



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Συσσκευή Ψηφιοποίησης Τριών Διαστάσεων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΧΑΛΚΙΤΗ ΣΤΕΛΙΟΥ

Επιβλέπων: Καμπούρης Χρήστος

Αθήνα, Ιούνιος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Συσκευή Ψηφιοποίησης Τριών Διαστάσεων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΧΑΛΚΙΤΗ ΣΤΕΛΙΟΥ

Επιβλέπων: Καμπούρης Χρήστος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή .

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Καμπούρης Χρήστος

.....

.....

Αθήνα, Ιούνιος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Copyright ©–All rights reserved Στέλιος Χαλκίτης.

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

(Υπογραφή)

.....
Στέλιος Χαλκίτης

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, η σχεδίαση και η δημιουργία ενός τρισδιάστατου σαρωτή. Για την ανακατασκευή αντικειμένων γίνεται χρήση συγκεκριμένων προγραμμάτων. Μετά από έρευνα και μελέτη των εφαρμογών των τρισδιάστατων σαρωτών, σχεδιάστηκε σαρωτής στο πρόγραμμα AutoCad 2017. Ο σαρωτής τυπώθηκε στον τρισδιάστατο εκτυπωτή Original Prusa i3 MK2s, συναρμολογήθηκε και στη συνέχεια υλοποιήθηκε το hardware για τη λειτουργία των LEDs και του λάιζερ. Με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας ο σαρωτής συλλέγει πληροφορίες-εικόνες από το αντικείμενο. Μέσω του προγράμματος VisualSFM οι εικόνες μετατρέπονται σε νέφη σημείων. Με τη χρήση του προγράμματος MeshLab τα νέφη σημείων γίνονται στερεό σώμα, ακολουθεί η επεξεργασία του στερεού σώματος στο Meshmixer για την εξαγωγή .stl αρχείου. Έπειτα το .stl αρχείο τεμαχίζεται στο πρόγραμμα Slic3r PE και είναι έτοιμο για τρισδιάστατη εκτύπωση.

Λέξεις Κλειδιά

Τρισδιάστατη σάρωση, τρισδιάστατος σαρωτής, φωτογραμμετρία, τρισδιάστατη εκτύπωση, VisualSFM, MeshLab, Meshmixer, Autocad 2017, Original Prusa i3.

Abstract

The purpose of this thesis is to study, design and create a 3D scanner. For the reconstruction of objects, specific programs are used. After research and study of 3D scanner applications, a scanner was designed in the AutoCad 2017 program. The scanner was 3D printed on the Original Prusa i3 MK2s, assembled and then hardware was implemented to operate the LEDs and the lasers. Using the photogrammetry method, the scanner collects information-images from the object. Through the VisualSFM program, images are converted into point clouds. Using the MeshLab program, point clouds become a solid body, followed by solid state processing in Meshmixer to extract a .stl file. The .stl file is then sliced into the Slic3r PE program and is ready for 3D printing.

Keywords

3D scanning, 3D scanner, photogrammetry, 3D printing, VisualSFM, MeshLab, Meshmixer, Autocad 2017, Original Prusa i3.

στους παππούδες μου Χαλκίτη Ευάγγελο, Μπρουζιώτη Στέργιο

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Καμπούρη Χρήστο για την επίβλεψη αυτής της πτυχιακής εργασίας και για την όλη την βοήθεια του.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	vii
Περιεχόμενα	xii
Κατάλογος Σχημάτων	xvii
Κατάλογος Πινάκων	xix
1 Εισαγωγή	1
1.1 Ιστορική αναδρομή	1
1.2 Αντίστροφη Μηχανική	1
1.3 Δημιουργία αντίγραφου αντικειμένου	2
1.4 Στόχοι της Πτυχιακής Εργασίας	2
1.5 Κριτήρια επιλογής σαρωτή	2
1.6 Διάρθρωση χειμένου της Πτυχιακής Εργασίας	2
2 Θεωρητικό υπόβαθρο και λογισμικά	5
2.1 Αντίστροφη μηχανική (reverse engineering)	5
2.2 Φωτογραμμετρία (photogrammetry)	5
2.3 Μέθοδοι σάρωσης επιφανειών	6
2.4 Κατηγορίες τρισδιάστατων σαρωτών	6
2.4.1 Σαρωτές επαφής	6
2.4.2 Ενεργοί σαρωτές μη επαφής (non-contact active)	7
2.4.3 Παθητικοί σαρωτές μη επαφής	13
2.5 Προγράμματα μορφοποίησης,σμίλευσης τρισδιάστατων πλεγμάτων	13
2.5.1 MeshLab	13
2.5.2 Meshmixer	14
2.6 Προγράμματα τεμαχισμού τρισδιάστατων αντικειμένων	15
2.6.1 Ultimaker Cura	15

2.6.2	Slic3r PE	16
2.7	Προγράμματα σχεδίασης CAD/CAM/CAE	18
2.7.1	Rhinoceros	18
2.7.2	AutoCAD	19
2.7.3	Solidworks	19
2.7.4	Fusion 360	20
2.7.5	Πλεονεκτήματα των CAD προγραμμάτων	20
2.8	Τρισδιάστατα αυτοπορταίτα(3d selfie)	21
2.9	Προγράμματα μετατροπής φωτογραφιών σε νέφος σημείων (φωτογραμμετρίας)	22
2.9.1	VisualSFM	22
2.9.2	Meshroom	22
2.9.3	Colmap	24
2.9.4	Photosynth	25
3	Τρισδιάστατη Σχεδίαση	27
3.1	Εισαγωγή	27
3.2	Ροή σχεδίασης	29
3.2.1	Πρώτη προσπάθεια σχεδίασης του σαρωτή	29
3.2.2	Δεύτερη προσπάθεια σχεδίασης του σαρωτή	29
3.2.3	Τρίτη προσπάθεια σχεδίασης Τρισδιάστατου Σαρωτή	30
3.2.4	Εντολή LOFT	30
3.2.5	Εντολή Shell	31
3.2.6	Εντολή Subtrack	33
3.2.7	Εντολή Union	33
3.2.8	Ολοκληρωμένο σχήμα σαρωτή	35
3.2.9	Λεπτομέριες Λαβής	35
3.2.10	Λεπτομέριες του κύριου μέρους του σαρωτή	37
3.3	Ολοκλήρωση σχεδίου του σαρωτή	42
3.4	Σχεδίαση της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	42
3.5	Σχέδιο τραπεζιού περιστροφής	45
4	Τρισδιάστατη εκτύπωση	47
4.1	Τρισδιάστατοι εκτυπωτές	47
4.1.1	Anet A8	47
4.1.2	Original Prusa i3 MK2s	53
4.2	Νήματα Εκτύπωσης (διατομής 1.75 mm)	53
4.3	Προφίλ τρισδιάστατης εκτύπωσης - Θεωρητικό υπόβραθρο	54
4.4	Ρυθμίσεις τρισδιάστατης εκτύπωσης Print Settings	54
4.4.1	Layers and perimeters	54
4.4.2	Infill	55
4.4.3	Skirt and brim	55

4.4.4	Support material	55
4.4.5	Speed	56
4.5	Ρυθμίσεις υλικού Filament Settings	56
4.5.1	Filament	56
4.5.2	Cooling	57
4.6	Slic3r PE - Πρακτικό μέρος	57
4.6.1	Τύπωμα λαβής	59
4.6.2	Τύπωμα του κύριου μέρος	64
4.6.3	Τύπωμα της θήκης για την gopro	64
4.6.4	Τύπωμα του χώρου τροφοδοσίας	69
4.6.5	Τύπωμα της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	69
4.6.6	Τύπωμα των διαχυτήρων diffusers	71
4.6.7	Τύπωμα βάσης του τραπέζιου περιστροφής	76
4.6.8	Τύπωμα βάσεων ρουλεμάν (τραπέζι περιστροφής)	76
4.6.9	Τύπωμα γραναζιού (τραπέζι περιστροφής)	79
4.6.10	Τύπωμα του πάνω μέρος του τραπέζιου περιστροφής	80
4.6.11	Τύπωμα της θήκης του ελεγκτή ταχύτητας (τραπέζι περιστροφής)	80
5	Τρισδιάστατη Σάρωση	85
5.1	Σάρωση της κεφαλής του πολυτεχνιού	85
5.1.1	VisualSFM κεφαλή	86
5.1.2	Meshmixer κεφαλή	87
5.1.3	Τύπωμα κεφαλής	88
5.2	Σάρωση αγάλματος	90
5.2.1	VisualSFM άγαλμα	90
5.2.2	MeshLab άγαλμα	90
5.2.3	Meshmixer άγαλμα	90
5.3	Τύπωμα του αγάλματος	91
5.4	Σάρωση του αμαξιού	95
5.4.1	VisualSFM αμάξι	95
5.4.2	MeshLab αμάξι	97
5.4.3	Meshmixer αμάξι	98
5.5	Τύπωμα του αμαξιού	100
6	Ηλεκτρονικά	101
6.1	Τρισδιάστατος Σαρωτής	101
6.1.1	Τραπέζι περιστροφής (Turning Table)	103
7	Συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις	107
7.1	Συμπεράσματα	107
7.2	Πρακτικές εφαρμογές 3D σάρωσης	107
7.3	Μελλοντικές προτάσεις	108

8 Photogrammetry Guide by Stelios Chalkitis**111**

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Αντίστροφη Μηχανική	5
2.2	Φωτογραμμετρία	6
2.3	NVision Handheld scanner	7
2.4	Inside View of LD Laser Scanner	9
2.5	Triangulation method in 3D Scanning	10
2.6	Conoscopic Holography	10
2.7	Creaform HandySCAN 3D	11
2.8	Structure Light 3D Scanner	12
2.9	Meshlab From Mr.P Series	14
2.10	Meshmixer Example	15
2.11	Cura Example	16
2.12	Slic3r Prusa Edition Smooth Variable Layer Height	17
2.13	Slic3r Prusa Edition Custom Support by Chris Warkocki	17
2.14	Rhinoceros 3D Example	18
2.15	Autocad 3D Example	19
2.16	Solidworks Example	20
2.17	Fusion 360 Example	21
2.18	Chris Perego along with his antique camera, is being 3D scanned in the newly installed 90 digital camera rig. Imaging Research Center UMBC.	22
2.19	VisualSFM Example	23
2.20	Meshroom Example	23
2.21	Colmap Example	24
2.22	Photosynth Example	25
3.1	MetraSCAN 750 with C-track optical Tracker Example	27
3.2	GO!SCAN 50 Example	28
3.3	Πρώτη προσπάθεια σχεδίασης Τρισδιάστατου Σαρωτή	29
3.4	Δεύτερη προσπάθεια σχεδίασης Τρισδιάστατου Σαρωτή	29
3.5	Μετατροπή δισδιάστατων σχημάτων σε τρισδιάστατο σώμα με τη χρήση της εντολής LOFT	30
3.6	Χρήση της εντολής LOFT για την δημιουργία της λαβής	31
3.7	Χρήση της εντολής LOFT για την δημιουργία του χώρου τροφοδοσίας	31

3.8	Χρήση της εντολής SHELL	32
3.9	Χρήση της εντολής SHELL	32
3.10	Χρήση της εντολής SHELL	33
3.11	Χρήση της εντολής UNION για την ένωση του κυρίου μέρους του σαρωτή	33
3.12	Χρήση της εντολής UNION για την ένωση της λαβής και του χώρου τροφοδοσίας	34
3.13	Χρήση της εντολής UNION	34
3.14	Ολοκληρωμένο σχήμα σαρωτή	35
3.15	Δημιουργία υποδοχών M3 στη λαβή	35
3.16	Δημιουργία υποδοχών M3 στη λαβή	36
3.17	Δημιουργία υποδοχών παξιμαδίων M3 στη λαβή	36
3.18	Δημιουργία υποδοχών παξιμαδίων M3 στη λαβή	37
3.19	Τελικό σχέδιο λαβής	37
3.20	Δημιουργία υποδοχών M3 στο κύριο μέρος του σαρωτή	38
3.21	Δημιουργία υποδοχών M3 στο κύριο μέρος του σαρωτή	38
3.22	Δημιουργία υποδοχών παξιμαδίων M3 στο κύριο μέρος του σαρωτή	38
3.23	Δημιουργία διαχυτήρων για τα LEDs του σαρωτή	39
3.24	Δημιουργία διαχυτήρων για τα LEDs του σαρωτή	39
3.25	Δημιουργία βάσης για τα LEDs του σαρωτή	40
3.26	Κάτοψη του κυρίου μέρους του σαρωτή	40
3.27	Πρόσοψη του κυρίου μέρους του σαρωτή	40
3.28	Πρόσοψη του κυρίου μέρους του σαρωτή	41
3.29	Δημιουργία του πίσω μέρους-καπάκι της λαβής	41
3.30	Τελικό σχήμα του πίσω μέρους/καπάκι της λαβής	42
3.31	Σχέδιο του ολοκληρωμένου τρισδιάστατου σαρωτή	42
3.32	Δημιουργία της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	43
3.33	Δημιουργία της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	44
3.34	Τελικό σχέδιο της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	44
3.35	Σχέδιο του τραπέζιου περιστροφής	45
4.1	Anet A8	48
4.2	Chinese Clone on fire	49
4.3	Chinese Clone on fire 2	49
4.4	Mosfets on Anet A8	50
4.5	IEC320 AC module plug switch on Anet A8	51
4.6	Αριστερό μέρος λαβής εκτυπωμένο στον Anet A8	52
4.7	Original Prusa i3 MK2s	53
4.8	Δοκιμαστική εκτύπωση-έλεγχος διαστάσεων των οπών για τα παξιμάδια μεγέθους M3	58
4.9	Slic3r PE αριστερή λαβή	59
4.10	Το αριστερό μέρος της λαβής αφότου έχει τεμαχιστεί για την εξαγωγή του g-code. Χρειάστηκε 9 ώρες και 53 λεπτά για να τυπωθεί	63

4.11 Το αριστερό μέρος της λαβής αφότου τυπώθηκε	63
4.12 Το κάτω μέρος του σαρωτή με τα custom support blockers	64
4.13 Το κάτω μέρος του σαρωτή μετά την εξαγωγή του g-code	64
4.14 Το κάτω μέρος του σαρωτή αφότου τυπώθηκε	67
4.15 Το πάνω μέρος του σαρωτή με τα custom support blocker	67
4.16 Το πάνω μέρος του σαρωτή αφότου έχει τεμαχιστεί για την εξαγωγή του g-code. Χρειάστηκε 10 ώρες και 29 λεπτά για να τυπωθεί.	68
4.17 Η θήκη της gopro στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.41.1	68
4.18 Η θήκη της gopro χρειάστηκε 1 ώρα και 58 λεπτά για να τυπωθεί	68
4.19 Το πίσω μέρος/καπάκι της λαβής στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.41.1	69
4.20 Το πίσω μέρος/καπάκι της λαβής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 1 ώρα και 20 λεπτά για να τυπωθεί.	69
4.21 Το κάτω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	70
4.22 Το κάτω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή μετά την εξαγωγή g-code, 8 ώρες και 54 λεπτά για να τυπωθεί.	70
4.23 Το μεσαίο μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	70
4.24 Το μεσαίο μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή μετά την εξαγωγή g-code,χρειάστηκε 8 ώρες και 54 λεπτά για να τυπωθεί	71
4.25 Το πάνω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή	71
4.26 Το πάνω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή μετά την εξαγωγή g-code,χρειάστηκε 6 ώρες και 13 λεπτά για να τυπωθεί.	74
4.27 Διαχυρήρας στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.42.0	74
4.28 Οι διαχυτήρας μετά την εξαγωγή g-code,χρειάστηκαν 1 ώρα για να τυπωθούν.	74
4.29 Οι διαχυτήρες μετά το τύωμα	75
4.30 Η βάση του τραπέζιου περιστροφής	76
4.31 Η βάση του τραπέζιου περιστροφής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 6 ώρες και 42 λεπτά για να τυπωθεί.	76
4.32 Η βάση των ρουλεμάν στο πρόγραμμα Meshmixer	79
4.33 Η αυθεντική βάση και η επεξεργασμένη βάση των ρουλεμάν στο πρόγραμμα Slic3r PE.	80
4.34 Οι βάσεις των ρουλεμάν μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκαν 1 ώρα και 15 λεπτά για να τυπωθούν.	80
4.35 Οι βάσεις των ρουλεμάν μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκαν 1 ώρα και 15 λεπτά για να τυπωθούν.	81
4.36 Το γρανάζι μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 35 λεπτά για να τυπωθεί.	81
4.37 Η βάση του τραπέζιου περιστροφής, οι βάσεις για τα ρουλεμάν και το γρανάζι του τραπέζιου περιστροφής.	82
4.38 Το πάνω μέρος του τραπέζιου περιστροφής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 5 ώρες και 31 λεπτά για να τυπωθεί.	82
4.39 Η θήκη για τον ελεγκτή ταχύτητας του τραπέζιου περιστροφής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 1 ώρα και 9 λεπτά για να τυπωθεί.	83

4.40	Τραπεζί περιστροφής ολοκληρωμένο	83
5.1	Δείγμα από την σειρά φωτογραφιών που τραβήχτηκαν για τη σάρωση της κεφαλής	85
5.2	Δημιουργία του νέφους σημείων από φωτογραφίες της κεφαλής στο πρόγραμμα VisualSFM	86
5.3	Εισαγωγή του νέφους σημείων στο πρόγραμμα MeshLab	86
5.4	Καθαρισμός του νέφους σημείων στο πρόγραμμα MeshLab	87
5.5	Δημιουργία στερεού σώματος της κεφαλής στο πρόγραμμα MeshLab	87
5.6	Εισαγωγή του στερεού σώματος της κεφαλής στο πρόγραμμα Meshmixer	88
5.7	Επεξεργασία του στερεού σώματος της κεφαλής στο πρόγραμμα Meshmixer	88
5.8	Τύπωμα της κεφαλής	89
5.9	Δείγμα από την σειρά φωτογραφιών που τραβήχτηκαν για τη σάρωση του αγάλματος	90
5.10	Δημιουργία του νέφους σημείων από φωτογραφίες του αγάλματος στο πρόγραμμα VisualSFM	91
5.11	Το άγαλμα, ο κήπος γύρω από το άγαλμα και το κτήριο στο πρόγραμμα MeshLab	91
5.12	Το άγαλμα μετά τον καθαρισμό στο πρόγραμμα MeshLab	92
5.13	Δημιουργία στερεού σώματος του αγάλματος στο πρόγραμμα MeshLab	92
5.14	Το άγαλμα σε μορφή στερεού σώματος στο πρόγραμμα Meshmixer	93
5.15	το άγαλμα αφότου έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία στο πρόγραμμα Meshmixer	93
5.16	Τυπωμένα αγάλματα	94
5.17	Δείγμα από το σύνολο των φωτογραφιών που δημιουργήθηκαν για την σάρωση του αμαξιού	95
5.18	Δείγμα από το σύνολο των φωτογραφιών που δημιουργήθηκαν για την σάρωση του αμαξιού	96
5.19	Τελευταία στη σειρά φωτογραφία του πάνω μέρος του αμαξιού	96
5.20	Πρώτη στη σειρά φωτογραφία του κάτω μέρος του αμαξιού	97
5.21	Εισαγωγή του νέφους σημείων του αμαξιού στο πρόγραμμα MeshLab.	97
5.22	Καθαρισμός του νέφους σημείων του αμαξιού στο πρόγραμμα MeshLab.	98
5.23	Το αμάξι σε μορφή στερεού σώματος στο πρόγραμμα Meshmixer	98
5.24	Επεξεργασία του αμαξιού στο πρόγραμμα MeshLab.	99
5.25	Τυπωμένα αμάξια	100
6.1	Δοκιμή κυκλώματος στο breadboard	101
6.2	Διάτριτη πλακέτα	102
6.3	Εσωρικό του σαρωτή	102
6.4	Μέτρηση-Ρύθμιση των Volt	103
6.5	Το εσωτερικό του τραπεζιού περιστροφής.	104
6.6	Διάγραμμα ηλεκτρικών κυκλωμάτων	105
7.1	Minime	108
7.2	itsyou	108

7.3 Scoliosis	108
-------------------------	-----

Κατάλογος Πινάκων

4.1	Layers and Perimeters	60
4.2	Infill	61
4.3	Skirt and Brim	61
4.4	Support material	61
4.5	Speed	62
4.6	Filament	62
4.7	Cooling	62
4.8	Layers and Perimeters	65
4.9	Infill	65
4.10	Skirt and Brim	65
4.11	Support material	66
4.12	Speed	66
4.13	Layers and Perimeters	72
4.14	Infill	72
4.15	Skirt and Brim	72
4.16	Support material	73
4.17	Speed	73
4.18	Filament	73
4.19	Cooling	75
4.20	Layers and Perimeters	77
4.21	Infill	77
4.22	Skirt and Brim	77
4.23	Support material	78
4.24	Speed	78
4.25	Filament	78
4.26	Cooling	79

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή

Από το 19ο αιώνα εκδηλώθηκε η επιθυμία των ανθρώπων να αποτυπώσουν πραγματικά αντικείμενα χρησιμοποιώντας οπτικά μέσα, τότε εφευρέθηκε η φωτογραφία. Σήμερα η τεχνολογία αποτύπωσης αντικειμένων είχε εξελιχθεί και συνεχίζει να εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Η αναπαράσταση ενός πραγματικού αντικειμένου επιτευχθήκε μέσω των ψηφιακών τεχνικών και των ηλεκτρονικών υπολογιστών για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου των αντικειμένων. Αρχικά αυτό πραγματοποιήθηκε από τις επιστήμες που δραστηριοποιούνται στη μελέτη των αντικειμένων όπως τοπογραφία, αρχιτεκτονική, αρχαιολογία. Τα οφέλη αποτύπωσης αντικειμένων ως τρισδιάστατα μοντέλα είναι αναρίθμητα και πολύ σημαντικά.

1.2 Αντίστροφη Μηχανική

Η πρακτική κατά την οποία μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας δημιουργούνται αντίγραφα ενός υπάρχοντος αντικειμένου ονομάζεται αντίστροφη μηχανική (reverse engineering). Οι βασικοί λόγοι δημιουργίας αντίγραφου ενός αντικειμένου είναι η αναπαραγωγή του ίδιου του αντικειμένου και η δημιουργία ανταλλακτικών αν πρόκειται για κάποιο εξάρτημα ή η μελέτη του αντικειμένου. Σκοπός της δημιουργίας ψηφιακού μοντέλου είναι η πιστή αναπαράσταση του πρωτότυπου ώστε να διατηρείται η ιδιόμορφη φύση του καθώς και τα χαρακτηριστικά του. Ως λογικό επακόλουθο ο βασικότερος στόχος είναι η διατήρηση της λεπτομέρειας και της ακρίβειας του πρωτότυπου. Φυσικά δεν είναι ορθό ούτε λογικό να θεωρηθεί ότι το αντίγραφο που θα προκύψει θα είναι πανομοιότυπο με το πρωτότυπο. Θα είναι πάντα εμφανείς μικρές διαφορές, με προσεκτική επιθεώρηση ή αμοιβαία σύγκριση, λόγω διεργασιών ή/και αποφάσεων που ελήφθησαν από τον εκάστοτε χρήστη.

1.3 Δημιουργία αντίγραφου αντικειμένου

Για να δημιουργηθεί πιστό αντίγραφο πρέπει να παρθούν φυσικές μετρήσεις μέσω μιας διαδικασίας σάρωσης και να δημιουργηθεί ένα CAD μοντέλο, το οποίο έπειτα θα υποβληθεί σε εξεργασία με το κατάλληλο λογισμικό σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πρέπει να σημειωθεί ότι εάν το αντικείμενο έχει τέτοια μορφή που να ευνοεί την απευθείας μέτρηση των διαστάσεων του, είναι πολύ πιο γρήγορο να μετρηθούν οι διαστάσεις του και να δημιουργηθεί το ψηφιακό του μοντέλο. Σε αντίθετη περίπτωση που το αντικείμενο έχει ανάγλυφες επιφάνειες είναι πολύ δύσκολο και χρονοβόρο να παρθούν απευθείας μετρήσεις.

1.4 Στόχοι της Πτυχιακής Εργασίας

Η πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την δημιουργία μιας συσκευής τρισδιάστατης σάρωσης αφότου μελετηθούν τα είδη και οι τεχνικές τρισδιάστατης σάρωσης ώστε να επιλεγεί και να υλοποιηθεί η βέλτιστη λύση. Αρχικά θα σχεδιαστεί η συσκευή με χρήση προγράμματος σχεδίασης, έπειτα θα τυπωθεί σε τρισδιάστατο εκτυπωτή και θα συναρμολογηθεί. Τέλος θα χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα ελεύθερου λογισμικού για την επεξεργασία και την μορφοποίηση της σάρωσης αντικειμένου.

1.5 Κριτήρια επιλογής σαρωτή

Ένας τρισδιάστατος σαρωτής αναλύει ένα πραγματικό αντικείμενο ώστε να συλλέξει στοιχεία για το σχήμα του και αν είναι δυνατό για την εμφάνιση του (χρώμα). Αφού ολοκληρωθούν οι μετρήσεις, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται σε πολλούς κλάδους όπως της βιομηχανίας, ιατρικής, μηχανικής, αρχιτεκτονικής, αρχαιολογίας, τοπογραφίας και στη βιομηχανία θεάματος για την παραγωγή ταινιών, παιχνιδιών αλλά και εικονικής πραγματικότητας. Για την κατασκευή τρισδιάστατων συσκευών σάρωσης χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες, με κάθε μια να έχει τα δικά της πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα ανάλογα το πεδίο εφαρμογής. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ποικίλουν σε κόστος και λειτουργικότητα. Για αυτό η επιλογή του τρισδιάστατου σαρωτή πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν την απαιτούμενη ακρίβεια, την ταχύτητα, την ασφάλεια, τις φωτιστικές συνθήκες, αν το αντικείμενο βρίσκεται εν κινήσει ή όχι και το μέγεθος του αντικειμένου. Στις ενεργές όπως και στις παθητικές μεθόδους σάρωσης, δημιουργούνται νέφη σημείων (point clouds) το οποίο μέσω λογισμικών ανακατασκευάζεται και έτσι δημιουργείται το τρισδιάστατο ψηφιακό αντίγραφο του αντικειμένου.

1.6 Διάρθρωση κειμένου της Πτυχιακής Εργασίας

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η λογική της σχεδίασης του τρισδιάστατου σαρωτή, της επιτραπέζιας βάσης του και του τραπεζιού περιστροφής στο πρόγραμμα AutoCad 2017. Το μηχανολογικό σχέδιο του σαρωτή φαίνεται σε ξεχωριστή σελίδα μεγέθους A3. Στο τέταρτο

κεφάλαιο θα γίνει η επιλογή του λογισμικού τεμαχισμού τρισδιάστατων αντικειμένων όπως και ανάλυση των ρυθμίσεων, μεταβλητών του προγράμματος για όλα τα κομμάτια του τρισδιάστατου σαρωτή και των αντικειμένων που σαρώθηκαν. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται σε βάθος η μέθοδος της φωτογραμμετρίας και τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν ώστε από ένα σύνολο εικόνων να δημιουργηθεί ένα στερεό σώμα έτοιμο για τρισδιάστατη εκτύπωση. Στο έκτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα εξαρτήματα ηλεκτρονικών που χρησιμοποιήθηκαν για το τρισδιάστατο σαρωτή και για το τραπέζι περιστροφής μαζί με ηλεκτρονικό διάγραμμα των κυκλωμάτων. Στο τέλος αναφέρονται πρακτικές εφαρμογές των τρισδιάστατων σαρωτών σήμερα, μελλοντικές εφαρμογές όπως και ένας μικρός οδηγός φωτογραμμετρίας γραμμένος στα Αγγλικά.

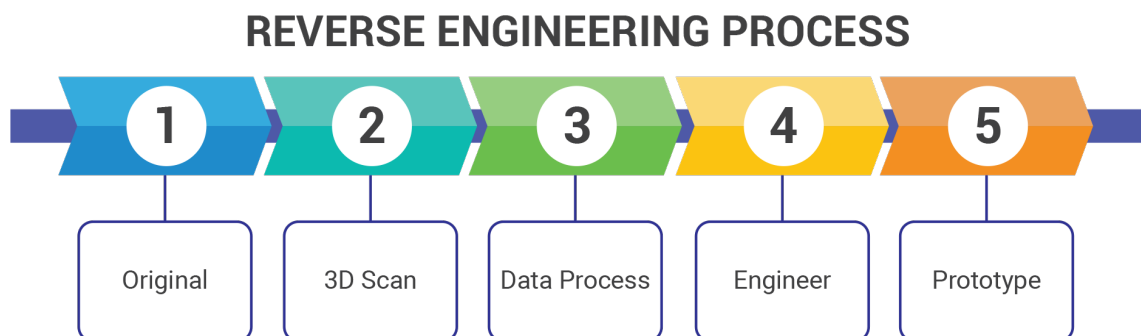
Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό υπόβαθρο και λογισμικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά οι κατηγορίες των τρισδιάστατων σαρωτών και των προγραμμάτων.

2.1 Αντίστροφη μηχανική (reverse engineering)

Η αντίστροφη μηχανική [7] είναι η διαδικασία όπου ένα τεχνητό αντικείμενο αποδομείται για να αποκαλύψει την γεωμετρία του, την αρχιτεκτονική του ή για να εξαχθούν συμπεράσματα για το αντικείμενο. Η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια με την επιστημονική έρευνα, με μόνη διαφορά ότι η επιστημονική έρευνα είναι για ένα φυσικό φαινόμενο. Η διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής είναι η ακριβής μέτρηση των διαστάσεων ενός αντικειμένου και στη συνέχεια η ανακατασκευή του ως τρισδιάστατο μοντέλο.

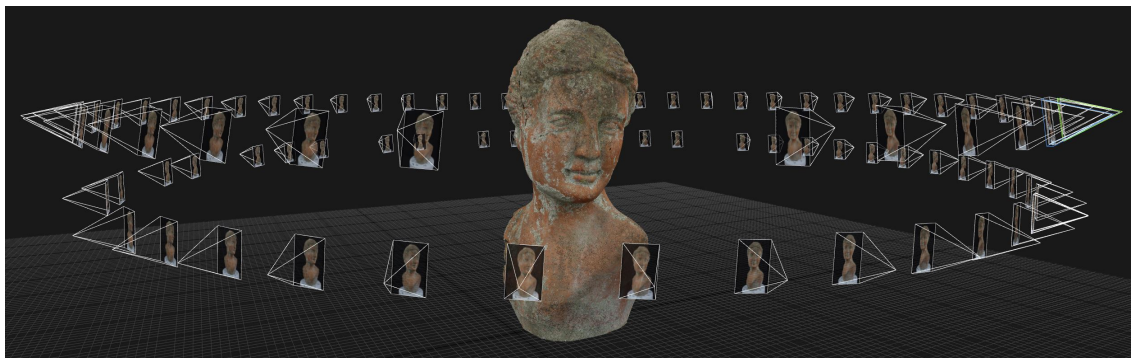


Σχήμα 2.1: Αντίστροφη Μηχανική

2.2 Φωτογραμμετρία (photogrammetry)

Η φωτογραμμετρία [23] είναι η επιστήμη της λήψης μετρήσεων από φωτογραφίες, ειδικά για την ανάκτηση των ακριβών θέσεων επιφανειακών σημείων του αντικειμένου προς σάρωση. Πιο

συγκεκριμένα είναι μια ιδιαίτερη μέθοδος/τεχνική προσδιορισμού διαστάσεων αντικειμένων με χρήση φωτογραφιών. Η φωτογραμμετρία χρονολογείται στα μέσα του 19ου αιώνα όπως και η σύγχρονη φωτογραφία. Η φωτογραμμετρική ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί σε μια φωτογραφία ή μπορεί να χρησιμοποιήσει φωτογραφία υψηλής ταχύτητας για να μετρήσει και να καταγράψει πολύπλοκα πεδία κίνησης δισδιάστατα ή τρισδιάστατα. Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί μεθόδους από πολλούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της οπτικής και της προβολικής γεωμετρίας. Η ψηφιακή καταγραφή εικόνων και η φωτογραμμετρική επεξεργασία περιλαμβάνει αρκετά καλά καθορισμένα στάδια, τα οποία επιτρέπουν την παραγωγή δισδιάστατων ή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων του αντικειμένου ως τελικό προϊόν.



Σχήμα 2.2: Φωτογραμμετρία

2.3 Μέθοδοι σάρωσης επιφανειών

Οι μέθοδοι για την σάρωση επιφανειών ποικίλουν ανάλογα τις ανάγκες του χρήστη. Με την πάροδο των χρόνων έχει πραγματοποιηθεί μεγάλη εξέλιξη στο τομέα των τρισδιάστατων σαρωτών με τη δημιουργία διάφορων τύπων με τον καθένα να προορίζεται για διαφορετικές περιπτώσεις με βάση τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Η βέλτιστη λοιπόν επιλογή τρισδιάστατου σαρωτή γίνεται αφότου ληφθεί υπόψη το είδος της επιφάνειας του αντικειμένου.

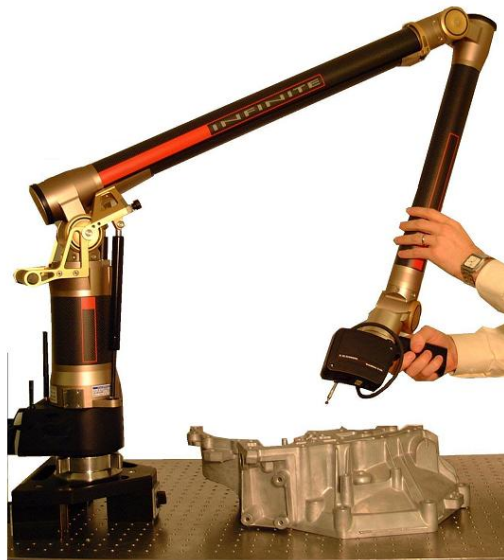
2.4 Κατηγορίες τρισδιάστατων σαρωτών

Οι τύποι των τρισδιάστατων συσκευών σάρωσης είναι πολλοί, με τον κάθε τύπο να έχει τη δικιά του φιλοσοφία και προτεινόμενες χρήσεις. Οι τύποι των συσκευών διαχωρίζονται ανάλογα με την αλληλεπίδραση που έχουν με το αντικείμενο προς σάρωση.

2.4.1 Σαρωτές επαφής

Στη σάρωση με επαφή [25], το αντικείμενο εξετάζεται μέσω της ψηλάφησης με φυσική επαφή ενώ είναι τοποθετημένο πάνω σε μια ειδική επιφάνεια. Συνήθως η σάρωση πραγματοποιείται με τη χρήση ρομποτικού βραχίονα στον οποίο έχει ενσωματωθεί αισθητήρας αφής. Αρχικά ο βραχίονας ήταν χειροκίνητος αυτό είχε ως αποτέλεσμα αναξιόπιστες μετρήσεις αφού κάθε

χειριστής μπορεί να εφαρμόζε διαφορετικές πιέσεις ή τεχνικές εφαρμογής στο αντικείμενο. Για αυτό δημιουργήθηκαν χειριστήρια και ηλεκτρονικοί αισθητήρες αφής ώστε να γίνουν πιο ακριβείς οι μετρήσεις. Πλέον οι σαρωτές επαφής είναι διατάξεις διαμορφωμένες με μηχανικούς βραχίονες και μια σειρά από ηλεκτρονικούς αισθητήρες θέσης. Η προσθήκη αισθητήρων που κινούνται κατά μήκος της επιφάνειας, λαμβάνοντας σημεία σε διακριτά διαστήματα έκανε την σάρωση του αντικειμένου ακριβέστερη και ταχύτερη σε σχέση με τις παλαιότερες μεθόδους, γνωστή και ως CMM (coordinate measuring machine). Ο αισθητήρας έρχεται σε επαφή με διάφορα σημεία του αντικειμένου και έπειτα η μηχανή χρησιμοποιεί τις (X-Y-Z) συντεταγμένες των σημείων για να προσδιορίσει το μέγεθος και τη θέση του αντικειμένου. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της CMM μεθόδου είναι η ίδια επαφή με το αντικείμενο που μπορεί να οδηγήσει στη παραποίηση ή ακόμα και καταστροφή του αντικειμένου προς σάρωση. Ο παράγοντας αυτός είναι σημαντικός ειδικά στη περίπτωση που το αντικείμενο προς σάρωση είναι πολύτιμο ή ευαίσθητο (ιστορικά κειμήλια). Επίσης ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι οι σαρωτές επαφής χρειάζονται περισσότερο χρόνο σε σύγκριση με άλλες μεθόδους σάρωσης για να ολοκληρώσουν τις μετρήσεις.



Σχήμα 2.3: NVision Handheld scanner

2.4.2 Ενεργοί σαρωτές μη επαφής (non-contact active)

Οι ενεργοί σαρωτές μη επαφής εκπέμπουν κάποιο μήκος κύματος (ακτινοβολία) ή φωτός και ανιχνεύουν την ανάκλαση του πάνω στο προς σάρωση αντικείμενο, έτσι υπολογίζουν τις διαστάσεις και τη γεωμετρία του αντικειμένου.

- Σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης (time-of-flight)

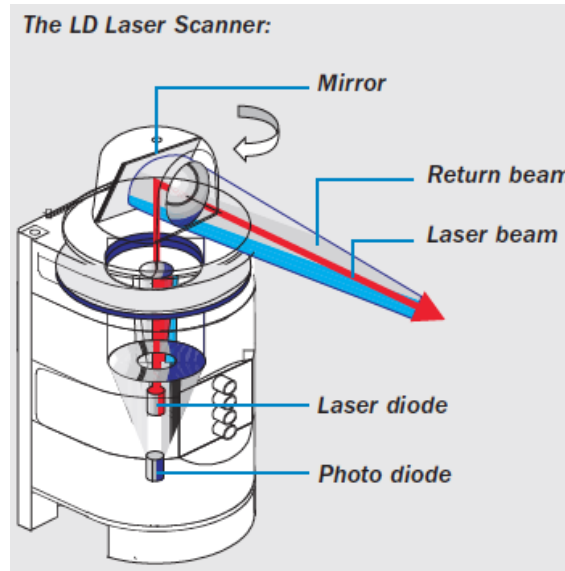
Οι τρισδιάστατοι σαρωτές που μετρούν το χρόνο ανάκλασης [5] είναι ενεργοί και χρησιμοποιούν ακτίνες laser για να σαρώσουν το αντικείμενο. Ένας laser μετρητής απόστασης με βάση το χρόνο ανάκλασης βρίσκει την απόσταση μιας επιφάνειας μετρώντας το

χρόνο που χρειάζεται το φως για να διανύσει την απόσταση από την πηγή στην επιφάνεια και από εκεί πίσω στο μετρητή. Αυτό το είδος σαρωτών ανιχνεύει την απόσταση ενός σημείου του αντικειμένου, μόνο εκεί που στοχεύει η δέσμη laser, επομένως για να σαρωθεί όλο το αντικείμενο χρειάζεται η περιστροφή του ίδιου του λέιζερ ή ενός συστήματος περιστρεφόμενων κατόπτρων. Τα κάτοπτρα μπορούν να περιστραφούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και πιο γρήγορα λόγω του μικρού τους βάρους για αυτό έχει επικρατήσει αυτή η μέθοδος.

