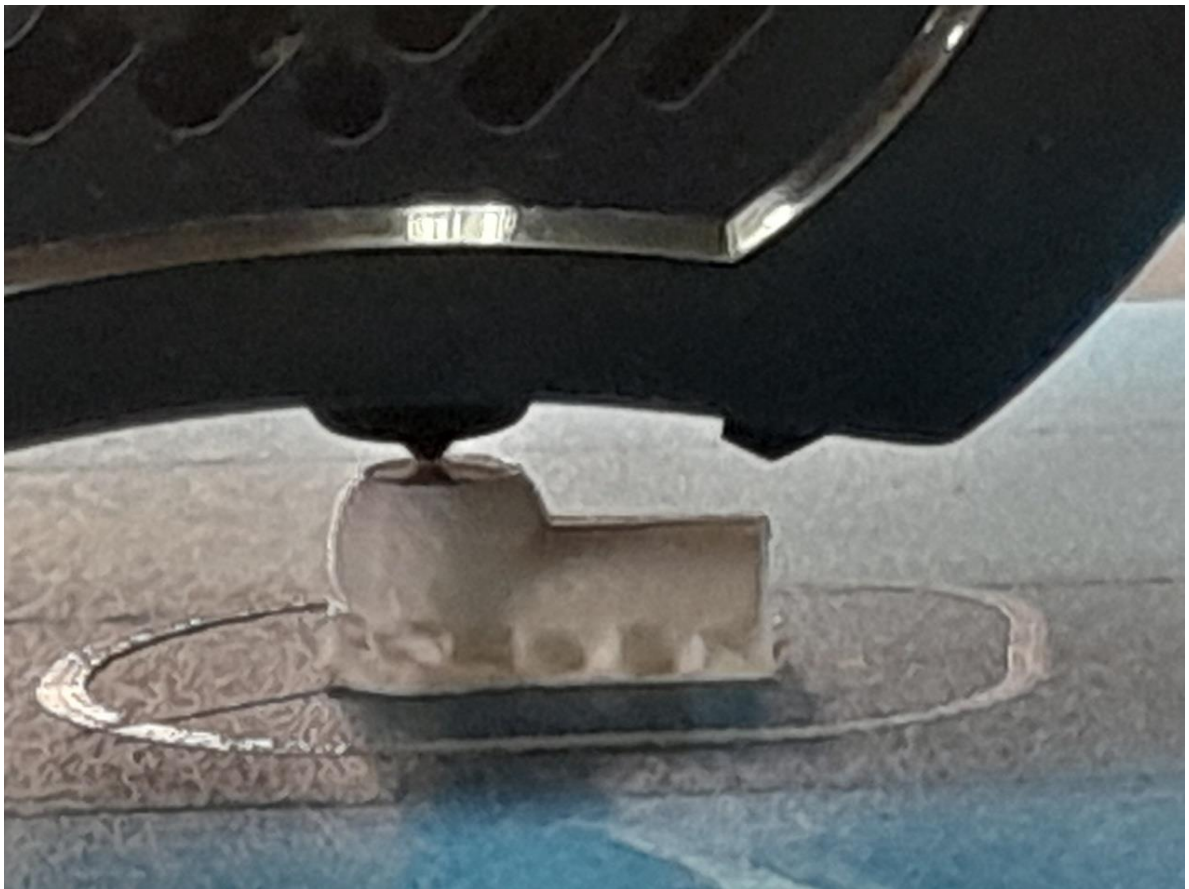
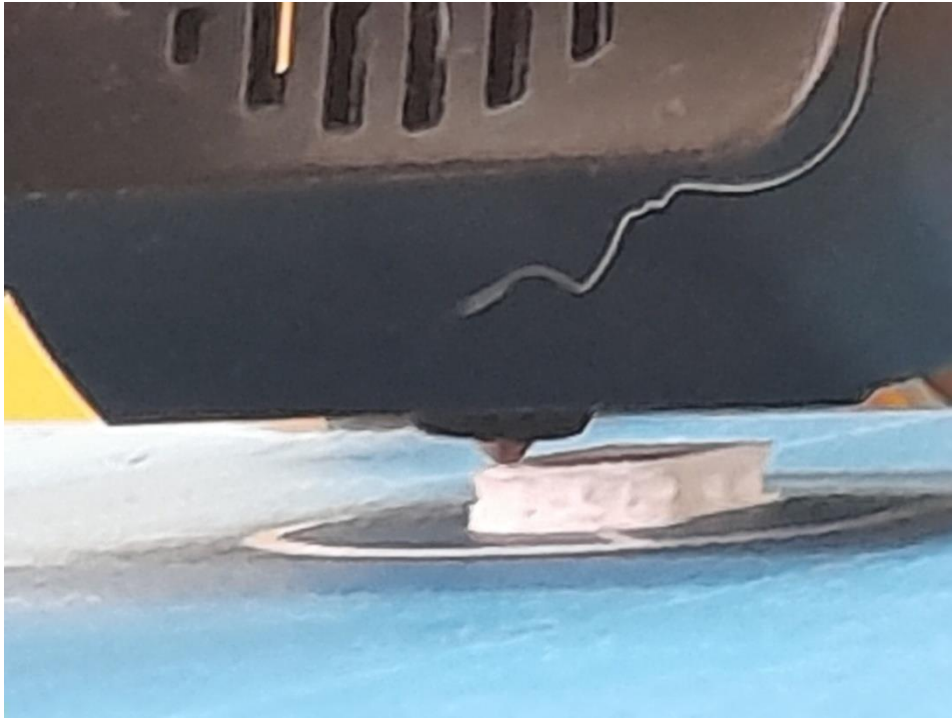