- (Galvanometer scanner)

Οι τυπικοί σαρωτές μέτρησης χρόνου ανάκλασης [13] μπορούν να μετρήσουν την απόσταση 10.000-100.000 σημείων κάθε δευτερόλεπτο. Οι σαρωτές μέτρησης του χρόνου ανάκλασης είναι ιδανικοί για σάρωση από μεγάλες αποστάσεις της τάξεως των χιλιομέτρων. Αυτό τους κάνει κατάλληλους για σάρωση μεγάλων δομών όπως κτήρια ή γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Το μειονέκτημα τους είναι σε κοντινή απόσταση όπου, εάν η δέσμη του laser χτυπήσει στην ακμή ενός αντικειμένου μπορεί να χαθεί η ακρίβεια επειδή η πληροφορία στέλνεται πίσω από δύο διαφορετικές διευθύνσεις για ένα παλμό λέιζερ. Η θέση του σαρωτή σε σχέση με την συντεταγμένη για ένα σημείο που έχει χτυπήσει την άκρη ενός αντικειμένου θα υπολογιστεί βάσει ενός μέσου όρου και συνεπώς θα τοποθετήσει το σημείο σε λάθος θέση. Αυτό οφείλεται στη δυνατότητα του ανιχνευτή εύρους λέιζερ να μετράει την απόσταση μόνο ενός σημείου στο πεδίο που στοχεύει. Όταν χρησιμοποιείται τέτοιου τύπου σαρωτή υψηλής ανάλυσης οι πιθανότητες της δέσμης λέιζερ να χτυπήσει μια άκρη αυξάνονται και τα δεδομένα που προκύπτουν θα εμφανίζουν θόρυβο ακριβώς πίσω από τις άκρες του αντικειμένου προς σάρωση. Με ταχύτητα σάρωσης 10.000 δειγμάτων/σημείων ανά δευτερόλεπτο, οι σαρωτές χαμηλής ανάλυσης χρειάζονται λίγα δευτερόλεπτα σε αντίθεση με τους σαρωτές υψηλής ανάλυσης που απαιτούν εκατομμύρια δείγματα άρα και περισσότερο χρόνο. Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι η παραμόρφωση από την κίνηση [11]. Δεδομένου ότι κάθε σημείο δειγματίζεται σε διαφορετικό χρόνο, οποιαδήποτε κίνηση στο θέμα ή στο σαρωτή θα παραμορφώσει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να είναι σταθερό το θέμα όπως και ο σαρωτής ώστε να ελαχιστοποιηθούν τυχόν δονήσεις. Συμπερασματικά η χρήση του συγκεκριμένου είδους για σάρωση κινούμενου αντικειμένου είναι πολύ δύσκολη. Πρόσφατα έχει γίνει έρευνα για την αντιστάθμιση της παραμόρφωσης από μικρο δονήσεις και παραμορφώσεις λόγω κίνησης ή/και περιστροφής.

Κατά τη σάρωση σε μια θέση για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα μπορεί να παρουσιαστεί ελαφρά κίνηση στη θέση του σαρωτή λόγω αλλαγών στη θερμοκρασία. Ακόμα εάν ο σαρωτής έχει τοποθετηθεί σε τρίποδο και υπάρχει ισχυρός ηλιακός φωτισμός στη μια πλευρά του σαρωτή, τότε η συγκεκριμένη πλευρά του τρίποδου θα επεκταθεί και θα παραμορφώσει αργά τα δεδομένα σάρωσης από τη μία πλευρά στην άλλη.

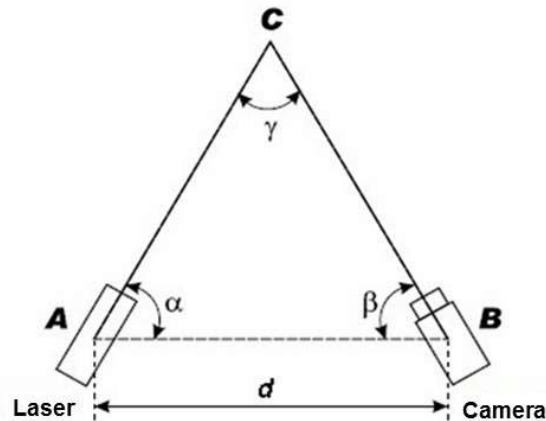


Σχήμα 2.4: Inside View of LD Laser Scanner

- Σαρωτές τριγωνοποίησης (triangulation)

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές τριγωνοποίησης [8] είναι ενεργοί και χρησιμοποιούν δέσμες laser για να σαρώσουν το αντικείμενο. Ο νόμος των συνημίτονων του Θαλή είναι το γεωμετρικό θεώρημα που χρησιμοποιείται για την λύση στο πρόβλημα της τριγωνοποίησης. Οι δέσμες φωτός λέιζερ έχουν ως χαρακτηριστικά μικρή διασπορά-απόκλιση, μεγάλη και συγκεντρωμένη ισχύς που η εκπομπή της είναι σε συγκεκριμένο μήκος κύματος και διατηρείται σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτού του τύπου σαρωτές χρησιμοποιούν μια κάμερα για να εντοπίσουν τη θέση στην οποία βρίσκεται η δέσμη του laser. Η κάμερα και η δέσμη φωτός laser σχηματίζουν ένα τρίγωνο για αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος ονομάζεται τριγωνοποίηση. Η απόσταση της κάμερας με τη πηγή φωτός λέιζερ είναι γνωστή άρα είναι γνωστό και το μήκος της μιας πλευράς του τριγώνου. Επίσης γνωστή είναι και η γωνία της πηγής φωτός laser, έτσι η γωνία της κάμερας μπορεί να βρεθεί μέσω της ανίχνευσης της δέσμης του laser από αυτή. Επιλύοντας το τρίγωνο αφού είναι γνωστές 2 γωνίες και μία πλευρά, ο σαρωτής υπολογίζει τις συντεταγμένες της δέσμης laser πάνω στο αντικείμενο προς σάρωση. Για να επιταχυνθεί η διαδικασία της σάρωσης χρησιμοποιούνται πολλές δέσμες λέιζερ αντί για μία μοναδική. Η σαρωτές τριγωνοποίησης είναι η βέλτιστη λύση για σάρωση αντικειμένων που είναι σε κίνηση. Οι σαρωτές τριγωνοποίησης λειτουργούν μόνο από κοντινή απόσταση και έχουν σχετικά μεγάλη ακρίβεια της τάξεως των μερικών μικρομέτρων. Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας

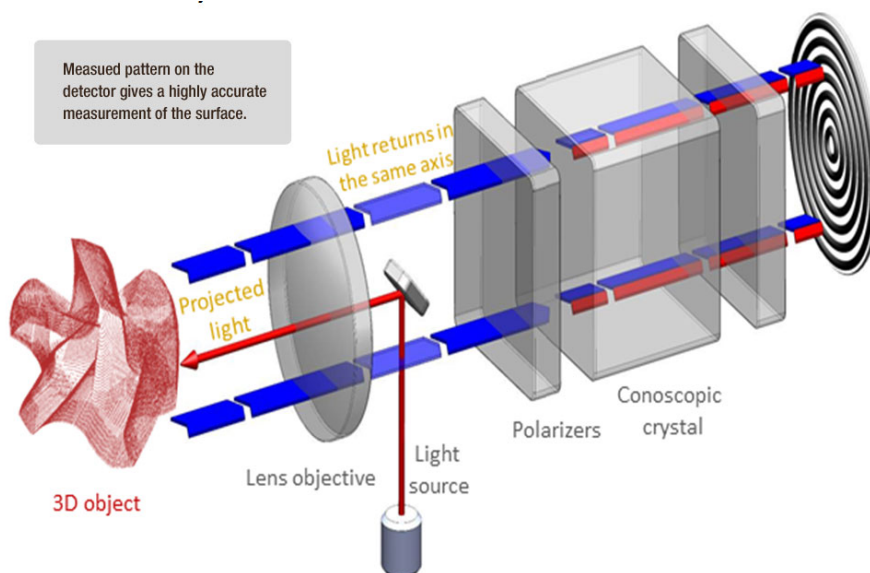
του Καναδά ήταν από τα πρώτα ινστιτούτα που ανέπτυξαν την τεχνολογία σάρωσης με λέιζερ με βάση τα τρίγωνα το 1978.



Σχήμα 2.5: Triangulation method in 3D Scanning

- Κωνοσκοπική ολογραφία (conoscopic holography)

Σε ένα κωνοσκοπικό σύστημα [20], μια ακτίνα λέιζερ προβάλλεται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου προς σάρωση και στη συνέχεια η άμεση ανάκλαση κατά μήκος της ίδιας διαδρομής ακτίνων γίνεται μέσω ενός κωνοσκοπικού κρυστάλλου και προβάλλεται σε έναν αισθητήρα CCD ή CMOS. Το αποτέλεσμα είναι ένα περίγραμμα περίθλασης, το οποίο μπορεί να αναλυθεί για να προσδιοριστεί η απόσταση από την επιφάνεια σάρωσης. Το κύριο πλεονέκτημα με την κωνοσκοπική ολογραφία είναι ότι για τη μέτρηση χρειάζεται μόνο μια διαδρομή ακτίνων, δίνοντας έτσι την ευκαιρία να μετρηθεί ακόμα και το βάθος μιας λεπτότατα τρυπημένης οπής.



Σχήμα 2.6: Conoscopic Holography

- Σαρωτές λέιζερ χειροκίνητοι (hand-held laser scanner)

Οι χειροκίνητοι σαρωτές λέιζερ [12] δημιουργούν μια τρισδιάστατη εικόνα μέσω του μηχανισμού τριγωνοποίησης (triangulation). Μια τελεία ή μια γραμμή λέιζερ προβάλλονται πάνω σε ένα αντικείμενο από μια χειροκίνητη συσκευή και ένας αισθητήρας μετράει την απόσταση από την επιφάνεια του αντικειμένου προς σάρωση. Τα δεδομένα συλλέγονται σε σχέση με ένα εσωτερικό σύστημα συντεταγμένων (coordinate measurement system). Συνεπώς για τη συλλογή δεδομένων όπου ο σαρωτής βρίσκεται σε κίνηση, πρέπει να προσδιοριστεί η θέση του σαρωτή την εκάστοτε στιγμή. Η θέση μπορεί να προσδιοριστεί από τον σαρωτή χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά αναφοράς στην επιφάνεια που σαρώνονται. Για τον προσδιορισμό της θέσης του αισθητήρα του σαρωτή και τον προσανατολισμό του, η εξωτερική συσκευή παρακολούθησης συχνά λαμβάνει τη μορφή ανιχνευτή λέιζερ με ενσωματωμένη κάμερα. Τη δεύτερη μορφή της εξωτερικής συσκευής παρακολούθησης δίνει η φωτομετρική λύση, με τη χρήση τριών ή περισσότερων καμερών που παρέχουν τους έξι βαθμούς ελευθερίας του σαρωτή. Και οι δύο τεχνικές τείνουν να χρησιμοποιούν διόδους εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (infra red light-emitting diodes) που είναι προσαρτημένες στο σαρωτή και οι οποίες φαίνονται από την ή τις κάμερες μέσω φίλτρων που δεν επηρεάζονται από τον περιβάλλοντα φωτισμό. Τα δεδομένα συλλέγονται από έναν υπολογιστή και εγγράφονται ως σημεία δεδομένων εντός τρισδιάστατου χώρου. Με επεξεργασία αυτά τα σημεία δεδομένων μπορούν να μετατραπούν σε ένα τριγωνοποιημένο πλέγμα και έπειτα ένα CAD (computer-aided design) μοντέλο σχεδιασμού. Οι χειροκίνητοι σαρωτές λέιζερ μπορούν να συνδυάσουν τα δεδομένα αυτά με παθητικούς αισθητήρες ορατού φωτός (passive visible-light sensors), οι οποίοι αιχμαλωτίζουν επιφάνειες και χρώματα για να δημιουργήσουν ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο.

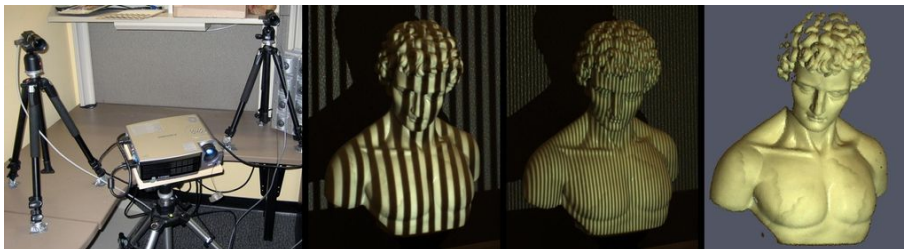


Σχήμα 2.7: Creaform HandySCAN 3D

- Σαρωτές δομημένου φωτός (structured light)

Οι σαρωτές δομημένου φωτός [24] είναι ενεργοί και λειτουργούν προβάλλοντας μοτίβο φωτός από γνωστή γωνία πάνω στο αντικείμενο έτσι ώστε να παρατηρήσουν την παραμόρφωση του. Για την αποτύπωση του αντικειμένου πραγματοποιούνται προβολές από φωτεινά μοτίβα που αποτελούνται από πολλαπλές ρίγες, πλέγματα ή ελλείψεις. Επίσης υπάρχουν χρωματικά κωδικοποιημένα μοτίβα τα οποία βοηθούν τον σαρωτή να διακρίνει ευκολότερα τις μεταβολές που δέχεται το μοτίβο κατά την διάρκεια της προβολής του στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η κωδικοποίηση μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους, οι δυο πιο συνηθισμένοι είναι η μεταβλητή φωτεινότητα χρωμάτων και η μεταβλητή πυκνότητα των σχημάτων του μοτίβου. Στη περίπτωση του μονοδιάστατου μοτίβου φωτός, μία κάμερα εξετάζει την παραμόρφωση του πάνω στο αντικείμενο χρησιμοποιώντας παρόμοια τεχνική με την τριγωνοποίηση, έτσι υπολογίζει την απόσταση κάθε σημείου. Ενώ στη περίπτωση του διδιάστατου μοτίβου φωτός, μία κάμερα εξετάζει την παραμόρφωση του πάνω στο αντικείμενο και χρησιμοποιείται ένας σύνθετος αλγόριθμος για να υπολογίσει την απόσταση κάθε σημείου. Εξαιτίας της σειράς των δεσμών φωτός του πλέγματος υπάρχει ασάφεια όσον αφορά τον αλγόριθμο, όταν η συσκευή καλείται να σαρώσει μη συνεχή αντικείμενα (με τρύπες, απότομες αλλαγές βάρους) επειδή οι δέσμες χάνονται η σειρά σπάει. Έτσι οδηγείται ολόκληρο το σύστημα σε συνολική ασάφεια. Η ταχύτητα [28] είναι το πλεονέκτημα των σαρωτών δομημένου φωτός γιατί σαρώνουν πολλαπλά σημεία ή και ολόκληρο το οπτικό τους πεδίο αντί για ένα σημείο τη φορά. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται εξ ολοκλήρου οι πιθανότητες παραποίησης των δεδομένων από ανεπιθύμητες κινήσεις του αντικειμένου ή του σαρωτή. Αυτό τους καθιστά κατάλληλους για σάρωση κινούμενων αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Η ακρίβεια των σαρωτών δομημένου φωτός εξαρτάται από :

- Την οπτική ποιότητα του προβολικού συστήματος που εξαρτάται από την ποιότητα του φακού.
- Την ποιότητα του αισθητήρα και του φακού της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής δηλαδή η ανάλυση της εικόνας και η απόδοση χρωμάτων.
- Την γωνία τοποθέτησης του προβολικού συστήματος σε σχέση με το αντικείμενο προς σάρωση, οι σκιές που δημιουργούνται λόγω της γωνίας.
- Τις ιδιότητες της επιφάνειας του αντικειμένου.



Σχήμα 2.8: Structure Light 3D Scanner

2.4.3 Παθητικοί σαρωτές μη επαφής

Οι παθητικοί σαρωτές μη επαφής [15] λειτουργούν χωρίς να εκπέμπουν οι ίδιοι κάποια ακτινοβολία αλλά ανιχνεύοντας την ανάκλαση της ήδη υπάρχουσας περιρρέουσας ακτινοβολίας. Οι πλειοψηφία αυτών των σαρωτών ανιχνεύει το ορατό φως ενώ υπάρχουν και άλλοι που ανιχνεύουν την υπέρυθη ακτινοβολία. Οι παθητικές μέθοδοι έχουν χαμηλό κόστος καθώς δεν χρειάζονται κάποιο σύνθετο εξοπλισμό.

- Στερεοσκοπικοί σαρωτές (stereoscopic) Αυτό το είδος σαρωτών [26] χρησιμοποιεί συνήθως δύο βιντεοκάμερες που έχουν μικρή απόσταση και στοχεύουν ακριβώς στο ίδιο σημείο. Τα σημεία του αντικειμένου προς σάρωση ανιχνεύονται αναλύοντας τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των δύο εικόνων που αποτυπώνονται στη κάθε κάμερα. Αυτή η μέθοδος μοιάζει με την ανθρώπινη στερεοσκοπική όραση, δηλαδή με τον τρόπο που βλέπουμε.

- Σαρωτές περιγράμματος (silhouette-contour)

Οι σαρωτές περιγράμματος δημιουργούν περιγράμματα μέσω πολλών φωτογραφιών γύρω από το αντικείμενο που περιβάλλεται από φόντο υψηλής αντίθεσης. Έπειτα τα περιγράμματα ενώνονται με σκοπό να σχηματιστεί η εξωτερική επιφάνεια του αντικειμένου. Το μειονέκτημα αυτών των σαρωτών είναι ότι είδη κοιλωμάτων δεν ανιχνεύονται.

- Σαρωτές που απαιτούν χειρισμό από το χρήστη

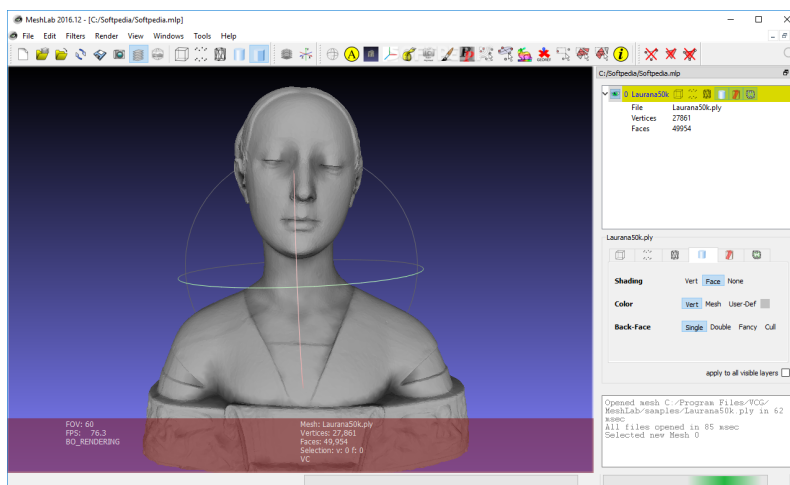
Αυτό το είδος σαρωτών βασίζεται στη χρήση του χρήστη για την ανίχνευση και αναγνώριση της γεωμετρίας του αντικειμένου. Έπειτα ο χρήστης παράγει μία σειρά από φωτογραφίες για την ανακατασκευή του αντικειμένου. Έτσι δημιουργείται κατά προσέγγιση η επιφάνεια του αντικειμένου. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη για την γρήγορη αναπαράσταση αντικειμένων με απλό σχήμα. Τέλος αυτή η μέθοδος σάρωσης βασίζεται στις αρχές της φωτογραμμομετρίας.

2.5 Προγράμματα μορφοποίησης, σμίλευσης τρισδιάστατων πλεγμάτων

2.5.1 MeshLab

Το MeshLab [16] είναι ένα προηγμένο σύστημα λογισμικού επεξεργασίας τρισδιάστατων πλεγμάτων που προσανατολίζεται στη διαχείριση και επεξεργασία μεγάλων μη δομημένων πλεγμάτων. Παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για την επεξεργασία, τον καθαρισμό, την επούλωση, την επιθεώρηση, την απόδοση και τη μετατροπή μη δομημένων πλεγμάτων. Σημαντικό είναι ότι το MeshLab είναι δωρεάν λογισμικό ανοικτού κώδικα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο ως πλήρες πακέτο αλλά και ως βιβλιοθήκη για τρίτο λογισμικό. Είναι γνωστό στους πιο τεχνικούς τομείς της τρισδιάστατης ανάπτυξης και της επεξεργασίας δεδομένων. Για την αφαίρεση του θορύβου που συνήθως υπάρχει σε επιφάνειες που έχουν σαρωθεί, το συγκεκριμένο λογισμικό υποστηρίζει διάφορα είδη φίλτρων εξομάλυνσης και εργαλεία για την

ανάλυση καμπυλότητας και την απεικόνιση. Τα εργαλεία αποκατάστασης υποστηρίζουν την υψηλής ποιότητας απλούστευση που βασίζεται στο τετραγωνικό μέτρο σφάλματος, σε διάφορα είδη επιφανειών υποδιαίρεσης και σε δύο αλγόριθμους ανοικοδόμησης επιφάνειας από τα νέφη σημείων (point clouds) που βασίζονται στη τεχνική ball-pivoting και στη προσέγγιση ανοικοδόμησης επιφανειών του Poisson. Ακόμα περιλαμβάνει ένα εργαλείο για την εγγραφή χαρτών πολλαπλής εμβέλειας βάσει του επαναληπτικού αλγορίθμου πλησιέστερου σημείου. Επίσης υπάρχει ένα σύστημα διαδραστικής άμεσης ζωγραφικής σε πλέγμα που επιτρέπει στους χρήστες να αλλάζουν διαδραστικά το χρώμα ενός πλέγματος, να ορίζουν επιλογές και να εξομαλύνει άμεσα τον θόρυβο και τα μικρά χαρακτηριστικά. Όσον αφορά την τρισδιάστατη εκτύπωση το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ικανό να εισάγει/εξάγει αρχεία σε μορφή .PLY, .STL, .OBJ κ.α. τα οποία υποστηρίζονται από σχεδόν όλους τους τρισδιάστατους εκτυπωτές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του προγράμματος είναι ότι δεν έχει λειτουργία Undo. Μια πολύ σημαντική και χρήσιμη λειτουργία είναι ότι μπορεί να εισάγει νέφος σημείων (point clouds) από σερβερ φωτογραφιών για την ανακατασκευή ενός αντικειμένου. Μεγάλο ενδιαφέρον έχει η ιστοσελίδα www.meshlabjs.net που είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, η οποία τρέχει κατευθείαν μια απλή έκδοση του MeshLab. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του emscripten που κάνει μεταγλώττιση από C++ σε javascript ώστε να μπορεί να το τρέχει η ιστοσελίδα. Για την απόδοση της ιστοσελίδας χρησιμοποιείται το πρόγραμμα WebGL.

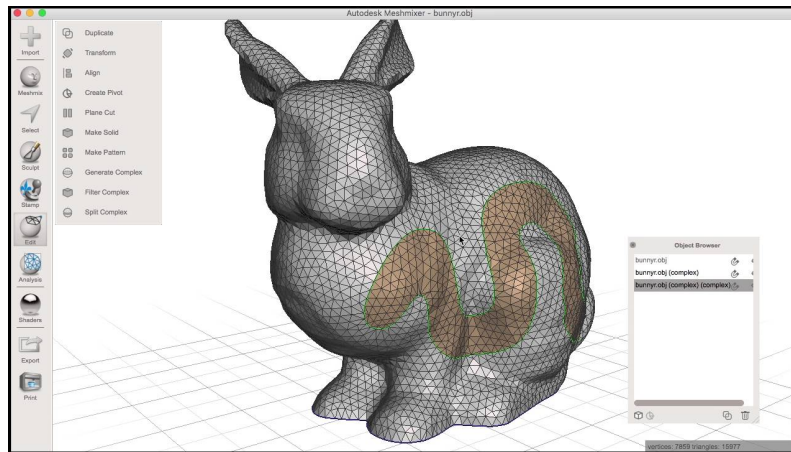


Σχήμα 2.9: Meshlab From Mr.P Series

2.5.2 Meshmixer

Το Meshmixer [19] είναι λογισμικό της Autodesk με πολλές λειτουργίες για το χειρισμό και την επεξεργασία τριγωνικών πλεγμάτων (triangle meshes). Η κύρια χρήση του είναι η διαμόρφωση τρισδιάστατων μοντέλων. Για παράδειγμα αφαίρεση περιοχών που δεν είναι επιθυμητές, γέμισμα οπών/κοιλοτήτων, επεξεργασία/σμίλευμα του σχήματος, διόρθωση του προσανατολισμού πριν από την τρισδιάστατη εκτύπωση. Ενδείκνυται για καθάρισμα τρισδιάστατου σκαναρίσματος, προετοιμασία αντικειμένου για τρισδιάστατο τύπωμα και για αντικε-

ίμενα που χρειάζονται αλλαγή ή και επεξεργασία διαστάσεων για επαναχρησιμοποίηση τους με διαφορετικά δεδομένα. Καποιές από τις πιο χρήσιμες λειτουργίες του προγράμματος είναι η τρισδιάστατη γλυπτική (3d sculpting), επιφανειακή σφράγιση (surface stamping), μετατροπή τρισδιάστων σχεδίων σε στερεά σώματα για τριδιάστατη εκτύπωση, δημιουργία δομών υποστήριξης (support) για τρισδιάστατη εκτύπωση, μετατροπή στερού αντικειμένου σε κούφιο με τρύπες διαφυγής (hollowing), τριδιάστατη μέτρηση αντικειμένου από σημείο σε σημείο (3d measurements) κ.α. Τέλος η Autodesk παρέχει το λογισμικό δωρεάν.



Σχήμα 2.10: Meshmixer Example

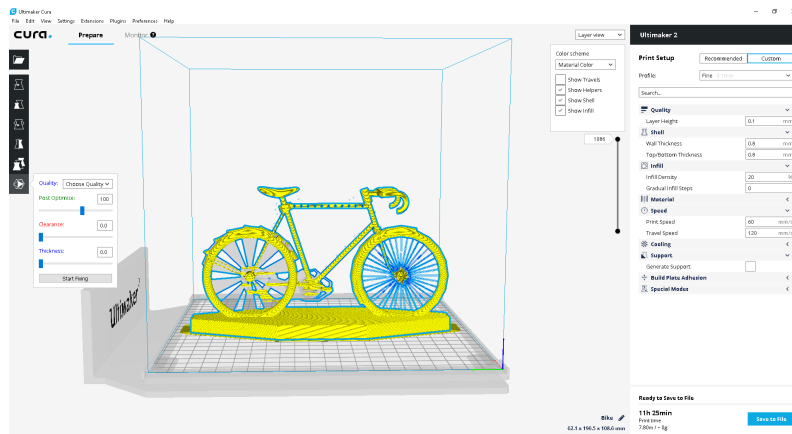
2.6 Προγράμματα τεμαχισμού τρισδιάστατων αντικειμένων

Τα συγκεκριμένα προγράμματα κάνουν τεμαχισμό ενός τρισδιάστατου αντικειμένου σε στρώματα (layers) και παράγουν ένα συγκεκριμένων προδιαγραφών κώδικα για τρισδιάστατους εκτυπωτές (g-code). Όταν ολοκληρωθεί ο τεμαχισμός, ο κώδικας μπορεί να σταλεί στον εκτυπωτή μέσω υπολογιστή ή να αποθηκευτεί σε μια κάρτα SD που στη συνέχεια τοποθετείται στον εκτυπωτή. Στη συνέχεια ο εκτυπωτής παράγει το φυσικό τρισδιάστατο αντικείμενο εκτελώντας τον κώδικα (g-code).

2.6.1 Ultimaker Cura

Το Ultimaker Cura [6] είναι δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα (open source). Προσφέρει την δυνατότητα στο χρήστη να τεμαχίσει (slice) ένα τρισδιάστατο αντικείμενο αυτόματα με προκαθορισμένες ρυθμίσεις (custom selection), αλλά και να επιλέξει ο ίδιος όλες τις ρυθμίσεις (expert). Τα έτοιμα προφίλ ρυθμίσεων (profiles) κάνουν πιο εύκολη τη διαμόρφωση του υλικού του τρισδιάστατου εκτυπωτή (hardware) και του υλικού τυπώματος (filament). Το πρόγραμμα είναι συμβατό με αρχεία τύπου STL, OBJ, X3D, 3MF και μπορεί να τρέξει σε λειτουργικά windows, mac, linux. Υπάρχουν plugins για CAD προγράμματα που προσφέρουν μεγαλύτερο επίπεδο λειτουργικότητας και βελτιστοποίηση στα προφίλ πιο δύσκολων υλικών τυπώματος. Τέλος είναι εφικτή με το Cura Connect η διαχείριση ενός ή παραπάνω

τρισδιάστατων εκτυπωτών που βρίσκονται σε δίκτυο από ένα περιβάλλον.

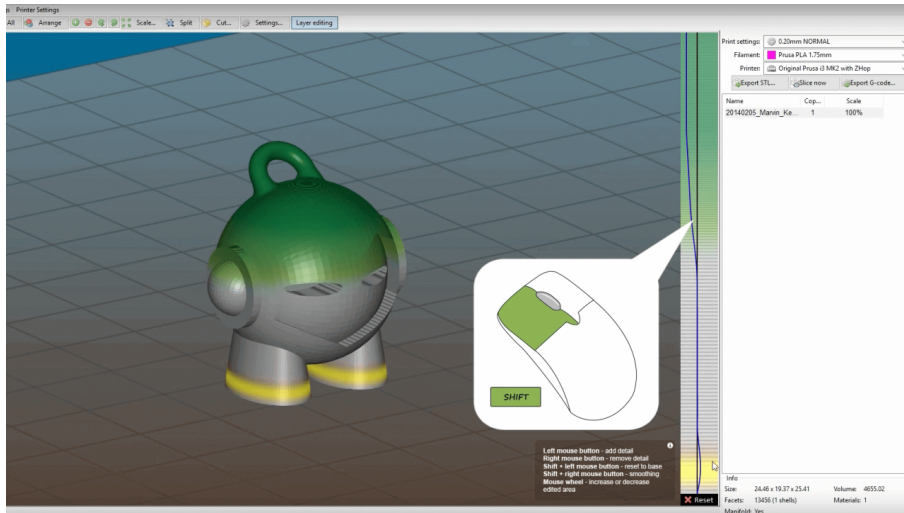


Σχήμα 2.11: Cura Example

2.6.2 Slic3r PE

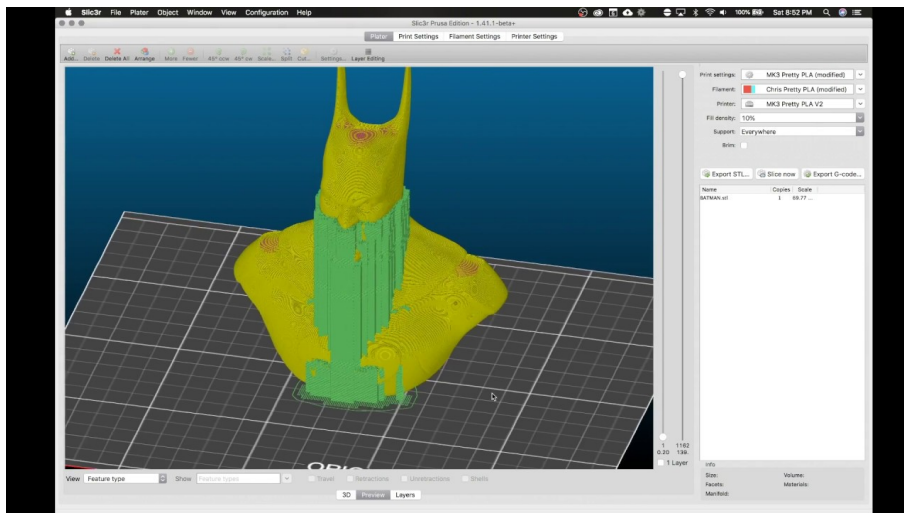
Το slic3r PE (Prusa Edition) [10] αναπτύχθηκε από τον αυθεντικό πηγαίο κώδικα του slic3r (δηλαδή πρόκειται για fork version) από την ομάδα προγραμματιστών του Josef Prusa. Σκοπός ήταν η δημιουργία ενός καλού προγράμματος τεμαχισμού τρισδιάστατων αντικειμένων ειδικά για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές Original Prusa i3. Προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να τεμαχίσει το αντικείμενο που θέλει με προκαθορισμένες ρυθμίσεις (simple) αλλά και να ρυθμίσει όλες τις παραμέτρους (expert). Πολύ σημαντική είναι η κοινότητα (community) που υπάρχει στο Facebook και στο GitHub για τους Original Prusa i3. Χάρис αυτό υπάρχουν πολλά έτοιμα προφίλ (profile) για ποικίλα υλικά εκτύπωσης (filament). Από αυτά ξεχωρίζουν ιδιαίτερα εκείνα που έχει φτιάξει ο Chris Warkocki τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτύπωση του σαρωτή και των σακαρανισμένων αντικειμένων με κάποιες τροποποιήσεις. Το πρόγραμμα είναι συμβατό με αρχεία τύπου STL, OBJ και μπορεί να τρέξει σε λειτουργικά windows, mac και linux. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα να φτιάξει ο χρήστης τα δικά του υποστηρίγματα (custom support enforcer) για το τρισδιάστατο αντικείμενο που θέλει να τεμαχίσει. Επίσης ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τα δικά του εμπόδια υποστηρίγματος (custom support blocker) που αφαιρούν τα υποστηρίγματα που παράγει αυτόματα (auto generater supports) το πρόγραμμα σε συγκεκριμένα σημεία του αντικειμένου.

Ακόμα ένα ισχυρό εργαλείο του Slic3r PE είναι το Smooth Variable Layer Height (SVLH), το οποίο δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης σε ποιο ή ποια ύψη των στρώσεων (layer height) του αντικειμένου θέλει να μειώσει την απόσταση. Για παράδειγμα αν τυπώνει ένα αντικείμενο με 0.2 layer height και θέλει σε συγκεκριμένα σημεία να έχει καλύτερη ανάλυση, τα επιλέγει με το SVLH ώστε να έχουν 0.1 layer height. Ακολουθεί εικόνα που έχει γίνει χρήση SVLH.



Σχήμα 2.12: Slic3r Prusa Edition Smooth Variable Layer Height

Ακολουθεί εικόνα που γίνεται χρήση custom support enforcer από διδακτικό βίντεο [27] στο Youtube του Chris Warkocki.



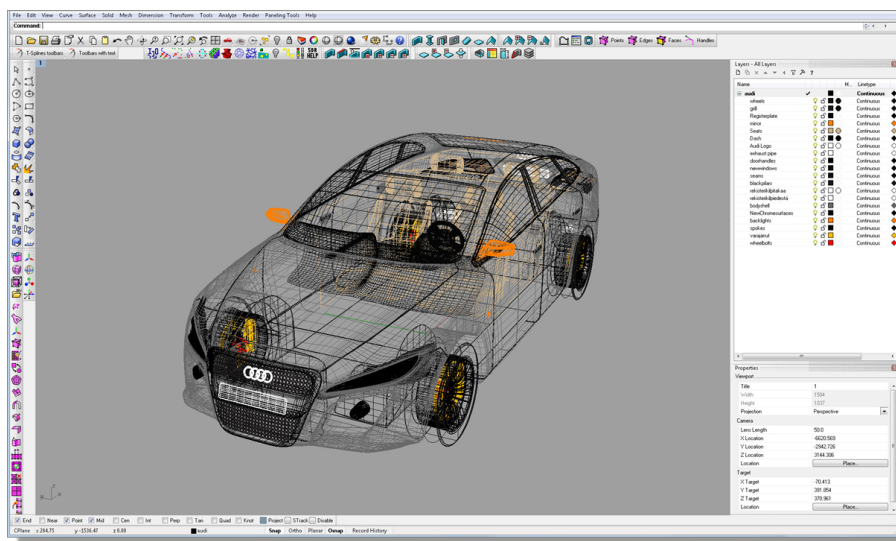
Σχήμα 2.13: Slic3r Prusa Edition Custom Support by Chris Warkocki

Τέλος είναι εφικτή η ενσωμάτωση του Slic3r PE με το ανοιχτού κώδικα δωρεάν λογισμικό Octoprint που φτιάχτηκε για πλήρη απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση ενός τρισδιάστου εκτυπωτή με χρήση Raspberry Pi.

2.7 Προγράμματα σχεδίασης CAD/CAM/CAE

2.7.1 Rhinoceros

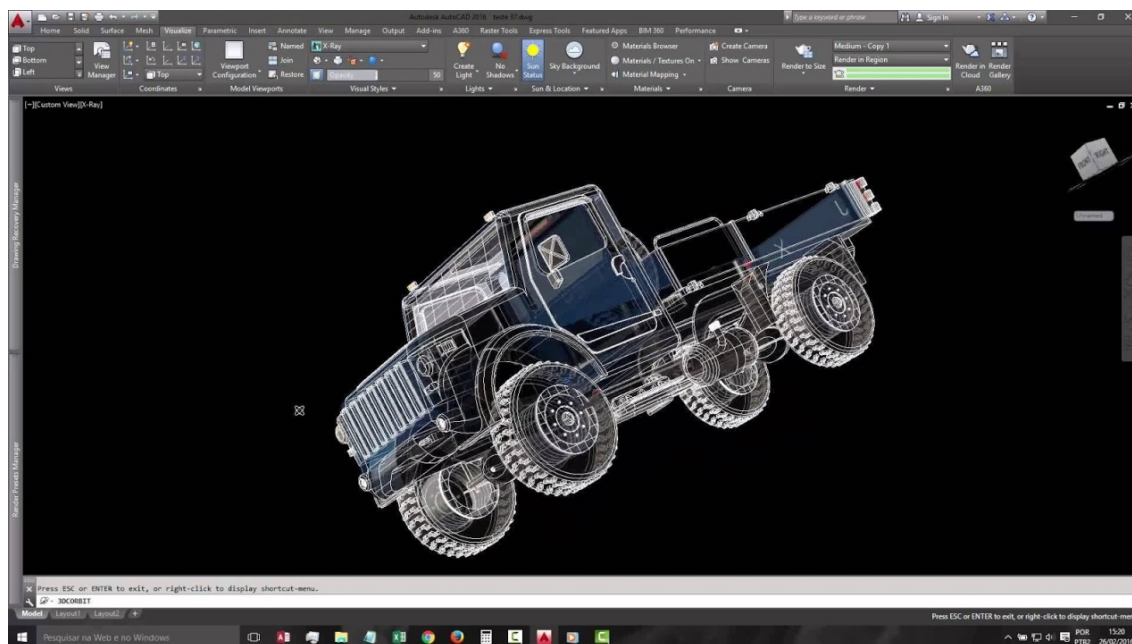
Το Rhinoceros [18] είναι ένα αρκετά δημοφιλές σχεδιαστικό πρόγραμμα και η γεωμετρία του βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο NURBS (non-uniform rational B-spline), το οποίο εστιάζει στην ακριβή μαθηματική αναπαράγωγή καμπυλών και επιφανειών. Αυτό το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιείται συχνά σε γραφικά ηλεκτρονικών υπολογιστών για να παράγει και να απεικονίζει καμπύλες και επιφάνειες. Το συγκεκριμένο λογισμικό προσφέρει συμβατότητα με άλλα λογισμικά σχεδίασης και είναι ικανό να παράγει πάνω από 30 CAD τύπους αρχείων για χρήση με οποιοδήποτε άλλο CAD λογισμικό. Όσον αφορά την τρισδιάστατη εκτύπωση βασίζεται σε μερικά plug-ins ώστε να μπορεί να κάνει εξαγωγή (export) αρχείου σε μορφή .STL και .OBJ τα οποία υποστηρίζονται από μεγάλη γκάμα τρισδιάστατων εκτυπωτών.



Σχήμα 2.14: Rhinoceros 3D Example

2.7.2 AutoCAD

Το AutoCAD [2] είναι ένα από τα πιο δημοφιλή σχεδιαστικά,εμπορικά CAD (computer-aided design/σχεδίαση υποβοηθούμενη απο υπολογιστή) προγράμματα. Σχεδιαστικέ το 1982 από την εταιρία Autodesk η οποία το εξελίσει, το αναπτύσσει ακόμα και σήμερα. Οτιδήποτε σχεδιάζεται στο συγκεκριμένο λογισμικό είναι απόλυτα ακριβές καθώς όλα τα αντικείμενα περιγράφονται στο χώρο σε σχέση με την αρχή ενός απλού συστήματος συντεταγμένων.

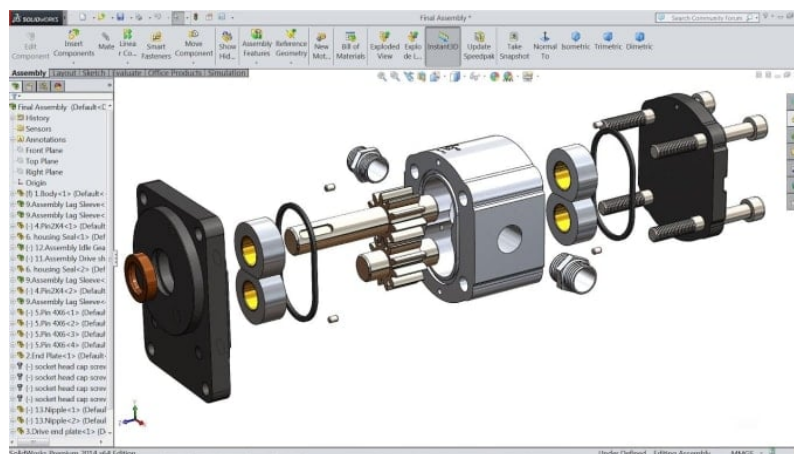


Σχήμα 2.15: Autocad 3D Example

2.7.3 Solidworks

Το Solidworks [21] είναι λογισμικό στερεών/συμπαγών μοντέλων (solid modeling), CAD (computer-aided design/σχεδίαση υποβοηθούμενη από υπολογιστή) και CAE (computer-aided engineering/μηχανική υποβοηθούμενη από υπολογιστή) που φτιάχτηκε από τον Jon Hirschtick απόφοιτο του MIT. Σύμφωνα με την ιστορία χρησιμοποίησε 1 εκατομμύριο που κέρδισε όντας μέλος του MIT Blackjack Team για την ίδρυση της εταιρίας του SolidWorks Corporation. Κάπως έτσι κατάφερε το 1995 μαζί με την ομάδα του να φτιάξει ένα πρόγραμμα εύχρηστο, οικονομικό και διαθέσιμο για το λειτουργικό σύστημα Windows. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ένας σταθερός μοντελοποιητής (solid modeler) και χρησιμοποιεί μια παραμετρική προσέγγιση η οποία αναπτύχθηκε αρχικά από την PTC (Creo/Pro-Engineer) για τη δημιουργία μοντέλων (models) και συγκροτημάτων (assemblies). Το λογισμικό είναι γραμμένο σε Parasolid-Kernel. Οι παράμετροι αφορούν περιορισμούς των οποίων οι τιμές καθορίζουν το σχήμα ή την γεωμετρία του μοντέλου ή του συγκροτήματος. Οι παράμετροι μπορούν να είναι είτε αριθμητικές, όπως μήκη γραμμών ή διαμέτρους κύκλων, είτε γεωμετρικές, για παράδειγμα εφαπτομένη, παράλληλη, οριζόντια, κάθετη. Οι αριθμητικές παράμετροι μπορούν να

συσχετιστούν μεταξύ τους μέσω της χρήσης σχέσεων, το οποίο επιτρέπει την καταγραφή της πρόθεσης σχεδιασμού (design intent). Η πρόθεση σχεδιασμού είναι ο τρόπος με τον οποίο ο δημιουργός του τμήματος θέλει να ανταποκριθεί στις αλλαγές και τις ενημερώσεις. Τα χαρακτηριστικά του σχήματος ξεκινούν συνήθως με ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο σκίτσο με σχήματα όπως μπομπίνες, τρύπες σχισμές. Το σχήμα μπορεί να εξωθηθεί (extrude), να κοπεί και να γίνει προσθαφαίρεση υλικού από το τμήμα και γενικότερα οι εντολές δεν βασίζονται στο σκίτσο και περιλαμβάνει λειτουργίες όπως fillets, chamfers, shells.



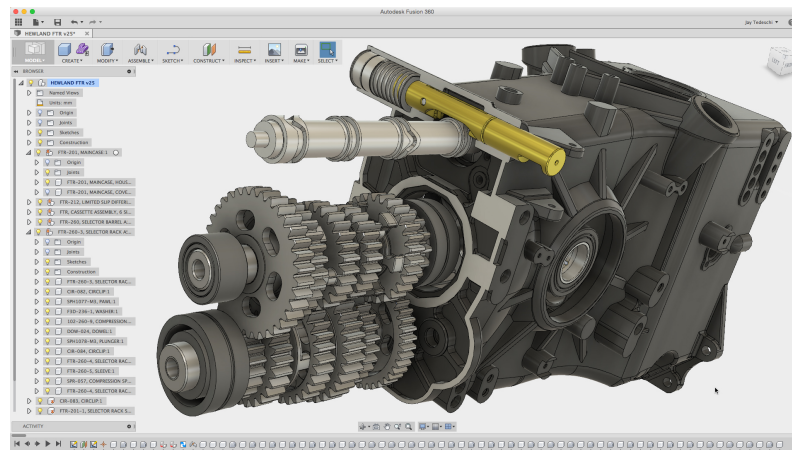
Σχήμα 2.16: Solidworks Example

2.7.4 Fusion 360

Το Fusion 360 [22] είναι ένα πλήρες παραμετρικό εργαλείο CAD με ενσωματωμένο CAM που αναπτύχθηκε από την Autodesk. Αυτό το εργαλείο προορίζεται για το σχεδιασμό και τη διαμόρφωση τρισδιάστατων αντικειμένων καθώς και μηχανικών σχεδίων. Το πρόγραμμα παρέχει μια ενιαία πλατφόρμα βασισμένη σε cloud για το σχεδιασμό και τη μηχανική. Δυνατότες γρήγορης σχεδίασης με εργαλεία γλυπτικής (sculpting tools), μορφοποίησης και μοντελοποίησης για τη δημιουργία φινιρίσματος, μηχανικής και προσομοίωσης με δοκιμή διαστάσεων και κίνησης, εκτέλεση προσομοιώσεων, φωτορεαλιστικές απεικονίσεις και κινούμενα σχέδια. Επίσης στη βιομηχανική παραγωγή με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM) προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας διαδρομών εργαλείων (CNC, Laser cutting) για την επεξεργασία του αντικειμένου και τη δυνατότητα χρήσης ροής τρισδιάστατου τυπώματος για τη δημιουργία πρωτοτύπου. Σε αντίθεση με ένα κόφτη λέιζερ, ένας δρομολογητής CNC δεν μπορεί να κόψει τέλειες εσωτερικές γωνίες επειδή το εργαλείο του δρομολογητή είναι κυκλικό. Για να παρακάμψουν αυτό το ζήτημα, τα ανάγλυφα τοποθετούνται σε ένα σχέδιο που επιτρέπει στο εργαλείο του δρομολογητή να κόβει όλο το δρόμο. Τα αρχεία που εξάγει το πρόγραμμα μπορούν να έχουν μορφές STL, DXF, PDF κ.α.

2.7.5 Πλεονεκτήματα των CAD προγραμμάτων

- Παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης και ουσιαστικής τροποποίησης.



Σχήμα 2.17: Fusion 360 Example

- Παρέχουν ευχέρεια για ποικιλία στη σύνθεση κάποιων σχεδίων.
- Δίνουν απεριόριστη δυνατότητα σε αλλαγές κλιμάκων σχεδίασης.
- Προσφέρουν γρήγορη ταχύτητα σχεδίασης και υψηλή ακρίβεια απεικόνισης.
- Επιτρέπουν την σχεδίαση σε τρεις διαστάσεις.
- Παρέχουν μεγάλες δυνατότητες οπτικοποίησης άλλα και αναπαραγωγής.

2.8 Τρισδιάστατα αυτοπορταίτα(3d selfie)

Τα τρισδιάστατα αυτοπορταίτα [1] είναι ένα τρισδιάστατο αντίγραφο κλίμακας ενός ατόμου. Το τρισδιάστατο είδωλο συνήθως εκτυπώνεται σε πλήρες χρώμα χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά και τεχνικές. Ενώ η διαδικασία εκτύπωσης είναι αρκετά τυποποιημένη, η σύλληψη ενός αντικειμένου ως τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ή κάμερες για να τραβήξουν διδιάστατες φωτογραφίες του αντικειμένου προς σάρωση κάτω από κανονικό φωτισμό, κάτω από τεχνητό φωτισμό ή συνδυασμό των δύο. Τα φθηνά συστήματα χρησιμοποιούν μια μόνο κάμερα που μετακινείται γύρω από το αντικείμενο/θέμα σε 360 μοίρες σε διάφορα ύψη ενώ το θέμα παραμένει ακίνητο, αυτή η διαδικασία διαρκεί μερικά λεπτά. Τα πιο περίτεχνα συστήματα έχουν μια κάθετη ράβδο με κάμερες που περιστρέφεται γύρω από το θέμα και συνήθως επιτυγχάνεται πλήρη σάρωση σε περίπου 10 δευτερόλεπτα. Τα πιο ακριβά συστήματα διαθέτουν ένα κλειστό τρισδιάστατο φωτογραφικό θάλαμο με 50 έως 100 κάμερες στατικά ενσωματωμένες στους τοίχους και στην οροφή, οι οποίες πυροδοτούνται όλες ταυτόχρονα, ώστε να εξαλειφθούν τυχόν διαφορές στη λήψη εικόνας που προκαλούνται από τις κινήσεις του θέματος.



Σχήμα 2.18: Chris Perego along with his antique camera, is being 3D scanned in the newly installed 90 digital camera rig. Imaging Research Center UMBC.

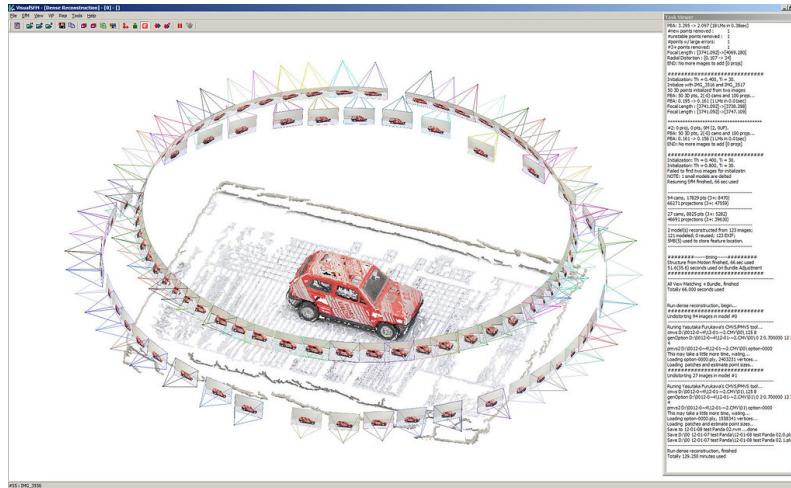
2.9 Προγράμματα μετατροπής φωτογραφιών σε νέφος σημείων (φωτογραμμετρίας)

2.9.1 VisualSFM

Όπως υποδεικνύεται από το όνομα του, το VisualSFM [9] είναι ένα λογισμικό φωτογραμμετρίας που χρησιμοποιεί την μέθοδο δομής από κίνηση (structure from motion) για την δημιουργία νέφους σημείων (point cloud). Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν μεταξύ εργασίας με την γραμμή εντολών ή με GUI. Το πρόγραμμα έχει δημιουργηθεί από τον Changchang WU, ο οποίος εργάζεται ως μηχανικός λογισμικού για την Google. Η τελική έκδοση του προγράμματος βασίζεται στην έρευνα του ίδιου καθώς και άλλων ερευνητών του χώρου. Αν η φωτογραμμετρία καθευαυτή μπορεί να είναι δύσκολη διαδικασία λόγω δεκάδων παραμέτρων σε ρυθμίσεις για να βγει σωστό αποτέλεσμα, η βασική διαδικασία δημιουργίας ενός νέφους σημείων μπορεί να πραγματοποιηθεί με 4 κλικ. Οι τύποι αρχείων που εξάγει το VisualSFM είναι μορφής .ply και ενδείκνυται τόσο για αεροφωτογραφίες όσο και φωτογραφίες κοντινής απόστασης. Τέλος το πρόγραμμα είναι δωρεάν μόνο για προσωπική, μη κερδοσκοπική ή ακαδημαϊκή χρήση.

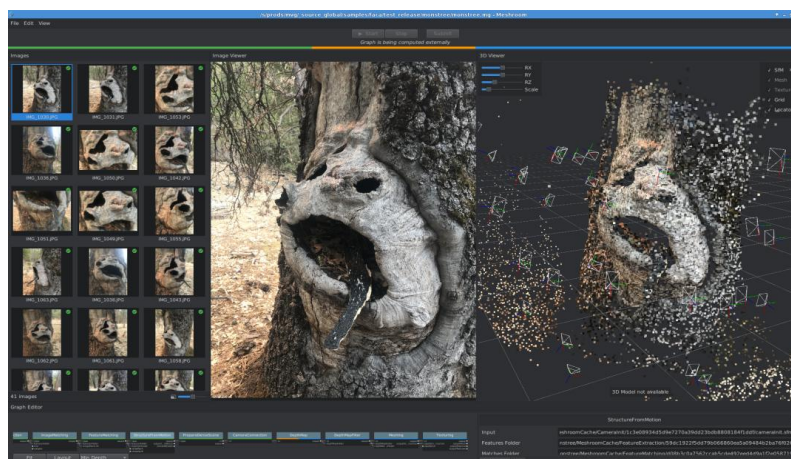
2.9.2 Meshroom

Το Meshroom [14] είναι ένα δωρεάν λογισμικό φωτογραμμετρίας ανοιχτού κώδικα που είναι αναπτυγμένο στο AliceVision πλαίσιο (photogrammetry computer vision framework).



Σχήμα 2.19: VisualSFM Example

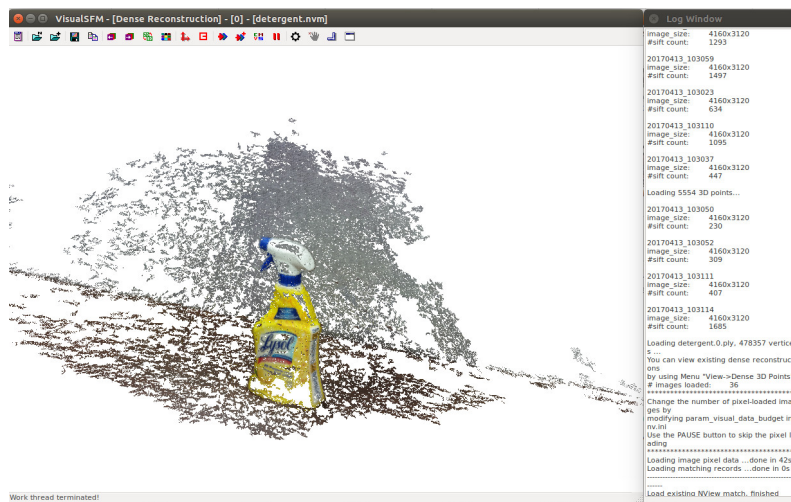
Το πρόγραμμα είναι εύχρηστο και η ροή εργασιών του βασίζεται σε κόμβους που συνδέουν όλες τις διεργασίες για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Σε άλλα προγράμματα κάποιες από τις διεργασίες θα πρέπει να ενεργοποιηθούν ξεχωριστά μέσω ρυθμίσεων ενώ το Meshroom μέσω της χρήσης του αγωγού κόμβων που βρίσκεται στο κάτω αριστερό μέρος του προγράμματος δίνει την δυνατότητα εύκολων εναλλαγών σε διεργασίες και βήματα. Πιο συγκεκριμένα καθέναν από αυτούς τους κόμβους μπορεί να τροποποιηθεί στις εκάστοτε ανάγκες του χρήστη. Έπειτα αρκεί μόνο το πάτημα ενός κλικ στο πάνω μέρος του χώρου εργασίας για την έναρξη της ανακατασκευής του τρισδιάστατου μοντέλου από τις φωτογραφίες. Οι τύποι αρχείων που εξάγει το πρόγραμμα είναι μορφής .abc και .obj και ενδείκνυται τόσο για αεροφωτογραφίες όσο και φωτογραφίες κοντινής απόστασης. Ακόμα οι χρήστες του Maya της Autodesk μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Meshroom απευθείας μέσα από αυτό το λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης ως δωρεάν προσθήκη (plugin) που είναι διαθέσιμη στον ιστότοπο.



Σχήμα 2.20: Meshroom Example

2.9.3 Colmap

Το Colmap [3] είναι ένα γενικής χρήσης, δομής απο κίνηση (structure from motion), λογισμικό και διατίθεται για λήψη από το Github. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν μεταξύ εργασίας με περιβάλλον γραφικής αναπαράστασης (GUI) ή γραμμής εντολών. Το πρόγραμμα προσφέρει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για την τρισδιάστατη ανακατασκευή αντικειμένου από ταξινομημένες ή μη φωτογραφίες. Επίσης το Colmap περιλαμβάνει πολλές εξαιρετικά προηγμένες επιλογές για τους απαιτητικούς χρήστες που θέλουν τη βέλτιστη ποιότητα στο τρισδιάστατο πλέγμα (3d mesh) του αντικειμένου προς σάρωση. Υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του τύπου της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη φωτογραφιών, όπως και για τις ρυθμίσεις της διαδικασίας εξαγωγής χαρακτηριστικών που μπορούν να τροποποιηθούν για καλύτερα αποτελέσματα. Οι τύποι αρχείων που εξάγει το πρόγραμμα είναι μορφής .ply και .nvm και ενδείκνυται τόσο για αεροφωτογραφίες όσο και φωτογραφίες κοντινής απόστασης.



Σχήμα 2.21: Colmap Example

2.9.4 Photosynth

Το Photosynth [17] είναι μια εφαρμογή της Microsoft Live Labs και του Πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον που αναλύει ψηφιακές φωτογραφίες και παράγει ένα τρισδιάστατο μοντέλο της φωτογραφίας και ένα νέφος σημείων (point clouds) του αντικειμένου που φωτογραφήθηκε. Το σχέδιο αναγνώρισης μοτίβων συγκρίνει τμήματα εικόνων για τη δημιουργία σημείων, τα οποία στη συνέχεια συγκρίνονται με την μετατροπή της εικόνας σε μοντέλο.



Σχήμα 2.22: Photosynth Example

Κεφάλαιο 3

Τρισδιάστατη Σχεδίαση

3.1 Εισαγωγή

Αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα για τους τρισδιάστατους σαρωτές και ανασκόπηση των αξιολογήσεων τους με σκοπό την κατανόηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του κάθε σαρωτή. Εξαιρετικό ενδιαφέρον έχει το μοντέλο MetraSCAN 750 της εταιρίας Creaform το οποίο ανήκει στη κατηγορία των σαρωτών λέιζερ. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι οι ανακλαστήρες(diffusers) που διαθέτει ώστε να ανιχνεύεται η ακριβής θέση του στο χώρο από δύο ειδικές κάμερες (C-track optical tracker), την ώρα που σαρώνει κάποιο αντικείμενο σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 3.1: MetraSCAN 750 with C-track optical Tracker Example

Για λόγους φορητότητας ξεχώρισε το μοντέλο Go!SCAN 50 της ίδιας εταιρίας που ανήκει στη κατηγορία σαρωτών δομημένου φωτός.



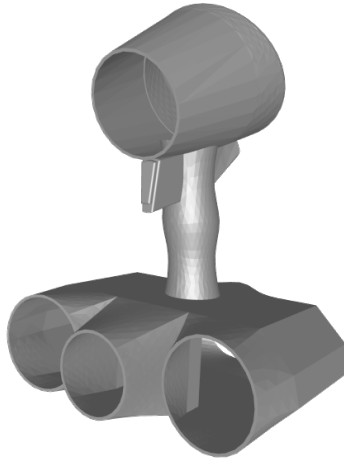
Σχήμα 3.2: GO!SCAN 50 Example

Στη συνέχεια επιλέχθηκε το λογισμικό Autocad 2017 για τη σχεδίαση του τρισδιάστου σαρωτή. Το Autocad προσφέρει παραμετροποιήμενη σχεδίαση που επιτρέπει την αλλαγή των διαστάσεων των αντικειμένων άρα επιτρέπει στο χρήστη να δοκιμάσει τις παραμέτρους που έχει επιλέξει και να τις τροποποιήσει αναλόγως.

3.2 Ροή σχεδίασης

3.2.1 Πρώτη προσπάθεια σχεδίασης του σαρωτή

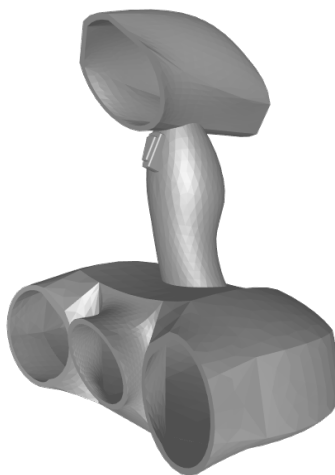
Πρώτη προσπάθεια δημιουργίας του τρισδιάστατου σαρωτή κυρίως με χρήση εντολών τρισδιάστατων σχημάτων του AutoCad (box, cylinder). Το τελικό σχέδιο δεν ήταν το επιθυμητό, τόσο αισθητικά όσο και σχεδιαστικά.



Σχήμα 3.3: Πρώτη προσπάθεια σχεδίασης Τρισδιάστατου Σαρωτή

3.2.2 Δεύτερη προσπάθεια σχεδίασης του σαρωτή

Δεύτερη προσπάθεια δημιουργίας του τρισδιάστατου σαρωτή με διαφορετική σχεδιαστική προσέγγιση. Αρχικά δημιουργήθηκαν σε δισδιάστατο σχέδιο γραμμές-σχήματα. Έπειτα με τη χρήση της εντολής Loft, η οποία ενώνει δύο δισδιάστα σχήματα σε ένα τρισδιάστατο, ο σαρωτής απέκτησε πιο ικανοποιητική μορφή λόγω της σύνθετης γεωμετρίας.



Σχήμα 3.4: Δεύτερη προσπάθεια σχεδίασης Τρισδιάστατου Σαρωτή

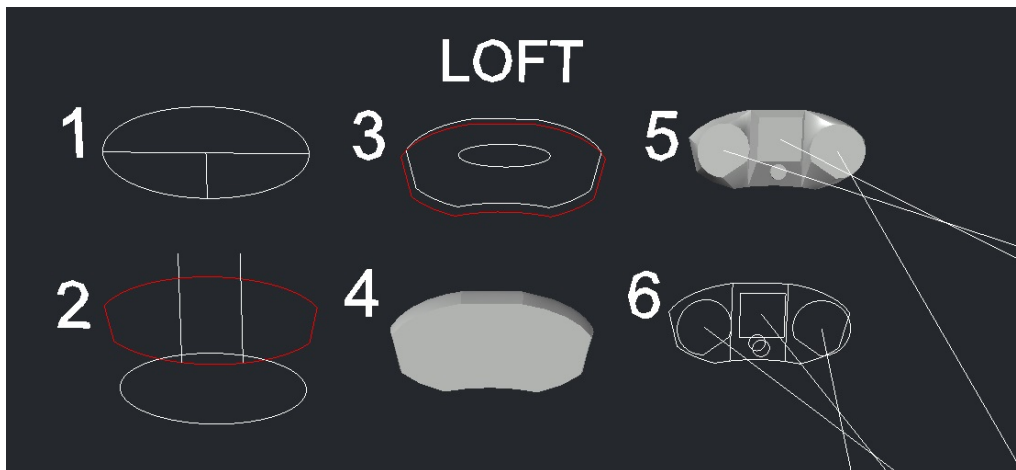
3.2.3 Τρίτη προσπάθεια σχεδίασης Τρισδιάστατου Σαρωτή

Τρίτη προσπάθεια δημιουργίας τρισδιάστατου σαρωτή με χρήση πιο σύνθετης γεωμετρίας και επεξεργασίας ώστε να επιτευχθεί ένα καλύτερο αισθητικά τελικό σχέδιο (καμπύλες, εσοχές, κοιλότητες).

3.2.4 Εντολή LOFT

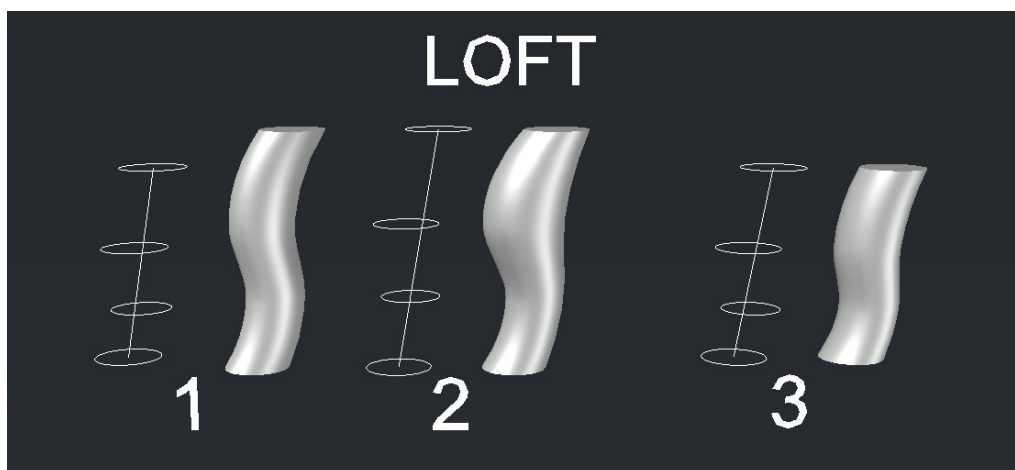
Η εντολή LOFT είναι μία από τις πιο βασικές τρισδιάστατες εντολές που χρησιμοποιείται για την κατασκευή πολύπλοκων ακόμη και οργανικών γεωμετρικών σχημάτων με σχετική ευκολία.

Στο σχήμα 3.5 φαίνεται το πάνω μέρος του σκάνερ. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται πως έγινε μια έλλειψη (εντολή ellipse ,σχ.1 και2) η οποία κατόπιν κόπηκε σε 4 σημεία (εντολή trim, σχ. 4). Το σχήμα 3 προέκυψε από την ένωση της έλλειψης (σχ. 4) μια δεύτερη έλλειψη, η οποία δεν είναι ορατή από αυτή την προοπτική. Στο σχήμα 5 χρησιμοποιήθηκε η ίδια έλλειψη (σχ. 3), η οποία χωρίστηκε σε 3 κομμάτια (για τα δύο led και τη go-pro με το λείζερ).



Σχήμα 3.5: Μετατροπή δισδιάστατων σχημάτων σε τρισδιάστατο σώμα με τη χρήση της εντολής LOFT

Ακολούθησε η σχεδίαση της λαβής. Στο σχήμα 3.6 φαίνεται χρησιμοποιήθηκε μια ευθεία γραμμή με κλίση 10 μοιρών ως "οδηγός" για τους κύκλους που έπειτα μετακινήθηκαν ώστε να πάρει η λαβή τη σωστή μορφή για άνετο πιάσιμο. Με την χρήση της εντολής Λοφτ οι κύκλοι έγιναν στερεά τρισδιάστατα αντικείμενα. Από τα τρία σχέδια επιλέχθηκε το 3. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λάβη σχεδιάστηκε για να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και από αριστερόχειρες και από δεξιόχειρες.



Σχήμα 3.6: Χρήση της εντολής LOFT για την δημιουργία της λαβής

Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το κάτω μέρος της λαβής όπου αργότερα θα τοποθετηθούν τα στοιχεία τροφοδοσίας. Η πρώτη σκέψη ήταν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες όμως λόγω κόστους επιλέχθηκε ένα power bank αφού τα 5 volt που παρέχει είναι αρκετά για το κύκλωμα. Στο σχήμα 3.9 δημιουργήθηκαν κύκλοι, οι οποίοι κόπηκαν συμμετρικά (σχ. 1) και ενώθηκαν με χρήση της εντολής LOFT (σχ.2). Το αποτέλεσμα ήταν ένα αντικείμενο σύνθετης γεωμετρίας με καμπύλες και αρκετό χώρο για το power bank και το καλώδιο που το συνδέει με το κύκλωμα.

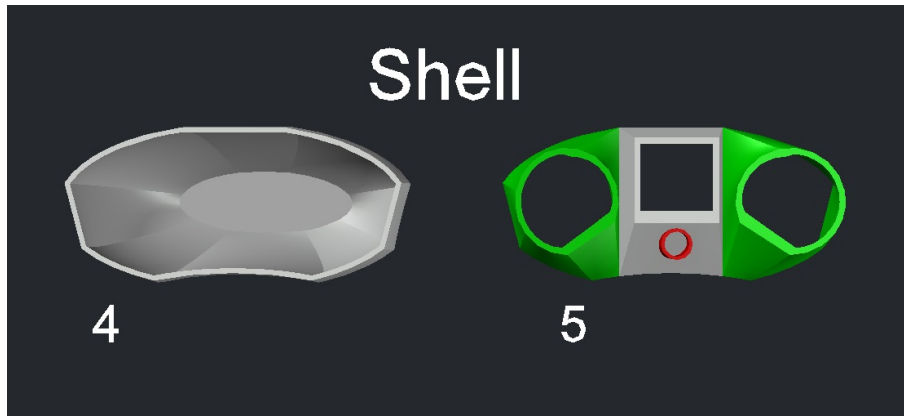


Σχήμα 3.7: Χρήση της εντολής LOFT για την δημιουργία του χώρου τροφοδοσίας

3.2.5 Εντολή Shell

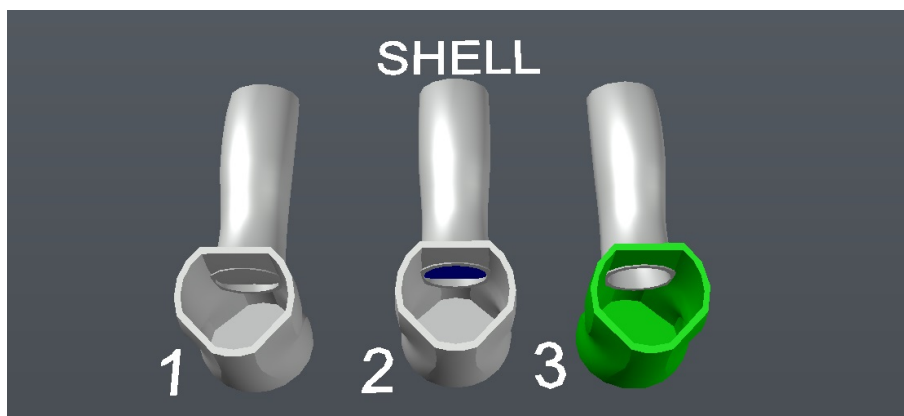
Η ύποεντολή Shell μετατρέπει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο σε ένα κοίλο κέλυφος με τοίχωμα που επιλέγει ο χρήστης. Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης καλείται να επιλέξει τις επιφάνειες που θέλει να αφαιρέσει από το αντικείμενο για να δημιουργήσει την κοιλότητα.

Το αποτέλεσμα της εντολής shell με επιλογή τοιχώματος 2.8 εκατοστά φαίνεται στο σχήμα 3.8 (σχ. 4 και σχ.5). Το αντικείμενο του σχήματος 4 προορίζεται ως χώρος για τα ηλεκτρονικά. Το αντικείμενο του σχήματος 5 χωρίζεται σε τρία αντικείμενα, τα δύο πράσινα για να τοποθετηθούν τα Leds. Το μεσαίο γκρι αντικείμενο είναι για την Gopro Hero 5 Session και το κόκκινο για το λείζερ.



Σχήμα 3.8: Χρήση της εντολής SHELL

Στο σχήμα 1 φαίνεται το αποτέλεσμα στο κάτω μέρος του σκάνερ αψίδου εφαρμόστηκε η εντολή Shell ξεχωριστά στη λαβή και στο κάτω αντικείμενο της τροφοδοσίας με τοίχωμα 2.6 εκατοστά. Η εντολή εφαρμόστηκε ξεχωριστά στο κάθε αντικείμενο με σκοπό να είναι πιο δυνατό-ανθεκτικό το σημείο που ενώνονται. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να πρέπει να αφαιρέσουμε το μπλε κυκλικό αντικείμενο του σχήματος 2. Με χρήση της εντολής copy αντιγράφουμε τη λαβή στην ίδια θέση συντεταγμένων. Στη συνέχεια με τη εντολή Subtract δημιουργείται ένα νέο αντικείμενο που αφαιρείται από το πρώτο στερεό αντικείμενο που θα επιλέξει ο χρήστης το δεύτερο στερεό αντικείμενο. Έπειτα με την χρήση της υποεντολής Σεπαρατε της κατηγορίας Solid διαχωρίζεται το μπλε κυκλικό αντικείμενο (σχ. 2) από το κάτω αντικείμενο και με το πάτημα του delete διαγράφεται και καταλήγουμε στο επιθυμητό σχήμα (σχ. 3).

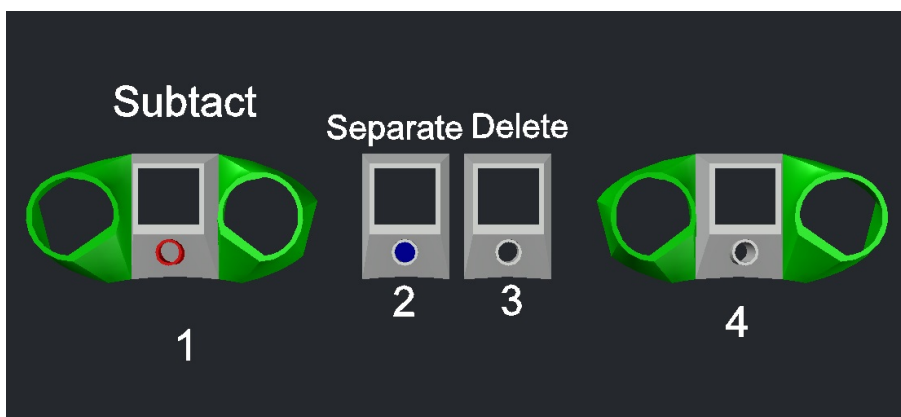


Σχήμα 3.9: Χρήση της εντολής SHELL

3.2.6 Εντολή Subtrack

Η εντολή SUBTRACK δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο αφαιρώντας μια επικαλυπτόμενη περιοχή ή ένα τρισδιάστατο στερεό σώμα από ένα άλλο.

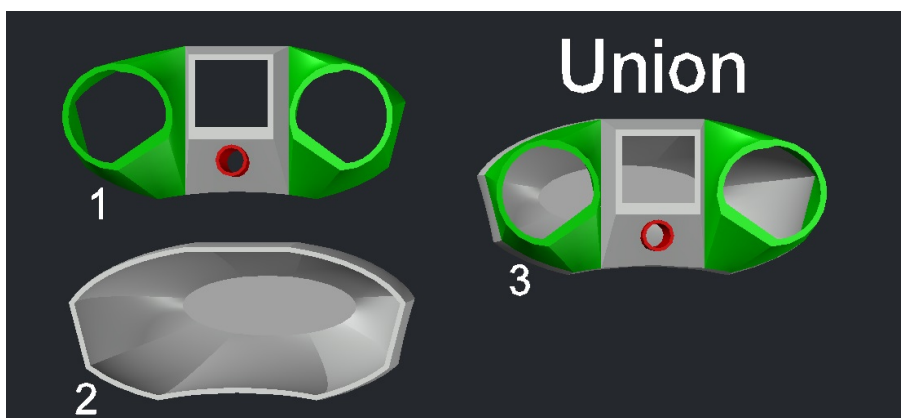
Το σχήμα 3.10 απεικονίζει με πράσινο χρώμα τα αντικείμενα που είναι ο χώρος των Leds και με κόκκινο χρώμα το αντικείμενο που είναι ο χώρος του λέιζερ (σχ.1). Στο Γίνεται χρήση της εντολής SUBTRACK για να δημιουργηθεί ο χώρος για το λέιζερ (σχ.4).



Σχήμα 3.10: Χρήση της εντολής SHELL

3.2.7 Εντολή Union

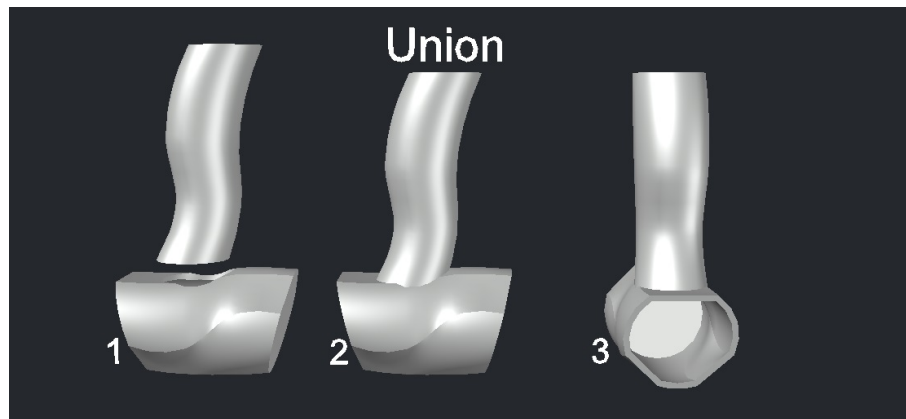
Η εντολή Union δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο που ενώνει δύο ή περισσότερα τρισδιάστατα στερεά αντικείμενα επιλεγμένα από το χρήστη.