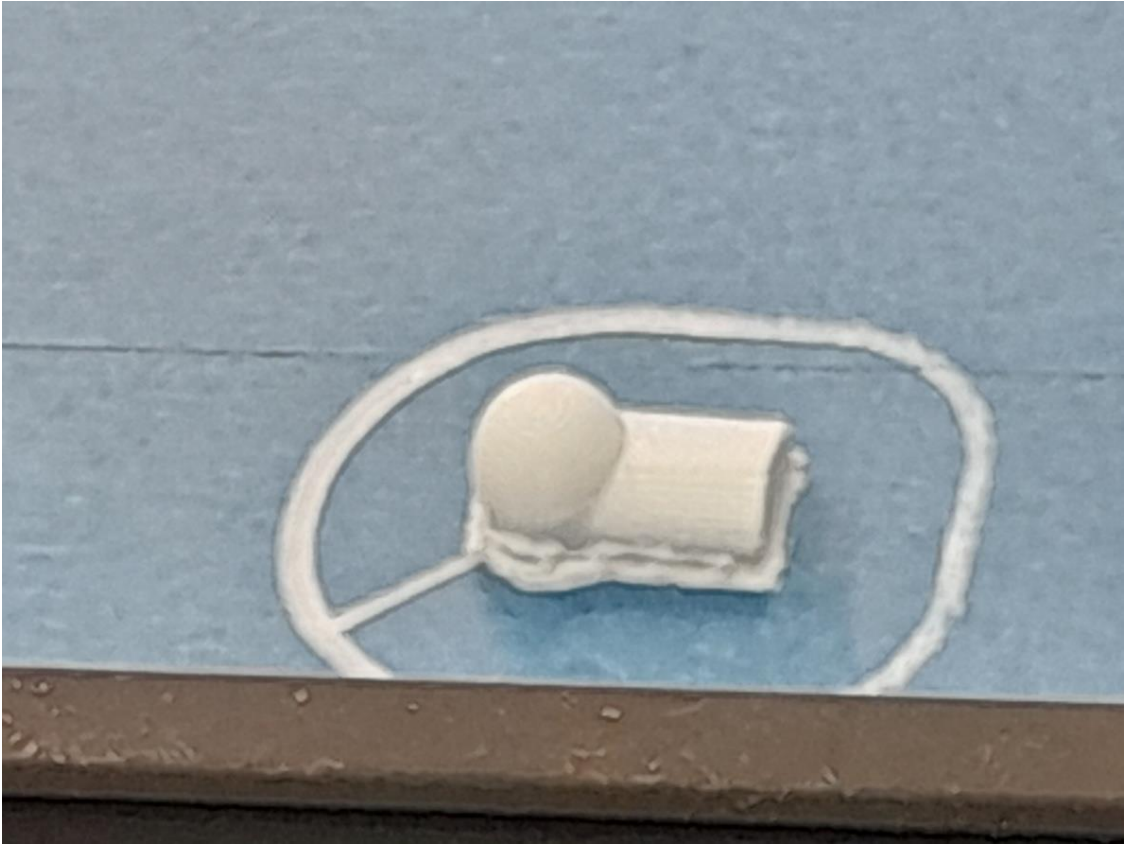
3.Αποτελέσματα

ΔΟΚΙΜΗ 1



ΔΟΚΙΜΗ 2

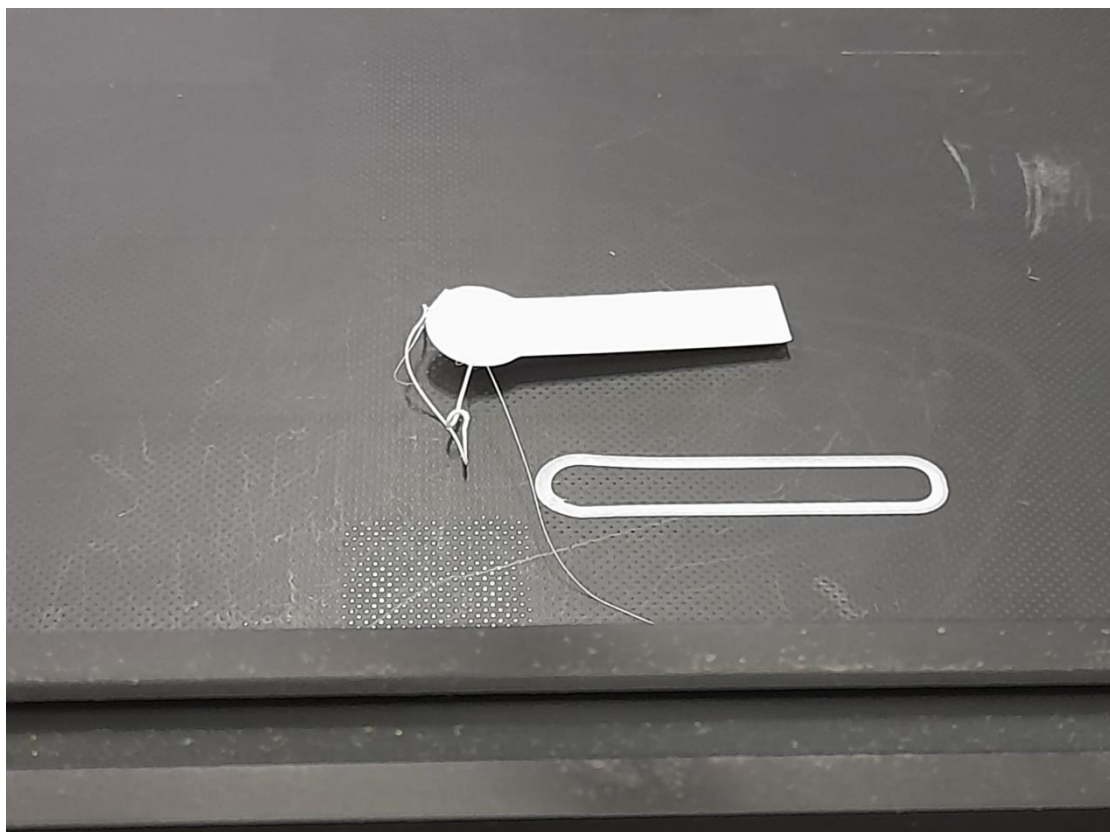
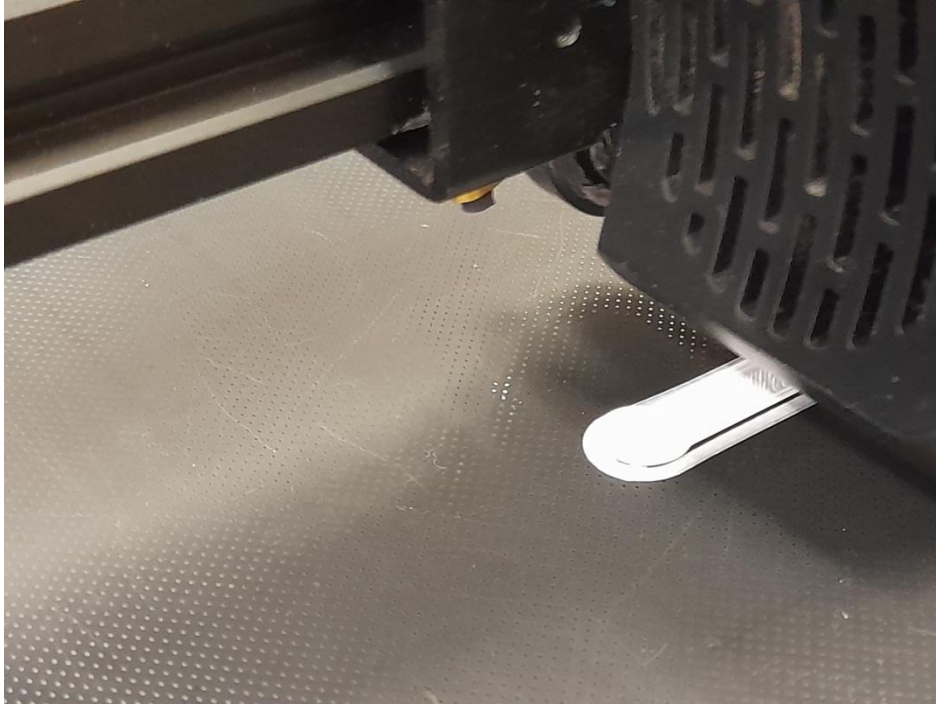




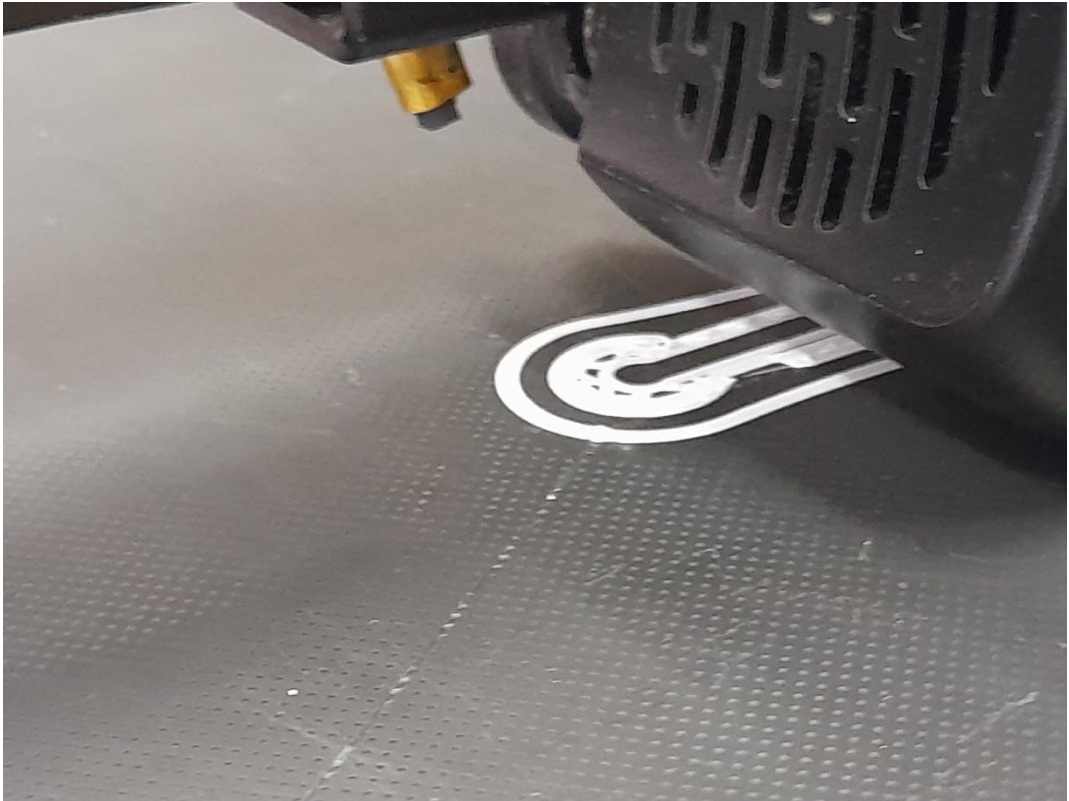
Πειράματα:

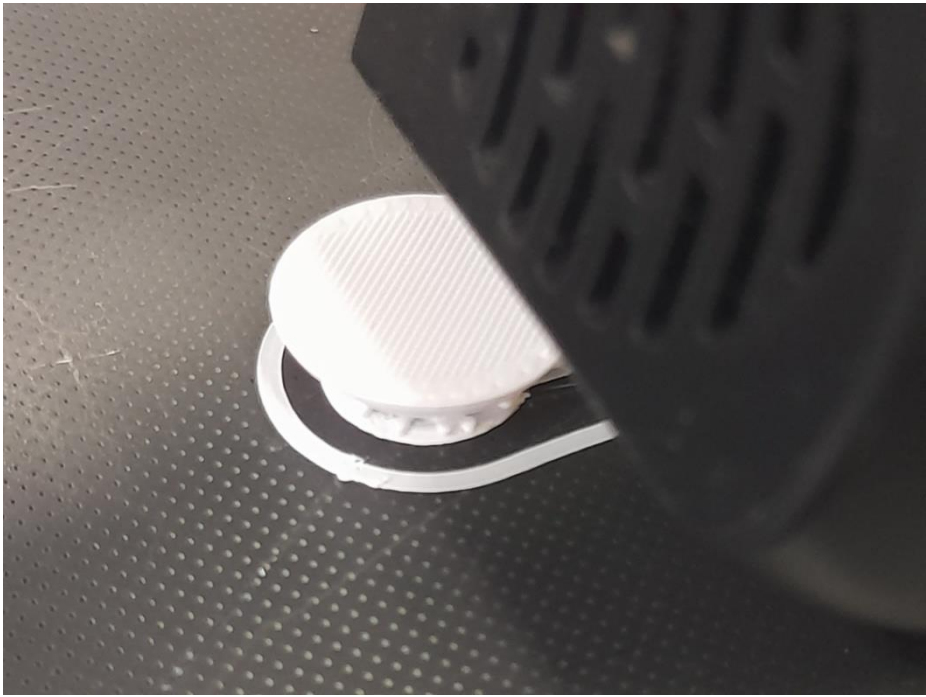
Πείραμα 1:

A)



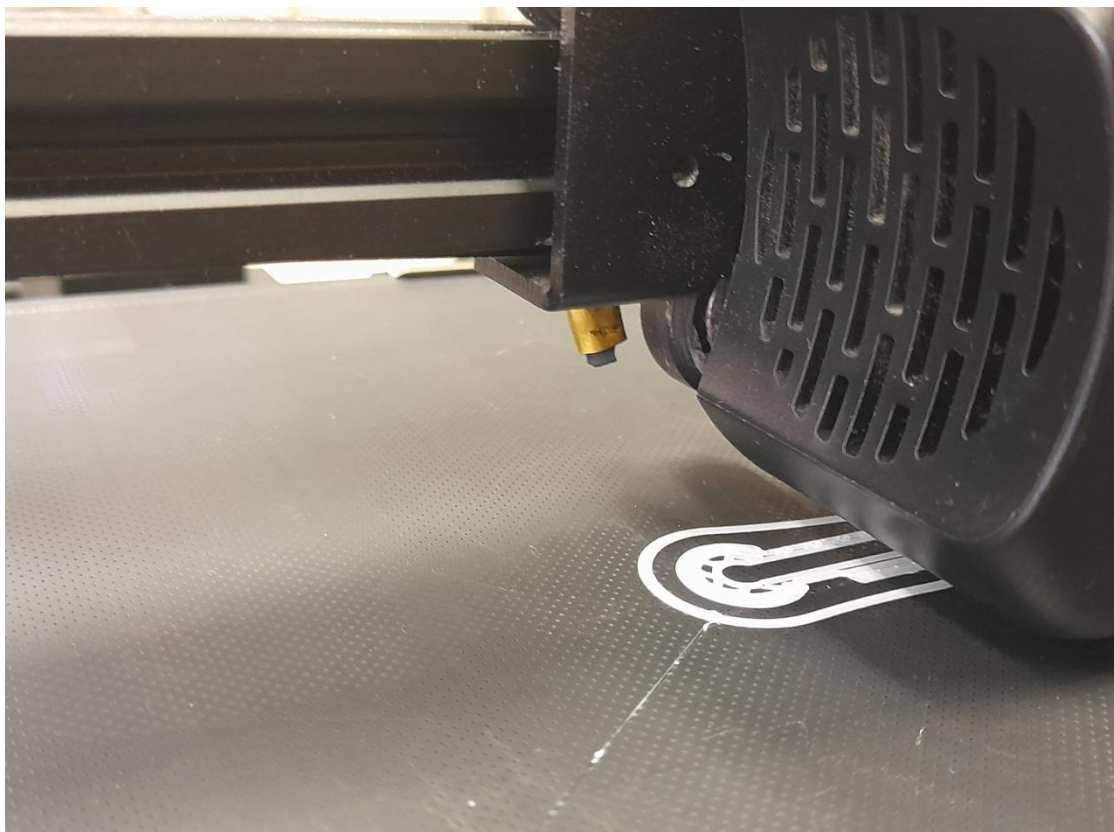
B)