Σχήμα 3.11: Χρήση της εντολής UNION για την ένωση του κυρίου μέρους του σαρωτή

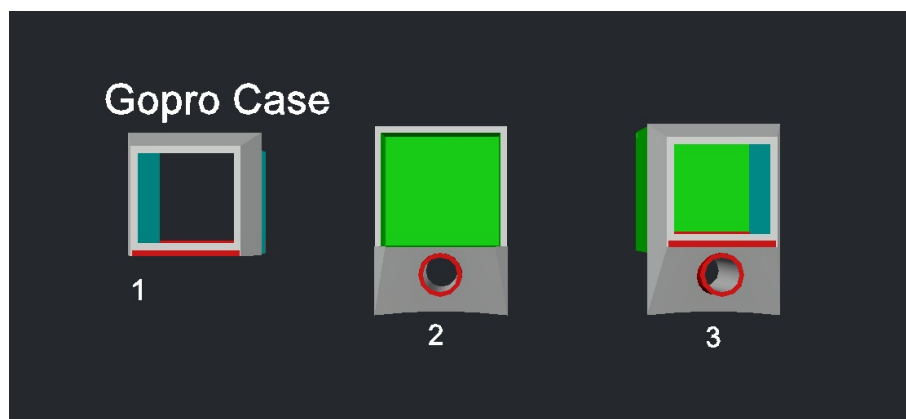
Στο σχήμα 3.11 φαίνεται πως ενώθηκαν τα αντικείμενα 1 και 2 με αποτέλεσμα το αντικείμενο 3. Έτσι δημιουργήθηκε το τελικό πάνω μέρος του σαρωτή.

Στη συνέχεια η λαβή και το κάτω αντικείμενο της τροφοδοσίας ενώθηκαν με την εντολή Union όπως φαίνεται στο σχήμα 3.12. Έτσι δημιουργήθηκε η τελική λαβή, αντικείμενο 2 και 3.



Σχήμα 3.12: Χρήση της εντολής UNION για την ένωση της λαβής και του χώρου τροφοδοσίας

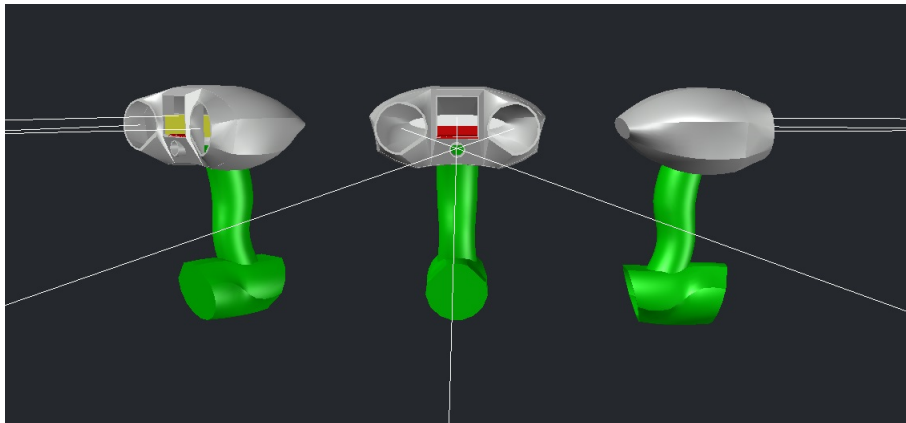
Ακολουθήσε η κατασκευή της θήκης της gopro.



Σχήμα 3.13: Χρήση της εντολής UNION

Το αντικείμενο 1 στο σχήμα 3.13 είναι η θήκη της κάμερας. Η θήκη θα μπαίνει συρταρωτά στο κύριο σώμα του σαρωτή αντικείμενο 2 και θα στηρίζεται με χρήση βέλχου αντικείμενο 3.

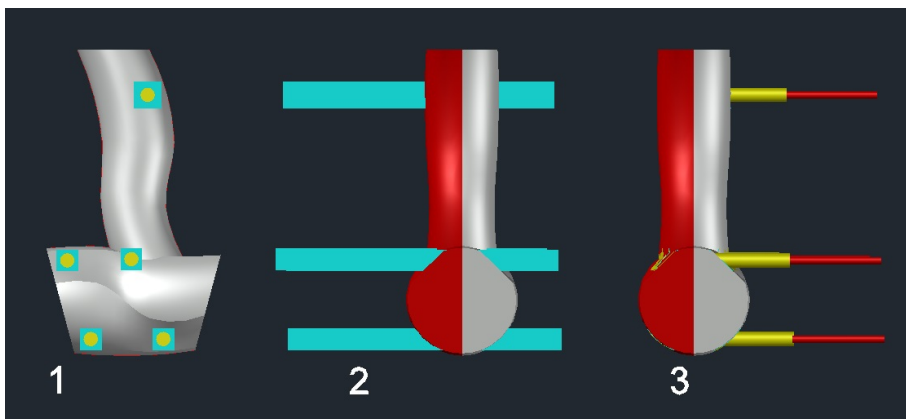
3.2.8 Ολοκληρωμένο σχήμα σαρώτη



Σχήμα 3.14: Ολοκληρωμένο σχήμα σαρώτη

Το επόμενο βήμα είναι να σχεδιαστούν οι λεπτομέριες.

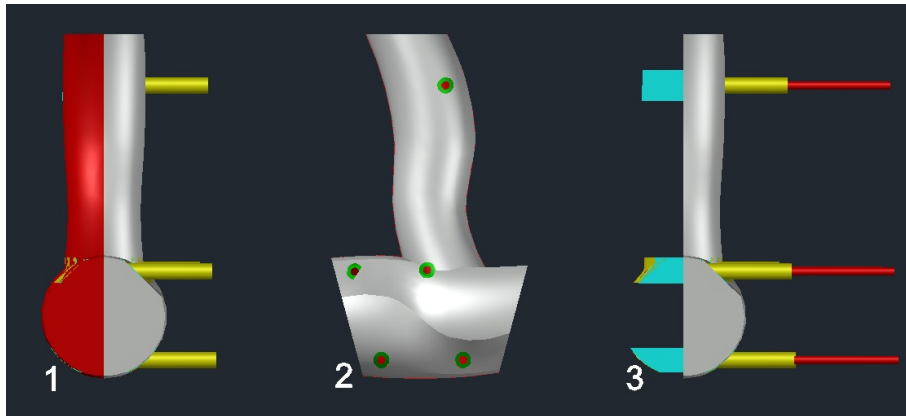
3.2.9 Λεπτομέριες Λαβής



Σχήμα 3.15: Δημιουργία υποδοχών M3 στη λαβή

Αφού κόπηκε η λαβή σε δύο μέρη με τη χρήση της εντολής Slice θα σχεδιαστούν οι υποδοχές για τις βίδες M3. Στο σχήμα 3.15 φαίνονται με κυανό χρώμα οι υποδοχές των βιδών. Με κίτρινο χρώμα φαίνονται τα κυλινδρικά αντικείμενα που θα αφαιρεθούν από τη λαβή, με σκοπό να δημιουργηθούν εσοχές για να μην εξέχουν τα κεφάλια των βιδών και ενοχλούν στο πιάσιμο αντικείμενα 1 και 3. Με κόκκινο χρώμα είναι τα αντικείμενα που θα λειτουργήσουν ως οδηγοί για τις βίδες, έχουν διάμετρο 0.2 χιλιοστά για καλύτερο κράτημα της βίδας στο πλαστικό.

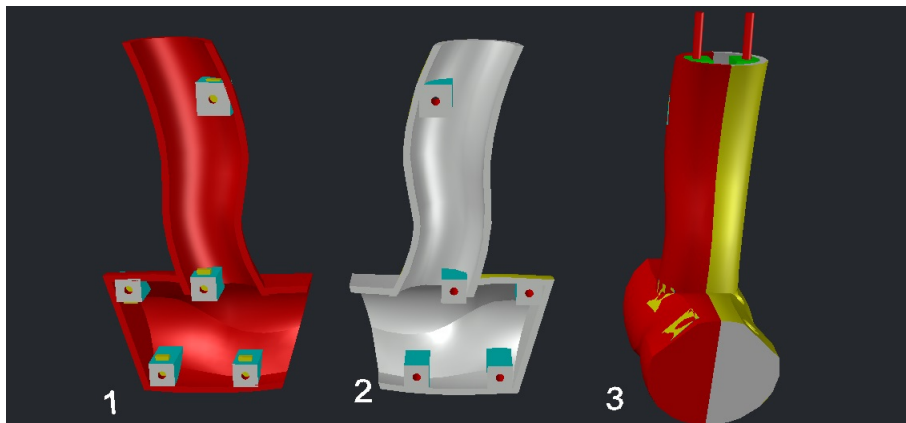
Στο αντικείμενο 3 σχήμα 3.16 έχω αφαιρέσει τη μισή λαβή έτσι ώστε να φαίνονται με κυανό χρώμα οι υποδοχές για τις βίδες, με κόκκινο χρώμα οι οδηγοί των βιδών, με κίτρινο τα αντικείμενα που θα αφαιρεθούν από το λαβή ώστε να δημιουργηθεί ο χώρος για τα κεφάλια



Σχήμα 3.16: Δημιουργία υποδοχών M3 στη λαβή

των βιδών. Στη συνέχεια αφαιρούνται τα κόκκινα αντικείμενα από τα κυανά και οδηγούμαστε στο σχήμα 1. Στο σχήμα 2 φαίνεται η τελική μορφή της λαβής.

Το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθούν στις υποδοχές για τις βίδες οι κατάλληλοι χώροι για να μπουν παξιμάδια μεγέθους M3. Με αυτό το τρόπο θα αυξηθεί το κράτημα της βίδας και θα γίνει πιο στιβαρή η λαβή.

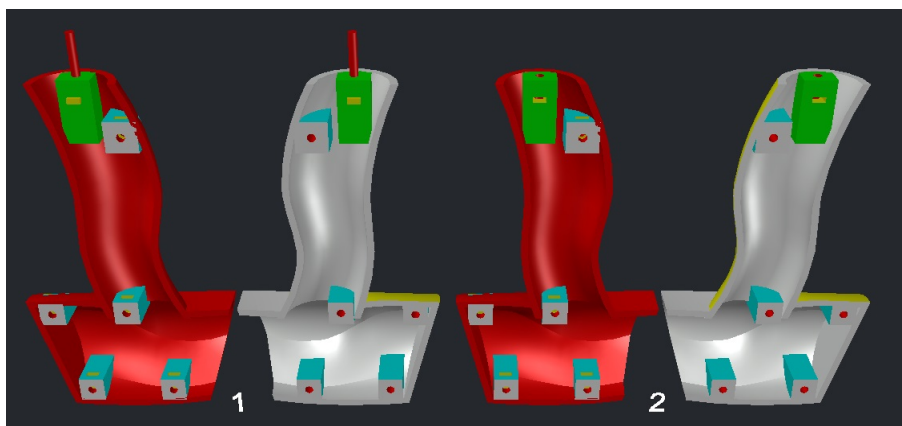


Σχήμα 3.17: Δημιουργία υποδοχών παξιμαδίων M3 στη λαβή

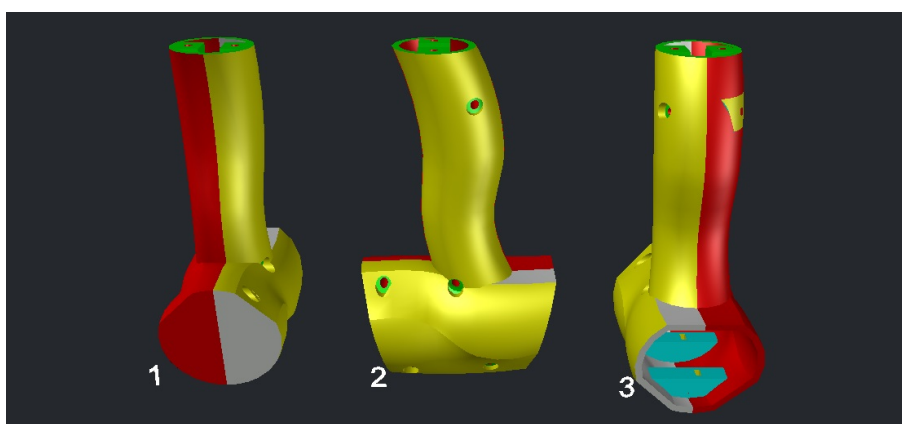
Αφού οι υποδοχές για τις βίδες ολοκληρώθηκαν, με την χρήση της εντολής slice κόπηκαν στη μεσή. Έτσι η λαβή χωρίστηκε σε δύο κομμάτια. Στο αντικείμενο 1 σχήμα 3.17 φαίνονται με κίτρινο χρώμα τα αντικείμενα που θα αφαιρεθούν από τις υποδοχές τις λαβής ώστε να χωρέσουν τα παξιμάδια μεγέθους M3. Στο σχήμα 2 φαίνεται η άλλη πλευρά της λαβής. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3 έχουν προστεθεί δύο κάθετες υποδοχές για βίδες οι οποίες θα ενώνουν το κύριο μέρος του σκάνερ με τη λαβή.

Στο σχήμα 3.18 φαίνονται τα δύο μέρη της λαβής πριν αντικείμενο 1 και μετά αντικείμενο 2 από την χρήση της εντολής subtract ώστε να δημιουργηθούν οι υποδοχές για τις κάθετες βίδες και τα παξιμάδια.

Το σχέδιο της λαβής ολοκληρώθηκε. Στο σχήμα 3.19 φαίνεται η λαβή από τρεις διαφορετικές γωνίες. Στο αντικείμενο 1 είναι το μπροστινό (front) μέρος, στο αντικείμενο 2 το δεξί



Σχήμα 3.18: Δημιουργία υποδοχών παξιμαδίων M3 στη λαβή



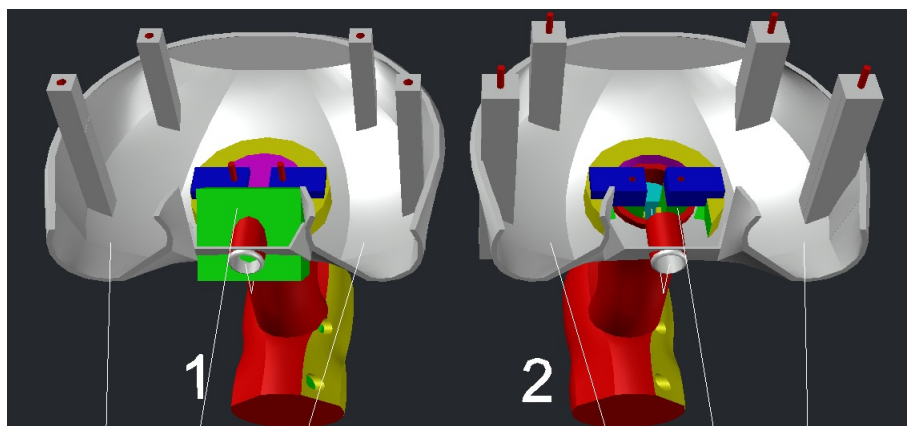
Σχήμα 3.19: Τελικό σχέδιο λαβής

μέρος όπου φαίνονται οι υποδοχές για τις βίδες και στο αντικείμενο 3 το πίσω (back) μέρος που φαίνεται ο χώρος τροφοδοσίας.

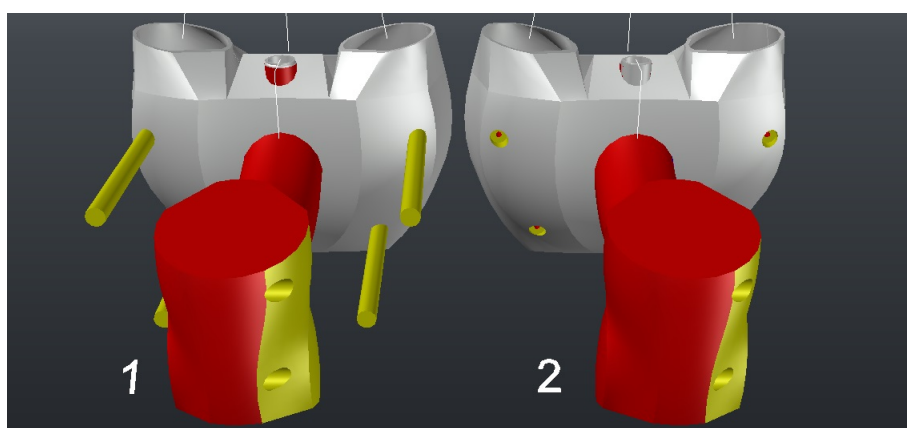
3.2.10 Λεπτομέρειες του κύριου μέρους του σαρωτή

Αρχικά το κύριο μέρος του σαρωτή κόπηκε με την ενολή slice, στο σχήμα 3.20 φαίνεται το κάτω κομμάτι. Στο αντικείμενο 1 φαίνονται με γκρι οι υποδοχές για τις βίδες, οι οποίες στο αντικείμενο 2 θα αντικατασταθούν από πιο μεγάλα σχήματα για λόγους αντοχής. Επίσης στο αντικείμενο 1 φαίνεται με κίτρινο χρώμα η ενίσχυση στο σημείο που θα ενώνονται η λαβή με το κύριο μέρος. Ακόμα φαίνεται η λείανση του κόκκινου αντικειμένου που είναι ο χώρος για το λέιζερ με χρήση της εντολής fillet. Στο αντικείμενο 2 έχει αφαιρεθεί το κεντρικό κομμάτι (μώβ χρώμα) από την ενίσχυση (κίτρινο χρώμα) και φαίνονται με μπλε χρώμα οι υποδοχές για τις βίδες που θα συγκρατούν τη λαβή με το κύριο μέρος. Επιπρόσθετα αφαιρέθηκε και ο πράσινος κύβος στο αντικείμενο 1 από την ενίσχυση (κίτρινο χρώμα) για να χωράει το λέιζερ.

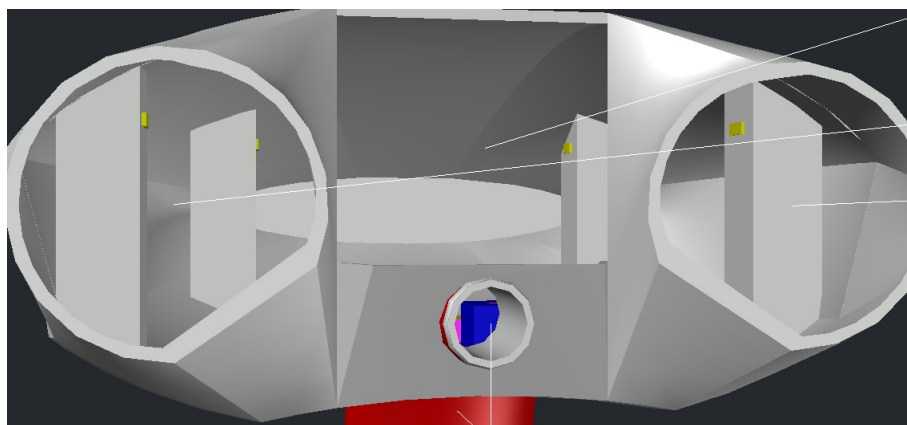
Οι κίτρινοι κύλινδροι αντικείμενο 1 σχήμα 3.21 αφαιρέθηκαν από το κάτω κομμάτι του κύριου μέρους για να μην είναι ορατές οι βίδες και για να εφαρμόζει σωστά ο σαρωτής στην επιτραπέζια βάση που θα σχεδιαστεί στη συνέχεια. Στο αντικείμενο 2 φαίνεται το αποτέλεσμα.



Σχήμα 3.20: Δημιουργία υποδοχών M3 στο κύριο μέρος του σαρωτή



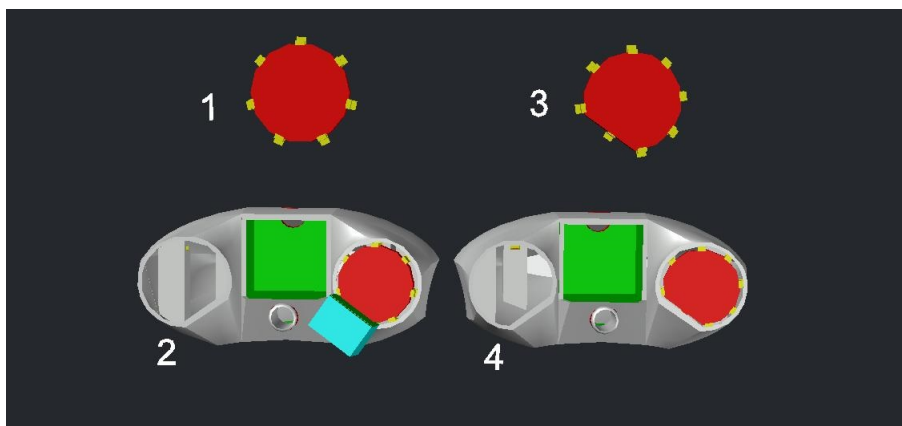
Σχήμα 3.21: Δημιουργία υποδοχών M3 στο κύριο μέρος του σαρωτή



Σχήμα 3.22: Δημιουργία υποδοχών παξιμαδίων M3 στο κύριο μέρος του σαρωτή

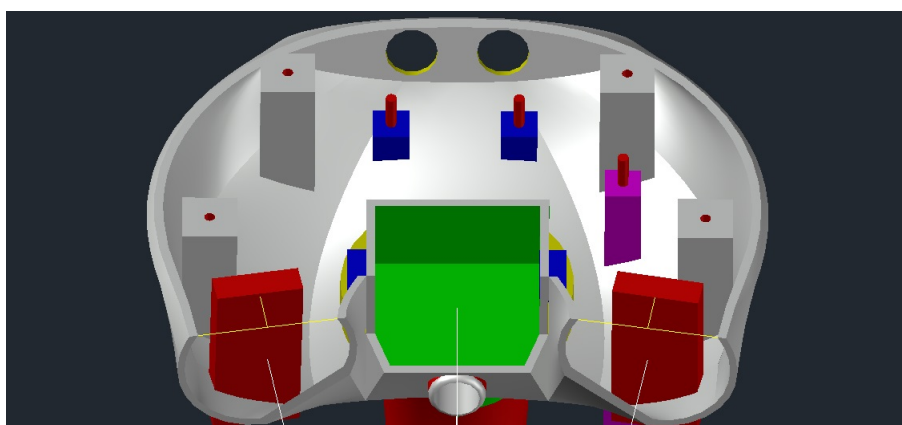
Στο σχήμα 3.22 φαίνονται με κίτρινο χρώμα τα αντικείμενα που θα αφαιρεθούν από τις υποδοχές για τις βίδες ώστε να μπουνε τα παξιμάδια.

Στο σχήμα 3.23 φαίνεται πως δημιουργήθηκαν οι διαχυτήρες (diffusers) για τα LEDs. Αρχικά στο αντικείμενο 1 σχεδιάστηκε ένα κύλινδρος στον οποίο προσαρμόστηκε ένα πιάσιμο



Σχήμα 3.23: Δημιουργία διαχυτήρων για τα LEDs του σαρωτή

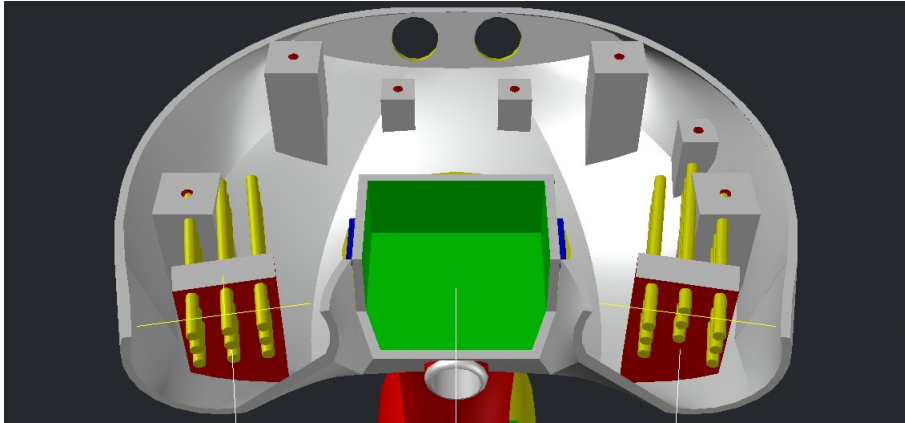
(κίτρινο χρώμα) και με την χρήση της εντολής polar array δημιουργήθηκαν 7 πιασίματα γύρω από τον κύλινδρο. Στην συνέχεια ο διαχυτήρας προσαρμόστηκε στο σαρωτή αντικείμενο 2 και κόπηκε όπως φαίνεται στο αντικείμενο 3. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στο αντικείμενο 4 όπου προστέθηκε ένα πιάσιμο στο σημείο που έγινε το κόψιμο.



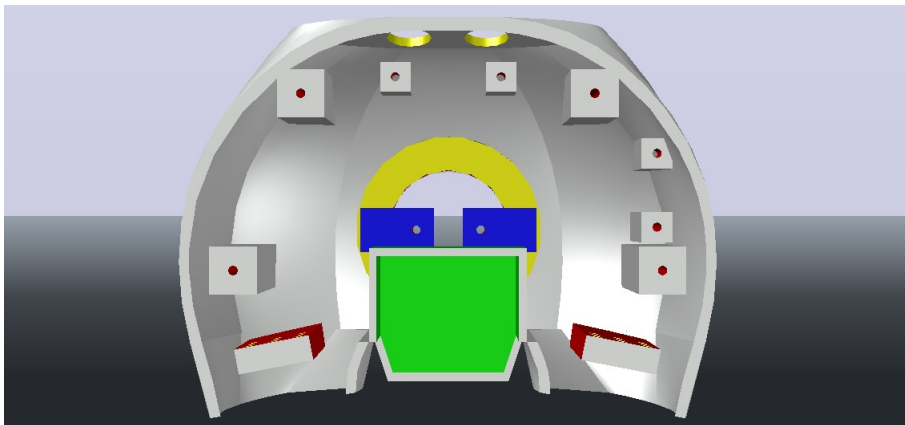
Σχήμα 3.24: Δημιουργία διαχυτήρων για τα LEDs του σαρωτή

Στο σχήμα 3.24 φαίνονται με μπλε χρώμα οι υποδοχές για να βιδωθεί η διάτρητη πλακέτα, με μώβ χρώμα η υποδοχή για να βιδωθεί το dc-dc step down, με πράσινο χρώμα η υποδοχή που θα μπαίνει συρταροτά η θήκη της κάμερας και με κόκκινο τις βάσεις για τις ψύκτρες των LEDs. Επίσης δημιουργήθηκαν δύο εσωχές στο πίσω μέρος για να μπουνε οι διακόπτες για τον έλεγχο των LEDs και του λέιζερ.

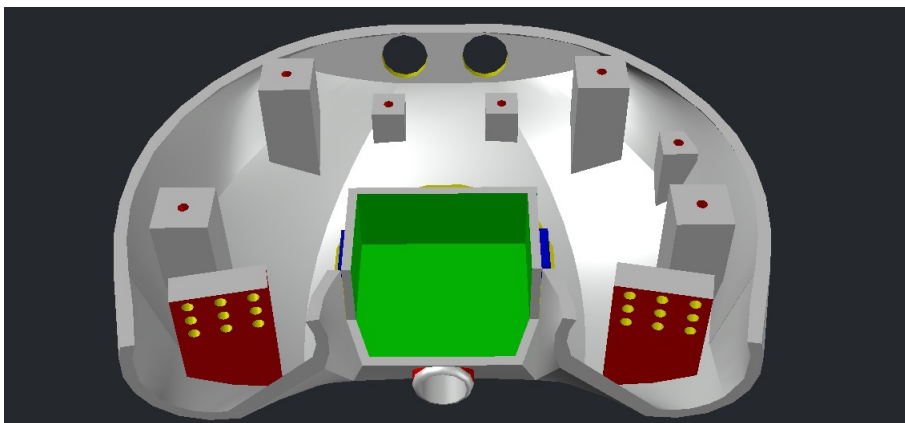
Στο σχήμα 3.25 φαίνεται πως έγινε αλλαγή στην υποδοχή για το dc-dc step down, δημιουργήθηκαν δύο υποδοχές αντί για μία και μετακινήθηκαν προς το τοίχωμα (η μια υποδοχή δεν είναι ορατή από αυτή την προοπτική). Με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι κύλινδροι που θα αφαιρεθούν από τις βάσεις των LEDs (κόκκινο χρώμα) για να βιδωθούν οι ψύκτρες. Δεν θα χρησιμοποιηθούν όλες οι τρύπες αλλά είναι σημαντικές για την σωστή διαδοσή-κυκλοφορία του αέρα αφού θα χρησιμοποιηθούν High Power LEDs.



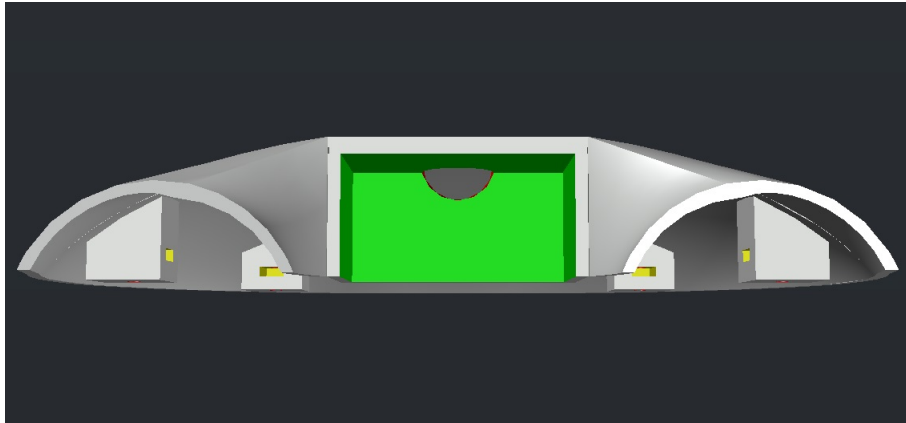
Σχήμα 3.25: Δημιουργία βάσης για τα LEDs του σαρωτή



Σχήμα 3.26: Κάτοψη του κυρίου μέρους του σαρωτή

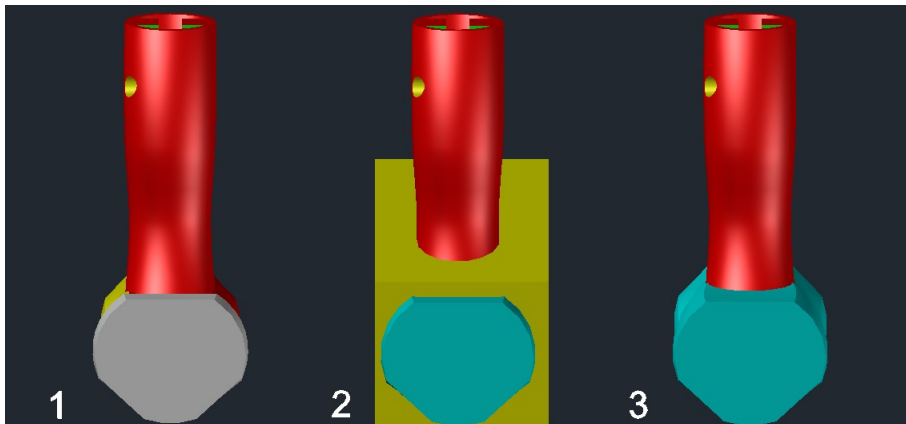


Σχήμα 3.27: Πρόσοψη του κυρίου μέρους του σαρωτή



Σχήμα 3.28: Πρόσοψη του κύριου μέρους του σαρωτή

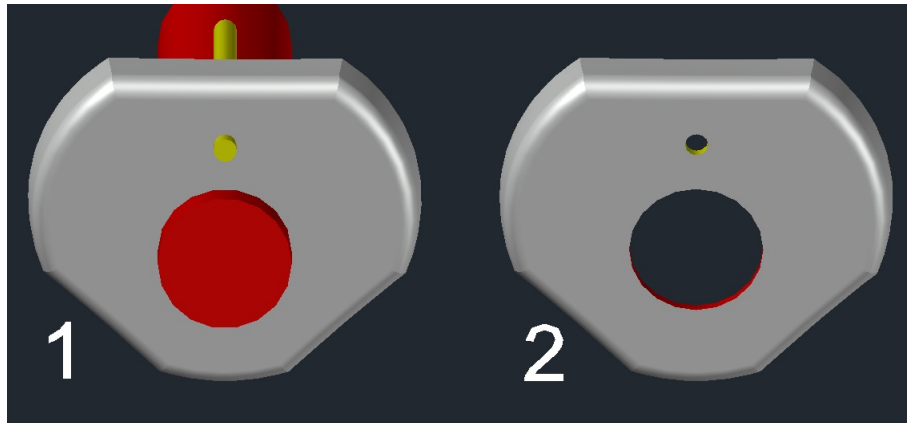
Στο σχήμα 3.28 φαίνεται το ολοκληρωμένο πάνω κομμάτι του κύριου μέρους του σαρωτή. Η σφαιρική τρύπα στην υποδοχή της θήκης της κάμερας έγινε για να βγαίνει ευκολότερα η θήκη από το σαρωτή και για να φαίνεται μέρος της οθόνης της κάμερας.



Σχήμα 3.29: Δημιουργία του πίσω μέρους-καπάκι της λαβής

Στο σχήμα 3.29 φαίνεται πως σχεδιάστηκε το πίσω μέρος-καπάκι του χώρου τροφοδοσίας που θα κρατάει στη θέση του το power bank και το usb καλώδιο τροφοδοσίας. Στο αντικείμενο 3 με κυανό χρώμα φαίνεται το σχήμα που δημιουργήθηκε σε μεγαλύτερη κλίμακα σε σχέση με το αυθεντικό (εντολή 3dscale). Στο αντικείμενο 2 φαίνεται με κίτρινο χρώμα το αντικείμενο που αφαιρέθηκε από το κυανό. Στο αντικείμενο 3 φαίνεται το αποτέλεσμα των παραπάνω με γκρι χρώμα.

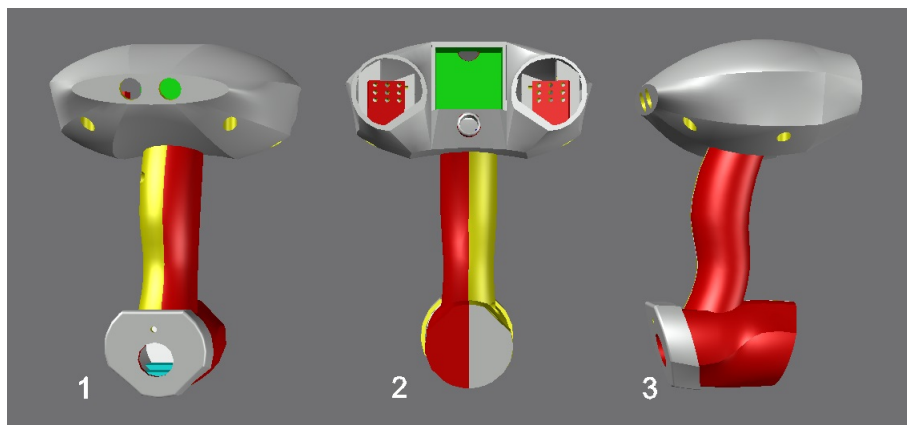
Στο σχήμα 3.30 φαίνεται με κίτρινο χρώμα η οπή για το usb καλώδιο και με κόκκινο χρώμα ο χώρος του power bank αντικείμενο 1. Επίσης οι γωνίες του λυάνθηκαν με τη χρήση της εντολής fillet. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στο αντικείμενο 2.



Σχήμα 3.30: Τελικό σχήμα του πίσω μέρους/καπάκι της λαβής

3.3 Ολοκλήρωση σχεδίου του σαρωτή

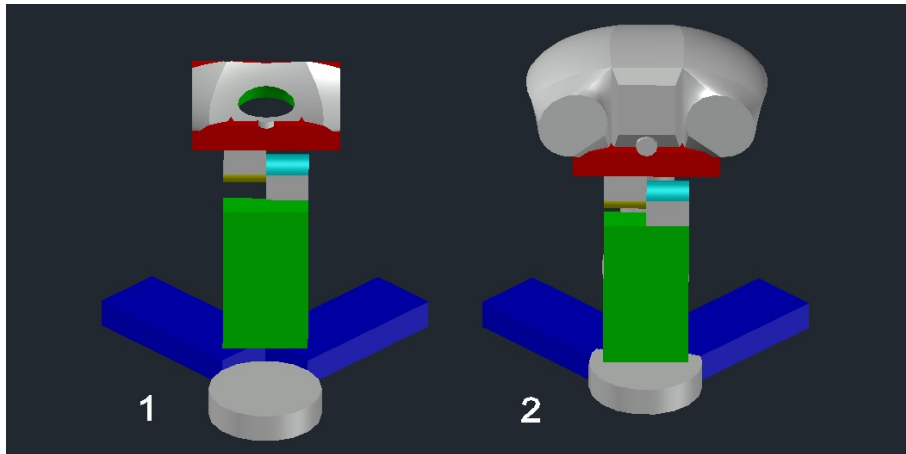
Με αυτή τη ρόη σχεδίαστης-λογική δημιουργήθηκε ο τελικός τρισδιάστατος σαρωτής, ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 3.31 από τρεις διαφορετικές γωνίες. Στο αντικείμενο 1 είναι το πίσω μέρος του σαρωτή. Στο αντικείμενο 2 είναι το μπροστινό μέρος του σαρωτή και στο αντικείμενο 3 είναι το πλαϊνό μέρος του.



Σχήμα 3.31: Σχέδιο του ολοκληρωμένου τρισδιάστατου σαρωτή

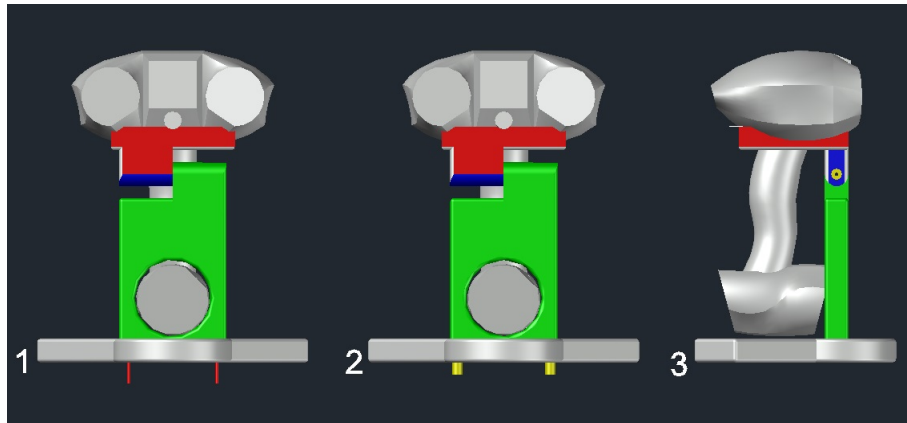
3.4 Σχεδίαση της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή

Στο σχήμα 3.32 φαίνεται πως αρχίσε η σχεδίαση της βάσης από απλά τρισδιάστατα σχήματα. Πιο συγκεκριμένα στο αντικείμενο 1 τα αντικείμενα με μπλε χρώμα και ο γκρι κύλινδρος είναι αυτά που θα στηρίζουν όλο το βάρος του σαρωτή. Έπειτα με το αντικείμενο πράσινου χρώματος φτάνουμε το ύψος που χρειάζεται για να χωράει ο σαρωτής. Στη συνέχεια δημιουργούμε δύο πανομοιότυπους κυλίνδρους (χρώματος κίτρινο και κυανό αντίστοιχα) με σκοπό να είναι δυνατή η κίνηση (περιστροφική προς τα πάνω ή προς τα κάτω) με χρήση ντίζας M3 (μήκους 108 χιλιοστών). Με κόκκινο χρώμα βλέπουμε την υποδοχή του σαρωτή στο αντικε-



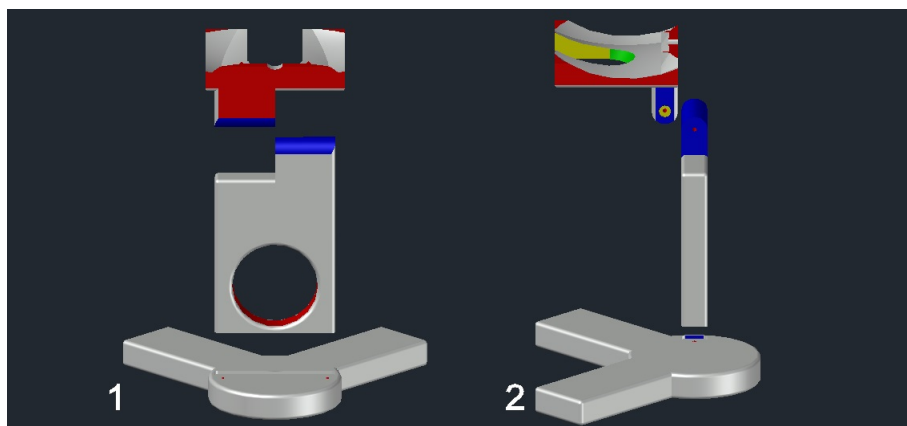
Σχήμα 3.32: Δημιουργία της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή

ίμενο 1, η οποία είναι το αποτέλεσμα αφαίρεσης του σαρωτή από ένα τρισδιάστατο ορθογώνιο αντικείμενο 2.



Σχήμα 3.33: Δημιουργία της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή

Στο σχήμα 3.33 φαίνεται η λείανση των γωνιών της βάσης με τη χρήση της εντολής fillet και η ενοποίηση τους με την χρήση της εντολής union σε τρία κομμάτια (χρώματος γκρι, πράσινο και κόκκινο/μπλε). Επίσης αφαιρέθηκε ένα κυλινδρικό σχήμα από το πράσινο αντικείμενο στο ύψος που βρίσκεται ο χώρος τροφοδοσίας του σαρωτή τόσο για λόγους αισθητικούς όσο και λειτουργικούς/χωρικούς. Στο αντικείμενο 1 βλέπουμε στο κάτω μέρος με κόκκινο τους οδηγούς για τις δύο βίδες που θα ενώνουν το πράσινο με το γκρι αντικείμενο. Στο αντικείμενο 2 φαίνονται με κίτρινο χρώμα τα αντικείμενα που θα αφαιρεθούν από το γκρι αντικείμενο ώστε να μην εξέχουν οι κεφαλές των βιδών. Στο αντικείμενο 3 φαίνεται το αποτέλεσμα της ίδιας διαδικασίας που έγινε στο κόκκινο/μπλέ αντικείμενο για την ντίζα M3.



Σχήμα 3.34: Τελικό σχέδιο της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή

Στο σχήμα 3.34 φαίνεται η βάση ολοκληρωμένη, η οποία χωρίζεται σε τρία κομμάτια ώστε να είναι δυνατό να μεταφερθεί εύκολα. Συναρμολογείται με 2 βίδες, μία ντίζα M3, δύο παξιμάδια M3 και ένα παξιμάδι τύπου «πεταλούδα» M3. Η επιτραπέζια βάση επιτρέπει το σκάνναρισμα μικρών αντικείμεμων γιατί ο σαρωτής θα μένει σταθερός σε συγκεκριμένη γωνία λήψης.

3.5 Σχέδιο τραπεζιού περιστροφής

Στη συνέχεια για το τραπέζι περιστροφής που χρειάζεται για την τοποθέτηση μικρών αντικειμένων προς σάρωση βρήκα ένα ετοίμο σχέδιο από την ιστοσελίδα thingiverse. Το αρχικό σχέδιο ανήκει στο χρήστη FalcoV το οποίο όμως δεν ταίριαζε με τα υλικά που μπορούσα να ήταν διαθέσιμα (ρουλεμαν και μοτορα). Έτσι κατέληξα στο ρεμίξ του αρχικού σχεδίου που δημιούργησε ο χρήστης ShamusTheTinker, το οποίο στη συνέχεια τροποίησα στο πρόγραμμα Meshmixer γιατί δεν ήταν διαθέσιμα ίδιας διαμέτρου ρουλεμάν με αυτά που χρειαζόταν.



Σχήμα 3.35: Σχέδιο του τραπεζιού περιστροφής

Κεφάλαιο 4

Τρισδιάστατη εκτύπωση

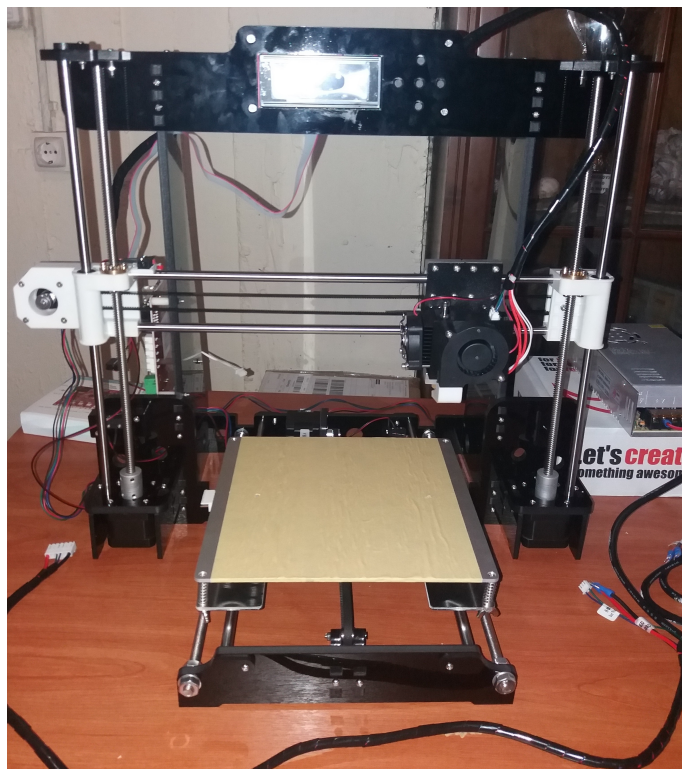
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές που χρησιμοποιήθηκαν και οι ρυθμίσεις τεμαχισμού των αντικειμένων. Αρχικά περιγράφονται τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν με τον πρώτη τρισδιάστατο εκτυπώτη. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο εκτυπωτής που επιλέχθηκε για λόγους απόδοσης και αξιοπιστίας.

4.1 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές

4.1.1 Anet A8

Αρχικά ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που επέλεξα για την περάτωση της πτυχιακής ήταν ο Anet A8 λόγω χαμηλού κόστους. Σχήμα 4.1.

Πρόκειται για μια κινεζική απομίμηση του Original Prusa i3. Ο εκτυπωτής ήρθε ως kit και αφότου τον συναρμολόγησα άρχισα να κάνω τις απαραίτητες, για λόγους ασφάλειας, αναβαθμίσεις σε hardware. Ένα από τα αρνητικά του Anet A8 είναι τα MOSFETs της πλακέτας (motherboard) γιατί δεν έχουν υπολογίσει σωστά το πόσο της ισχύος ρεύματος (current I) που θα έπρεπε να μπορούν να υποστηρίξουν. Ως αποτέλεσμα υπάρχουν καταγεγραμμένα περιστατικά που ο συγκεκριμένος εκτυπωτής έχει πάρει φωτιά, ευτυχώς χωρίς να θρηνήσουμε θύματα.



Σχήμα 4.1: Anet A8

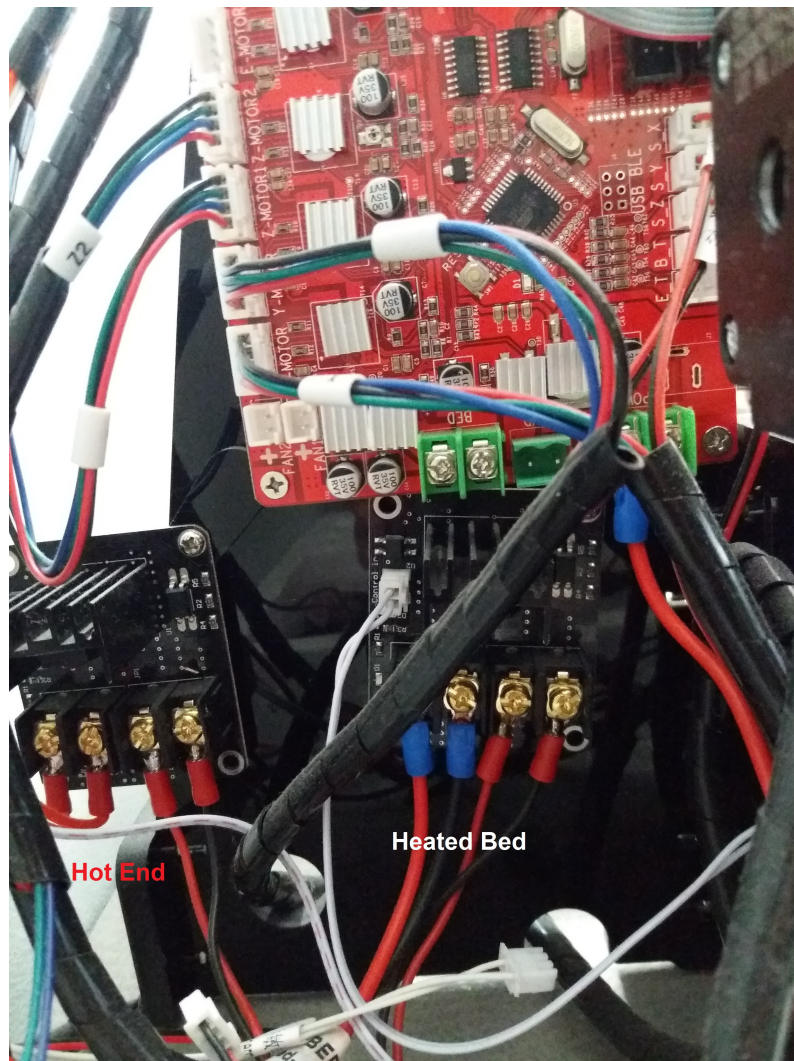


Σχήμα 4.2: Chinese Clone on fire



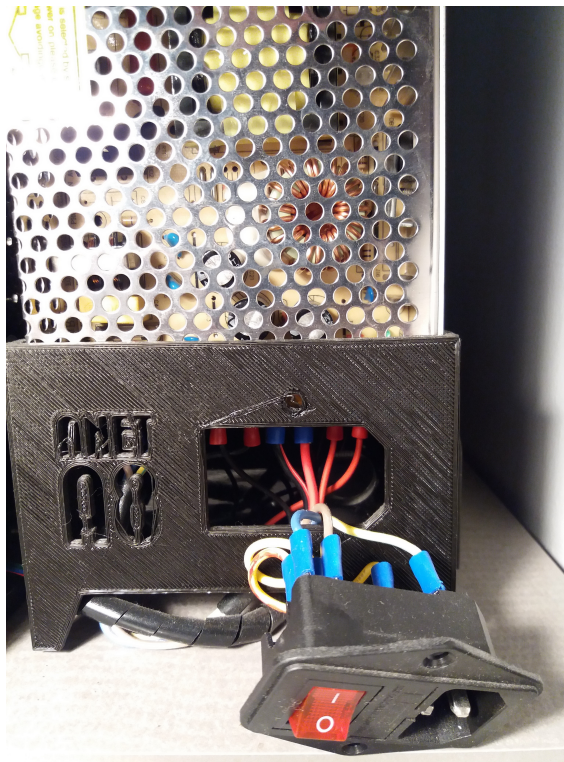
Σχήμα 4.3: Chinese Clone on fire 2

Για να αποφευχθεί αυτός ο κίνδυνος αγοράστηκαν και εγκαταστήθηκαν στον Anet A8 δύο MOSFETs, ένα για το θερμαινόμενο κρεβάτι (heated bed) και ένα για τη θερμαινόμενη κεφαλή (hot end). Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Mosfets on Anet A8

Η επόμενη αναβάθμιση hardware ήταν η εγκατάσταση ενός τρίπινου διακόπτη εναλλασόμενου ρεύματος με ασφάλεια (fuse) (3 pin IEC320 AC Module Plug Switch) μαζί με τρισδιάστατα εκτυπωμένη θήκη ώστε να καλύπτει τις επαφές του τροφοδοτικού ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Σχήμα 4.5 .



Σχήμα 4.5: IEC320 AC module plug switch on Anet A8

Το IEC320 προφέρει ευκολία στην ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του τρισδιάστατου εκτυπωτή με ένα διακόπτη. Επίσης σε περίπτωση που η τάση υπερβεί τον αριθμό των 3 Amber θα καεί η fused αντίσταση και όχι ο εκτυπωτής.

Μετά απο μερικές μέρες εκτυπώσεων κάηκε ένας οδηγός βηματικού κινητήρα (stepper motor driver) της πλακέτας, με αποτέλεσμα να μην δουλεύει ο βηματικός κινητήρας που προωθεί το υλικό του εκτυπωτή (extruder motor).

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τεμαχισμό τρισδιάστατων αντικειμένων ήταν το Ultimaker Cura και το υλικό εκτύπωσης PLA της εταιρίας Devil Design. Εκτυπώθηκε το αριστερό και δεξί μέρος της λαβής του τρισδιάστατου σαρωτή πριν χαλάσει η πλακέτα του εκτυπωτή. Ακολουθεί εικόνα του αριστερού μέρους της λαβής σχήμα 4.6

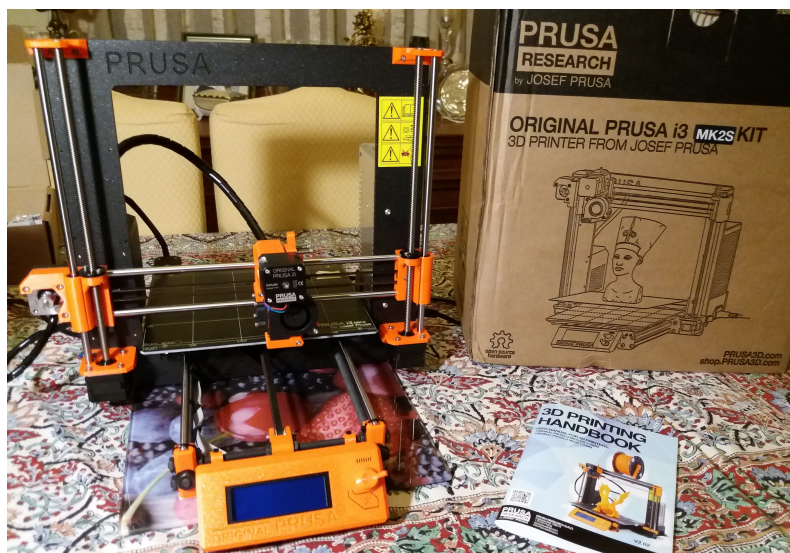


Σχήμα 4.6: Αριστερό μέρος λαβής εκτυπωμένο στον Anet A8

4.1.2 Original Prusa i3 MK2s

Στη συνέχεια αγοράστηκε ο εκτυπωτής Original Prusa i3 MK2s για λόγους αξιοπιστίας, ποιότητας τυπώματος και δυνατοτήτων. Αφού συναρμολόγησα το kit, έκανα τις απαραίτητες βαθμονομήσεις. Ο εκτυπωτής Original Prusa i3 MK2s έχει κολλημένο στο θερμενόμενο κρεβάτι ένα λεπτό φύλλο υλικού PEI, στο οποίο κολλάνε καλύτερα τα υλικά εκτύπωσης (π.χ. PLA, PETG, ABS) σε σχέση με το γυαλί που είχε ο Anet A8. Επίσης το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εκτυπωτή είναι ότι έχει αυτόματη διαδικασία βαθμονόμησης κρεβατιού auto bed leveling. Πριν κάθε τύπωμα σαρώνονται 9 σημεία στο κρεβάτι από το PINDA probe που είναι ένας αισθητήρας ανίχνευσης μετάλλου.

Επιλέχθηκε το πρόγραμμα Slic3r PE για τον τεμαχισμό των αντικειμένων γιατί προτείνεται από τον κατασκευαστή του εκτυπωτή. Κυρίως λόγος της αλλαγής προγράμματος τεμαχισμού τρισδιάστατων αντικειμένων ήταν η δυνατότητα μορφοποίησης των υποστηρίγμάτων (custom support blocker/enforcer).



Σχήμα 4.7: Original Prusa i3 MK2s

4.2 Νήματα Εκτύπωσης (διατομής 1.75 mm)

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε κυρίως ήταν το PLA γιατί τυπώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και έχει πιο χαμηλή τιμή σε σχέση με άλλα υλικά.

Η εταιρία Devil Design διαφημίζει ότι κατασκευάζει το υλικό PLA από εκατό τοις εκατό καθαρή πρώτη ύλη, χωρίς προσθήκες. Ισχυρίζεται ότι το PLA είναι βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό γιατί κατασκευάζεται από φυτικές ανανεώσιμες πηγές και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Επίσης η εταιρία υποστηρίζει ότι τα νήματα τους εξασφαλίζουν υψηλή ακρίβεια διαστάσεων, με ανοχή +/- 0.05 mm.

Η εταιρία Prusa research παράγει νήματα PLA βιοδιασπώμενα, εύκολα στο τύπωμα και με μεγάλη αντοχή. Υποστηρίζει ότι μόνο το συγκεκριμένο υλικό αποδεδειγμένα μπορεί να

τυπωθεί στα 50 microns δηλαδή 0.05 layer height. Επίσης διαφημίζει ότι το υλικό μπορεί να αντέξει επανηλημένες αυξήσεις θερμοκρασίας σε σημείο που να λιώνει με ελάχιστη παραμόρφωση. Το σημαντικότερο αρνητικό του υλικού είναι η χαμηλής θερμοκρασίας ανοχή δηλαδή τα αντικείμενα χάνουν την μηχανική τους δύναμη σε θερμοκρασίες πάνω από 60 βαθμούς Κελσίου. Για την κατασκευή του PLA χρησιμοποιούν Natureworks 4043D resin το οποίο ισχυρίζονται είναι το καλύτερο και ότι προσφέρει ανοχή +/- 0.05 mm.

4.3 Προφίλ τρισδιάστατης εκτύπωσης - Θεωρητικό υπόβραθρο

Για να τυπωθεί ο τρισδιάστατος σαρωτής χρησιμοποιήθηκε το Mk2s Pretty Pla Profile από τα προφίλ του Chris Warcocki, το οποίο προσαρμόστηκε ανάλογα για το κάθε αντικείμενο.

Τα profiles βρισκονται στο

URL https://github.com/eoprede/prusa_profiles

Ακολουθούν οι επεξηγήσεις των βασικών ρυθμίσεων που επιλέχθηκαν σε κάθε μέρος του σαρωτή:

4.4 Ρυθμίσεις τρισδιάστατης εκτύπωσης Print Settings

4.4.1 Layers and perimeters

- Layer height καθορίζει το ύψος που ανεβαίνει στον Z άξονα η μύτη (nozzle) ανά στρώση τυπώματος.
- First layer height προσαρμόζει το ύψος που θα έχει η μύτη (nozzle) για να τυπώσει το πρώτο στρώμα (first layer).
- Perimeters είναι ο αριθμός των περιμέτρων που θα έχει το αντικείμενο.
- Solid layers καθορίζουν τον αριθμό των συμπαγών στρωμάτων που τυπώνονται στο πάνω και κάτω μέρος του αντικειμένου.
- Ensure vertical shell thickness προσθέτει συμπαγή γέμισμα (solid infill) κοντά σε κεκλιμένες επιφάνειες για να εγγυηθεί το σωστό κάθετο (δηλαδή στον Z άξονα) πάχος του αντικειμένου.
- Detect thin walls ανιχνεύει τοιχώματα μονού πλάτους δηλαδή μέρη που δεν χωράνε δύο εξωθήσεις υλικού και πρέπει να γίνουν μία.
- Detect bridging perimeters προσαρμόζει την ροή του υλικού (PLA) για τις προεξοχές (overhangs), την ταχύτητα τυπώματος και ενεργοποιεί τον ανεμιστήρα που ψύχει το υλικό.
- Seam position είναι η θέση των σημείων εκκίνησης των περιμέτρων του αντικειμένου.

4.4.2 Infill

- Fill density είναι η πυκνότητα του εσωτερικού γεμίματος, που εκφράζεται σε ποσοστό τοις εκατό.
- Fill pattern είναι η διάταξη (σχήμα) για χαμηλής πυκνότητας γεμίματα.
- Top/bottom fill patterns είναι η διάταξη (σχήμα) για τα πάνω και κάτω στρώματα (layers) του αντικειμένου. Η συγκεκριμένη μεταβλητή επιρεάζει μόνο τα εξωτερικά στρώματα του αντικειμένου που είναι ορατά.
- Combine infill every επιτρέπει να συνδιάξεις στρώματα γεμίματος ώστε να επιταχύνεις την εκτύπωση εξωθώντας υλικό ανά αριθμό στρώσεων καθώς διατηρούνται οι λεπτές περιμέτροι για να είναι ακριβής οι διαστάσεις.
- Fill angle καθορίζει τον προσανατολισμό/γωνία του γεμίματος.

4.4.3 Skirt and brim

- Loops είναι ο αριθμός επαναλήψεων για το πλαίσιο (skirt) γύρω από το αντικείμενο. Συνήθως χρησιμοποιείται για να αρχικοποιήσουμε τη μύτη.
- Distance from object είναι η απόσταση που θα έχει το πλαίσιο (skirt) από το αντικείμενο.
- Skirt height καθορίζει πόσα στρώματα (layers) θα έχει το πλαίσιο.
- Minimal filament extrusion length παράγει τόσα πλαίσια όσα χρειάζεται για να καταναλώσει το συγκεκριμένο ποσό υλικού στο κατώτερο στρώμα (bottom layer).
- Brim width καθορίζει το οριζόντιο πλάτος του μπορ (brim) που θα τυπωθεί κολλητά και γύρω από το αντικείμενο.

4.4.4 Support material

- Generate support material ενεργοποιεί την γενήτρια των υποστηρίγμάτων του προγράμματος.
- Auto generated supports παράγει αυτόματα υποστηρίγματα ανάλογα με τον αριθμό του overhang threshold.
- Overhang threshold καθορίζει την γωνία που θα δημιουργηθούν υποστηρίγματα. Αυτή η τιμή αναπαριστά την πιο οριζόντια κλίση (μετρημένη από το οριζόντιο επίπεδο) που μπορείς να τυπώσεις χωρίς υποστηρίγματα.
- Enforce support for the first παράγει υποστηρίγματα για συγκεκριμένο αριθμό στρώσεων (layers) από το κρεβάτι, αναξάρτητα από το αν είναι ενεργοποιημένα τα υποστηρίγματα και τον αριθμό κλίσης. Χρησιμοποιείται για καλύτερη προσκόλληση των αντικειμένων με πολύ μικρή επιφάνεια στο κρεβάτι.

- Contact Z distance είναι ο αριθμός που εκφράζει την απόσταση των υποστηρίγματα από το αντικείμενο.
- Pattern είναι η διάταξη (σχήμα) που θα έχουν τα υποστηρίγματα.

4.4.5 Speed

- Perimeters καθορίζει την ταχύτητα που κινείται η μύτη (extruder) για να τυπώσει τις περιμέτρους του αντικειμένου.
- Small perimeters επιρεάζει την ταχύτητα των εκτύπωσης περιμέτρων που έχουν ακτίνα μικρότερη ή ίση των 6.5 mm, συνήθως χρησιμοποιείται για τρύπες.
- External perimeters καθορίζει την ταχύτητα των εκτύπωσης εξωτερικών περιμέτρων που είναι ορατές.
- Infill είναι ο αριθμός που εκφράζει την ταχύτητα για να τυπωθεί το εσωτερικό γέμισμα.
- Solid infill καθορίζει την ταχύτητα εκτύπωσης των συμπαγών περιοχών του αντικειμένου.
- Top solid infill καθορίζει την ταχύτητα εκτύπωσης για τα πάνω στρώματα (layers) του αντικειμένου. Εφαρμόζεται μόνο στα ψηλότερα εξωτερικά στρώματα και όχι στα εσωτερικά.
- Support material εκφράζει την ταχύτητα εκτύπωσης των υποστηρίγμάτων.
- Support material interface επιρεάζει την ταχύτητα εκτύπωσης των ιντερφάσε λαφερς.
- Bridges καθορίζει την ταχύτητα εκτύπωσης των στρωμάτων που δεν έχουν υλικό στο ακριβώς από κάτω στρώμα οπότε είναι σαν να τυπώνονται στον αέρα.
- Gap fill είναι η ταχύτητα εκτύπωσης των μικρών κενών χρησιμοποιώντας κίνηση γεωμετρικού μοτίβου ζικ ζακ.
- Travel είναι η ταχύτητα που κινείται η μύτη (extruder) όταν δεν εξωθεί υλικό ενώ τυπώνει. Πιο συγκεκριμένα η κίνηση που καλύπτει η μύτη ανάμεσα στην απόσταση σημείων εξώθισης υλικού.
- First layer speed εκφράζει την απόλυτη ταχύτητα εκτύπωσης στο πρώτο στρώμα (layer), που εφαρμόζεται σε όλες τις κινήσεις ανεξάρτητα από τον τύπο τους.

4.5 Ρυθμίσεις υλικού Filament Settings

4.5.1 Filament

- Diameter είναι η μεταβλητή που καθορίζει την διάμετρο του υλικού.

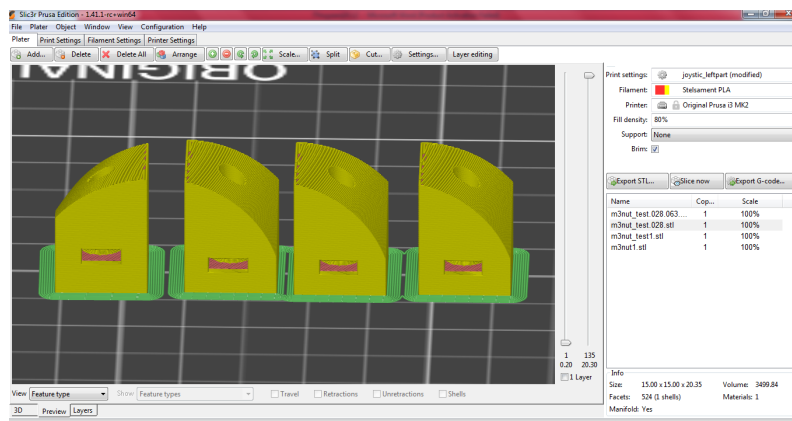
- Extrusion multiplier αλλάζει την ποσότητα εξώθησης υλικού αναλογικά.
- Density είναι ο αριθμός πυκνότητας του υλικού.
- Στο temperature βρίσκονται οι ρυθμίσεις για την θερμοκρασία, μεταβλητές extruder και bed για το πρώτο στρώμα (first layer) και για τα άλλα στρώματα (other layers).

4.5.2 Cooling

- Keep fan always on εάν ενεργοποιηθεί ο ανεμιστήρας που ψύχει το υλικό δουλεύει συνεχόμενα έστω και στη χαμηλή ταχύτητα. Χρήσιμο για υλικό τύπου PLA.
- Enable auto cooling ενεργοποιεί την αυτοματοποιημένη λογική ψύξης που ρυθμίζει την ταχύτητα τυπώματος και την ταχύτητα του ανεμιστήρα σε σχέση με το χρόνο τυπώματος του στρώματος.
- Fan speed ορίζει την μικρότερη και μεγαλύτερη ταχύτητα που θα έχει ο ανεμιστήρας.
- Bridges fan speed αυτή η ταχύτητα ανεμιστήρα εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια που τυπώνονται bridges και overhangs.
- Disable fan for the first απενεργοποιεί τον ανεμιστήρα για τον αριθμό των στρωμάτων που ορίζει ο χρήστης. Χρήσιμο για καλύτερη προσκόλληση του υλικού στο κρεβάτι (bed).

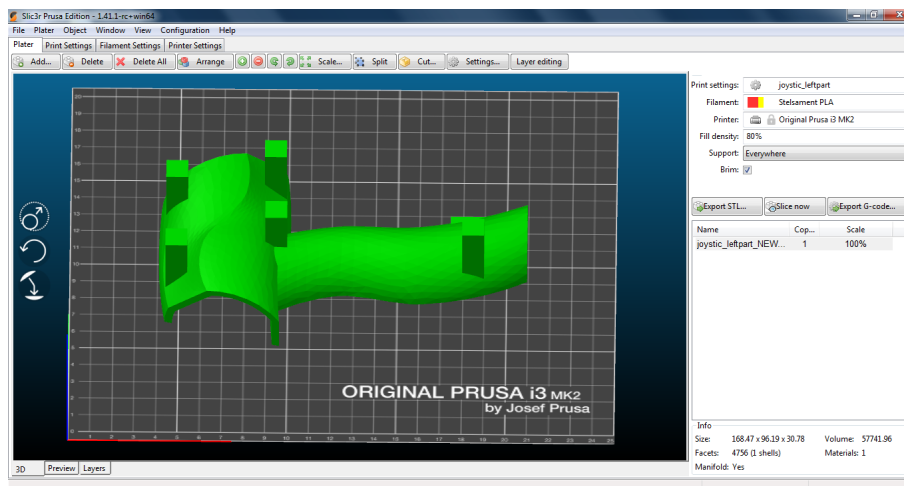
4.6 Slic3r PE - Πρακτικό μέρος

Αρχικά τυπώθηκαν οι οπές για τις βίδες και τα παξιμάδια ώστε να τεσταριστούν οι διαστάσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν πραγματοποιηθεί ένα πολύωρο τύπωμα πρέπει πάντα να τεστάρονται σημεία του αντικειμένου τόσο για τη σωστή διαστασιολόγηση όσο και για την ίδια την σχεδίαση. Η παραμετρική σχεδίαση προσφέρει την δυνατότητα για εύκολη και γρήγορη αλλαγή διαστάσεων και οπών. Σχήμα 4.8



Σχήμα 4.8: Δοκιμαστική εκτύπωση-έλεγχος διαστάσεων των οπών για τα παξιμάδια μεγέθους M3

Στο σχήμα 4.9 βλέπουμε το αριστερό μέρος της λαβής μαζί με τα custom support blocker που δημιουργήθηκαν ώστε να μην χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα υποστηρίγματα στις οπές για τα παξιμάδια M3 και στις εσοχές για τα κεφάλια των βιδών M3. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται πως τοποθετήθηκαν τα custom support blockers.



Σχήμα 4.9: Slic3r PE αριστερή λαβή

4.6.1 Τύπωμα λαβής

Ακολουθούν οι ρυθμίσεις για το αριστερό μέρος της λαβής στο πρόγραμμα Slic3r PE έκδοση 1.41.1 με υλικό Devil Design PLA χρώματος μαύρου.

Πίνακας 4.1: Layers and Perimeters

Layer Height	
Layer height	0.15mm
First layer height	0.2mm
Vertical Shells	
Perimeters	4
Spiral Vase	0
Horizontal Shell	
Solid layers	Top 7
	Bottom 5
Quality (slower slicing)	
Extra perimeters if needed	0
Ensure vertical shell thickness	1
Avoid crossing perimeters	0
Detect thin walls	0
Detect bridging perimeters	1
Advanced	
Seam position	Nearest
External perimeters first	0

Η επιλογή του 0.15 mm στο layer height μας δίνει καλύτερη ευκρίνεια στο τύπωμα χωρίς να αυξηθεί δραματικά ο χρόνος εκτύπωσης. Με τη χρήση 4 περιμέτρων αυξάνεται η στιβαρότητα του τυπώματος και κατα συνέπεια η αντοχή του. Λόγω της καμπυλότητας της λαβής στο πάνω μέρος της, γίνεται η επιλογή των 7 top solid layers έτσι ώστε να εχούμε μεγαλύτερη ευκρίνεια και αντοχή. Με την ενεργοποίηση του ensure vertical thickness διατηρούμε το πάχος του αντικειμένου στον Z άξωνα.

Πίνακας 4.2: Infill

Infill	
Fill density	80 %
Fill pattern	Cubic
Top/bottom fill pattern	Rectilinear
Reducing printing time	
Combine infill every	1 layer
Advanced	
Fill angle	45 degrees

Πίνακας 4.3: Skirt and Brim

Skirt	
Loops (minimum)	0
Distance from object	2 mm
Skirt height	3 layers
Minimal filament extrusion length	4 mm
Brim	
Brim width	3 mm

Το 80% fill density σε συνδιασμό με το cubic fill pattern έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ στηβαρό αντικείμενο.

Με τη χρήση του Brim width αυξάνουμε την προσκόλληση του αντικειμένου στο κρεβάτι που στη περίπτωση της λαβής είναι απαραίτητο.

Η ενεργοποίηση των υποστηρίγματα με κλίση 18 μοίρες έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθούν υποστηρίγματα μόνο στα σημεία που χρειάζονται και όχι σε όλο σχεδόν το αντικείμενο.

Στο bed temperature επιλέχθηκε η θερμοκρασία 55 βαθμοί κελσίου γιατί το αντικείμενο έχει λεπτά τοιχώματα τα οποία μπορούν να ξεκολλήσουν απ το κρεβάτι σε συνδιασμό με την θερμοκρασία του δωματίου που είναι ο εκτυπωτής. Αυτό το φαινόμεν ονομάζεται warp.

Πίνακας 4.4: Support material

Support material	
Generate support material	1
Auto generated supports	1
Overhang threshold	18 degrees
Enforce support for the first	0 layers
Options for support material and raft	
Contact Z distance	0.1 mm
Pattern	Rectilinear

Πίνακας 4.5: Speed

Speed for print moves	
Perimeters	50 mm/s
Small perimeters	25 mm/s
External perimeters	40 mm/s
Infill	60 mm/s
Solid infill	50 mm/s
Top solid infill	40 mm/s
Support material	50 mm/s
Support material interface	100 %
Bridges	20 mm/s
Gap fill	40 mm/s
Speed for non-print moves	
Travel	180 mm/s
Modifiers	
First layer speed	20 mm/s

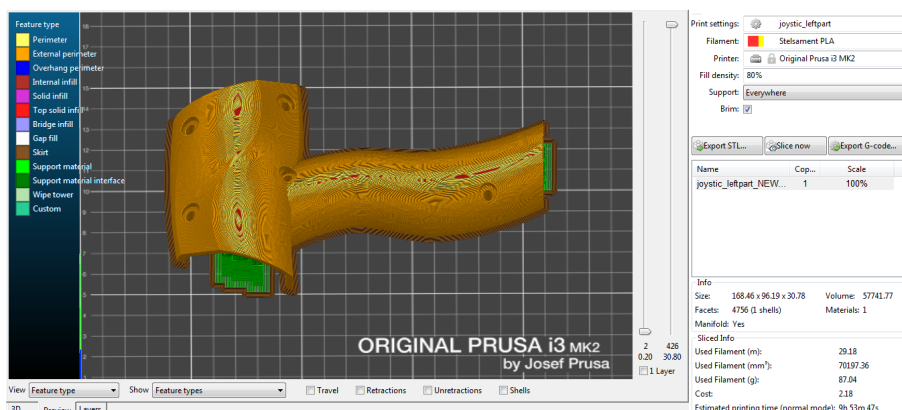
Πίνακας 4.6: Filament

Filament			
Diameter		1.75 mm	
Extrusion multiplier		1	
Density		1.25 g/cm ²	
Cost		25 money/kg	
Temperature			
Extruder	First layer	215	Other layers 210
Bed	First layer	55	Other layers 55

Πίνακας 4.7: Cooling

Enable	
Keep fan always on	1
Enable auto cooling	1
Fan settings	
Fan speed	Min 100 %
	Max 100 %
Bridges fan speed	100 %
Disable fan for the first	1 layer

Για το υλικό PLA χρειάζεται το ανεμιστηράκι που φύχει το υλικό να είναι πάντα σε λειτουργία εκτός από την πρώτη στρώση.



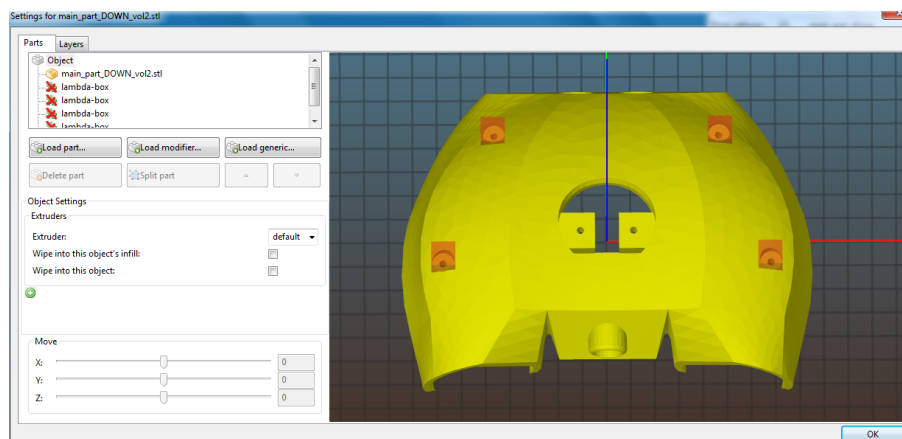
Σχήμα 4.10: Το αριστερό μέρος της λαβής αφότου έχει τεμαχίσει για την εξαγωγή του g-code. Χρειάστηκε 9 ώρες και 53 λεπτά για να τυπωθεί



Σχήμα 4.11: Το αριστερό μέρος της λαβής αφότου τυπώθηκε

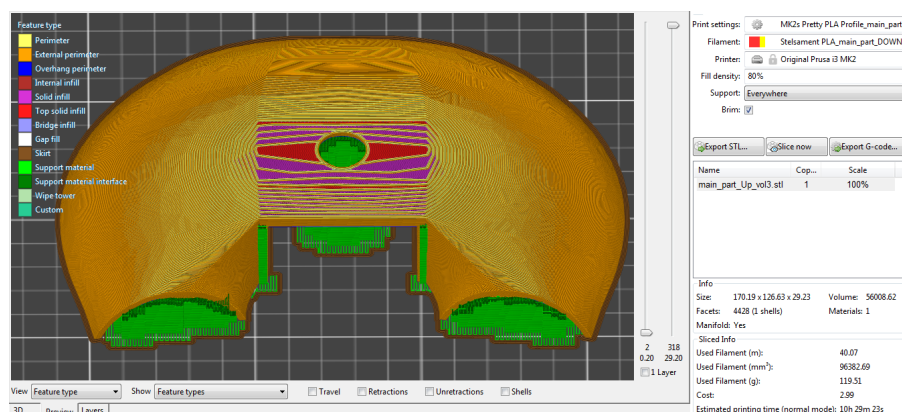
Το δεξί μέρος της λαβής τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.1 4.3 4.4 4.5 4.6 4.7 και χρησιμοποιήθηκε το ίδιο υλικό. Δημιουργήθηκαν custom support blocker ώστε να μην χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα υποστηρίγματα στις οπές για τα παξιμάδια M3 και στις εσοχές για τις βίδες M3.