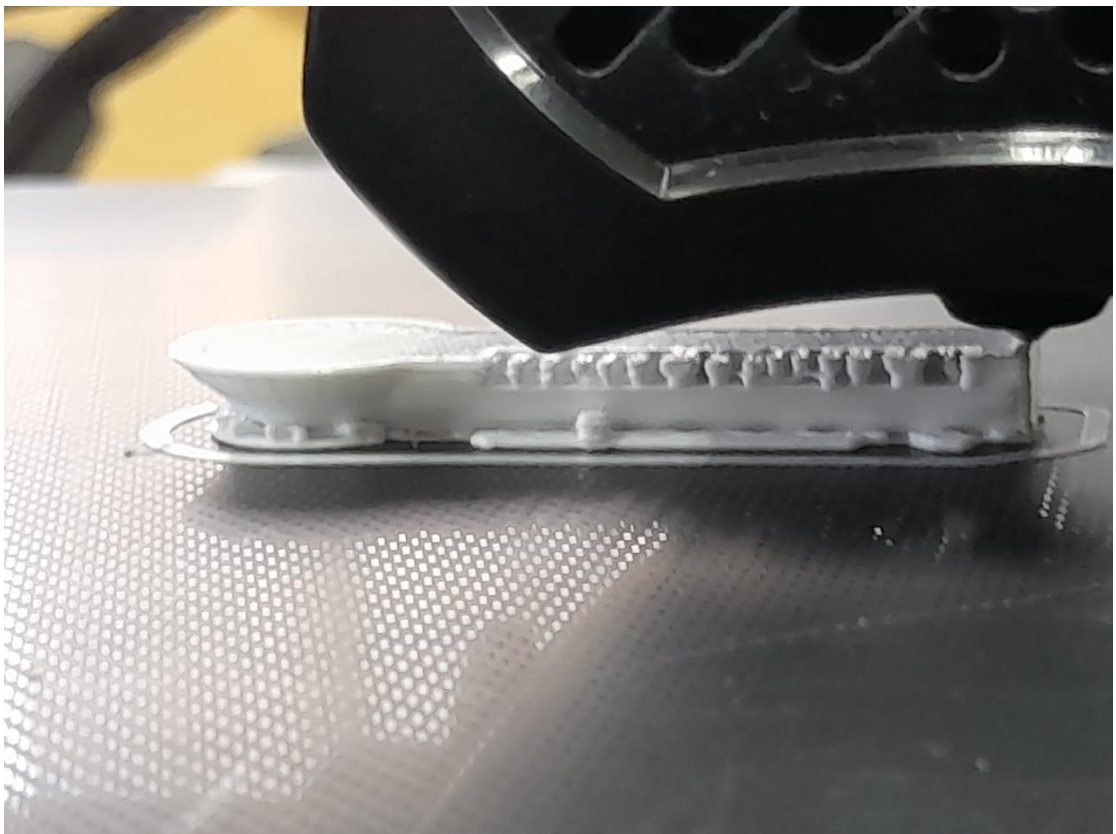
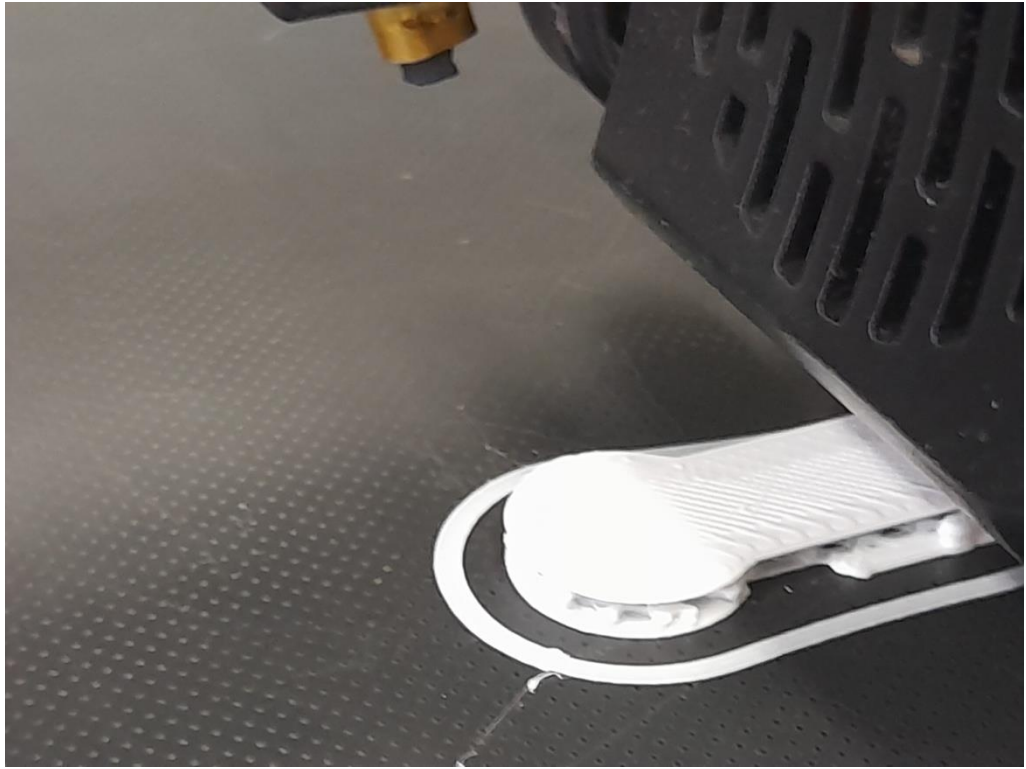