4.6.2 Τύπωμα του κύριου μέρους



Σχήμα 4.12: Το κάτω μέρος του σαρωτή με τα custom support blockers

Το πάνω μέρος του σαρωτή τυπώθηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7. Σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13: Το κάτω μέρος του σαρωτή μετά την εξαγωγή του g-code

Στο σχήμα 4.13 φαίνεται το ολοκληρωμένο τύπωμα του κάτω μέρους του σαρωτή. Χρειάστηκε 1 ώρα και 20 λεπτά λιγότερο από την πρόβλεψη του προγράμματος, αυτό οφείλεται στο ηγην μωδε που λειτουργεί ο εκτυπωτής.

Το πάνω μέρος του σαρωτή τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7. Τυπώθηκε με νήμα Devil Design PLA. Σχήμα 4.16.

4.6.3 Τύπωμα της θήκης για την gopro

Η θήκης της κάμερας τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7. Με μικρές διαφορές στους πίνακες 4.11 4.6. Σχήμα 4.18.

Οι διαφορές ήταν η τιμή του overhang threshold που έγινε 18 degrees, η θερμοκρασία του κρεβατιού στο πρώτο στρώμα που έγινε 60 βαθμούς κελσίου και η τιμή του Contact Z

Πίνακας 4.8: Layers and Perimeters

Layer Height	
Layer height	0.2mm
First layer height	0.2mm
Vertical Shells	
Perimeters	3
Spiral Vase	0
Horizontal Shell	
Solid layers	Top 5
	Bottom 4
Quality (slower slicing)	
Extra perimeters if needed	0
Ensure vertical shell thickness	0
Avoid crossing perimeters	0
Detect thin walls	1
Detect bridging perimeters	1
Advanced	
Seam position	Aligned
External perimeters first	0

Πίνακας 4.9: Infill

Infill	
Fill density	80 %
Fill pattern	Cubic
Top/bottom fill pattern	Rectilinear
Reducing printing time	
Combine infill every	1 layer
Advanced	
Fill angle	45 degrees

Πίνακας 4.10: Skirt and Brim

Skirt	
Loops (minimum)	0
Distance from object	2 mm
Skirt height	3 layers
Minimal filament extrusion length	4 mm
Brim	
Brim width	2 mm

Πίνακας 4.11: Support material

Support material

Generate support material	1
Auto generated supports	1
Overhang threshold	50 degrees
Enforce support for the first	0 layers

Options for support material and raft

Contact Z distance	0.15 mm
Pattern	Rectilinear

Πίνακας 4.12: Speed

Speed for print moves

Perimeters	60 mm/s
Small perimeters	20 mm/s
External perimeters	24 mm/s
Infill	80 mm/s
Solid infill	80 mm/s
Top solid infill	50 mm/s
Support material	50 mm/s
Support material interface	100 %
Bridges	60 mm/s
Gap fill	40 mm/s

Speed for non-print moves

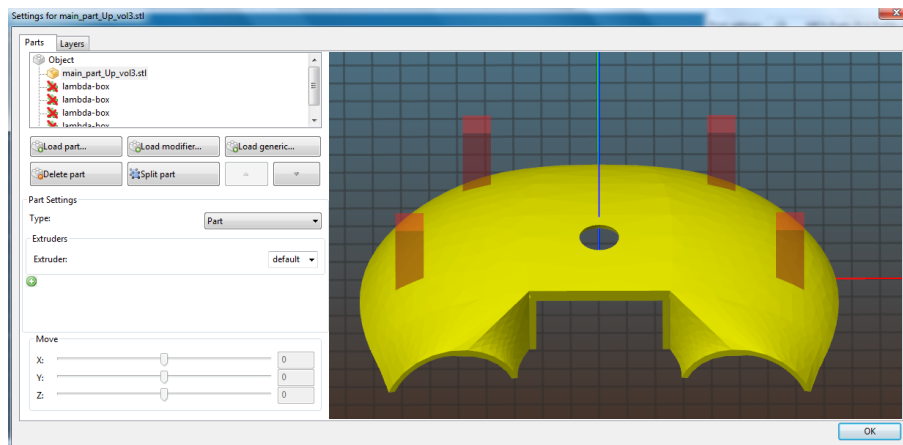
Travel	180 mm/s
--------	----------

Modifiers

First layer speed	20 mm/s
-------------------	---------

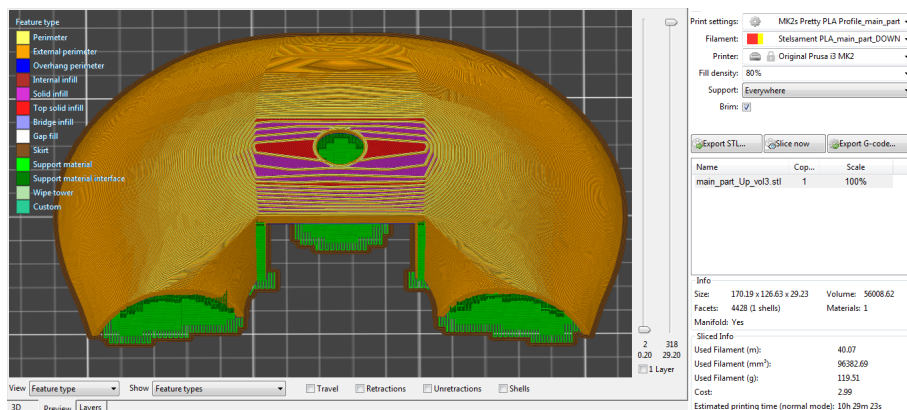


Σχήμα 4.14: Το κάτω μέρος του σαρωτή αφού τυπώθηκε

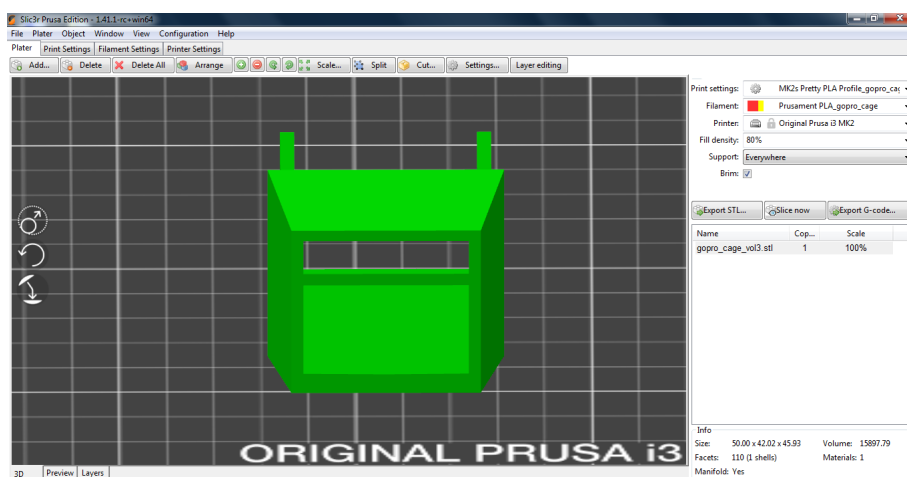


Σχήμα 4.15: Το πάνω μέρος του σαρωτή με τα custom support blocker

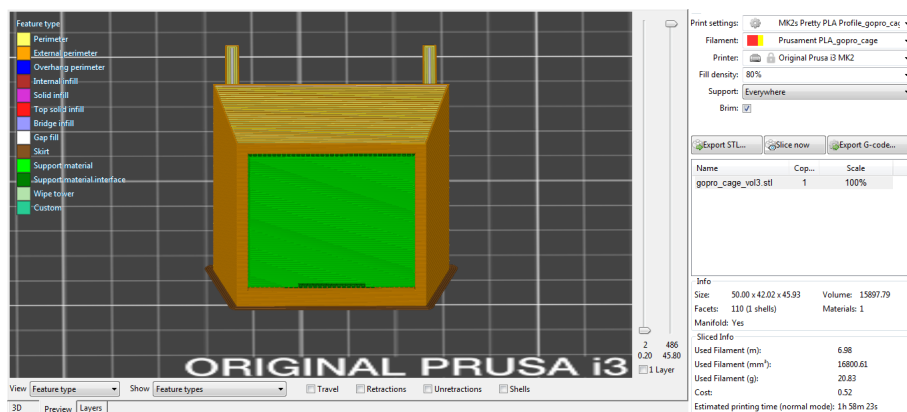
distance έγινε 0.2 mm για να ξεκολλήσουν εύκολα τα υποστηρίγματα. Τυπώθηκε με νήμα Devil Design PLA.



Σχήμα 4.16: Το πάνω μέρος του σαρωτή αφότου έχει τεμαχίσει για την εξαγωγή του g-code. Χρειάστηκε 10 ώρες και 29 λεπτά για να τυπωθεί.

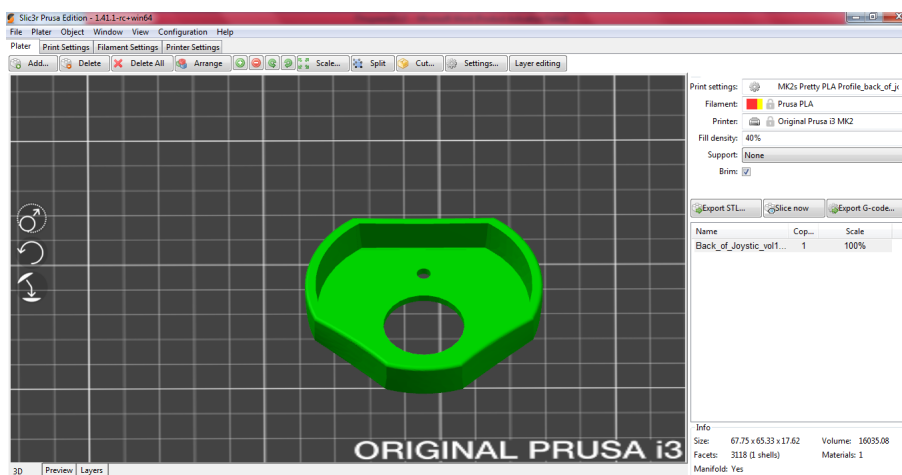


Σχήμα 4.17: Η θήκη της gopro στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.41.1



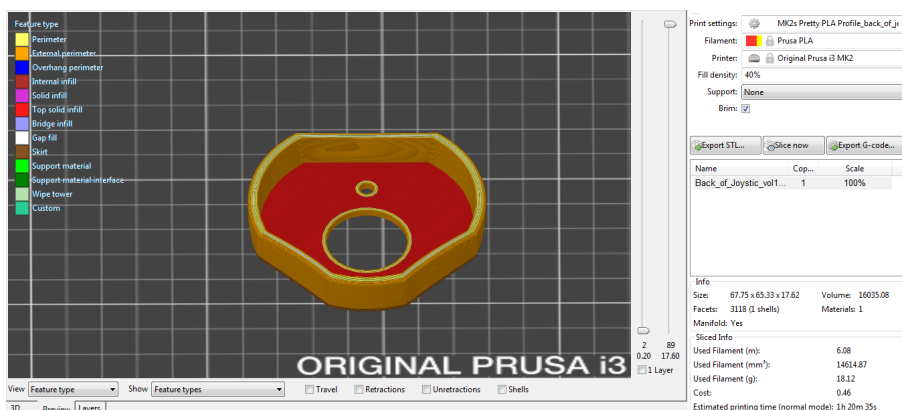
Σχήμα 4.18: Η θήκη της gopro χρειάστηκε 1 ώρα και 58 λεπτά για να τυπωθεί

4.6.4 Τύπωμα του χώρου τροφοδοσίας



Σχήμα 4.19: Το πίσω μέρος/καπάκι της λαβής στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.41.1

Το καπάκι της λαβής τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7. Σχήμα 4.20.

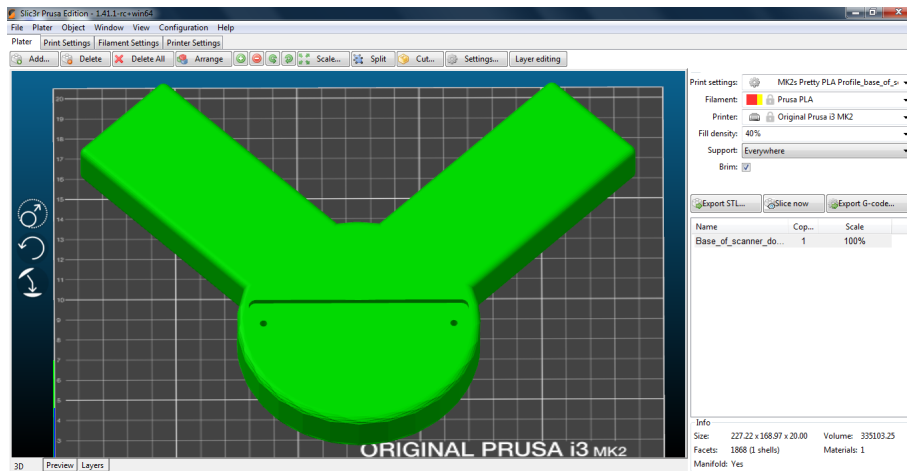


Σχήμα 4.20: Το πίσω μέρος/καπάκι της λαβής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 1 ώρα και 20 λεπτά για να τυπωθεί.

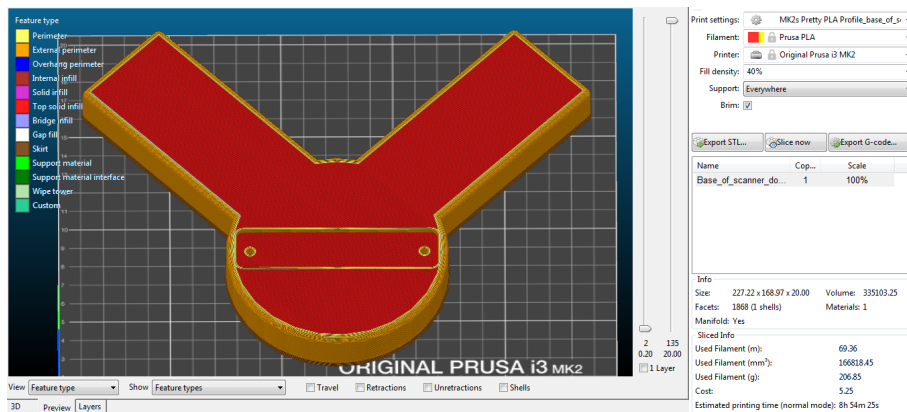
4.6.5 Τύπωμα της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή

Το κάτω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7. Χρησιμοποιήθηκε το υλικό Prusa Research PLA. Σε σύγκριση των δύο υλικών PLA που χρησιμοποιήθηκαν καλύτερη ποιότητα και απόδοση είχε το Prusa Research PLA. Σχήμα 4.22.

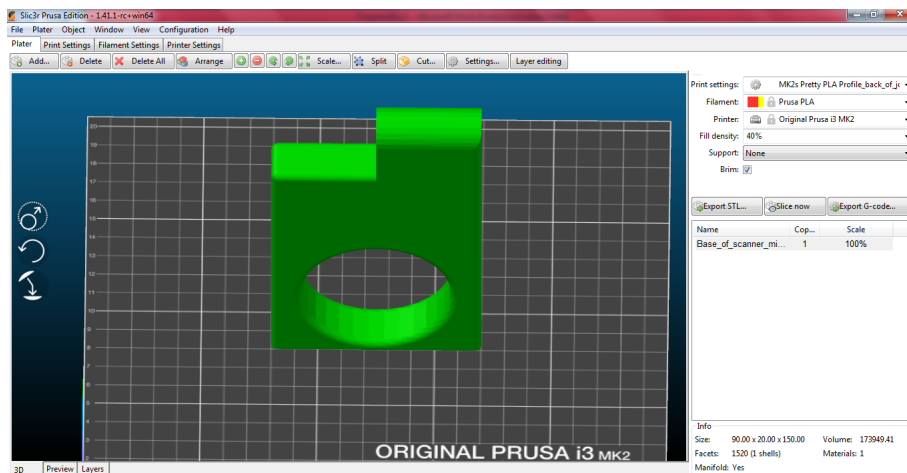
Το μεσαίο μέρος της βάσης τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7 με αλλαγές. Χρησιμοποιήθηκε το υλικό Prusa Research PLA. Οι διαφορές ήταν στην τιμή του Overhang threshold που αλλάχθηκε σε 15 degrees και του Contact Z distance που έγινε 0.2 mm.



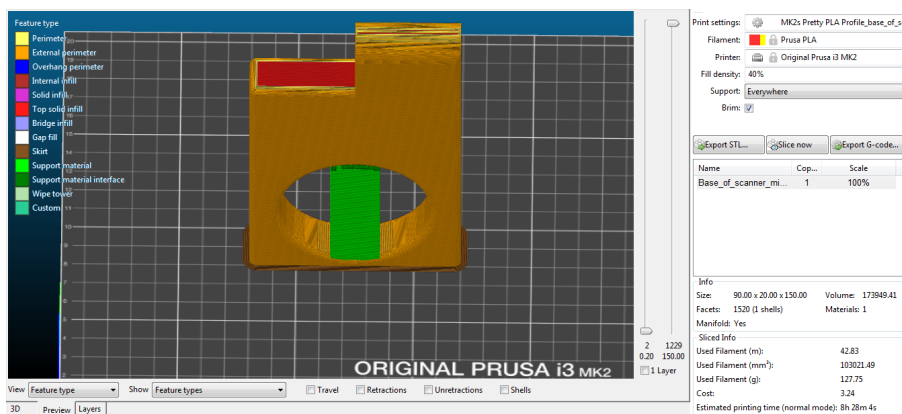
Σχήμα 4.21: Το κάτω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή



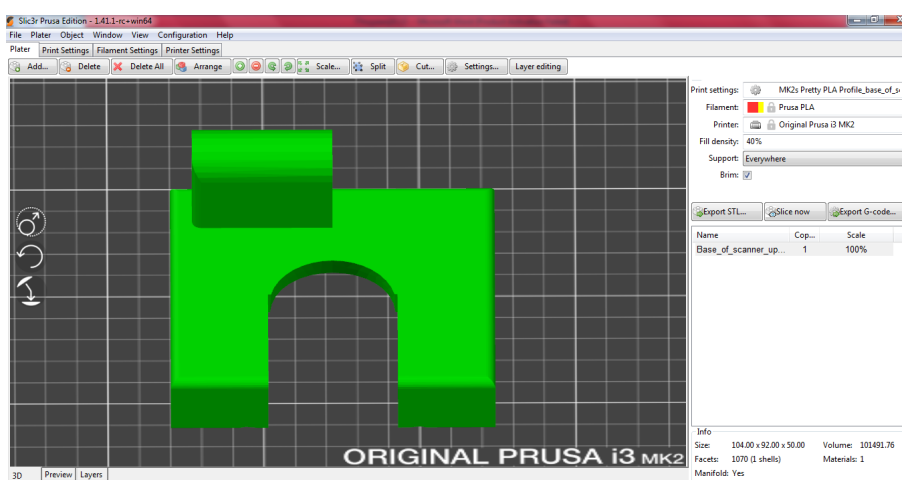
Σχήμα 4.22: Το κάτω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή μετά την εξαγωγή g-code, 8 ώρες και 54 λεπτά για να τυπωθεί.



Σχήμα 4.23: Το μεσαίο μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή



Σχήμα 4.24: Το μεσαίο μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 8 ώρες και 54 λεπτά για να τυπωθεί



Σχήμα 4.25: Το πάνω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή

Το πάνω μέρος της βάσης τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις του 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12 4.6 και 4.7 με αλλαγές με διαφορές το Overhang threshold που είχε τιμή 28 degrees και του Contact Z distance που έγινε 0.2 mm. Χρησιμοποιήθηκε το νήμα Prusa Research PLA.

4.6.6 Τύπωμα των διαχυτήρων diffusers

Στο σχήμα 4.27 φαίνεται ο ένας από τους δύο διαχυτήρες (diffusers) που τυπώθηκε με υλικό PETG, το οποίο έχει μεγαλύτερη αντοχή στη θερμοκρασία. Οι διαχυτήρες τεμαχίστηκαν με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.13 4.14 4.15 4.16 4.17 4.18 και 4.19.

Το PETG χρειάζεται μεγαλύτερη θερμοκρασία για να τυπωθεί σε σύγκριση με το PLA. Στο extruder temperature η θερμοκρασία ορίστηκε 240 βαθμού κελσίου για το πρώτο στρώμα και 235 για τα υπόλοιπα στρώματα ώστε να ψύχεται γρηγορότερα το υλικό. Στο bed temperature επιλέχθηκε η θερμοκρασία 80 με 75 βαθμοί κελσίου γιατί το υλικό χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες για να κολλήσει στο κρεβάτι. Για να γίνει διαφανής ο διαχυτήρας χρησιμοποιείται η τιμή 1.2 στο extrusion multiplier ώστε να υπερεξάγει υλικό το ακροφύσιο και να ενωθούν

Πίνακας 4.13: Layers and Perimeters

Layer Height	
Layer height	0.2mm
First layer height	0.2mm
Vertical Shells	
Perimeters	3
Spiral Vase	0
Horizontal Shell	
Solid layers	Top 6
	Bottom 4
Quality (slower slicing)	
Extra perimeters if needed	0
Ensure vertical shell thickness	1
Avoid crossing perimeters	0
Detect thin walls	1
Detect bridging perimeters	1
Advanced	
Seam position	Aligned
External perimeters first	0

Πίνακας 4.14: Infill

Infill	
Fill density	100 %
Fill pattern	Rectilinear
Top/bottom fill pattern	Rectilinear
Reducing printing time	
Combine infill every	1 layer
Advanced	
Fill angle	45 degrees

Πίνακας 4.15: Skirt and Brim

Skirt	
Loops (minimum)	0
Distance from object	2 mm
Skirt height	3 layers
Minimal filament extrusion length	4 mm
Brim	
Brim width	0 mm

Πίνακας 4.16: Support material

Support material

Generate support material	1
Auto generated supports	1
Overhang threshold	45 degrees
Enforce support for the first	0 layers
Options for support material and raft	
Contact Z distance	0.1 mm
Pattern	Rectilinear

Πίνακας 4.17: Speed

Speed for print moves

Perimeters	80 mm/s
Small perimeters	20 mm/s
External perimeters	40 mm/s
Infill	80 mm/s
Solid infill	60 mm/s
Top solid infill	40 mm/s
Support material	60 mm/s
Support material interface	100 %
Bridges	30 mm/s
Gap fill	40 mm/s

Speed for non-print moves

Travel	120 mm/s
--------	----------

Modifiers

First layer speed	15 mm/s
-------------------	---------

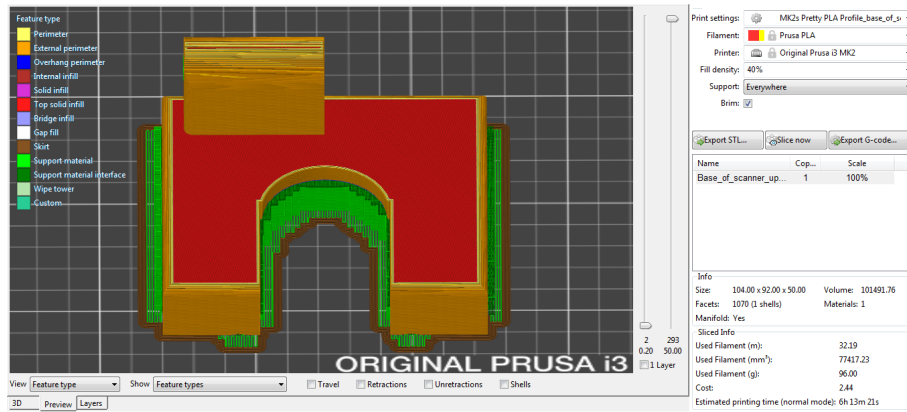
Πίνακας 4.18: Filament

Filament

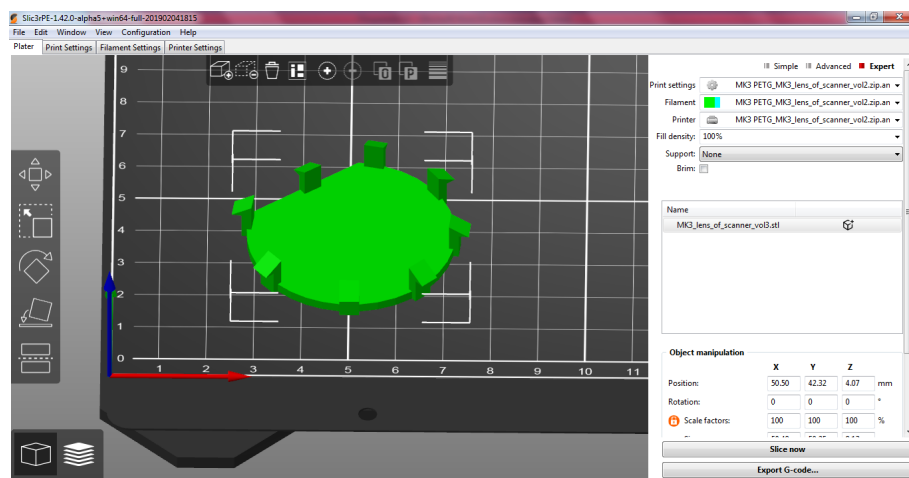
Diameter	1.75 mm
Extrusion multiplier	1.2
Density	1.25 g/cm ²
Cost	25 money/kg

Temperature

Extruder	First layer	240	Other layers	235
Bed	First layer	80	Other layers	75

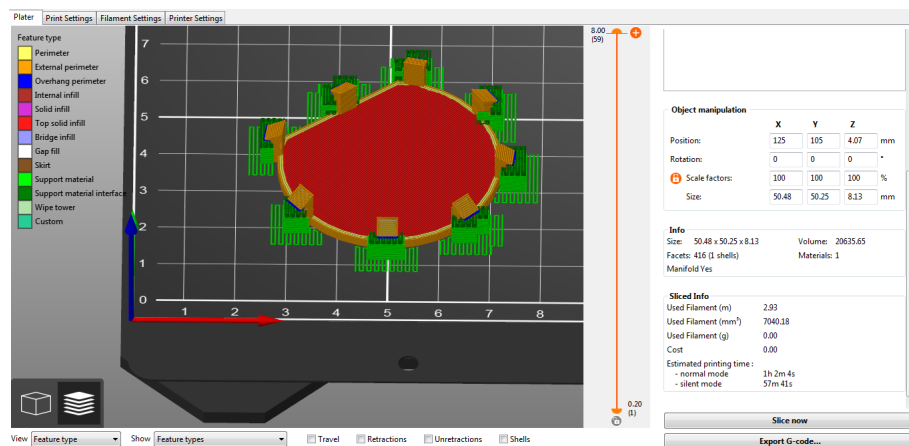


Σχήμα 4.26: Το πάνω μέρος της επιτραπέζιας βάσης του σαρωτή μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 6 ώρες και 13 λεπτά για να τυπωθεί.



Σχήμα 4.27: Διαχυρήρας στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.42.0

τα στρώματα.



Σχήμα 4.28: Οι διαχυτήρας μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκαν 1 ώρα για να τυπωθούν.

Πίνακας 4.19: Cooling

Enable

Keep fan always on 1

Enable auto cooling 1

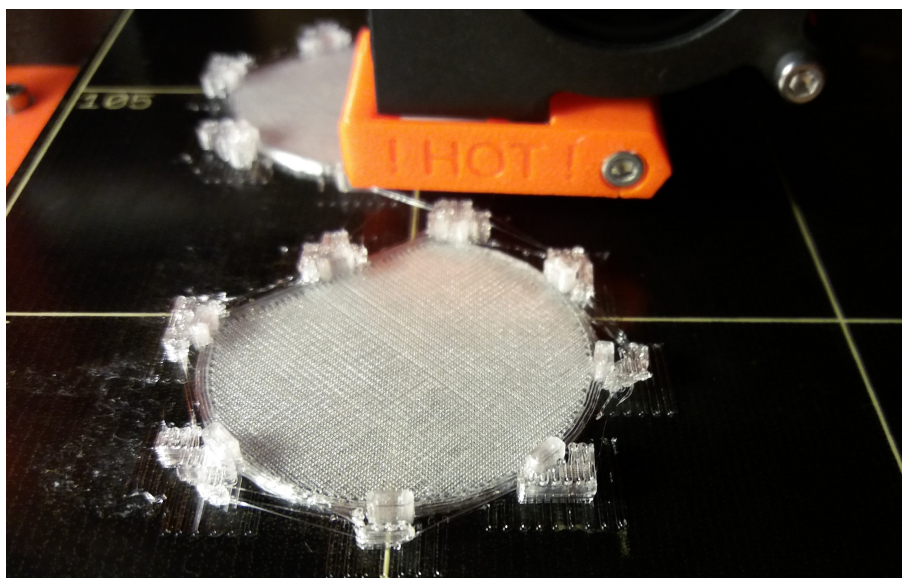
Fan settings

Fan speed Min 50 %

Max 60 %

Bridges fan speed 70 %

Disable fan for the first 3 layers

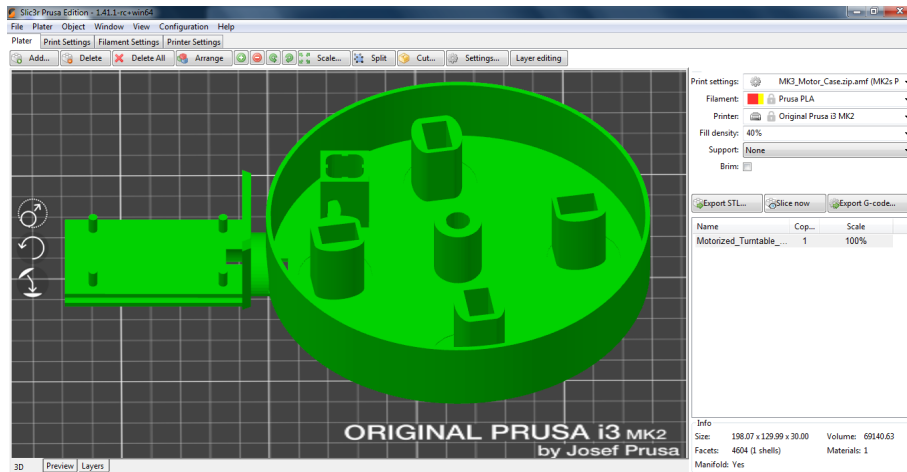


Σχήμα 4.29: Οι διαχυτήρες μετά το τύπωμα

Στο σχήμα 4.29 φαίνονται οι διαχυτήρες τυπωμένοι, χρησιμοποιήθηκε κόλλα στο κρεβάτι για να μπορούν να ξεκολλήσουν τα αντικείμενα από το κρεβάτι. Το PETG αναπτύσει ισχυρό δεσμό με το PEI σε σημείο που γίνεται ένα. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το EasyPrint PETG της εταιρίας Prima creator σε χρώμα διάφανο.

4.6.7 Τύπωμα βάσης του τραπέζιου περιστροφής

Στην συνέχεια τυπώθηκαν τα κομμάτια για το τραπέζι περιστροφής (turning table). Κάποια από τα εξαρτήματα (π.χ. ρουλεμαν, κινητήρας) δεν βρέθηκαν στην Ελλάδα, έτσι χρειάστηκε επεξεργασία για κάποια κομμάτια ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν σωστά. Σχήμα 4.30.



Σχήμα 4.30: Η βάση του τραπέζιου περιστροφής

Στο σχήμα 4.30 φαίνεται η βάση του τραπέζιου περιστροφής. Το μέγεθος της βάσης αυξήθηκε μόνο στον Z άξονα κατά 20% στο πρόγραμμα Slic3r PE 1.41.1. Εκτυπώθηκε με γκρι Prusa Research PLA. Η βάση του τραπέζιου περιστροφής τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26.



Σχήμα 4.31: Η βάση του τραπέζιου περιστροφής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 6 ώρες και 42 λεπτά για να τυπωθεί.

4.6.8 Τύπωμα βάσεων ρουλεμάν (τραπέζι περιστροφής)

Στο σχήμα 4.32 φαίνεται η βάση των ρουλεμάν που επεξεργάστηκε για να αυξηθεί το ύψος του κατά 5 χιλιοστά. Η επεξεργασία φαίνεται με το πρασινοπό χρώμα στη βάση του

Πίνακας 4.20: Layers and Perimeters

Layer Height	
Layer height	0.2mm
First layer height	0.2mm
Vertical Shells	
Perimeters	3
Spiral Vase	0
Horizontal Shell	
Solid layers	Top 5
	Bottom 4
Quality (slower slicing)	
Extra perimeters if needed	0
Ensure vertical shell thickness	0
Avoid crossing perimeters	0
Detect thin walls	1
Detect bridging perimeters	1
Advanced	
Seam position	Aligned
External perimeters first	0

Πίνακας 4.21: Infill

Infill	
Fill density	40 %
Fill pattern	Grid
Top/bottom fill pattern	Rectilinear
Reducing printing time	
Combine infill every	1 layer
Advanced	
Fill angle	45 degrees

Πίνακας 4.22: Skirt and Brim

Skirt	
Loops (minimum)	0
Distance from object	2 mm
Skirt height	3 layers
Minimal filament extrusion length	4 mm
Brim	
Brim width	3 mm

Πίνακας 4.23: Support material

Support material

Generate support material	1
Auto generated supports	1
Overhang threshold	45 degrees
Enforce support for the first	0 layers
Options for support material and raft	
Contact Z distance	0.2 mm
Pattern	Rectilinear

Πίνακας 4.24: Speed

Speed for print moves

Perimeters	60 mm/s
Small perimeters	20 mm/s
External perimeters	24 mm/s
Infill	80 mm/s
Solid infill	80 mm/s
Top solid infill	50 mm/s
Support material	50 mm/s
Support material interface	100 %
Bridges	60 mm/s
Gap fill	40 mm/s
Speed for non-print moves	
Travel	100 mm/s
Modifiers	
First layer speed	20 mm/s

Πίνακας 4.25: Filament

Filament

Diameter	1.75 mm
Extrusion multiplier	1
Density	1.25 g/cm ³
Cost	30 money/kg

Temperature

Extruder	First layer	215	Other layers	210
Bed	First layer	60	Other layers	60

Πίνακας 4.26: Cooling

Enable

Keep fan always on 1

Enable auto cooling 1

Fan settings

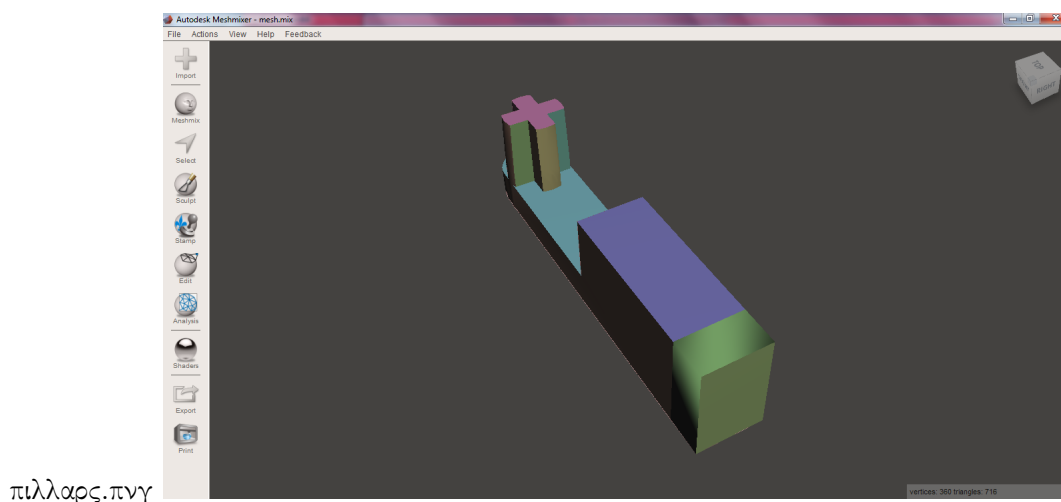
Fan speed Min 100 %

Max 100 %

Bridges fan speed 100 %

Disable fan for the first 1 layer

στηρίγματος.



πιλλαρς.πνγ

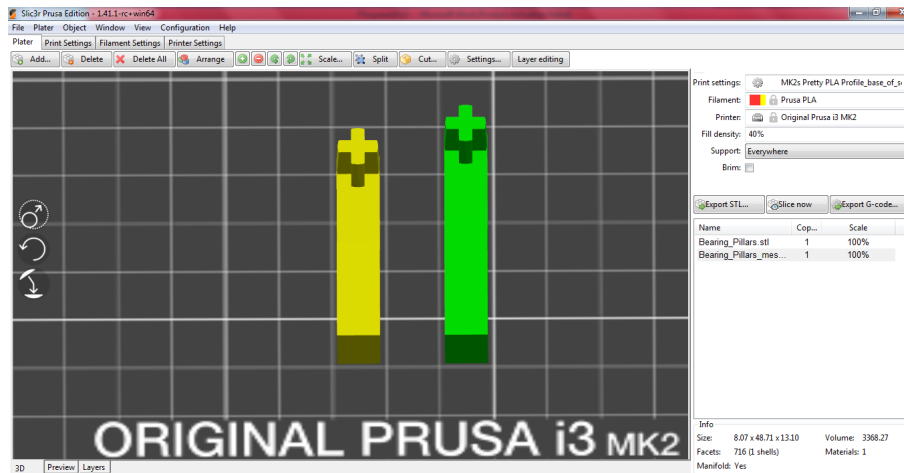
Σχήμα 4.32: Η βάση των ρουλεμάν στο πρόγραμμα Meshmixer

Στο σχήμα 4.33 φαίνονται οι βάσεις των ρουλεμάν. Με κίτρινο χρώμα είναι το αυθεντικό στηρίγμα και με πράσινο είναι το επεξεργασμένο. Το κίτρινο διαγράφηκε και τοποθετήθηκαν άλλα 3 πράσινα. Οι βάσεις των ρουλεμάν τεμαχίστηκαν με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26, με διαφορά ότι απενεργοποιήθηκαν τα υποστηρίγματα Generate support material 0 και το Brim 0 mm. Τυπώθηκαν με υλικό γκρι Prusa Research PLA.

4.6.9 Τύπωμα γραναζιού (τραπέζι περιστροφής)

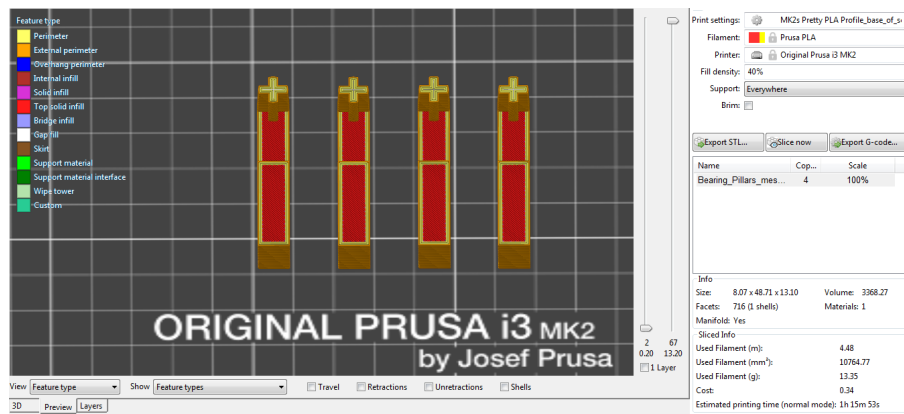
Στην συνέχεια τυπώθηκε το γρανάζι αλλά η οπή του ήταν μεγαλύτερη από τη μεταλλική ράβδο του κινητήρα. Το γρανάζι επεξεργάστηκε στο πρόγραμμα Meshmixer ώστε να μικρύνει η οπή του.

Στο σχήμα 4.35 φαίνονται τα γρανάζια και η διαφορά στις οπές. Το κίτρινο είναι το αυθεντικό γρανάζι ενώ το πράσινο είναι το επεξεργασμένο. Το γρανάζι τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26, με διαφορά ότι απενεργοποιήθηκαν τα υποστηρίγματα Generate support material 0 και το Brim 0 mm. Τυπώθηκε σε υλικό μαύρο Devil Design PLA.



πιλλαρος.πνγ

Σχήμα 4.33: Η αυθεντική βάση και η επεξεργασμένη βάση των ρουλεμάν στο πρόγραμμα Slic3r PE.



πιλλαρος2.πνγ

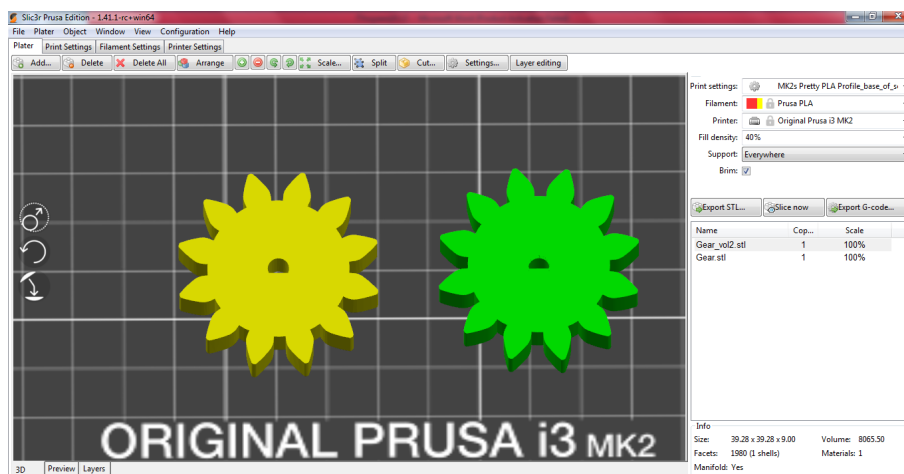
Σχήμα 4.34: Οι βάσεις των ρουλεμάν μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκαν 1 ώρα και 15 λεπτά για να τυπωθούν.

4.6.10 Τύπωμα του πάνω μέρους του τραπεζιού περιστροφής

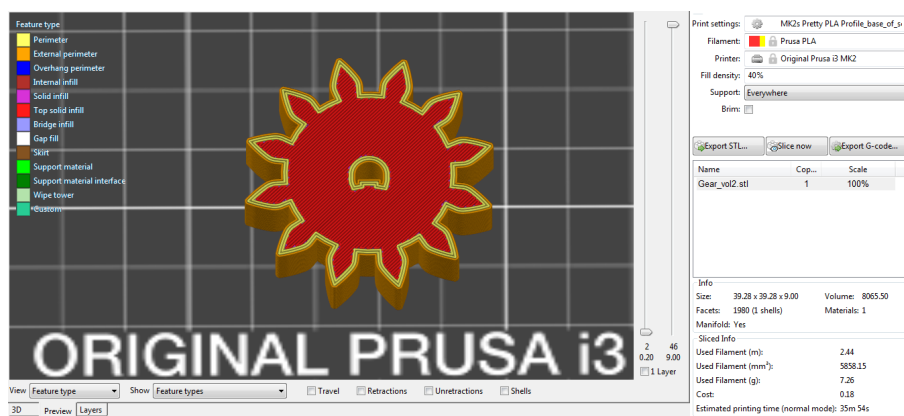
Το πάνω μέρος του τραπεζιού περιστροφής τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26, με μόνη διαφορά ότι απενεργοποιήθηκαν τα υποστηρίγματα Generate support material 0 . Τυπώθηκε σε υλικό γκρι Prusa Research PLA. Σχήμα 4.38.

4.6.11 Τύπωμα της θήκης του ελεγκτή ταχύτητας (τραπέζι περιστροφής)

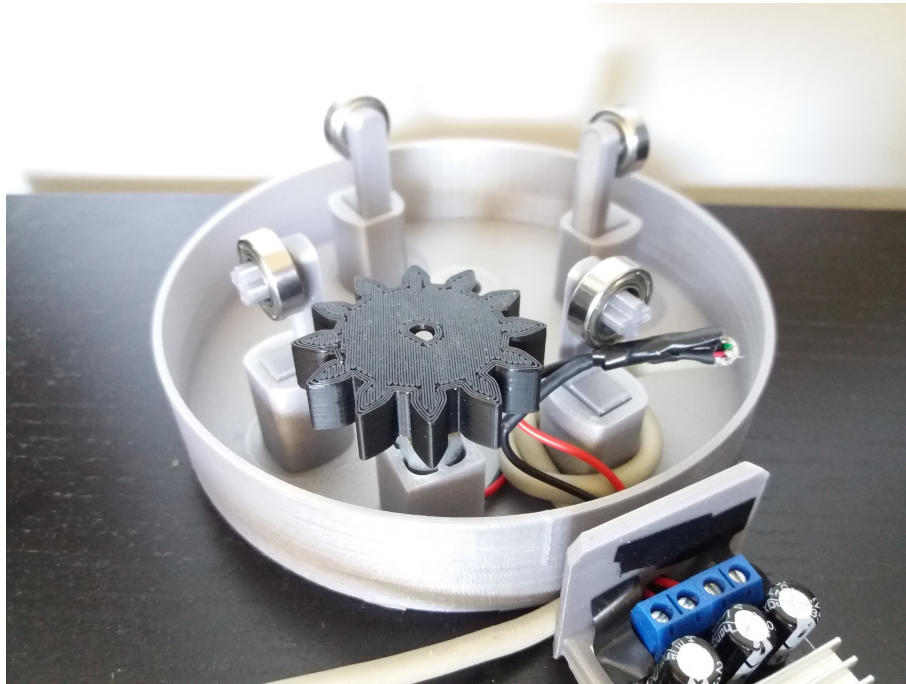
Στο σχήμα 4.39 φαίνεται η θήκη για τον ελεγκτή ταχύτητας του DC κινητήρα. Η θήκη αυξήθηκε στον Z άξονα κατά 20% όπως και η βάση, τεμαχίστηκαν με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26, με μόνη διαφορά ότι απενεργοποιήθηκαν τα υποστηρίγματα Generate support material 0 . και το Brim 0 μμ. Τυπώθηκε με υλικό γκρι Prusa Research PLA.



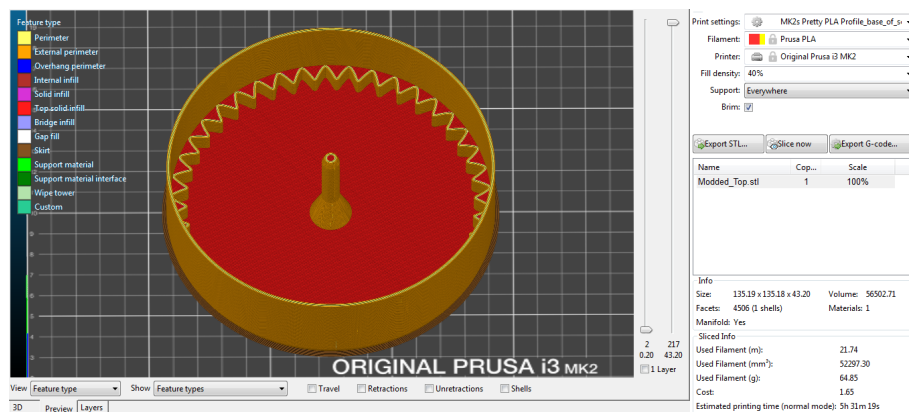
Σχήμα 4.35: Οι βάσεις των ρουλεμάν μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκαν 1 ώρα και 15 λεπτά για να τυπωθούν.



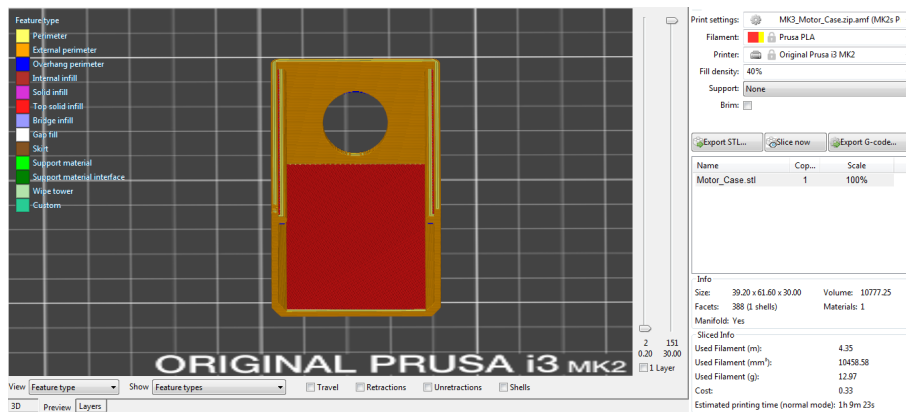
Σχήμα 4.36: Το γρανάκι μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 35 λεπτά για να τυπωθεί.



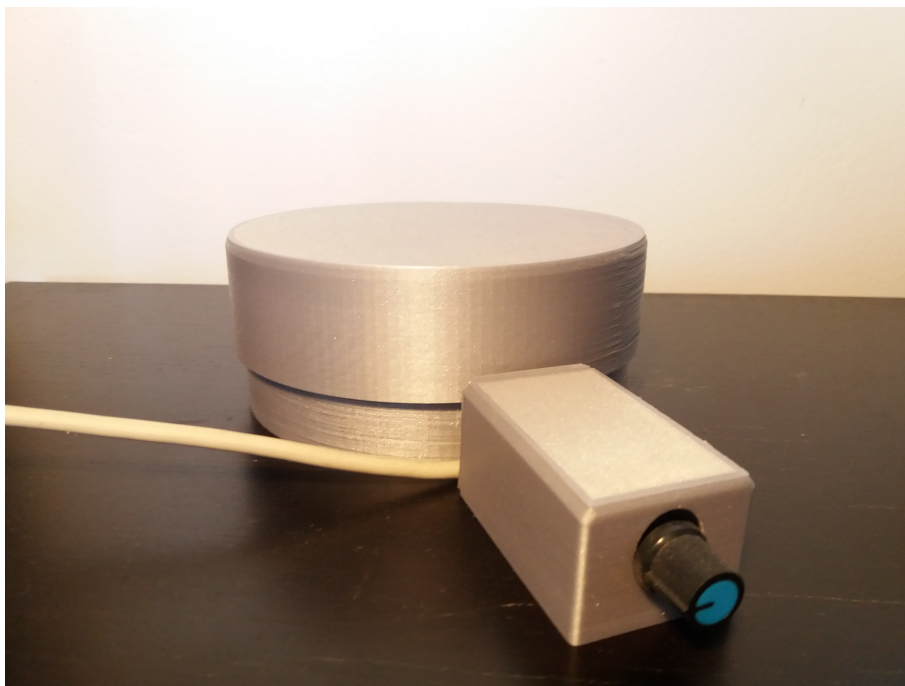
Σχήμα 4.37: Η βάση του τραπέζιου περιστροφής, οι βάσεις για τα ρουλεμάν και το γρανάζι του τραπέζιου περιστροφής.



Σχήμα 4.38: Το πάνω μέρος του τραπέζιου περιστροφής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 5 ώρες και 31 λεπτά για να τυπωθεί.



Σχήμα 4.39: Η θήκη για τον ελεγκτή ταχύτητας του τραπέζιου περιστροφής μετά την εξαγωγή g-code, χρειάστηκε 1 ώρα και 9 λεπτά για να τυπωθεί.



Σχήμα 4.40: Τραπέζι περιστροφής ολοκληρωμένο

Κεφάλαιο 5

Τρισδιάστατη Σάρωση

Τα προγράμματα που επιλέχθηκαν για την τρισδιάστατη σάρωση είναι τα παρακάτω. VisualSFM για την μετατροπή των φωτογραφιών σε νέφος σημείων. MeshLab για την μετατροπή του νέφους σημείων σε στερεό σώμα και το Meshmixer για την επεξεργασία του στρεού σώματος. Για να είναι επιτυχής η σάρωση πρέπει το αντικείμενο να φωτογραφηθεί κυκλικά 360 μοίρες και αν είναι δυνατόν από δύο ή περισσότερες γωνίες λήψης. Μια επιτυχής σάρωση έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου από την επεξεργασία του στερεού αντικειμένου.

5.1 Σάρωση της κεφαλής του πολυτεχνίου

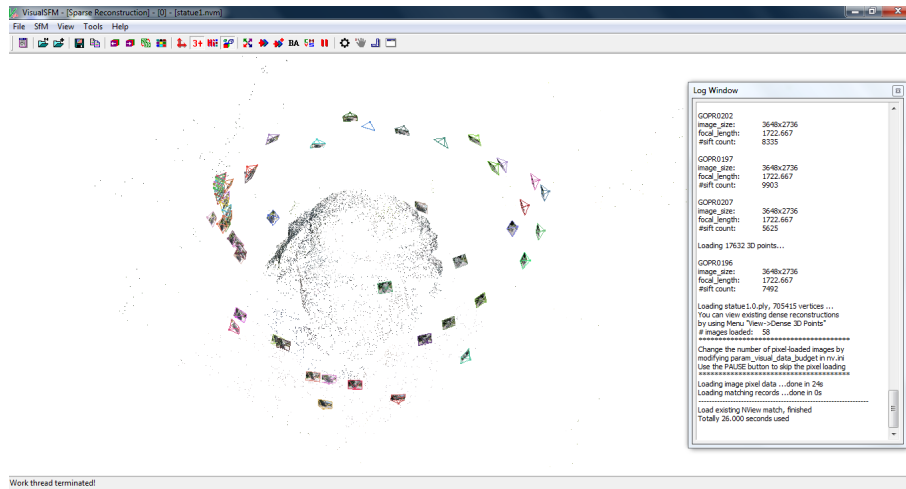
Η πρώτη σάρωση έγινε στην κεφαλή του πολυτεχνίου, όπου τραβήχτηκαν 58 φωτογραφίες σε καλή φωτιστική συνθήκη.



Σχήμα 5.1: Δείγμα από την σειρά φωτογραφιών που τραβήχτηκαν για τη σάρωση της κεφαλής

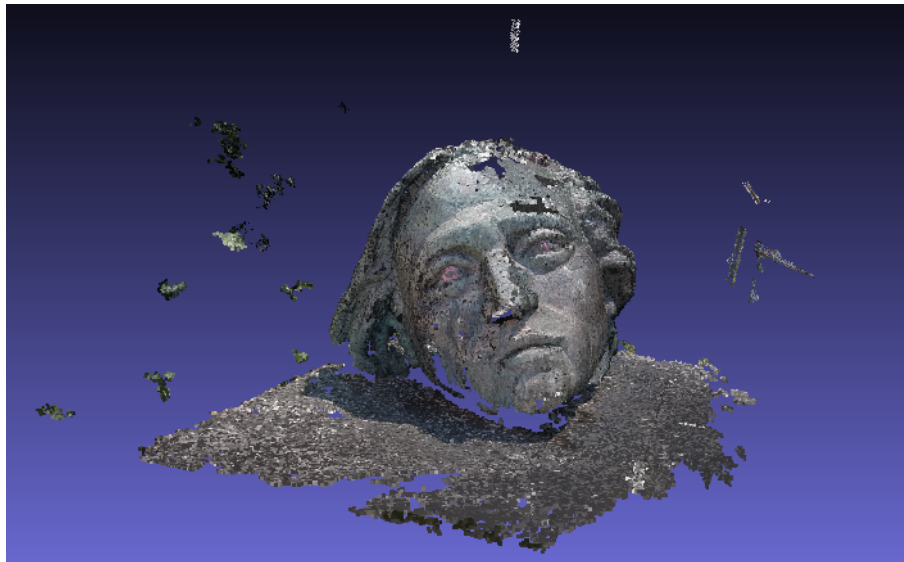
5.1.1 VisualSFM κεφαλή

Η διαδικασία δημιουργίας νέφους σημείων απαιτεί αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθεί. Σχήμα 5.2



Σχήμα 5.2: Δημιουργία του νέφους σημείων από φωτογραφίες της κεφαλής στο πρόγραμμα VisualSFM

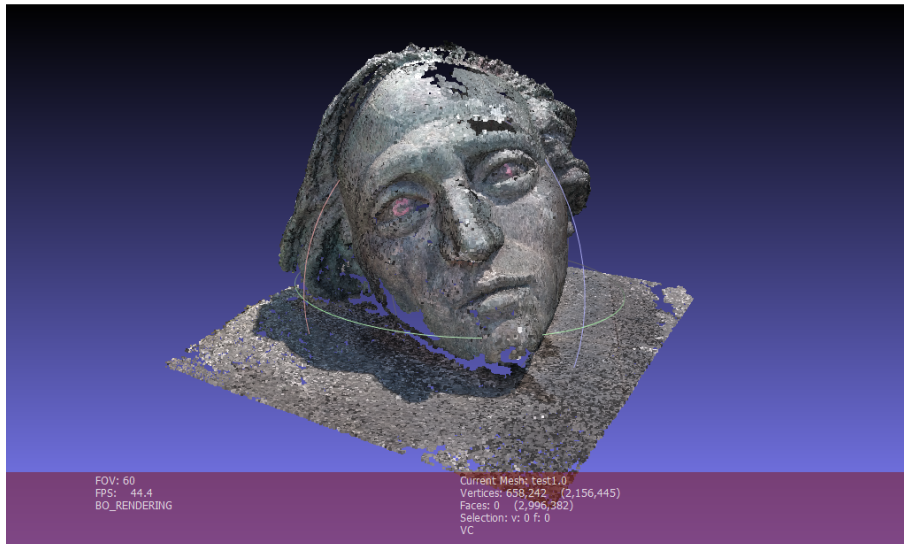
MeshLab κεφαλή



Σχήμα 5.3: Εισαγωγή του νέφους σημείων στο πρόγραμμα MeshLab

Ακολουθεί ο καθαρισμός του νέφους σημείων της κεφαλής. Σχήμα 5.4.

Δημιουργία στερεού σώματος από τα νέφη σημείων. Με το φίλτρο Screened Poisson Surface Reconstruction και τις κατάλληλες μεταβλητές η κεφαλή μετατράπηκε σε στερεό



Σχήμα 5.4: Καθαρισμός του νέφους σημείων στο πρόγραμμα MeshLab

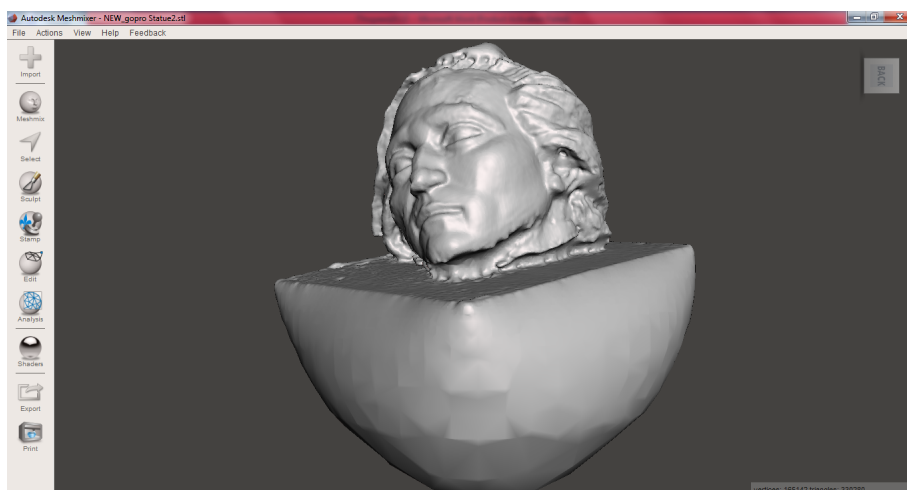
σώμα. Οι μεταβλητές πρέπει να επιλέγονται ώστε το στερεό σώμα να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ευκρίνεια. Σχήμα 5.5.



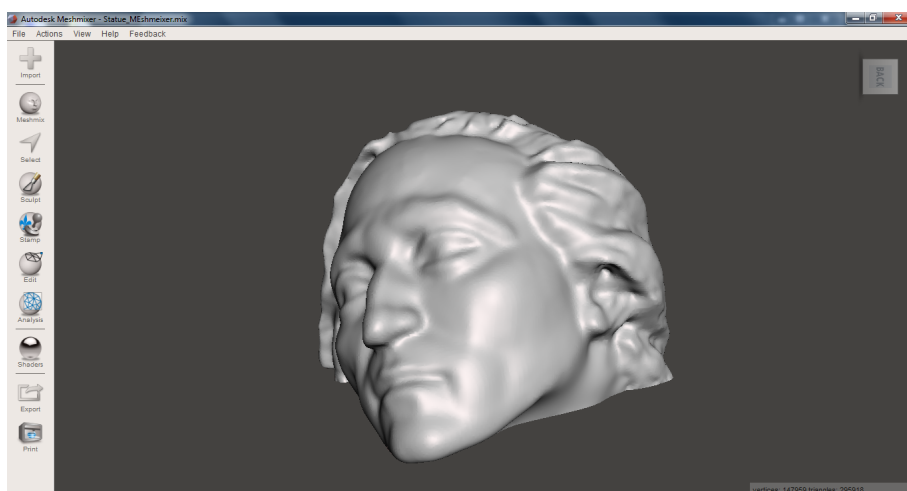
Σχήμα 5.5: Δημιουργία στερεού σώματος της κεφαλής στο πρόγραμμα MeshLab

5.1.2 Meshmixer κεφαλή

Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία του στερεού σώματος και τελειοποίηση των λεπτομεριών του στο πρόγραμμα Meshmixer για την εξαγωγή .stl αρχείου. Σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.6: Εισαγωγή του στερεού σώματος της κεφαλής στο πρόγραμμα Meshmixer



Σχήμα 5.7: Επεξεργασία του στερεού σώματος της κεφαλής στο πρόγραμμα Meshmixer

5.1.3 Τύπωμα κεφαλής

Το .stl αρχείο της κεφαλής τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26, με μόνη διαφορά ότι απενεργοποιήθηκαν τα υποστηρίγματα Generate support material 0 . και το Brim 0 mm. Τυπώθηκε με υλικό γκρι Prusa Research PLA.



Σχήμα 5.8: Τύπωμα της κεφαλής

5.2 Σάρωση αγάλματος

Η δεύτερη σάρωση πραγματοποιήθηκε στη Πανεπιστημιούπολη 1 του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Πιο συγκεκριμένα σαρώθηκε το άγαλμα που βρίσκεται δίπλα από το κτήριο της διοίκησης. Δημιουργήθηκαν 137 φωτογραφίες.



Σχήμα 5.9: Δείγμα από την σειρά φωτογραφιών που τραβήχτηκαν για τη σάρωση του αγάλματος

5.2.1 VisualSFM άγαλμα

Στο σχήμα 5.11 φαίνεται η διαδικασία δημιουργίας του νέφους σημείων για το άγαλμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που ο σαρωτής κινούταν γύρω από το άγαλμα έχει συλλέξει αρκετές πληροφορίες από το κτήριο και τον κήπο που βρισκόταν το άγαλμα. Το πρόγραμμα χρειάστηκε αρκετά λεπτά για να δημιουργήσει το νέφος σημείων.

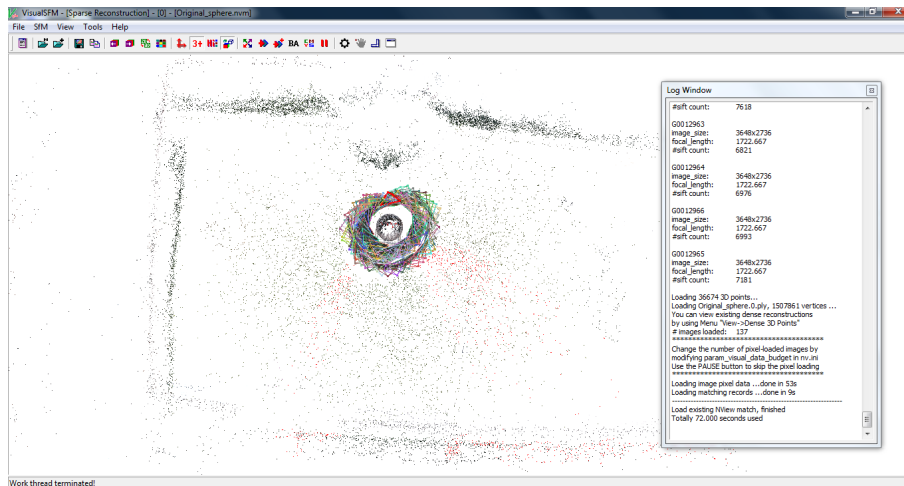
5.2.2 MeshLab άγαλμα

Ακολούθησε ο καθαρισμός του αγάλματος. Σχήμα 5.12.

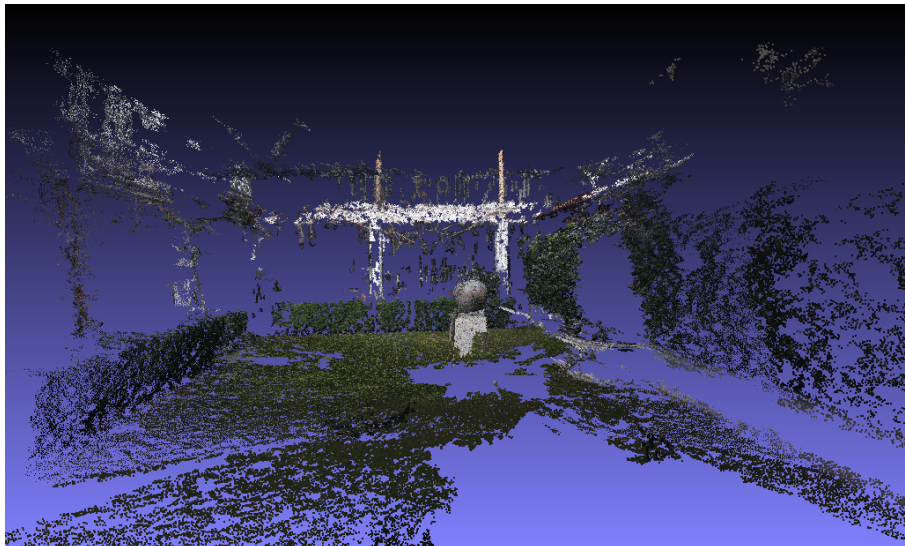
Δημιουργία στερεού σώματος από τα νέφη σημείων, με χρήση του φίλτρου Screened Poisson Surface Reconstruction. Σχήμα 5.13.

5.2.3 Meshmixer άγαλμα

Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία του αγάλματος για την εξαγωγή αρχείου .stl ώστε στη συνέχεια να τυπωθεί.



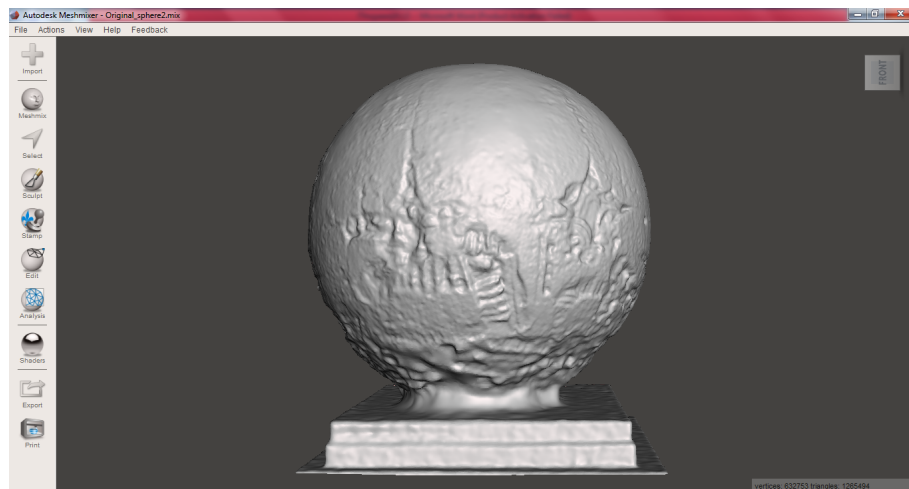
Σχήμα 5.10: Δημιουργία του νέφους σημείων από φωτογραφίες του αγάλματος στο πρόγραμμα VisualSFM



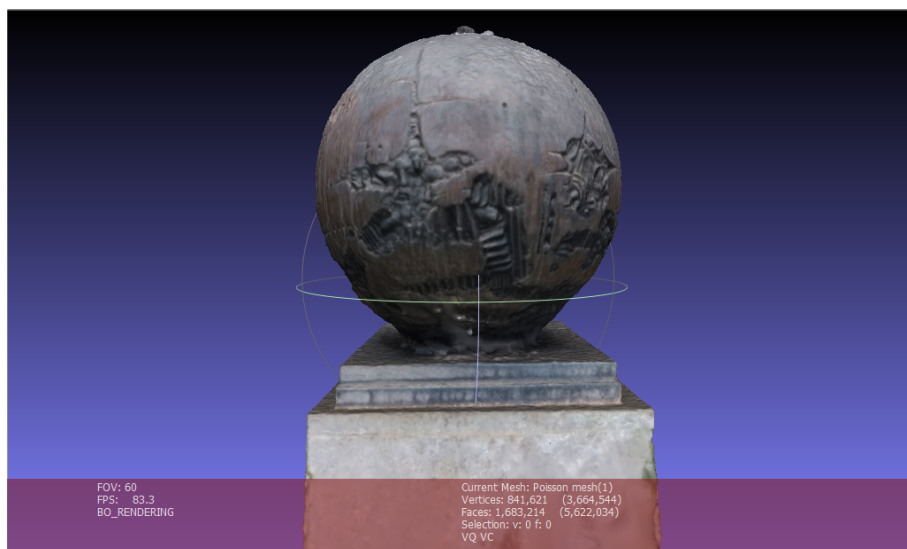
Σχήμα 5.11: Το άγαλμα, ο κήπος γύρω από το άγαλμα και το κτήριο στο πρόγραμμα MeshLab

5.3 Τύπωμα του αγάλματος

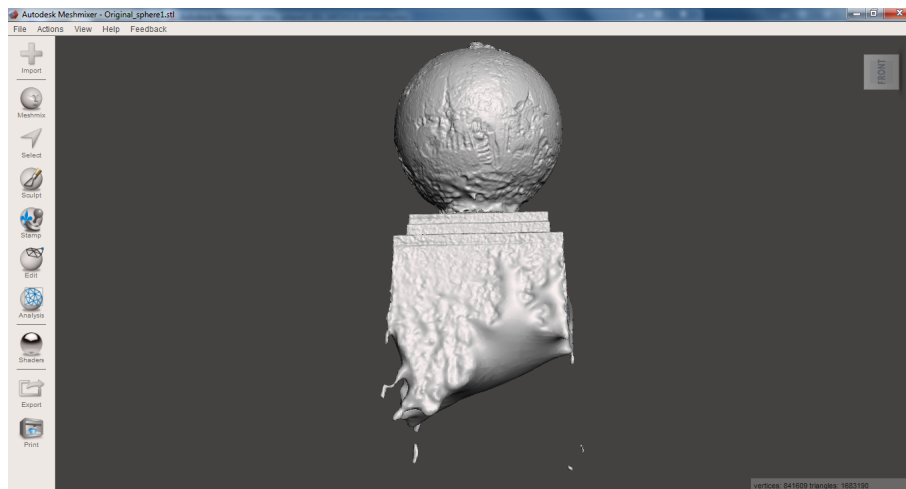
Το .stl αρχείο του αγάλματος τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26, με μόνη διαφορά ότι απενεργοποιήθηκαν τα υποστηρίγματα Generate support material 0. Τυπώθηκε με υλικό γκρι Prusa Research PLA. Στο σχήμα 5.16 φαίνονται τα αγάλματα τυπωμένα. Στο άγαλμα δεξιά έχει κοπεί ελάχιστα η βάση κατά τον τεμαχισμό του στο Slic3r PE.



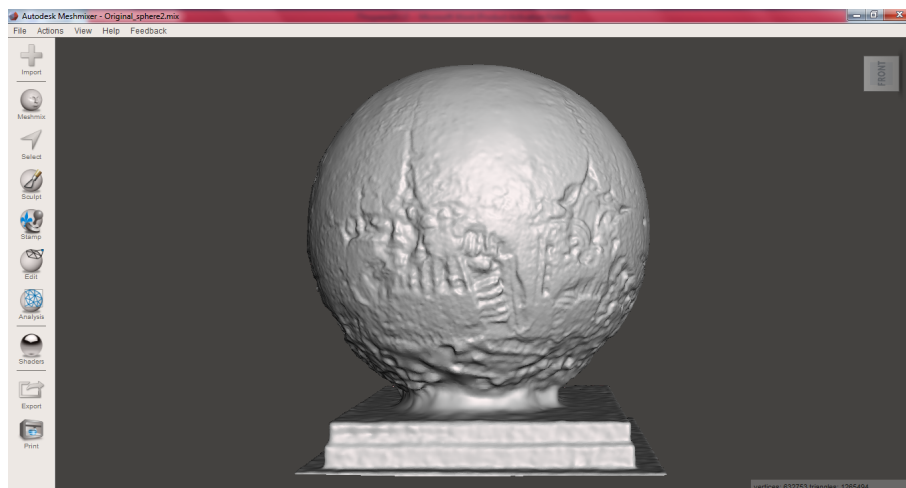
Σχήμα 5.12: Το άγαλμα μετά τον καθαρισμό στο πρόγραμμα MeshLab



Σχήμα 5.13: Δημιουργία στερεού σώματος του αγάλματος στο πρόγραμμα MeshLab



Σχήμα 5.14: Το άγαλμα σε μορφή στερεού σώματος στο πρόγραμμα Meshmixer



Σχήμα 5.15: το άγαλμα αφότου έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία στο πρόγραμμα Meshmixer



Σχήμα 5.16: Τυπωμένα αγάλματα

5.4 Σάρωση του αμαξιού

Το αμαξάκι ήταν το πιο δύσκολο αντικείμενο προς σάρωση επειδή είναι μεταλλικό που σημαίνει ότι έχει μια γυαλάδα η οποία δεν βοηθάει στο να φωτογραφηθεί σωστά. Το αμαξάκι έχει μέγεθος 46 χιλιοστά πλάτος 87 χιλιοστά μήκος και 42 χιλιοστά ύψος. Επίσης χρειαζόταν να σαρωθεί και το κάτω μέρος του αμαξιού ώστε να υπάρχει αρκετή πληροφορία για την τρισδιάστατη ανακατασκευή του. Άρα λόγω υλικού, μεγέθους και γεωμετρίας ήταν μια πρόκληση για το σαρωτή ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα για τις δυνατότητες του. Τραβήχτηκαν 264 φωτογραφίες για να σαρωθεί το αμαξάκι και χρησιμοποιήθηκε το τραπέζι περιστροφής που κατασκευάστηκε για την επιτραπέζια σάρωση μικρών αντικειμένων.

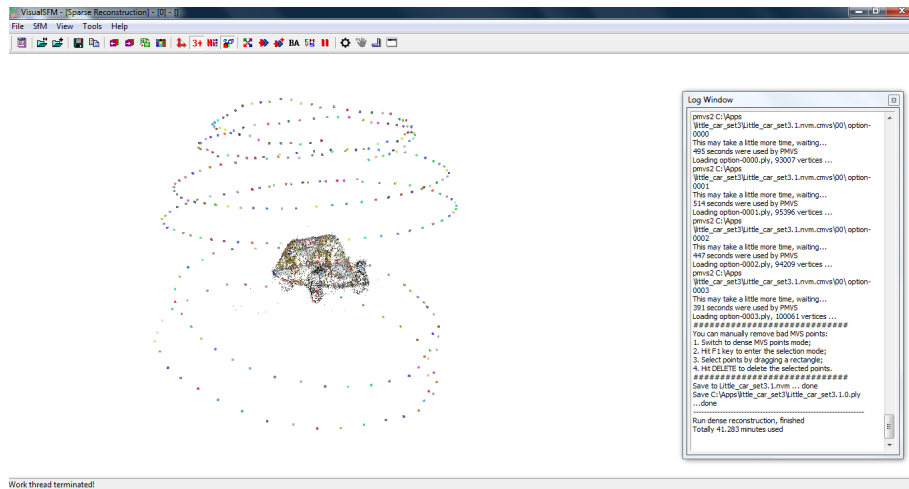


Σχήμα 5.17: Δείγμα από το σύνολο των φωτογραφιών που δημιουργήθηκαν για την σάρωση του αμαξιού

5.4.1 VisualSFM αμάξι

Στο σχήμα 5.17 φαίνεται η γυαλάδα του μετάλλου και ο χρωματισμός με πορτοκαλί που έγινε στους προφυλακτήρες ώστε να μπορούν να καταγραφούν. Όταν οι προφυλακτήρες ήταν λευκοί δεν τους αναγνώριζε το πρόγραμμα VisualSFM.