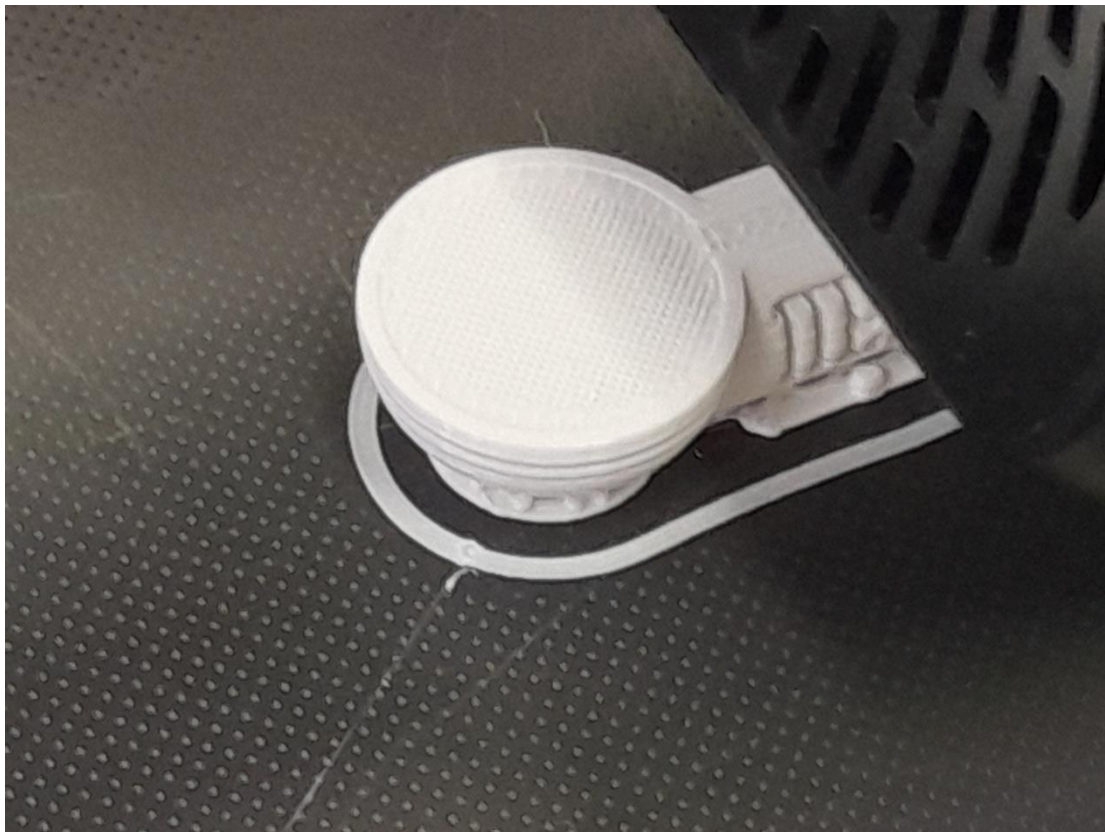


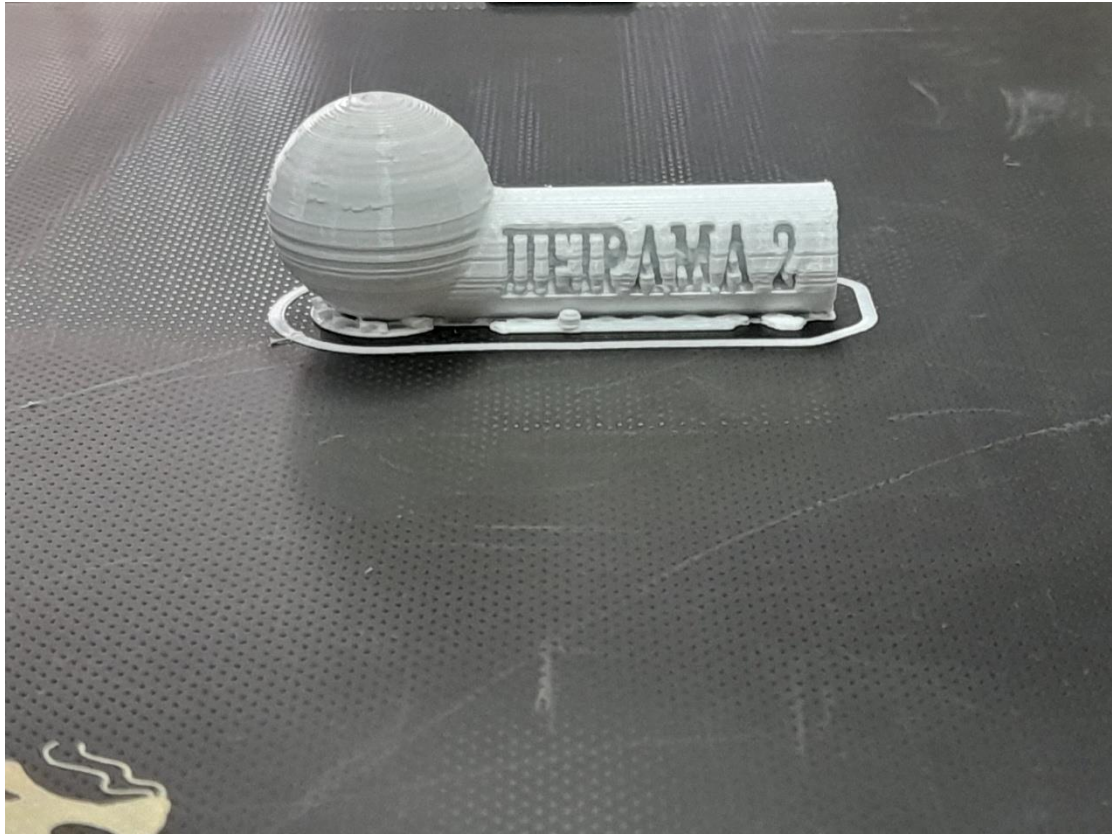


Πείραμα 2:



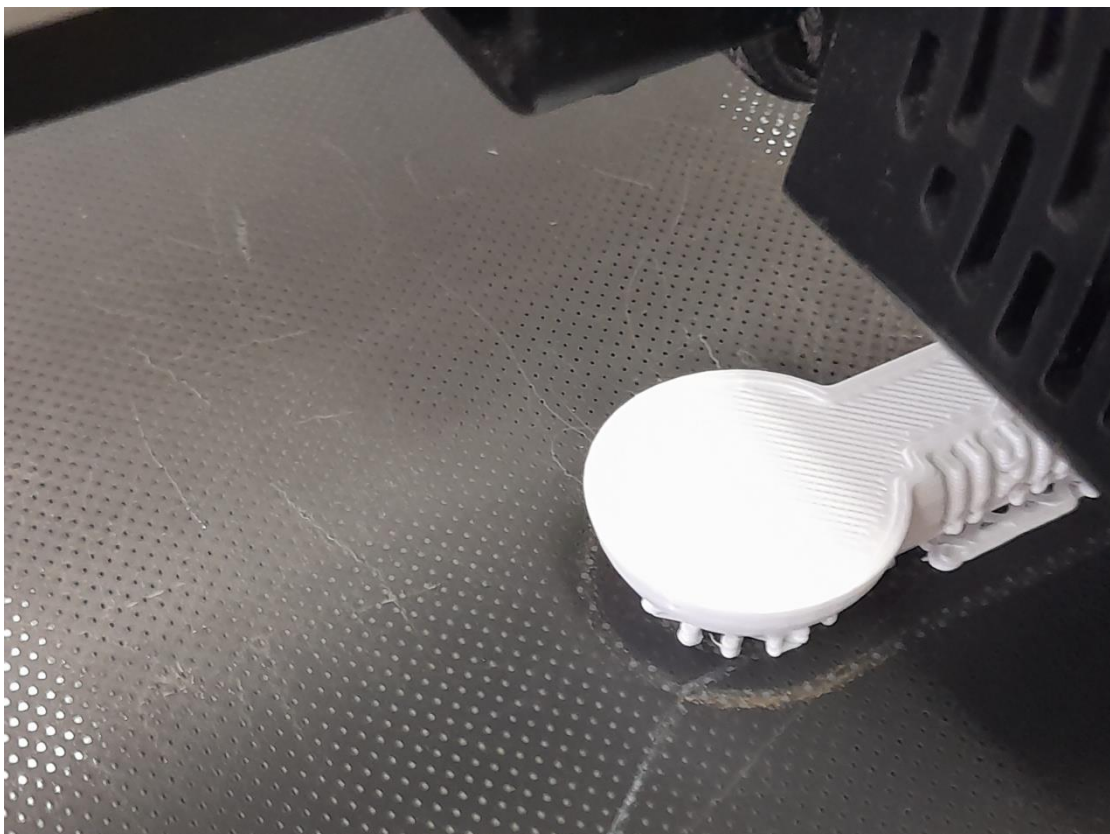


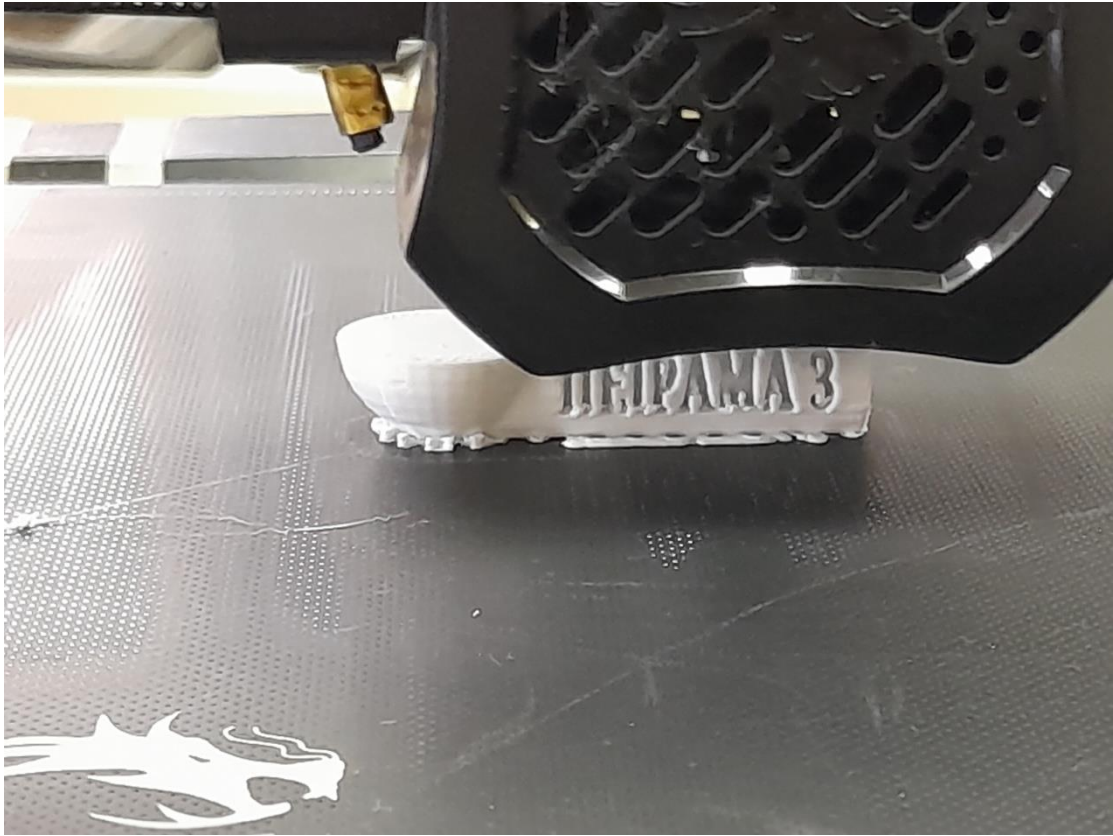


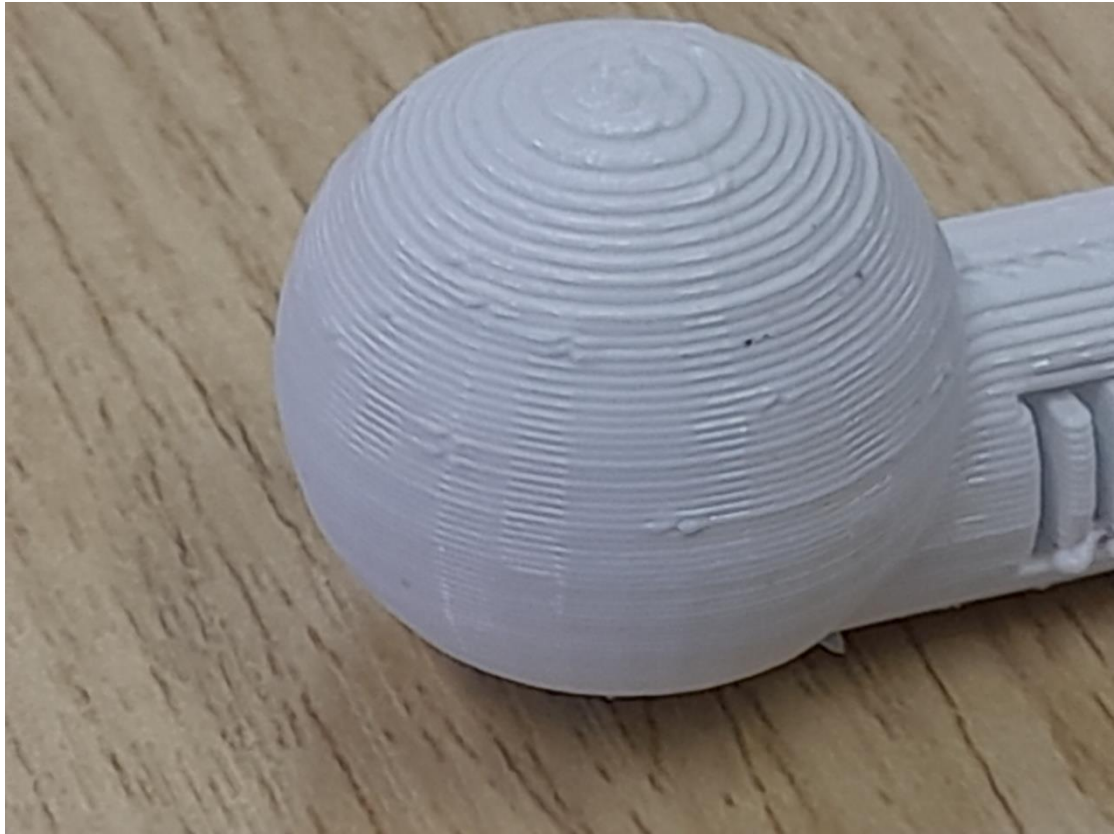




Πείραμα 3:

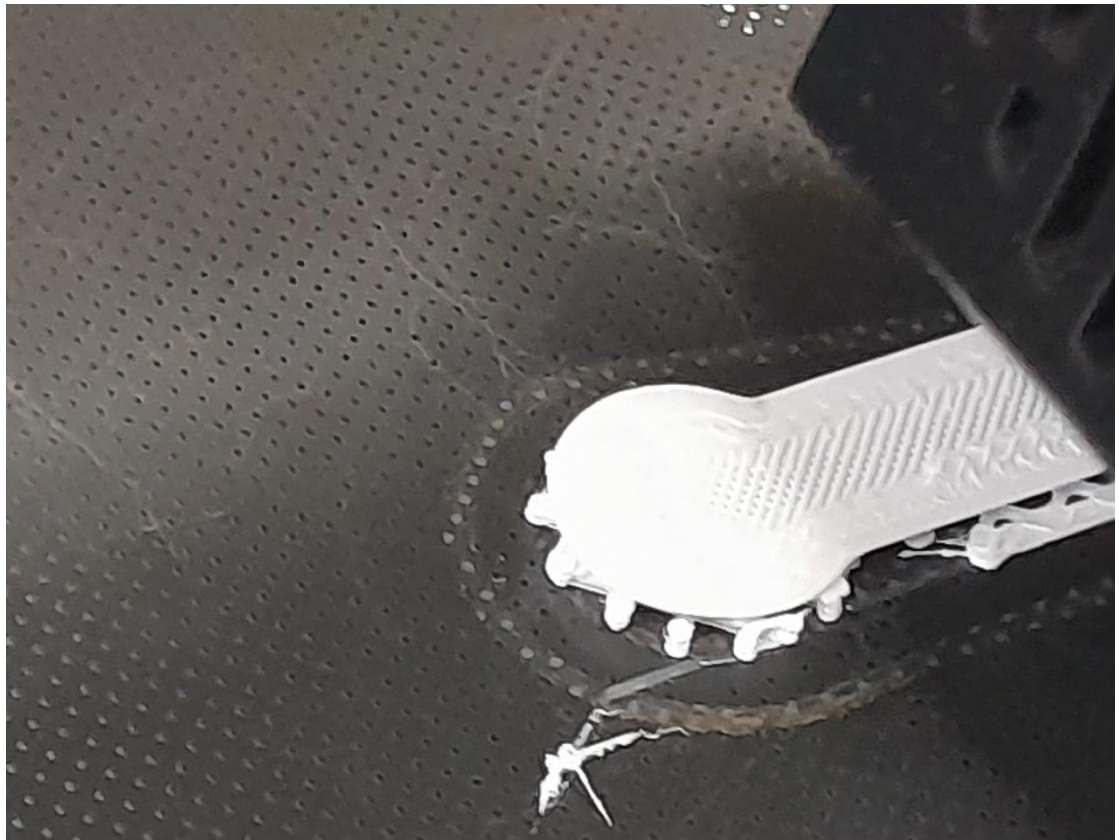


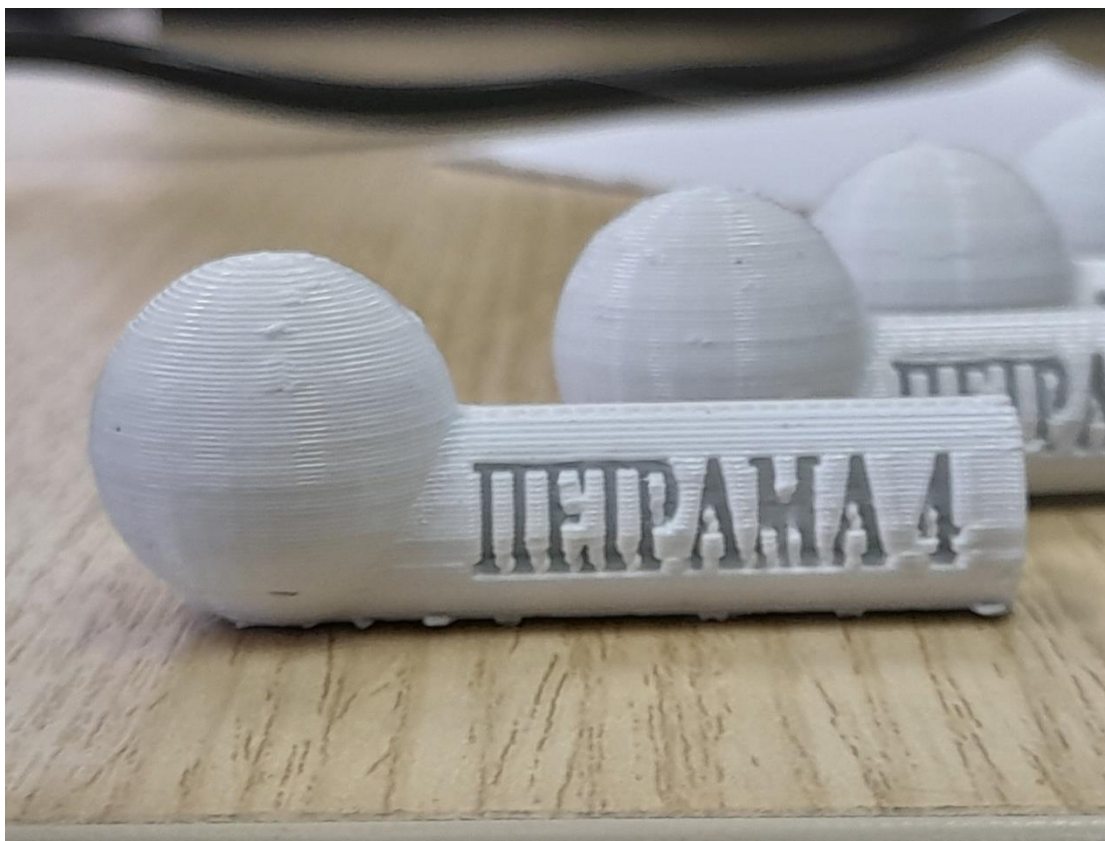




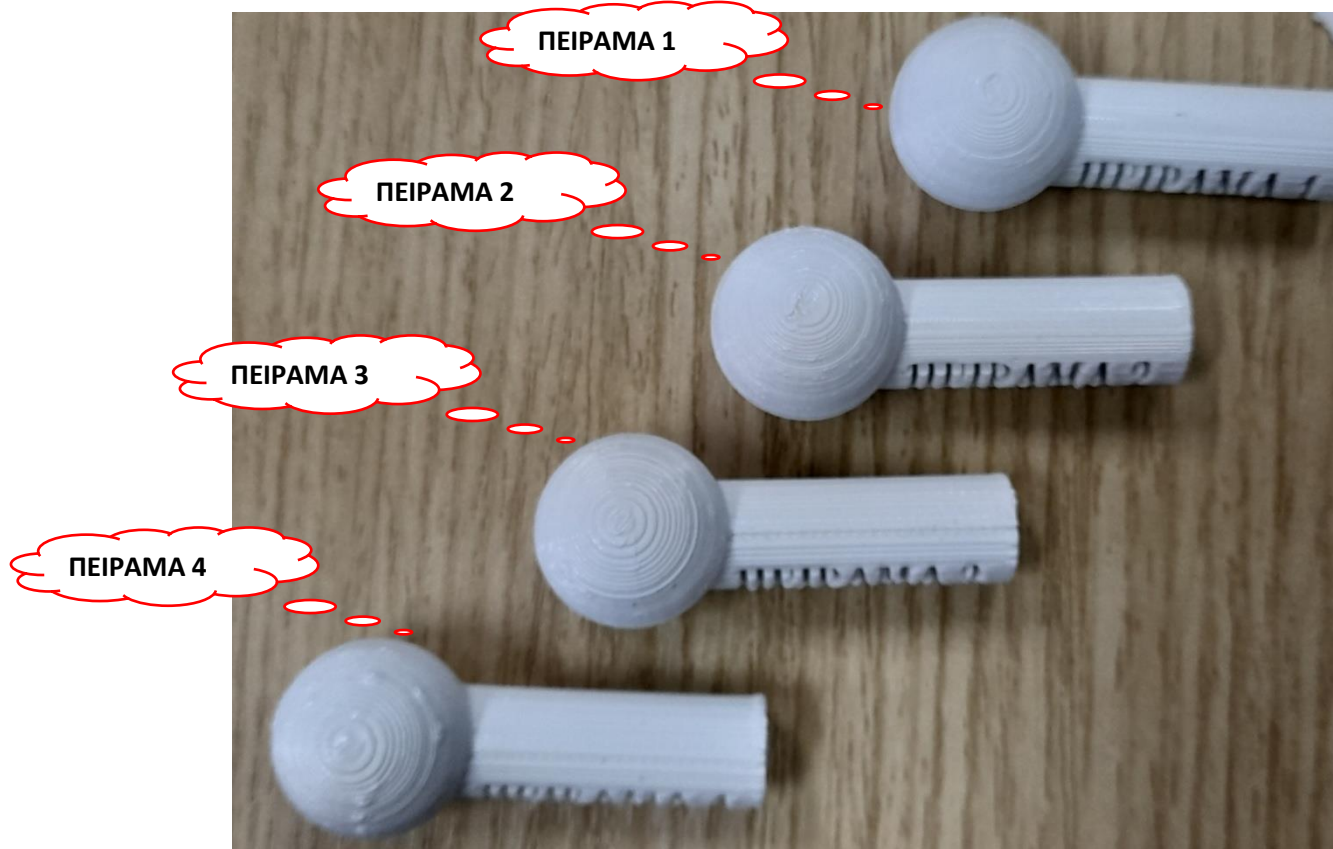


Πείραμα 4:

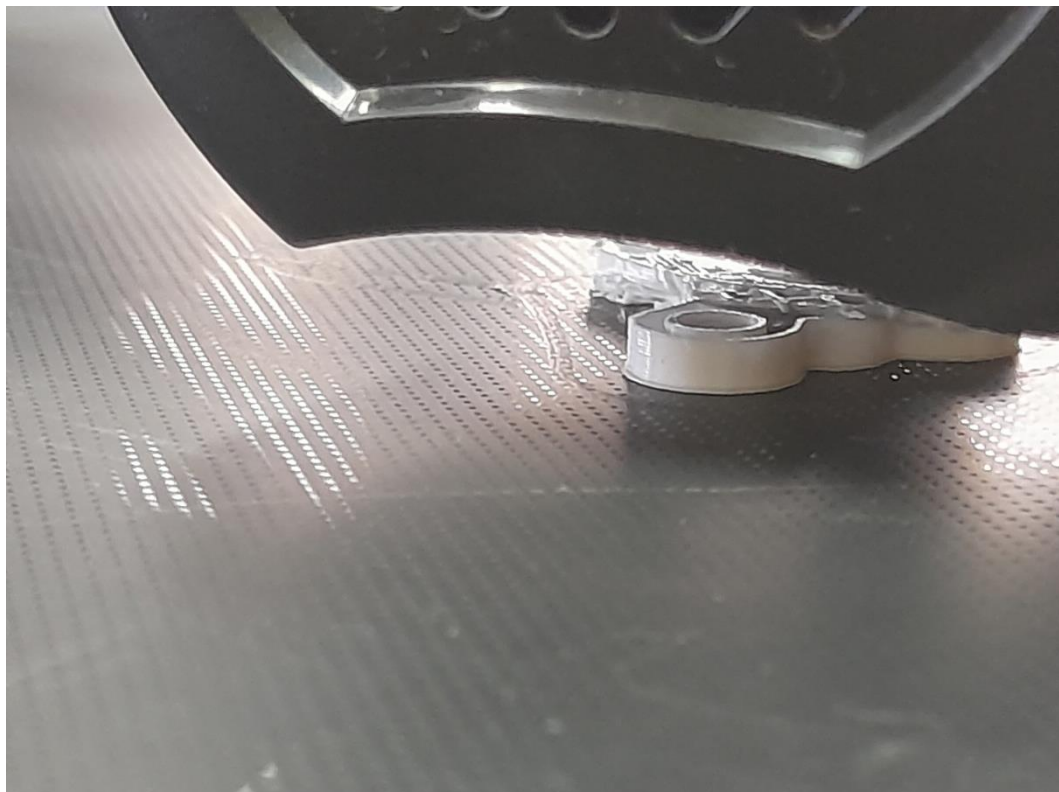
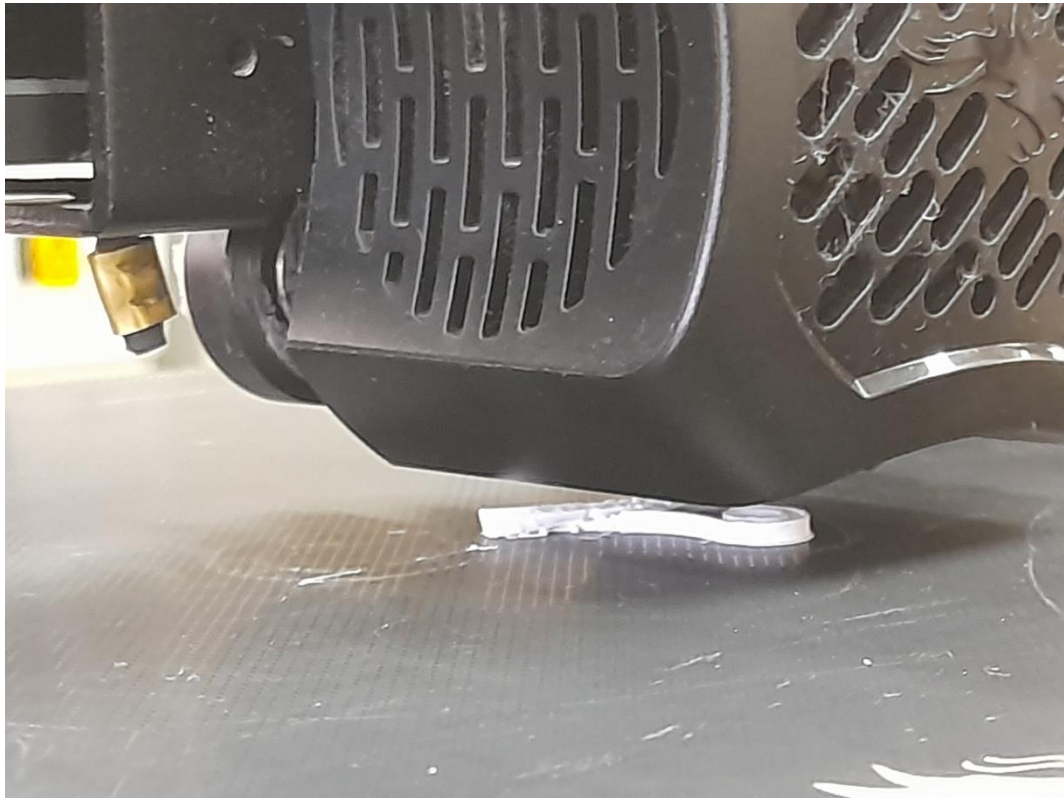








Κλειδί:





4.Συμπεράσματα

Οι πρώτες προσπάθειες παρουσίασαν αδυναμία στην εκτύπωση και ανεπιτυχή ολοκλήρωση του σχεδίου.

- Ικανοποιητική πρώτη στρώση, ενώ στη συνέχεια υπήρξε αποκόλληση από την πλατφόρμα.
- Στη βάση του αντικειμένου είναι ορατή η περιοχή οριοθέτησης στην εκκίνηση της εκτύπωσης. Οι στρώσεις δεν είναι εύκολα αντιληπτές γεγονός που υποδηλώνει κάποιο ποσοστό επιτυχίας όσον αφορά την ποιότητα της επιφάνειας. Η μείωση της ταχύτητας δεν διόρθωσε όμως το πρόβλημα. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου ήταν ικανοποιητική όμως η πλατφόρμα δεν είχε την απαιτούμενη θερμοκρασία με αποτέλεσμα τη γρήγορη ψύξη. Έτσι, καθώς αναμενόταν η εναπόθεση της επόμενης στρώσης, η βάση ήταν τόσο ασταθής ώστε καθώς κινούνταν η κεφαλή και άφηνε υλικό στην προηγούμενη στρώση, υπήρχε διαρκής μετατόπιση με αποτέλεσμα την ολική αποκόλληση του εξαρτήματος. Επομένως, η εκτύπωση διεκόπη πριν την ολοκλήρωσή της. Παρατηρώντας την οπτική εμφάνιση παρατηρούμε σχετική ομοιομορφία στο σχήμα το οποίο ανταποκρίνεται στον αρχικό σχεδιασμό (διαστάσεις/DA). Το μειονέκτημα βρίσκεται στην τραχύτητα της επιφάνειας και την απόκλιση των στρώσεων μεταξύ τους. Απουσιάζει η ευθυγράμμιση των στρώσεων ενώ οι κλωστές του εναποτεθέντος υλικού δίνουν κακή ποιότητα των πλευρικών επιφανειών.

Στη δεύτερη προσπάθεια πριν την έναρξη δηλαδή των πειραμάτων και με τη χρήση του δεύτερου λογισμικού Creality Clicer 4.8.0., η εκτύπωση ολοκληρώθηκε σε ποσοστό 100% και πλήρως. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτή τη φορά χρησιμοποιήθηκε κολλητική ταινία στη βάση της πλατφόρμας.

- Η τοποθέτηση κολλητικής ταινίας αποδείχθηκε επωφελής και εμπόδιζε την αποκόλληση. Το αντικείμενο ολοκλήρωση πλήρης εκτύπωση με άμεση ανταπόκριση στο σχέδιο. Αναφορικά με τη χρήση του Slicer 4.8.0., υπήρξε απόλυτη συμβατότητα με τον επιλεγμένο εκτυπωτή. Ομοιομορφία σε όλη την επιφάνεια και καλή ποιότητα απουσία πλεοναζόντων υπολειμμάτων. Όμως, δεν φαίνεται ακριβής συμπαγής ομοιομορφία καθώς δίνει την εντύπωση θαμπώματος και ελάχιστης μετατόπισης των στρωμάτων. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί η πιθανότητα τα παραπάνω να οφείλονται στο εξαιρετικά μικρό μέγεθος του εξαρτήματος σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία εναπόθεσης. Πιθανή αργοπορία στην ψύξη των στρώσεων οδηγεί σε ανεπιθύμητη ρευστότητα του υλικού που οδηγεί σε παραμόρφωση της τελικής εικόνας. Στις συγκεκριμένες ρυθμίσεις απουσίαζε η επιλογή ποσοστού ψύξης στον ανεμιστήρα. Ακόμη, παρατηρούνται οι στρώσεις των στηριγμάτων στη βάση του αντικειμένου εξαιρετικά προβληματικές ποιοτικά ως προς το οπτικό αποτέλεσμα αλλά και στην αφή.

- Το Πείραμα 1 Α) παρουσιάζει αδυναμία ολοκλήρωσης. Η εκτύπωση ξεκίνησε ομαλά με ένα ορισμένο αριθμό στρώσεων υλικού. Αργότερα όμως, το αντικείμενο καθώς δεχόταν τις νέες στρώσεις, υπέστη μετακίνηση και μετατόπιση από την αρχική του τοποθέτηση πάνω στη βάση. Με τις δεδομένες συνθήκες ήταν αδύνατη η συνέχεια της εκτύπωσης, καθώς υλικό εναποτίθεντο ακανόνιστα και χωρίς να ακολουθείται η διαδρομή του αποθηκευμένου κώδικα που δίνει τις εντολές κίνησης.
- Β). Σε μία προσπάθεια εκτίμησης της κατάστασης, παίρνοντας το εξάρτημα προς μελέτη, παρατηρήθηκε η καμπυλότητα στη βάση και αρχή της εκτύπωσης. Έτσι, δημιουργήθηκε στήριξη στη βάση αυτής με χρήση της αντίστοιχης εντολής.
 - Η εκτύπωση ολοκληρώθηκε σε ποσοστό 100%. Καμία μετατόπιση δεν δημιουργήθηκε.
 - Η χρήση στήριξης αύξησε το χρόνο εκτύπωσης από 57min σε μία ώρα.
 - Η επιφάνεια του εξαρτήματος είναι καλή χωρίς να διακρίνονται αστοχίες στις στρώσεις.
 - Εξαιρετική ποιότητα του κειμένου. Καθαρή γραφή με ευκρίνεια.
 - Η πλέξη στη διαδοχή των στρώσεων δίνει σωστή βάση για υποδοχή και συγκράτηση της επόμενης στρώσης.
 - Οι στρώσεις διακρίνονται σε βαθμό που δεν επηρεάζεται αρνητικά το οπτικό αποτέλεσμα (ποιότητα επιφάνειας).
 - Η υποστήριξη αφαιρέθηκε πολύ εύκολα χωρίς να παραμορφώσει τη βάση.

➤ **Πείραμα 2:** Ολοκλήρωση εκτύπωσης σε ποσοστό 100%

- Μείωση του χρόνου εκτύπωσης στα 51min.
- Ικανοποιητική στήριξη στο εσωτερικό με καλή ποσότητα γεμίσματος.
- Ποιότητα επιφάνειας μέτρια. Παρουσιάζεται ανομοιομορφία στις στρώσεις οι οποίες γίνονται ορατές σχετικά εύκολα.
- Αμφότερες οι αυξήσεις σε ταχύτητα και θερμοκρασία παραμόρφωσαν το υλικό μετά τη σταθεροποίησή του.
- Κείμενο ικανοποιητικό.

➤ **Πείραμα 3:** Επιτυχία εκτύπωσης.

- Επιπλέον μείωση χρόνου εκτύπωσης στα 43min.
- Οι στρώσεις διακρίνονται σε μεγαλύτερο βαθμό.
- Πλήθος κλωστών και χαμηλότερη ποιότητα επιφάνειας.
- Παραμόρφωση αντικειμένου με εμφανή στίγματα/κόμπους.
- Μικρότερη ευκρίνεια κειμένου. Θολή γραμματοσειρά.

➤ **Πείραμα 4:** Η εκτύπωση ολοκληρώθηκε σε ποσοστό 100%.

- Περαιτέρω μείωση χρόνου στα 37min.
- Η αύξηση του πάχους στρώσης φαίνεται πλέον εύκολα.
- Αύξηση της ανομοιομορφίας καθώς η μεγαλύτερη στρώση σε συνδυασμό με την αύξηση της ταχύτητας δεν έδινε τον απαιτούμενο χρόνο για την απαραίτητη ψύξη της κάθε στρώσης.
- Κακή ποιότητα επιφάνειας.
- Κακή ποιότητα κειμένου στο οποίο δύσκολα διακρίνονται όλα τα γράμματα. Ειδικότερα, το γράμμα «Α», παρουσιάζει το μεγαλύτερο πρόβλημα καθώς η οριζόντια γραμμή που το διακρίνει σχεδόν απουσιάζει κι έτσι θυμίζει περισσότερο το γράμμα «Λ».

➤ **Κλειδί:** Κρατώντας την πληροφορία των αποτελεσμάτων των 4 πειραμάτων επιλέχθηκε η υιοθέτηση των παραμέτρων του 1^{ου} Πειράματος. Παρατηρήθηκε καλή ποιότητα επιφάνειας και ευκρίνεια.

- Επιτυχής εκτύπωση και αποτύπωση σχεδίου.
- Με τη χρήση των συγκεκριμένων παραμέτρων ο χρόνος εκτύπωσης ορίστηκε στα 12min τοποθετώντας το αντικείμενο οριζόντια στη βάση. Αντίθετα, ο χρόνος εκτύπωσης αυξανόταν στην προεπισκόπηση εκτύπωσης όταν αυτό βρισκόταν σε κατακόρυφη θέση και για χτίσιμο από κάτω προς τα πάνω και μειώθηκε τοποθετώντας σε κλίση.
- Με δεδομένη την εφαρμογή στήριξης στη βάση, αυτή εφαρμόστηκε και αφαιρέθηκε εύκολα μετά το τέλος της εκτύπωσης.
- Καλή ποιότητα επιφάνειας.
- Καλή ποιότητα επιφάνειας στις λεπτομέρειες του σχεδίου.

Γενικά: Με την αύξηση της ταχύτητας και της θερμοκρασίας μειώνεται η ποιότητα επιφάνειας. Με την αύξηση του πάχους στρώσης διακρίνονται οι στρώσεις, γεγονός που αποτελεί πρόβλημα όταν συνδυαστεί με το προηγούμενο αποτέλεσμα. Έτσι, μειώνεται ακόμη περισσότερο η ποιότητα. Αυξάνοντας το πάχος στρώσης και την ταχύτητα εκτύπωσης μειώνεται ο χρόνος εκτύπωσης. Όμως, σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας ακροφύσιου δημιουργούνται προβλήματα στην εκτύπωση.

9.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Γενικά, χρησιμοποιώντας την προσθετική κατασκευή, απουσιάζει το πλεονάζων κόστος καθώς δεν απαιτείται για παράδειγμα χύτευση και διάτρηση προκειμένου να υλοποιηθεί το εξάρτημα. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου είναι εφικτή η εκτύπωση σαν ένα ενιαίο κομμάτι απουσιάζει παντελώς η διαδικασία σύνδεσης των επιμέρους εξαρτημάτων. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται απόσβεση του αρχικού κόστους για την προμήθεια του ειδικού μηχανικού εξοπλισμού που απαιτείται.

Όμως, λάθος επιλογές στις τιμές των μεταβλητών και τις παραμέτρους των χρηστών δημιουργούν ελαττώματα. Κάθε υλικό λειτουργεί διαφορετικά σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας. Υψηλές ταχύτητες εκτύπωσης μειώνουν το χρόνο εκτύπωσης δίνουν όμως συχνά αποτέλεσμα χαμηλότερης ποιότητας. Διαφορετικές τιμές επηρεάζουν την ποιότητα της επιφάνειας των αντικειμένων, την ακρίβεια των διαστάσεων και τη μηχανική αντοχή. Οι μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάζουν βελτίωση, ανοίγουν το δρόμο για εφαρμογή της AM σε απαιτητικές καταστάσεις, όπως για παράδειγμα στον τομέα της αεροδιαστημικής και της αεροπορίας. Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων και η ανάπτυξη νέων υλικών είναι ο τομέας έρευνας για τις διαδικασίες FFF.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κέντρο Έρευνας και Προβολής της Εθνικής Μουσικής(ΚΕΠΕΜ) (Μουσικό, Λαογραφικό και Φιλολογικό αρχείο Σίμωνος και Αγγελικής Καρρά)
2. Μαντάνης Γεώργιος. 2017. 'Ιδιότητες του Ξύλου'', Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, Εργαστήριο Επιστήμης & Τεχνολογίας Ξύλου, Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας, Καρδίτσα, Μάρτιος.
3. Κακαράς Ι.. 'Τεχνολογία ξύλινων δομικών κατασκευών'', Εκδόσεις Ίων.
4. Ευτυχίδης Λάζαρος. 2021. Πτυχιακή εργασία '3D εκτύπωση: Έμφαση στις Σύγχρονες Τεχνολογίες'', Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού, Τμήμα Γραφιστικής & Οπτικής Επικοινωνίας Κατεύθυνση Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών, Αθήνα.
5. Βασίλης Στέφανος. 2016 'Προσδιορίζοντας το κόστος παραγωγής μέσω της προσθετικής τεχνολογίας (3D-PRINTING)'', Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Διοίκηση Επιχειρήσεων-MBA, Χίος, Σεπτέμβριος.
6. Τσίτσιου Μαρία Αγγελική. 2020. Πτυχιακή εργασία 'Φιλικά προς το περιβάλλον υλικά και τεχνολογίες 3D εκτύπωσης'', Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος Τομέας Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πόρων Εργαστήριο Σχεδιομελέτης, Κατεργασιών & Αυτοματισμών, Χανιά.
7. Κυριακόπουλος Δημήτριος. 2015. Πτυχιακή εργασία 'Σχεδιασμός και ανάπτυξη εξωθητή μικρών διαστάσεων για την παραγωγή ενισχυμένων θερμοπλαστικών ως πρώτη ύλη 3d printing και σύνθετων υλικών'', Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Πάτρα.
8. ΑΓΓΕΛΟΣ ΒΑΣΙΛΙΑΣ. 2015. 'Αξιολόγηση παραγωγής χρησιμοποιώντας καταναμημένα συστήματα 3D PRINTING-CLOUD MANUFACTURING'', Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία, Κατεύθυνση: Διοίκηση LOGISTICS, Νοέμβριος.
9. Jian-Yuan Lee, Jia An, Chee Kai Chua. 2017. 'Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials, Singapore Centre for 3D Printing, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, 50 Nanyang Avenue, Singapore 639798, Singapore, Elsevier.
10. Amir Mostafaei, Amy M. Elliott, John E. Barnes, Fangzhou Li, Wenda Tan, Corson L. Cramer, Peeyush Nandwana, Markus Chmielus. 2021. 'Binder jet 3D printing-Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges''. Progress in Materials Science 119 (2021) 100707, Elsevier.
11. Mohammad Vaezi-Chee Kai Chua. 2010. 'Effects of layer thickness and binder saturation level parameters on 3D printing process'', Published online: 14 July 2010, Springer-Verlag London Limited 2010.
12. Robert Bogue. '3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?', Associate Editor, Assembly Automation, Emerald.
13. Marina Candi, Ahmad Beltagui. 2018. 'Effective use of 3D printing in the innovation process'', Technovation 80-81 (2019) 63-73, Elsevier.
14. Mohammad S. Alsoufi, Mohammed W. Alhazmi, Dhia K.Suker, Turki A. Alghamdi, Rayan A. Sabbagh, Mohammed A. Felemban, Feras K. Bazuhair. 2019. 'Experimental Characterization of the Influence of Nozzle Temperature in FDM 3D