Στο σχήμα 5.18 φαίνεται η δημιουργία του νέφους σημείων του αντικειμένου από το σύνολο φωτογραφιών. Μια από τις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκε στη δημιουργία του νέφους σημείων ήταν η αναγνώριση του κάτω μέρους του αμαξιού ως το ίδιο αντικείμενο με το πάνω μέρος. Δηλαδή στις αποτυχημένες σαρώσεις το πρόγραμμα έβγαζε δύο διαφορετικά νέφους σημείων για το αμαξάκι, ένα για το κάτω και ένα για το πάνω μέρος. Ακόμα και ως δύο διαφορετικά νέφη σημείων θα μπορούσε να γίνει η ανακατασκευή του αντικειμένου στο MeshLab. Όμως



Σχήμα 5.18: Δείγμα από το σύνολο των φωτογραφιών που δημιουργήθηκαν για την σάρωση του αμαξιού

συνεχίστηκε η προσπάθεια για την επίτευξη μιας σωστής σάρωσης. Τη λύση στο πρόβλημα έδωσε η τοποθέτηση του αντικειμένου με το ίδιο μοτίβο στην εναλλαγή από το πάνω στο κάτω μέρος. Πιο συγκεκριμένα το αμαξάκι τοποθετήθηκε πλάγια σε σχέση με την γωνία λήψης του σαρωτή ώστε να υπάρχει αρκετή πληροφορία για να αναγνωρίσει το πρόγραμμα το σχήμα. Αυτή η τοποθέτηση πρέπει να είναι ίδια στη τελευταία φωτογραφία του πάνω μέρους και στη πρώτη φωτογραφία του κάτω μέρους. Ακολουθεί οι σειρά των δύο αυτών φωτογραφιών σχήματα 5.19 5.20.

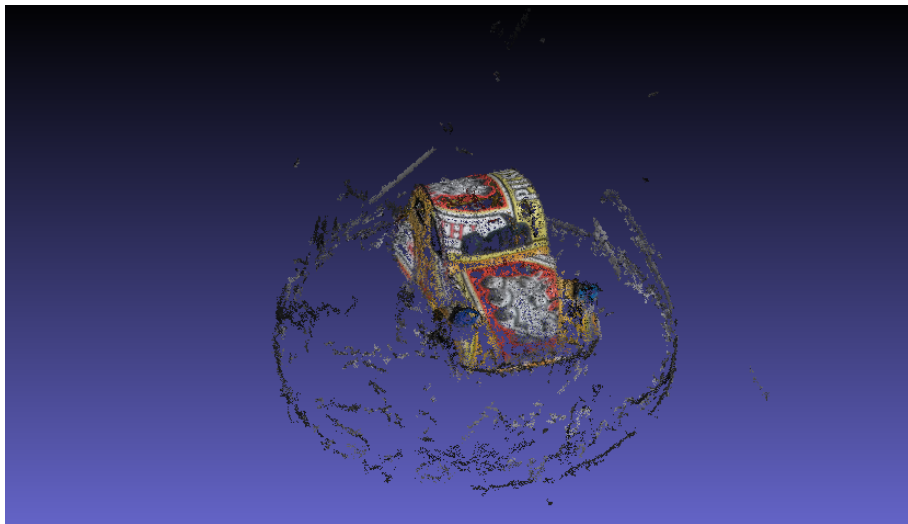


Σχήμα 5.19: Τελευταία στη σειρά φωτογραφία του πάνω μέρους του αμαξιού



Σχήμα 5.20: Πρώτη στη σειρά φωτογραφία του κάτω μέρους του αμαξιού

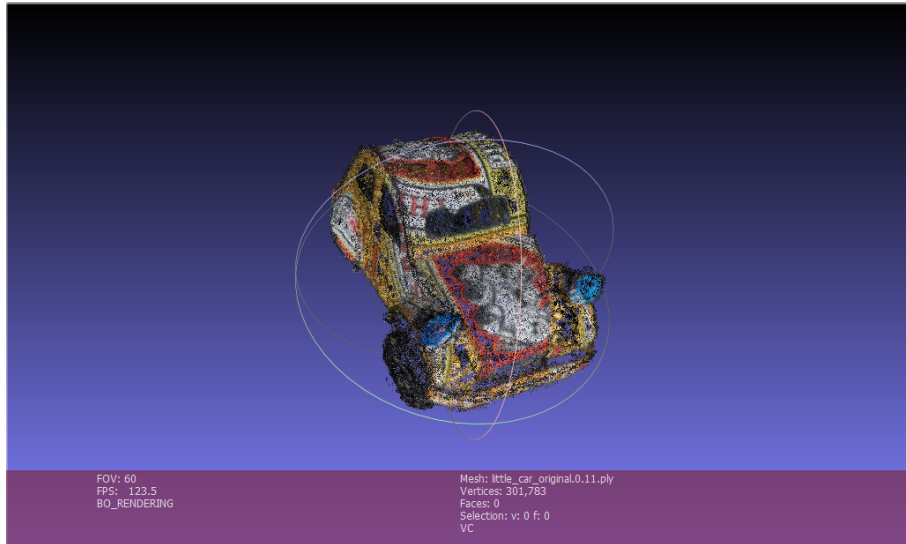
5.4.2 MeshLab αμάξι



Σχήμα 5.21: Εισαγωγή του νέφους σημείων του αμαξιού στο πρόγραμμα MeshLab.

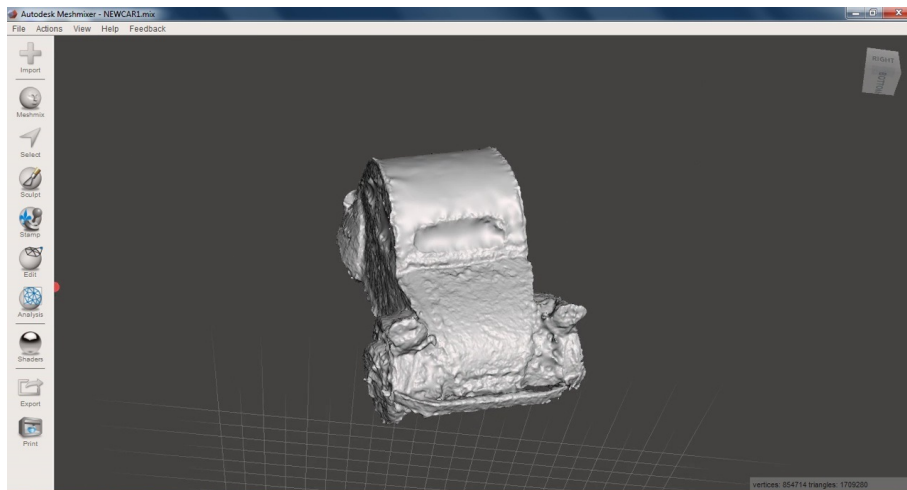
Η διαδικασία καθαρισμού του νέφους σημείων πήρε αρκετό χρόνο γιατί το υλικό του αμαξιού (μέταλλο) προσθέτει θόρυβο κατά τη σάρωση λόγω της γυαλάδας.

Δημιουργία στερεού σώματος από τα νέφη σημείων, με τη χρήση του φίλτρου Screened Poisson Surface Reconstruction . Σχήμα 5.22.



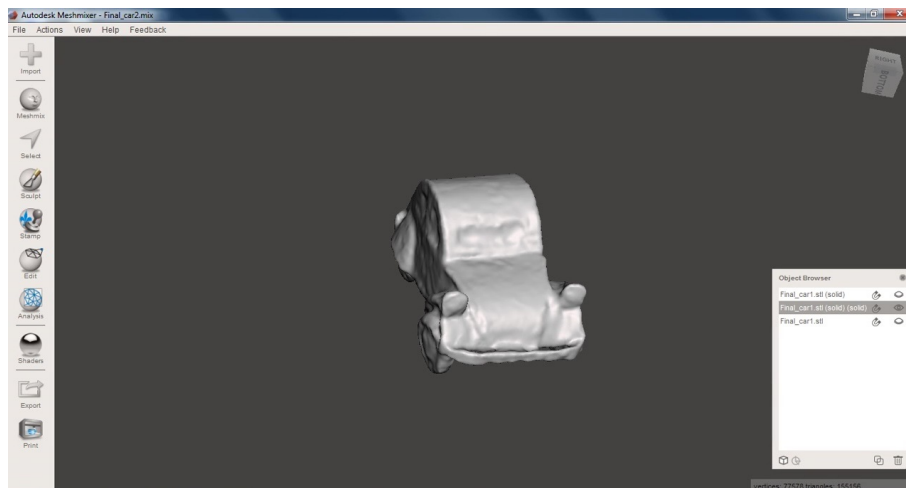
Σχήμα 5.22: Καθαρισμός του νέφους σημείων του αμαξιού στο πρόγραμμα MeshLab.

5.4.3 Meshmixer αμάξι



Σχήμα 5.23: Το αμάξι σε μορφή στερεού σώματος στο πρόγραμμα Meshmixer

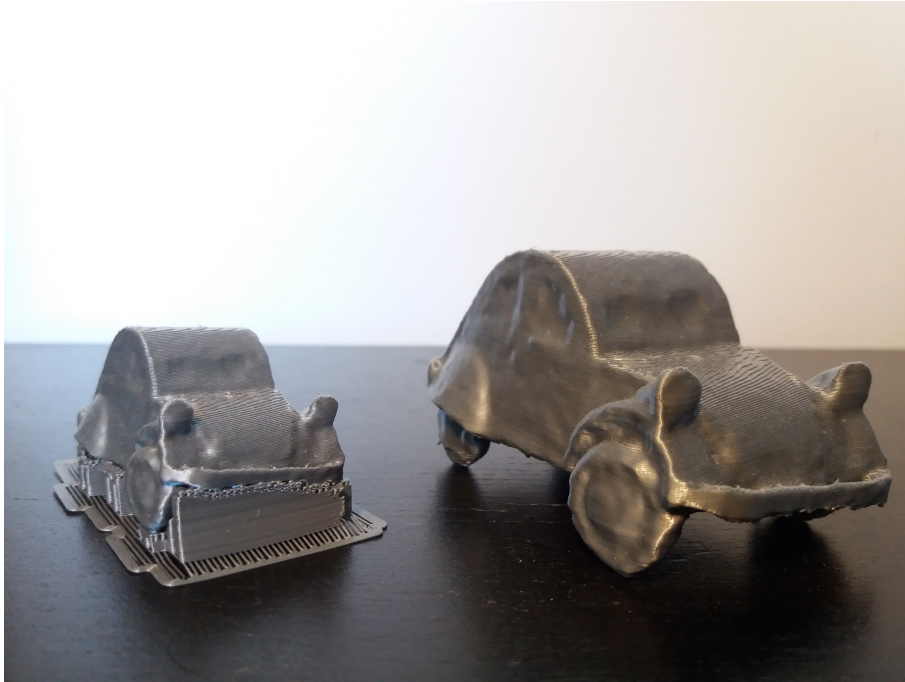
Ακολούθησε η επεξεργασία του αμαξιού για την εξαγωγή του .stl αρχείου. Σχήμα 5.24.



Σχήμα 5.24: Επεξεργασία του αμαξιού στο πρόγραμμα MeshLab.

5.5 Τύπωμα του αμαξιού

Το .stl αρχείο του αμαξιού τεμαχίστηκε με τις ρυθμίσεις των πινάκων 4.20 4.21 4.22 4.23 4.24 4.25 και 4.26. Τυπώθηκε με υλικό γκρι Prusa Research PLA. Στο σχήμα 5.25 φαίνονται τα αμάξια τυπωμένα. Το αριστερό αμαξάκι έχει τυπωθεί σε μικρότερη κλίμακα και δεν έχουν αφαιρεθεί τα υποστηρίγματα.



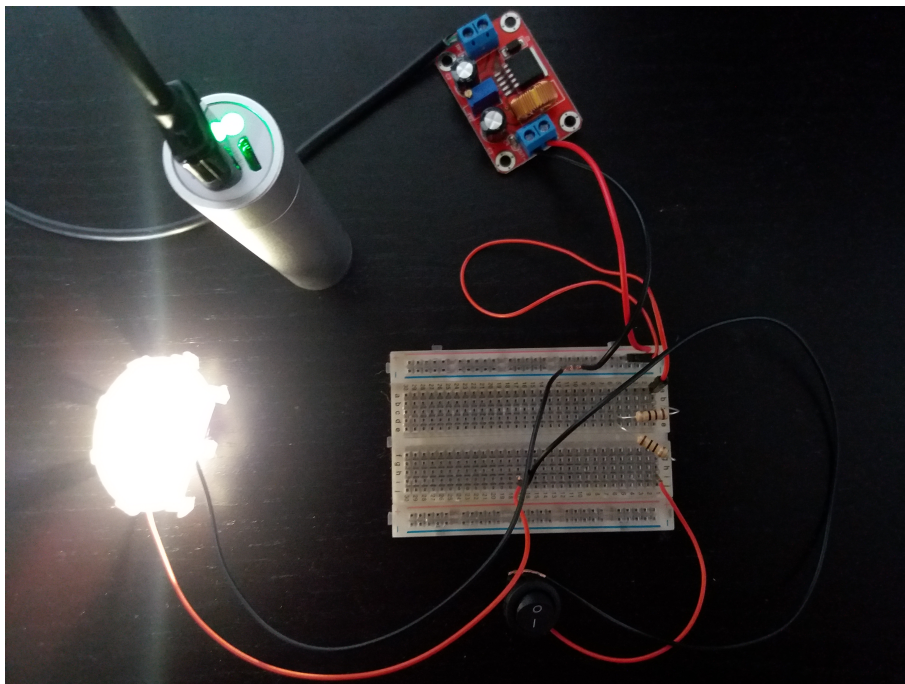
Σχήμα 5.25: Τυπωμένα αμάξια

Κεφάλαιο 6

Ηλεκτρονικά

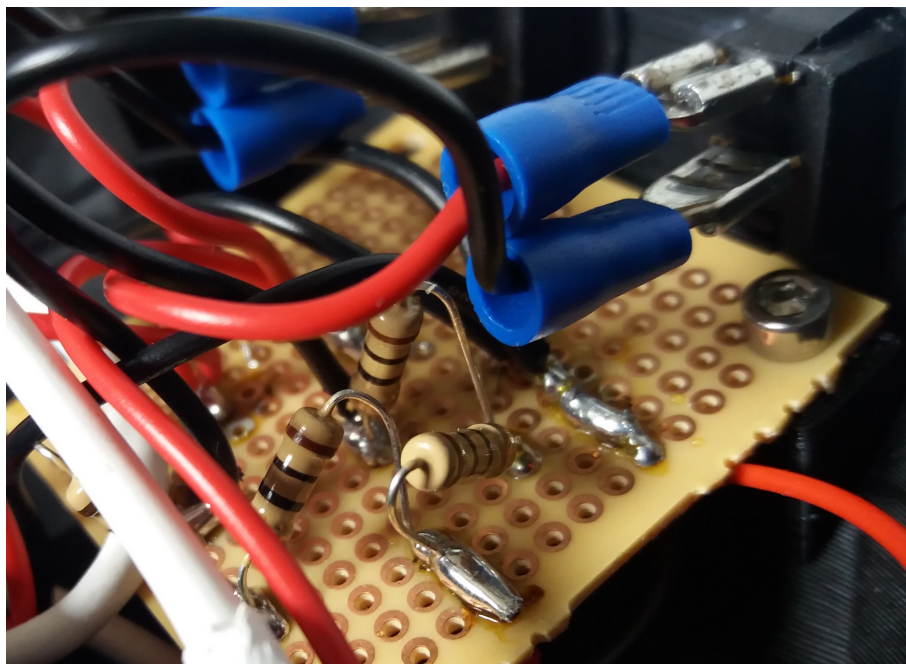
6.1 Τρισδιάστατος Σαρωτής

Για τον σαρωτή χρησιμοποιήθηκαν δύο LEDs των 3 watt που λειτουργούν σε εύρος τάσης 3.1 έως 4.1 volt και ένα κόκκινο λέιζερ τύπου σταυρού που λειτουργεί στα 3 έως 5 volt με μήκος κύματος 650 nm. Για τροφοδοσία χρησιμοποιήθηκε τράπεζα ενέργειας (power bank) μοντέλο PowerCore+ mini 3350 της εταιρίας Anker, το οποίο έχει χωρητικότητα 3350 mAh και έξοδο 5 volt 1 Amber. Τα LEDs ήταν ήδη πάνω σε ψύκτρες από τον κατασκευαστή όμως δεν βολεύαν για την εγκατάσταση τους στο σαρωτή. Έτσι προστέθηκαν άλλες δύο ψύκτρες οι οποίες βιδώθηκαν πάνω στο σαρωτή και τοποθετήθηκαν πάνω τα LEDs με τις ψύκτρες τους με χρήση θερμοαγώγιμης πάστας ανάμεσα. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η σωστή τους λειτουργία χωρίς φόβο υπερθέρμανσης που ίσως να επιρέαζε και το υλικό του σαρωτή.

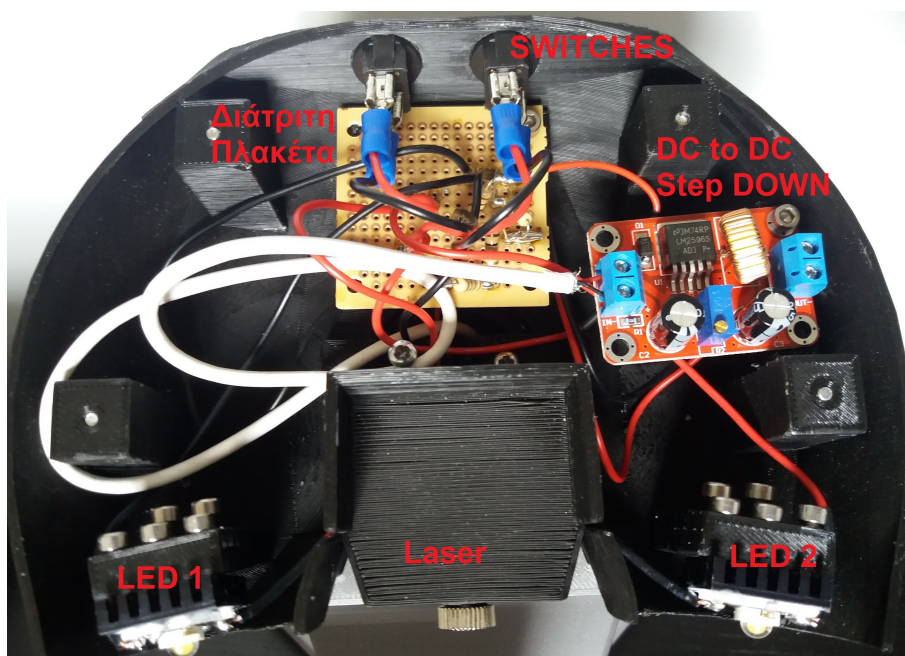


Σχήμα 6.1: Δοκιμή κυκλώματος στο breadboard

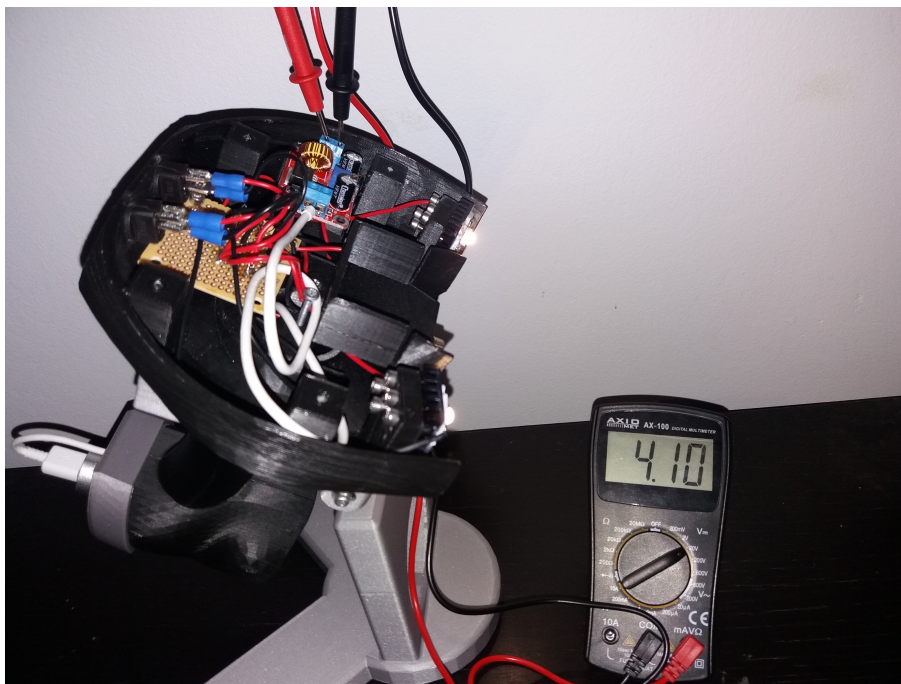
Στο σχήμα 6.1 φαίνεται η δοκιμή του κυκλώματος σε breadboard. Στη συνέχεια το ηλεκτρικό κύκλωμα υλοποιήθηκε σε διάτρητη πλακέτα όπου έγιναν οι απαραίτητες συγκολλήσεις με κολλητήρι και καλάνι.



Σχήμα 6.2: Διάτρητη πλακέτα



Σχήμα 6.3: Εσωρικό του σαρωτή

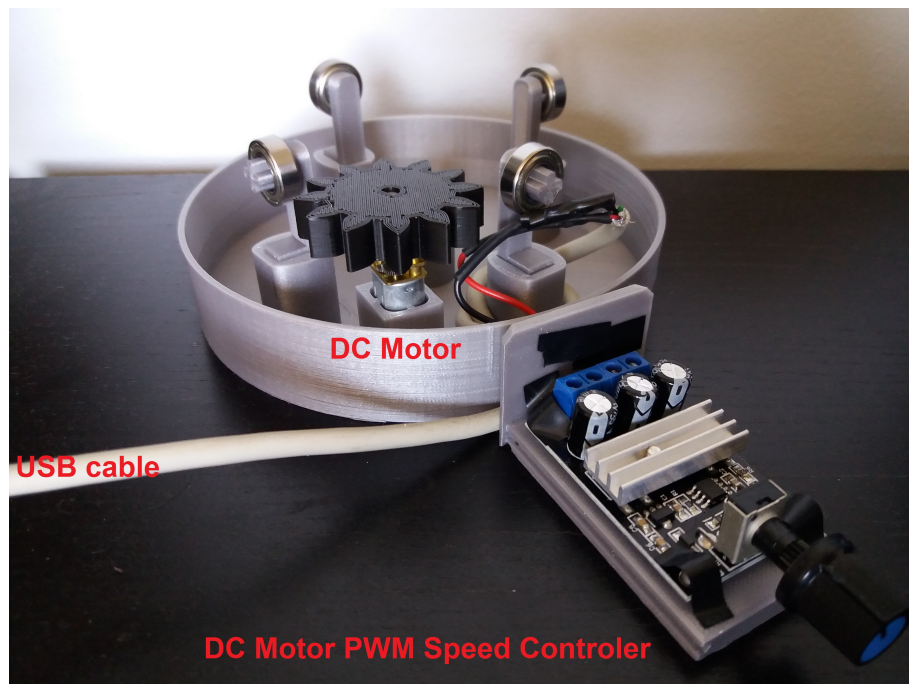


Σχήμα 6.4: Μέτρηση-Ρύθμιση των Volt

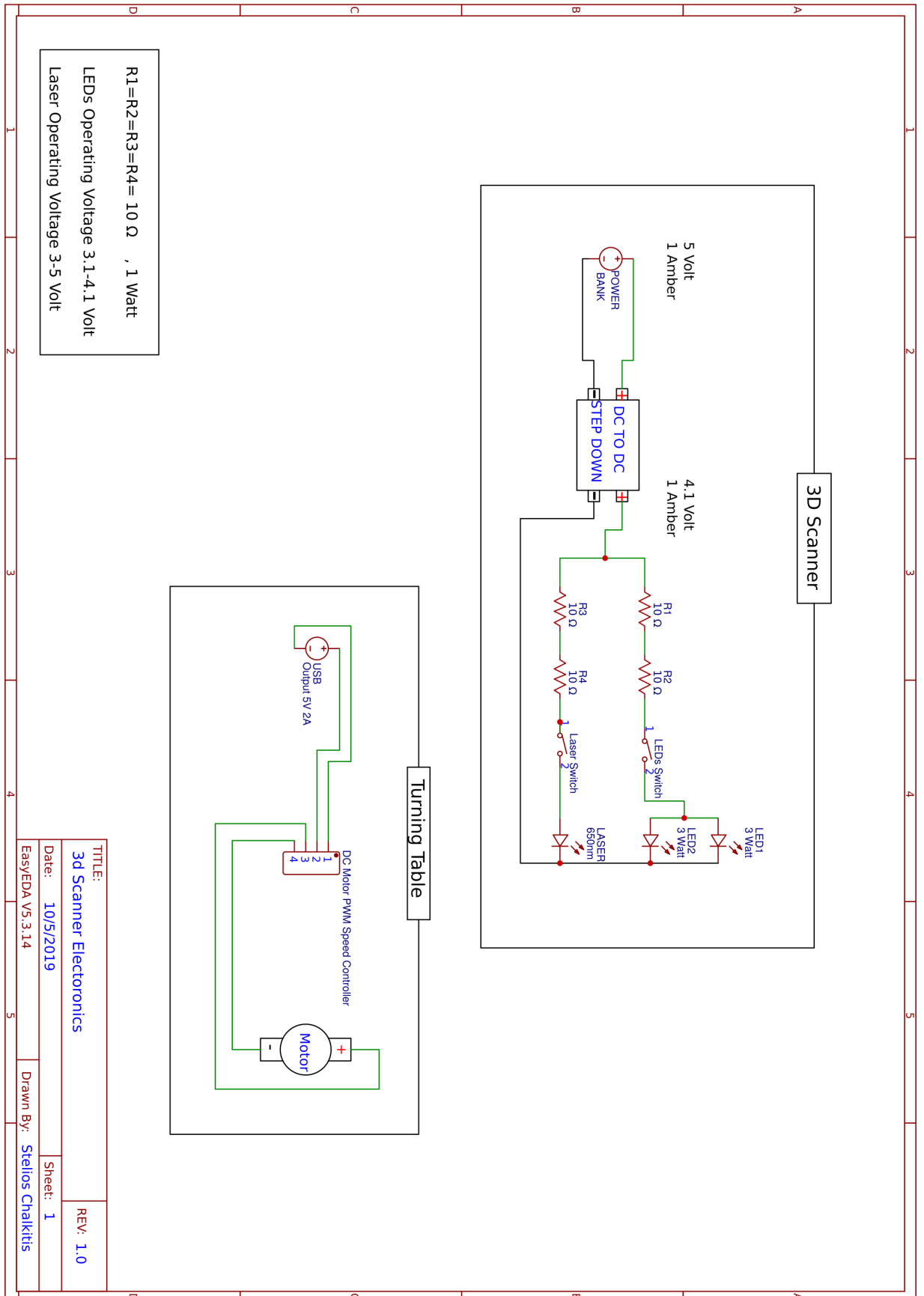
Στο σχήμα 6.4 φαίνεται η μέτρηση της τάσης μετά την ρύθμιση του DC to DC Step Down. Τα 4.1 volt είναι το όριο τάσης που δίνει ο κατασκευαστής των LEDs.

6.1.1 Τραπέζι περιστροφής (Turning Table)

Για το τραπέζι περιστροφής χρησιμοποιήθηκε DC κινητήρας (Micro Metal Gearmotor) με ταχύτητα 75 RPM (rounds per minute), τάση λειτουργίας 5 volt, φορτίο 900 mA. Για την αυξομείωση της ταχύτητας του κινητήρα χρησιμοποιήθηκε ελεγκτής ταχύτητας DC κινητήρα (DC Motor PWM Speed Controller) με τάση εισόδου 5 έως 28 volt, μέγιστο φορτίο εξόδου 3 Amber, μέγιστη ένταση εξόδου 80 Watt και Duty cycle 5 % έως 100 %. Για τροφοδοσία χρησιμοποιήθηκε καλώδιο USB και φορτιστής πρίζας κινητού τηλεφώνου με έξοδο 5 volt, 1.55 Amber.



Σχήμα 6.5: Το εσωτερικό του τραπέζιου περιστροφής.



Σχήμα 6.6: Διάγραμμα ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια ισχυρή βάση αντίστροφης μηχανικής, καθώς και της ανακατασκευής ενός αντικειμένου με τη χρήση της φωτογραμμετρίας. Ο σαρωτής που δημιουργήθηκε έχει την δυνατότητα να σαρώσει με ακρίβεια μικρά και μεγάλα αντικείμενα. Το μεγάλο πλεονέκτημα του σαρωτή είναι στη σχεδίαση γιατί μπορεί να μεταφερθεί εύκολα αλλά και να χρησιμοποιηθεί επιτραπέζια. Σε συνδυασμό με το τραπέζι περιστροφής η διαδικασία σάρωσης μικρών αντικειμένων (επιτραπέζια σάρωση) είναι εύκολη, γρήγορη και απλή.

7.2 Πρακτικές εφαρμογές 3D σάρωσης

Είτε για διασκέδαση είτε για ιατρικούς σκοπούς η τρισδιάστατη σάρωση χρησιμοποιείται από πολλές εταιρίες σήμερα.

Η εταιρία mini Me με έδρα το χαλάνδρι χρησιμοποιεί την μέθοδο της φωτογραμμετρίας για να σαρώσει τους πελάτες της και έπειτα τυπώνει μινιατούρες τους σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Σχήμα 7.1.

Η εταιρία it's YOU με έδρα τον Άγιο Δημήτριο χρησιμοποιεί τον ειδικά σχεδιασμένο φωτογραφικό τρισδιάστο σαρωτή όπως λέει, για να συλλάβει μια πλήρη τρισδιάστατη σάρωση εν ριπή οφθαλμού. Στην συνέχεια επεξεργάζονται το αποτέλεσμα της σάρωσης και τυπώνουνε τη μινιατούρα σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Σχήμα 7.2.

Η εταιρία Scoliosis με έδρα το Μοσχάτο χρησιμοποιεί μέθοδο σάρωσης με λέιζερ για να σαρώσει τον θώρακα και τη σπονδυλική στήλη των πελατών του. Στην συνέχεια γίνεται επεξεργασία του αποτελέσματος της σάρωσης και έπειτα φτιάχνετε ορθοπεδικός κηδεμόνας. Σχήμα 7.3.

Η τρισδιάστατη σάρωση μπορεί να διευκολύνει, να βοηθήσει την καθημερινότητα του ανθρώπου. Για αυτό πρέπει να γίνει προσιτή οικονομικά από όλους, ειδικά για ιατρικούς σκοπούς.



Σχήμα 7.1: Minime



CUSTOM-MADE "ALIVE" 3D PRINTED MINI-CLONES

Σχήμα 7.2: itsyou



Σχήμα 7.3: Scoliosis

7.3 Μελλοντικές προτάσεις

Η παραμετρική σχεδίαση του σαρωτή επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή του σχεδίου για τη δημιουργία συσκευής με διαφορετικές μεθόδους σάρωσης. Συμπερασματικά θα μπορούσε με υλοποίηση διαφορετικού hardware να δημιουργηθεί ένας σαρωτής λέιζερ ή δομημένου φωτός. Επίσης θα μπορούσε να προστεθεί και δεύτερη κάμερα ώστε να καλύπτει δύο διαφορετικές

γωνίες ταυτόχρονα.

Κεφάλαιο 8

Photogrammetry Guide by Stelios Chalkitis

Five steps to recreate an object from 3d scanning to 3d printing.

First step is to create a set of photos of the subject you want to scan. It is important to cover ever possible angle and take pictures all around the subject. The set of photos is going to become point cloud. You should overexpose the photos otherwise you won't get information of the shadows.

Second step download and install VisualSFM software.

1. Open the set of photos.
2. Go to Tools – > Show Log Window. Log window shows all the running processes.
3. Run Compute Missing Matches. Match the images.
4. Run Compute 3D Reconstruction. Sparse Reconstruction.
5. Run Dense Reconstruction. Saves a .ply file of the scanned subject that you can import to MeshLab.

Third Step download and install MeshLab software. Depend on the subject you have 3D scanned the processes and variables may differ.

Cleaning the point cloud:

- Click Select Vertexes. Select the points that are not the actual subject you 3D scanned, for example the area around your subject and every point considering as noise. Hold Ctrl button after you selected a set of points in order to add more points.
- Filters – > Selection – > Delete Selected Faces. This filter deletes the current set of selected Faces, Vertices that remains unreferenced are not deleted.
- Filters – > Cleaning and Repairing – > Remove Faces from Non Manifold Edges.

Create a solid body from a point cloud:

- Filters – > Normals, Curvatures and Orientation – > Compute normals for point sets.
- Filters – > Remeshing, simplification and reconstruction – > Surface Reconstruction: Ball Pivoting.
- Filters – > Remeshing, simplification and reconstruction – > Screened Poisson Surface Reconstruction.

Finishing and saving the solid body:

- Filters – > Remeshing, simplification and reconstruction – > Close Holes.
- Filters – > Remeshing, simplification and reconstruction – > Simplification: Quadric Edge Collapse Decimation. Simplify a mesh using a Quadric based Edge Collapse Strategy. Decreases Faces and Vertices of the mesh.
- Filters – > Sampling – > Poisson-disk Sampling. Create a new layer populated with a point sampling of the current mesh.
- File – > Export Mesh As... – > “name_of_file” .stl

These filters does not apply for every object and you have to find out which of them do you need in order to make your point cloud into a solid body. Save your Mesh before apply any filter. Be careful, MeshLab does not have UNDO button and that is the crucial drawback of the software.

Fourth Step download and install Meshmixer software.

Import your .stl file.

Click keyboard button W to see the triangles. This helps to understand the structure of mesh.

Cleaning

Click Select choose the vertices you want to process.

- Click Edit – > Erase & Fill (shortcut key F). Replaces the vertices you have chose.
- Click Edit – > Discard (shortcut key X). Deletes the vertices you have chose.
- Click Deform – > Smooth (shortcut key Ctrl+F). Smoothes the vertices you have chose.

Sculpt Click Sculpt and pick a brush, choose brush size and strength .

- Click Flatten.
- Click Reduce. Those two brushes are similar but Flatten is more aggressive than Reduce.
- Click BubbleSmooth. Useful for spherical bumps.

Edit

- Click Planet Cut in order to cut the object.
- Click Generate Face Groups. Colorizes the faces of the object. It is really helpful to do that before you start edit your subject.
- Click Make Solid if your object is not already solid.
- Click Hollow if you want your object to get empty inside.

Analysis

- Click Units/Dimensions in order to change the dimensions of the subject.
- Click Measure and choose type, direction. Press Ctrl to change the starting point of measurement.
- Click Orientation to adjust the Overhang angle of the subject.

When you finish processing your subject click Export and save it as .stl.

Fifth step download and install Slic3r PE or Ultimaker Cura.

- Download Chris Warcocki profiles from github: URL https://github.com/eoprede/prusa_profiles
- Import the .ini file in your slicer.
- Print a 3d benchy boat that you can download from: URL <http://www.3dbenchy.com/>
- Compare your measurements with the one's of the site and adjust your settings accordingly.
- Repeat the last step until you print a good benchy.

Depending on what kind of FDM/FFF printer you got the settings may differ.

Βιβλιογραφία

- [1] The Free Encyclopedia.3D selfie – Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/3d_selfie, 2017.
- [2] The Free Encyclopedia. AutoCad – Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/autocad>, χ.χ.
- [3] Github. COLMAP – Colmap. <https://colmap.github.io/>, 2018.
- [4] Kyle McDonald Structured Light 3D Scanning Instructables Makers Community. <https://www.instructables.com/id/structured-light-3d-scanning/>, χ.χ.
- [5] Schuon S. Chan D. Thrun S. Theobalt C. Cui, Y. 3d shape scanning with a time-of-flight camera. In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010.
- [6] David Braam Ultimaker Cura. <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>, 2016.
- [7] Eldad Eilam. *Reversing: secrets of reverseengineering*. 2005.
- [8] Gazziro M. A. Ide A. N. Saito J. H. Franca, J. G. D. Στο *A 3D scanning system based on laser triangulation and variable field of view.*, τόμος 1, 2005.
- [9] Cettina Santagati Francesco Di Paola, Laura Inzerillo. Reconstructing urban scene 3d using visualsfm. 2013.
- [10] Prusa3D 3D Printersfrom Josef Průša. <https://www.prusa3d.com/prusaslicer/>, 2018.
- [11] François Blais; Michel Picard; Guy Godin. Accurate 3d acquisition of freely moving objects. 2004.
- [12] K. H. Strobl; E. Mair; G. Hirzinger. "image-based pose estimation for 3-d modeling in rapid, hand-held motion. (1), 2011.
- [13] Gerald F. Marshall. Handbook of optical and laser scanning. *Marcel Dekker, Inc.*, 2004.
- [14] Github. Meshroom – Alicevision. <https://alicevision.github.io/>, 2015.
- [15] The Free Encyclopedia.Non contact passive 3d scanners – Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/3d_scanning_non_contact_passive, q.q.

- [16] M. Corsini M. Dellepiane F. Ganovelli G. Ranzuglia P. Cignoni, M. Callieri. Meshlab: an open-source mesh processing tool. 2008.
- [17] The Free Encyclopedia. Photosynth – Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/photosynth>, 2008.
- [18] The Free Encyclopedia Rhinoceros 3D – Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/rhinoceros3d>, 2018.
- [19] Karan Singh. Meshmixer: an interface for rapid mesh composition. Στο *Conference: International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Los Angeles, California, 2010.
- [20] Psaltis D. Sirat, G. Optics letters, 10. Στο *Conoscopic holography.*, τόμος 1, 2004.
- [21] The Free Encyclopedia. SolidWorks – Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/solidworks>, χ.χ.
- [22] Fusion 360 – Wiki CoMaking Space. <https://wiki.comakingspace.de/fusion360,q.q>.
- [23] Malys N Maliene V Sužiedelytė-Visockienė J, Bagdžiūnaitė R. Close-range photogrammetry enables documentation of environment-induced deformation of architectural heritage. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2015.
- [24] Song Zhang; Danielvan der Weide; James H. Oliver. "superfast phase-shifting method for 3-d shape measurement. *Optics Express* 18, 2010.
- [25] Rosielle P. C. J. N. Schellekens P. H. J. Vermeulen, M. M. P. A. Design of a high-precision 3d-coordinate measuring machine. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 1998.
- [26] David Young. *Stereoscopic vision and perspective projection*, 1994.
- [27] Chris Warkocki Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=740fkdgpuit>, 2018.
- [28] Yajun Wang; Song Zhang. Superfast multifrequency phase-shifting technique with optimal pulse width modulation. *Optics Express* 19, 2011.