- Printed Pure PLA and Advanced PLA+”, Department of Mechanical Engineering, College of Engineering and Islamic Architecture, Umm Al-Qura University, Makkah, KSA, American Journal of Mechanical Engineering, Vol.7, No. 2, 45-60.
15. S T Dwiwati, A Kholil, R Riyadi and S E Putra. 2019. “Influence of layer thickness and 3D printing direction on tensile properties of ABS material”, Department of Mechanical Engineering Education, Engineering Faculty, Universitas Negeri Jakarta, Kampus A JI. Rawamangun Muka, Jakarta, 13220, Indonesia, Journal of Physics: Conference Series 1402 (2019) 066014, 4th Annual Applied Science and Engineering Conference.
 16. Haejoon Jeon, Jihoon Park, Sunju Kim, Kyungho Park, Chungsik Yoon. 2019. “Effect of nozzle temperature on the emission rate of ultrafine particles during 3D printing”, Published by John Wiley & Sons Ltd.
 17. Bartolomeo Coppola, Nicola Cappetti, Luciano Di Maio, Paola Scarfato and Loredana Incarnato. 2018. “Department of Industrial Engineering, University of Salerno, Via Giovanni Paolo II n. 132, 84084 Fisciano (SA), Italy, Materials, 11, 1947.
 18. Jelena Zarko, Gojko Vladic, Magdolna Pal, Sandra Dedijer. 2017. “Influence of printing speed on production of embossing tools using FDM 3D printing technology”, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, Novi Sad, Serbia, Journal of Graphic Engineering and Design, Volume 8 (1).
 19. Behnam Akhoundi, Mojtaba Nabipour, Omid Kordi and Faramarz Hajami. 2021, “Calculating printing speed in order to correctly print PLA/continuous glass fiber composites via fused filament fabrication 3D printer”, Journal of Thermoplastic Composite Materials 1-20 The Author(s) 2021.
 20. Rafiq Noorani. 2018. “3D Printing Technology, Applications, and Selection”, Loyola Marymount University, Taylor & Francis Group, LLC.
 21. Mohammad Reza Khosravani, Tamara Reinicke. 2020. “On the environmental impacts of 3D printing technology”, Chair of Product Development, University of Siegen, Paul-Bonatz--Str. 9-11, 57068 Siegen, Germany, Applied Materials Today 20 (2020) 100689, Elsevier.
 22. William Oropallo-Les A. Piegl. 2015. “Ten challenges in 3D printing”, Engineering with Computers (2016) 32:135-148, Published online:12 June 2015, Springer-Verlag London.
 23. Arnaldo D. Valino, John Ryan C. Dizon, Alejandro H. Espera Jr., Qiyi Chen, Jamie Messman, Rigoberto C. Advincula. 2019. “Advances in 3D printing of thermoplastic polymer composites and nanocomposites”, Progress in Polymer Science 98 (2019) 101162, Elsevier.
 24. Lon A. Porter, Jr., Benjamin M. Washer, Mazin H. Hakim, and Richard F. Dallinger. 2016. “User-Friendly 3D Printed Colorimeter Models for Student Exploration of Instrument Design and Performance”, Department of Chemistry, Wabash College, Crawfordsville, Indiana 47933, United States, Technology Report, Journal of Chemical Education, 93, 1305-1309
 25. Ruth Jiang, Robin Kleer, Frank T. Piller. 2017. “Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030”, Technological Forecasting & Social Change 117 (2017) 84-97, Elsevier.
 26. Caterina Balletti, Martina Ballarin, Francesco Guerra. 2017. “3D printing: State of the art and future perspectives”, Dipartimento di Architettura Conservazione,

- Universita Iuav di Venezia, s. croce 191, 30135 Venezia, Italy, *Journal of Cultural Heritage* 26 (2017) 172-182, Elsevier.
27. George Cornel DUMITRESCU, Ion Alexandru TANASE. 2016. "3D Printing-A New Industrial Revolution", "Dimitrie Cantemir" Christian University, *Knowledge Horizons-Economics*, Volume 8, No. 1, pp.32-39.
 28. Sam Halassi, Janjaap Semeijn and Nadine Kiratli. 2019. "From consumer to prosumer: a supply chain revolution in 3D printing", *School of Business and Economics, Maastricht University, Maastricht, The Netherlands, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 49 No. 2, pp. 200-216.
 29. Dimitrios Chaidas & John D. Kechagias. 2021. "An investigation of PLA/W parts quality fabricated by FFF", Published online 24 Jun 2021.
 30. Nadir Ayrimis. "Effect of Layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour/PLA filament", Istanbul, Turkey.
 31. Kechagias John, D. Chaidas, N. Vidakis, K. Salonitis & N.M. Vaxevanidis. 2022. "Key parameters controlling surface quality and dimensional accuracy: a critical review of FFF process", Published online: 21 Feb 2022.
 32. Nadir Ayrimis-Mirko Kariz-Jin Heon Kwon-Manja Kitek Kuzman. 2019. "Effect of printing layer thickness on water absorption and mechanical properties of 3D-printed wood/PLA composite materials", Published online 23 January 2019.
 33. A.Le Duigou-M. Castro-R. Bevan-N. Martin. 2016. "3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality", Elsevier, *Materials and Design* 96 (2016) 106-114.
 34. Josef Valentin Ecker, Andreas Haider, Ivana Burzic and Alex Huber. "Mechanical properties and water absorption behavior of PLA/wood composites prepared by 3D printing and injection moulding", WPC Wood K plus, Linz, Austria, and Gerhard Eder and Sabine Hild, Institute of Polymer Science, Johannes Kepler Universitat Linz, Linz, Upper Austria, Austria.
 35. Antreas Kantaros-Olaf Diegel. "3D printing technology in musical instrument research: reviewing the potential", Department of Industrial Management and Technology, School of Maritime and Industrial Studies, University of Piraeus, Athens, Greece-Department of Design Sciences, Lunds Universitet, Lund, Sweden
 36. Doga Cavdir. 2019. "Digital manufacturing for musical applications: a survey of current status and future outlook", CCRMA, Stanford University, CA 94305-8180, USA, 16th Sound and Music Computing Conference (SMC2019).
 37. Rolf Bader. "Computational Phonogram Archiving", Springer.
 38. Chantelle Ko and Lora Oehlberg. "Construction and Performance Applications of an Augmented Violin: TRAVIS II", School of Creative and Performing Arts, Department of Computer Science, University of Calgary, CHD 100/MS 680H, 2500 University Drive NW, Calgary, Alberta, T2N 1N4 Canada
 39. Aslani, Kyriaki-Evangelia, et al. "Quality performance evaluation of thin walled PLA 3D printed parts using the taguchi method and grey relational analysis." *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 4.2 (2020): 47.
 40. Aslani, Kyriaki-Evangelia, et al. "On the application of grey Taguchi method for benchmarking the dimensional accuracy of the PLA fused filament fabrication process." *SN Applied Sciences* 2 (2020): 1-11.

41. Aslani, Kyriaki-Evangelia, et al. "Surface roughness optimization of poly-jet 3D printing using Grey Taguchi method." 2019 international conference on control, artificial intelligence, robotics & optimization (ICCAIRO). IEEE, 2019.
42. Tsiolikas, A., et al. "Robust design application for optimizing ABS fused filament fabrication process: A case study." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 564. No. 1. IOP Publishing, 2019.
43. Fountas, Nikolaos A., et al. "An experimental investigation of surface roughness in 3D-printed PLA items using design of experiments." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology 236.10 (2022): 1979-1984.
44. Kitsakis, K., et al. "An internal combustion engine visualization physical prototype applying digital manufacturing." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 564. No. 1. IOP Publishing, 2019.
45. Kechagias, J. D., et al. "Surface characteristics investigation of 3D-printed PET-G plates during CO2 laser cutting." Materials and Manufacturing Processes 37.11 (2022): 1347-1357.
46. Fountas, N. A., et al. "Single and multi-objective optimization of FDM-based additive manufacturing using metaheuristic algorithms." Procedia Manufacturing 51 (2020): 740-747.
47. Fountas, Nikolaos A., et al. "Modeling and optimization of flexural properties of FDM-processed PET-G specimens using RSM and GWO algorithm." Engineering Failure Analysis 138 (2022): 106340.
48. Fountas, Nikolaos A., et al. "Multi-objective optimization of printing time and shape accuracy for FDM-fabricated ABS parts." Metaheuristic. Comput. Appl 1.2 (2020): 115-129.
49. Fountas, Nikolaos A., et al. "Experimental investigation on flexural properties of FDM-processed PET-G specimen using response surface methodology." MATEC Web of Conferences. Vol. 349. EDP Sciences, 2021.
50. Fountas, N. A., et al. "Neural networks for predicting kerf characteristics of CO2 laser-machined FFF PLA/WF plates." MATEC Web of Conferences. Vol. 368. EDP Sciences, 2022.
51. Fountas, Nikolaos A., John D. Kechagias, and Nikolaos M. Vaxevanidis. "Optimization of Selective Laser Sintering/Melting Operations by Using a Virus-Evolutionary Genetic Algorithm." Machines 11.1 (2023): 95.
52. Fountas, N. A., et al. "Experimental and statistical study on the effects of fused filament fabrication parameters on the tensile strength of hybrid PLA/wood fabricated parts." Procedia Structural Integrity 41 (2022): 638-645.
53. Ninikas, Konstantinos, John Kechagias, and Konstantinos Salonitis. "The impact of process parameters on surface roughness and dimensional accuracy during CO2 laser cutting of PMMA thin sheets." Journal of Manufacturing and Materials Processing 5.3 (2021): 74.
54. Ninikas, K., et al. "A study of Fused Filament Fabrication process efficiency: ABS vs PLA materials." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1235. No. 1. IOP Publishing, 2022.

Επιπλέον πηγές από το διαδίκτυο:

http://actu.cotetoulouse.fr/lingenieur-violoniste-toulousain-part-a-la-conquete-du-monde-avec-son-violon-3d_19248/

<https://www.openfabpdx.com/ffiddle>

<https://youtu.be/nt74P1ZW1zU>

http://filoimousikistisviotias.blogspot.com/2008/07/blog-post_15.html

<http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/DKT21/>

<https://grobotronics.com/3d-printer-creality-3d-ender-3-v2-220x220x250mm.html>

Χρησιμοποιηθείς μηχανολογικός εξοπλισμός: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο του Τμήματος Δοσολογίας, Επιστημών Ξύλου & Σχεδιασμού, Καρδίτσα.

Φωτογραφικό υλικό: *Αρβανίτη Φωτεινή*